

160
2ef.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

EL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA
ANTE LA APERTURA COMERCIAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA ELECTRONICA)
P R E S E N T A N :
JOAQUIN JORGE TELLEZ LENDECH
ARTURO ROSAS VARGAS
VICTOR GUILLERMO ARROYO OLVERA

DIRECTOR DE TESIS: ING. EUGENIO ALMANZA CASTRO



CIUDAD UNIVERSITARIA.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Mi más sincero
 y profundo
 agradecimiento
 a mis padres
 Jorge y Graciela,
 por todo su esfuerzo,
 lucha y entrega,
 por todo su cariño,
 apoyo y comprensión ...
 y por mantener viva
 la llama de la fe,
 en mí mismo,
 a través de los años,
 dejándola arder,
 para siempre,
 en mi interior.

 Jorge.

Nuestro agradecimiento al
Ing. Eugenio Almanza C.
- muy especialmente -,
al Ing. Arturo Morales C.
y al Ing. Hugo A. Grajales R.
por su valiosa ayuda
en la realización
de este trabajo ...
y a todos los que
de alguna u otra forma
contribuyeron
en su desarrollo
y a los cuales
sería interminable
mencionar,
so pena de caer
en injustas omisiones.

INDICE

	PAG.
AGRADECIMIENTOS	
INDICE	
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
PRUEBAS TRADICIONALES DE CONFIRMACION DE ASPECTOS TEORICOS	7
CAPITULO 2	
PRUEBAS DE INVESTIGACION	29
CAPITULO 3	
PRUEBAS DE APOYO A LA PEQUEÑA INDUSTRIA	55
CAPITULO 4	
FUNCIONAMIENTO DE LOS LABORATORIOS DE ENSEÑANZA ACTUAL	187
CAPITULO 5	
TENDENCIA DE LA METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA ELECTRICA	207
CAPITULO 6	
PROYECTOS ADICIONALES	
- REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA CON CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE	217
- REGULADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CA POR VARIACION DE FRECUENCIA	455
- PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMATICO MEDIANTE PLC	697
CONCLUSIONES	733
APENDICE	739
- INVENTARIO DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM	
- BIBLIOGRAFIA DE CATALOGOS Y POLLETOS	
- COMPAÑIAS QUE SE DEDICAN A LA VENTA DE SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TECNICO PARA EL AREA DE INGENIERIA EN MEXICO	
- COMPAÑIAS EN EL EXTRANJERO QUE SE ENCARGAN DE LA VENTA DE ESTOS EQUIPOS	
- SOFTWARE DIDACTICO	
- ENCUESTA	

- ENCUESTA ADICIONAL
- BIBLIOGRAFIA (ARTICULOS)
- FICHAS TEMATICAS DE ESTOS ARTICULOS
- ALGUNOS DE ESTOS ARTICULOS SOBRE MODERNIZACION DE LABORATO- -
RIOS DE INGENIERIA ELECTRICA EN EL MUNDO
- MODERNIZACION DE UN LABORATORIO DE MAQUINAS (PARA EDUCA - -
CION) (UNIVERSIDAD ESTATAL DE OHIO, E.U.A.)
- MODERNIZACION DEL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS Y ELEC
TRONICA DE POTENCIA DE LA UNIVERSIDAD DE WISCONSIN (E.U.A.)
- ADELANTOS EN EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA
UNIVERSIDAD REY SAUD (ARABIA SAUDITA)
- RESPUESTAS CORRECTAS A LOS CUESTIONARIOS PREVIOS Y PRACTICAS
CORRESPONDIENTES AL EQUIPO "REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCI -
DAD PARA MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA CON CONTROLADOR LOGICO
PROGRAMABLE"
- RESPUESTAS CORRECTAS A LOS CUESTIONARIOS PREVIOS Y PRACTICAS
CORRESPONDIENTES AL EQUIPO "REGULADOR DE VELOCIDAD DE UN MO -
TOR DE CA POR VARIACION DE FRECUENCIA"

BIBLIOGRAFIA GENERAL

921

ERRATA

INTRODUCCION

En los albores de la década pasada se dió en el país una fuerte crisis económica que propició una baja notable en el consumo y en el crecimiento de la infraestructura, lo cual, obviamente, recayó en el empleo de manera negativa. Para tratar de solucionar esto, a la vez de impulsar nuevas exportaciones, el país ingresó al GATT a mediados de los 80's, pero propició al mismo tiempo mayores importaciones y un desequilibrio más pronunciado en la balanza comercial, además de un aumento considerable de productos extranjeros, al disminuir también los aranceles. Llegó, no obstante, a su fin, la aberrante política proteccionista que tanto daño nos hizo, y se impulsó al país hacia la libre competencia y hacia la globalización de la economía, principalmente vía, el comúnmente llamado Tratado de Libre Comercio (TLC), que a comienzos de esta década se pudo cristalizar con la integración de México al mercado regional norteamericano, junto con Canadá y E.U.

Para el sector educativo en general, y para el nuestro propio, esto ha propiciado el tener que formar profesionistas que participen activa y exitosamente en la competencia tecnológica internacional, creando tecnología de punta en la producción de bienes y servicios.

Por otro lado, todos estos cambios han hecho necesario que compañías pequeñas y medianas se hayan tenido que agrupar entre ellas para poder subsistir, desarrollándose en pleno una nueva forma de convivencia empresarial, en base a la asociación e interdependencia tecnológica, en contraste con los viejos esquemas de competitividad, vía la independencia y lucha individual. El advenimiento de este sistema y la inmensa necesidad de superación educativa, producto del TLC, ha provocado pues, la transformación de una ingeniería restringida y egoísta, en una ingeniería abierta y punzante, a la vez de regional y no local, haciendo necesario a su vez un aumento en el intercambio tecnológico entre los países involucrados. Bajo este nuevo formato evoluti -

ve, el desarrollo y la supremacía tecnológica serán más evidentes con el paso del tiempo, pero a su vez nos llevarán hacia una vigencia efímera o de pronta caducidad, en cuanto a tecnología, esto es, sin más, que lo que hoy es bueno e innovador, mañana será malo y obsoleto. Esto hace necesario el trabajar y producir "hoy" con calidad, compitiendo a la vez en precio y en una plena satisfacción del cliente. Pero enfoquémonos más en el aspecto educativo y en el campo que nos corresponde, el de la ingeniería.

El desarrollo de un sistema evaluatorio de programas en universidades, además del planteamiento ya en marcha de acreditación internacional de profesionistas y las transformaciones que se vienen dando en el ejercicio profesional, dada la competencia internacional, son algunos de los cambios más evidentes que se han dejado sentir en nuestra universidad y en nuestra facultad, y que han renovado la necesidad de modernizar y actualizar nuestra educación. En general, la educación de la ingeniería en nuestro país es muy pobre comparada con la de otros países, como bien dice el dicho: "Los países más avanzados tienen la escuela más eficiente", ¿qué significa esto?, simplemente, que la formación de ingenieros - en nuestro caso - en sociedades más avanzadas, como E.U., Canadá, Europa y Japón, es más dinámica, completa y eficaz, producto, principalmente, de su trabajo perenne en investigación; los hechos hablan por sí solos, ellos son tecnológicamente superiores, sin duda alguna. Pero, ¿qué se puede hacer al respecto? Por muy difícil que parezca la respuesta, ésta es muy simple, es necesario tan solo ejercer una educación ingenieril más enfocada a la ciencia, esto es, fomentar la creación de ingenieros científicos, dado que los conocimientos científicos no se modifican tan rápido como los conocimientos aplicados y tecnológicos, siendo los primeros consecuencia de la investigación en laboratorios y en el campo, en un afán descubridor e innovador, de fuerte trascendencia, y siendo los segundos de pa-

so efímero, volviéndose obsoletos por la rápida evolución tecnológica o el cambio tecnológico en sí. Así pues, es menester recalcar en la necesidad de crear bases sólidas para el florecimiento de ingenieros científicos duraderos y no, ingenieros prácticos volátiles. De esta manera, los primeros poseerán los conocimientos indispensables y suficientes para una fácil adaptación a la tecnología en proceso, y los segundos, por el contrario, se quedarán anquilosados, o les costará más trabajo emerger hacia nuevas formas tecnológicas, esa es la disyuntiva.

Es necesaria, además, una educación continua que garantice el obtener los conocimientos más recientes y la superación mínima profesional para el egresado, sin descuidar el acceso a una educación ingenieril más completa, vía posgrado.

Por otro lado, en un futuro cercano será más difícil desvincular la palabra ingeniero de la palabra científico, ya que esta simbiosis, está probado, representa el camino más firme para un desarrollo sostenido y equilibrado, en cuanto a tecnología, y que, por cierto, ya está presente en algunos campos del conocimiento, logrando un progreso inusitado. En las áreas donde esta característica muy especial aún no se da, es necesario que los científicos se acerquen más al conocimiento aplicado, y los ingenieros a su vez se acerquen más al conocimiento básico y a un peregrinar continuo por la actualización y la investigación. Entre las razones para esgrimir tales conceptos están la obsolescencia rápida de los conocimientos operativos, ya mencionada, y el uso de la computadora como medio de resolución casi instantáneo de los problemas.

La adecuación a continuos cambios, algunos ya en marcha y en proceso de agudización, dependerá de que el profesionalista esté preparado lo mejor posible en cuanto a conocimientos, inventiva, ingenio y creatividad, y no a operaciones rutinarias de dudoso valor.

Por otro lado, la enseñanza debe ser más generalizada y menos especializada, pero a la vez más interdisciplinaria, con esto

queremos decir, que debe existir un mayor contacto entre las disciplinas o carreras, propiciando con esto su generalidad, y no mediante un cartabón de materias generales sin ton ni son. Así pues, la especialización de la ingeniería debe dejarse atrás, y enfocar la educación del ingeniero en base a un desarrollo interdisciplinario, con fuertes raíces de metodología científica y búsqueda conjunta de soluciones. De esta forma, el egresado estará capacitado para desenvolverse en cualquier ámbito que se proponga, y no sólo en uno, como usualmente ocurre.

Es necesario a su vez, irse hasta las raíces propias del término ingeniero, para darse cuenta de que la finalidad de éste o de su quehacer profesional, radica en aplicar el método científico y los conocimientos necesarios en pos del desarrollo de métodos para transformar, en la forma más económica posible, lo que esté a su alcance, con la finalidad intrínseca de satisfacer las necesidades de la sociedad de la que forma parte.

La situación a futuro del profesionista obliga a pensar en darle a las carreras profesionales - en este caso la ingeniería -, un mayor alcance del que tienen, haciéndolas tender hacia la excelencia académica y hacia la alta capacidad de investigación e innovación de sus alumnos y egresados, siendo necesario plantear perfectamente los objetivos que nos lleven a su consecución exitosa, y no conformista, debiendo existir igualmente, un acercamiento, colaboración y apoyo mutuo entre los interesados para conseguirlo.

Las universidades deben anticipar y propiciar los cambios sociales vía la educación de sus educandos, promoviendo su movilidad social en base a su quehacer educativo.

Finalmente, el éxito de la reforma económica, de la participación activa de México en los mercados internacionales y muy especialmente de la apertura comercial, vía TLC, no sólo dependerá de una organización económica eficiente, sino tam-

bién de muchas otras, entre ellas, una muy importante: la educativa. En otras palabras, bajo un contexto de apertura y competitividad, el desarrollo económico del país, estará en función del cambio tecnológico y del cambio humano.

Pero la posibilidad de formar estudiantes que generen innovaciones tecnológicas y que aprovechen las transferencias de tecnología, no dependerá de la creación de nuevas instituciones educativas, sino de reformar las ya existentes. Desafortunadamente, en nuestro país los niveles de calidad de la educación son muy deficientes. De hecho, los egresados de las escuelas de enseñanza superior carecen del conocimiento académico suficiente y de las habilidades para insertarse adecuadamente en la dinámica de la sociedad.

Es por ello imperativo que se formen estudiantes acordes con el momento que estamos viviendo, esto es, es necesario que se forme un estudiantado analítico, creativo y participativo, cualitativamente superior al actual. Se trata pues de contar con una reforma educativa que reafirme algunos logros pasados, pero que a su vez sienta las bases para una profunda transformación. Sólo de esta forma, se podrá crear un estudiantado con las habilidades requeridas por la dinámica de una sociedad moderna, al tiempo que se podrán cubrir los rezagos educativos heredados del pasado, incompatibles en el momento actual con el perfil que México se ha impuesto.

Pero esta tarea de intentar transformar instituciones educativas burocráticas, dogmáticas y obsoletas, en otras dinámicas, interactivas y en continuo crecimiento, no será nada fácil. Sin embargo, si cada uno se da a la tarea de cambiar su propio entorno, esta labor se volverá un tanto menos complicada.

Bajo este contexto y siendo la finalidad del presente trabajo el cambiar el enfoque actual del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la F.I. de la U.N.A.M., con vistas a modernizarlo y a hacerlo competitivo, es menester que se realicen, entre otras cosas, las siguientes tareas que nos ayudarán en su consecución

exitosa: ver el desarrollo que han tenido los programas de laboratorio y por ende, cuáles han sido las pruebas (o prácticas) tradicionales que han confirmado los aspectos teóricos vistos en clase (Capítulo 1); llenar las deficiencias encontradas, cambiando o modificando las pruebas existentes por otras más importantes que merezcan ser investigadas (Capítulo 2); dar apoyo, más allá de lo académico, a la industria, realizando pruebas no muy complejas, para que la universidad, la facultad y específicamente el laboratorio, se allege recursos (Capítulo 3); ayudar en la puesta en marcha de equipos disponibles, mas no utilizados en el laboratorio, ni mucho menos, incluidos en los programas (Capítulo 6); ofrecer una perspectiva más moderna, de cuál debe ser el funcionamiento de los laboratorios a futuro, en comparación a cómo funcionan actualmente (Capítulo 4), y en base a una expectativa de metodología de enseñanza acorde a las pretensiones de desarrollo que México se ha impuesto, y por ende, nuestra universidad, nuestra facultad y nuestro laboratorio (Capítulo 5). A eso está abocada esta tesis.

1. PRUEBAS TRADICIONALES DE CONFIRMACION DE ASPECTOS TEORICOS.

Los laboratorios del área eléctrica que se imparten actualmente en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., a saber, el Laboratorio de Equipo Eléctrico, el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia II y el Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos, son laboratorios dependientes o independientes de la asignatura teórica respectiva y se encuentran ubicados del 8º al 10º semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Área de Ingeniería Eléctrica y Electrónica - salvo Máquinas Eléctricas, que se imparte para las carreras de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Áreas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial) e Ingeniería en Computación -.

Son cursos escolarizados que, como ya se dijo, van insertados o no, en la teoría respectiva, y se imparten así, en formas muy bien definidas. La primera de ellas es en donde la teoría y la práctica se dan en forma independiente, generando, cada una de ellas, sus propios créditos, caso del Laboratorio de Equipo Eléctrico; la segunda de ellas es en donde el laboratorio y la asignatura teórica respectiva conforman una sola materia (aunque se dan por separado), y en la cual, por regla general se tienen que acreditar ambas, teoría y práctica, para poder acreditar la misma, caso de los Laboratorios de Sistemas Eléctricos de Potencia II y de Protección de Sistemas Eléctricos; y finalmente la tercera, es en donde la teoría y la práctica conforman un todo, y en donde una sola evaluación es necesaria, caso de la materia-laboratorio de Máquinas Eléctricas. Los laboratorios se imparten de Lunes a Sábado en diferentes horarios y en su área de laboratorio respectiva.

Adentrándonos un poco más en cada uno de estos laboratorios, señalemos primeramente, el caso del Laboratorio de Equipo Eléctrico, el cual es un laboratorio que se da en forma independiente a las asignaturas teóricas que comprende y que se desarrolla eventualmente en 16 semanas (64 horas), a razón de

4 horas por semana, generando 4 créditos al acreditarlo. Dentro del mapa curricular (currículo(a) o plan de estudios), tiene como antecedentes las materias de Electricidad y Magnetismo; Máquinas Síncronas y de Corriente Directa; y Transformadores y Motores de Inducción, y como materias consecuentes, ninguna. Pertenecce a una línea de formación técnica orientada al conocimiento del área eléctrica, y específicamente, al conocimiento de las características de los diferentes tipos de máquinas eléctricas (máquinas de c.d. y síncronas; y transformadores y motores de inducción), de su funcionamiento y pruebas, y de su selección y mantenimiento.

TEMARIO:

- I Características de la máquina de corriente directa y de la máquina síncrona
- II Características del generador de corriente directa y del generador síncrono
- III Máquina de corriente directa
- IV Máquina síncrona
- V Generador síncrono
- VI Motor síncrono
- VII Motor de inducción
- VIII Transformador

El Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia II, es un laboratorio que pertenece a la materia del mismo nombre (S.E.P. II) y que se desarrolla en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas por semana, generando 10 créditos (incluida la teoría) al acreditarlo. El número de horas totales de esta materia es de 96 (en las mismas 16 semanas) dándose la teoría de manera independiente en 4 horas semanales y haciendo un total teórico de 64 horas al semestre. Dentro del mapa curricular tiene como antecedentes: Sistemas Eléctricos de Potencia I (como materia necesaria) y Máquinas Síncronas y de Corriente Directa (como materia conveniente), aunque esta última se puede cursar simultáneamente. Como asignaturas consecuentes se encuentran: Protección

de Sistemas Eléctricos; e Instalaciones Eléctricas e Iluminación. Pertenece a una línea de formación técnica orientada a la enseñanza del área eléctrica, específicamente, del área de potencia eléctrica. La asignatura en su aspecto teórico tiene como objetivo el que el alumno al final del semestre pueda determinar los parámetros y modelos eléctricos de los diferentes tipos de líneas eléctricas, transformadores y autotransformadores, para su eventual representación en el análisis de redes en régimen permanente equilibrado; además de que pueda analizar el comportamiento de las redes eléctricas en régimen permanente desequilibrado y en condiciones anormales permanentes y transitorias de sobrevoltaje.

TEMARIO:

1. Sistemas trifásicos desequilibrados en régimen permanente
2. Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero de las líneas de transmisión
3. Circuitos equivalentes de secuencia positiva, negativa y cero de transformadores
4. Comportamiento de un generador síncrono durante un circuito-corto en sus terminales
5. Cálculo de fallas y de circuitos desequilibrados en sistemas de energía eléctrica
6. Sobrevoltajes en los sistemas eléctricos
7. Protección contra sobrevoltajes; coordinación del aislamiento

La asignatura en su aspecto práctico (laboratorio) tiene como objetivo el que el alumno conozca por medio de experimentos, cómo se desarrolla la generación y transmisión de potencia eléctrica, además de su rango posible de utilización; analizando y resolviendo en cada experimento los diversos problemas que se presentan.

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS:

1. El alternador
2. El motor síncrono
3. Capacitor síncrono y líneas de alto voltaje largas

4. Redes de líneas de transmisión y transformador de desplazamiento de fase
5. El motor síncrono bajo carga
6. Fluctuación de oscilación del sistema
7. Transitorios de los sistemas de potencia
8. Flujo de potencia real y reactiva como una función del desplazamiento de fase entre los voltajes transmisor y receptor
9. Fugas de corriente en líneas de transmisión balanceadas y no balanceadas
10. Impedancias de secuencia positiva, negativa y cero de una máquina síncrona

+ Han sido puestos los dos temarios, el teórico y el práctico, dado que hay, de manera evidente, una vinculación estrecha entre ambos (aunque no demasiado en este caso - ver encuesta adicional en el Apéndice -) y es necesariamente imperativo el establecer su relación.

El Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos pertenece a la materia del mismo nombre (P.S.E.) y se desarrolla en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas a la semana de práctica, generando 10 créditos (incluida la teoría) al acreditarlo. Pertenece como asignatura (teórico-práctica) al módulo de Energía Eléctrica, y sólo lo cursan los alumnos que escogen este módulo como opción. Para acreditar la materia es necesario, mas no suficiente, el acreditar el laboratorio (ya que hay que acreditar también la teoría). El número de horas totales de esta materia es de 96 (en las mismas 16 semanas) dándose la teoría de manera independiente en 4 horas semanales y haciendo un total teórico de 64 horas al semestre. Dentro del currículo tiene como antecedentes: Sistemas Eléctricos de Potencia II, Electrónica Digital, y Electrónica Analógica, y como consecuentes: Sistemas de distribución, y Operación de Sistemas Eléctricos. Pertenece a una línea de formación técnica en el área eléctrica, específicamente enfocada a que el alumno pueda determinar las características de

protección de las diferentes partes de un sistema eléctrico, a partir del cálculo de corrientes de circuito-corte y a partir de la descripción del funcionamiento de los diferentes dispositivos utilizados para protección de sistemas eléctricos.

TEMARIO:

- 1 Cálculo de corrientes de C.C.
- 2 Transformadores de instrumento y filtros
- 3 Principios de operación de los dispositivos de protección
- 4 Aplicación de los dispositivos de protección

La materia en su aspecto práctico (laboratorio) tiene como objetivo el que el alumno conozca los diferentes relés de protección, sus áreas de aplicación y del cómo operan algunos circuitos de protección.

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS:

1. Descripción del tablero
2. Análisis y operación de los relevadores
 - CA diferencial
 - CO de sobrecorriente
 - HD diferencial de corriente equilibrada
3. Análisis y operación de los relevadores
 - HR direccional de sobrecorriente
 - HCZ direccional de impedancia
 - SC instantáneo de sobrecorriente
4. Protección de un sistema alimentado radialmente
5. Protección de un sistema radial con líneas paralelas
6. Protección de líneas paralelas con alimentación en ambos extremos
7. Protección diferencial de transformadores

Finalmente, el laboratorio de Máquinas Eléctricas, o simplemente Máquinas Eléctricas, se desarrolla a su vez en 16 semanas (96 horas), a razón de 2 horas de práctica por semana y 4 horas de teoría, 32 y 64 horas respectivamente por semestre, impartándose (teoría y práctica) en forma simultánea, y generando 10 créditos en total. Dentro del currículo tiene como an

tededentes las materias de Análisis de Circuitos Eléctricos (como asignatura necesaria) y Medición e Instrumentación (como asignatura conveniente), y como materia consecuente: Instalaciones Electromecánicas (necesaria). Pertenecen a una línea de formación técnica orientada a capacitar al alumno en el área eléctrica, salvo que, como ya se mencionó, esta materia se imparte sólo para las carreras de I.M.E. (en sus áreas de Mecánica e Industrial), e Ingeniería en Computación, siendo, por consiguiente, menos exhaustiva en el área (eléctrica), y si más general, ya que en una sola materia se condensan varias del currículo de I.M.E., Área Eléctrica y Electrónica, como pueden ser, Transformadores y Motores de Inducción, Máquinas Síncronas y de C.D., e inclusive, Instalaciones Eléctricas Industriales. Por otro lado, esta materia de Máquinas Eléctricas tiene como objetivo el que el alumno conozca las características específicas de cada tipo de máquina, seleccionando el equipo adecuado para ciertas necesidades particulares, y eventualmente, siendo capaz de proyectar una instalación y su mantenimiento preventivo.

TEMARIO:

1. Transformadores
2. Motores de inducción
3. Máquinas de corriente directa
4. Máquinas síncronas
5. Elementos de control y protección
6. Instalación y mantenimiento

La materia en su aspecto práctico (laboratorio) tiene un objetivo muy similar al mencionado anteriormente, y no podría ser de otra forma, ya que se trata de una sola asignatura teórico-práctica. Sin embargo, podría recalcarse como objetivo, el que el alumno conozca las características de los diferentes tipos de máquinas eléctricas (máquinas de C.D. y síncronas, y transformadores y motores de inducción), de su funcionamiento y pruebas, y de su selección y mantenimiento; para que sea capaz, entre otras cosas, de proyectar una instalación que incluya transformadores

y motores en una industria. Hay que enfatizar que el siguiente programa de laboratorio tiene cierta flexibilidad (¿o será deficiencia?), dado que sólo obliga al alumno a cumplir, de manera obligatoria, con 12 prácticas elegidas del contenido.

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS:

1. Transformadores

- 1.1 Identificación de las partes estructurales y auxiliares de un transformador
- 1.2 Pruebas de resistencia de aislamiento, relación de transformación y rigidez dieléctrica del aceite
- 1.3 Conexiones y operación de transformadores
- 1.4 Descripción de los elementos de una subestación industrial
- 1.5 Plan de mantenimiento preventivo

2. Motores de inducción

- 2.1 Identificación de las partes estructurales de los diversos motores de inducción
- 2.2 Pruebas de saturación en vacío y con rotor bloqueado y comprobación de los datos de placa
- 2.3 Sistemas de arranque y protección
- 2.4 Plan de mantenimiento preventivo

3. Máquinas de corriente directa

- 3.1 Identificación de las partes estructurales de la máquina de C.D.
- 3.2 Arranque. Protección y control de velocidad para motores con excitación independiente, en derivación y en serie
- 3.3 Plan de mantenimiento preventivo

4. Máquinas síncronas

- 4.1 Identificación de las partes estructurales de la máquina síncrona
- 4.2 Acoplamiento de alternadores
- 4.3 Sistemas de arranque de motores síncronos
- 4.4 Control de campo y factor de potencia. El capaci -

dores y Motores de Inducción, con sus respectivos laboratorios, se unieron en una sola materia, Máquinas de C.D. y Máquinas Síncronas, dando por resultado la materia de Máquinas Síncronas y de Corriente Directa, dejándose igual Transformadores y Motores de Inducción, con la salvedad de que se separaron la teoría respectiva de sus laboratorios, dando por resultado el Laboratorio de Equipo Eléctrico, que todos conocemos actualmente, y que como ya se vió, se enfoca al análisis práctico de las máquinas síncronas, de las máquinas de c.d., y de los transformadores y motores de inducción. Pero veamos cómo estaban conformados los programas de tales laboratorios.

Laboratorio de Máquinas de Corriente Directa.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (M.C.D.) y se desarrollaba en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas de práctica por semana (constando la teoría de 64 horas semestrales, 4 a la semana; para un total teórico-práctico de 96 horas semestre), generando 10 créditos en total. Dentro del currículo tenía como antecedente la materia de Transformadores y Motores de Inducción (asignatura necesaria para llevar la que nos ocupa) y como consecuentes las materias de Sistemas de Transporte Eléctrico (asignatura necesaria) y Plantas Generadoras, y Electrónica de Potencia, como asignaturas convenientes. Pertenecía a una línea de formación técnica orientada al aprendizaje del alumno del área eléctrica, teniendo como objetivo el análisis cualitativo y cuantitativo - por parte del alumno - del funcionamiento de generadores y motores de C.D. y sus posibilidades de aprovechamiento, además de la realización correcta de las pruebas de laboratorio, apogadas a la normalización de la industria eléctrica respectiva, para ser capaz de efectuar, de igual manera, su instalación eléctrica para una operación adecuada.

Dado que en este objetivo se engloban ambos aspectos, teórico y práctico, procedamos a desglosar los temarios respectivos.

TEMARIO:

1. Teoría básica de la máquina de c.d.
2. Análisis de respuesta de generadores
3. Análisis de respuesta de motores
4. Control de generadores y motores
5. Fundamentos de la teoría de la máquina generalizada

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

1. Identificación de elementos y terminales de la máquina. Resistencia de aislamiento
 2. Determinación de la posición del eje neutro
 3. Curvas de saturación en vacío y pérdidas magnéticas
 4. Curvas de regulación de voltaje
 - a) Excitación independiente
 - b) Excitación en derivación
 - c) Excitación en serie
 - d) Excitación compuesta acumulativa
 - e) Excitación compuesta diferencial
 5. Acoplamiento de generadores y repartición de la carga
 6. Arranque de motores y F.C.E.M.
 7. Curvas de regulación de velocidad
 - a) Excitación en derivación
 - b) Excitación en serie
 - c) Excitación compuesta acumulativa
 - d) Excitación compuesta diferencial
 8. Control de velocidad de motores
 - a) por reactivo de campo
 - b) Sistema Ward Leonard
 - c) Por rectificadores de silicio controlado
 9. Eficiencia por el método de pérdidas
 10. Elevación de temperatura y métodos de dar carga.
- Laboratorio de Máquinas Síncronas.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (M.S.) y se desarrollaba en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas de práctica por semana (constando la teoría de 64 horas semestrales, 4 por semana; para un total de teoría y práctica

de 96 horas semestre). Dentro del mapa curricular tenía como antecedentes, la asignatura de Transformadores y Motores de Inducción (necesaria) y como consecuentes, sólo la materia de Plantas Generadoras (necesaria). Pertenecía a una línea de formación técnica orientada al aprendizaje del alumno del área eléctrica, siendo el objetivo principal el que el alumno fuese capaz de analizar finalizado el curso, cualitativa y cuantitativamente, el funcionamiento de generadores y motores síncronos como sistema en sí, y como parte de sistemas eléctricos, siendo capaz de efectuar correctamente las pruebas de laboratorio, apegadas a la normalización de la industria eléctrica respectiva, y siendo capaz de efectuar, de igual manera, su instalación eléctrica para una operación adecuada.

Dado que en el objetivo ya mencionado, se hacen patente los fines, tanto teóricos como prácticos, no queda más que desglosar sus temarios respectivos.

TEMARIO:

1. Teoría básica de la máquina síncrona
2. Operación y estabilidad de generadores síncronos
3. Operación de motores y capacitores síncronos
4. Sistemas de excitación
5. Arrancadores e instalación de motores
6. Funcionamiento transitorio

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

GENERADOR SINCRONO

1. Curvas de saturación en vacío y pérdidas magnéticas
2. Curvas de saturación en corto-circuito, pérdidas eléctricas y obtención de la impedancia síncrona no saturada
3. Curvas de saturación con corriente nominal y factor de potencia cero. Saturación con corriente nominal y cualquier factor de potencia
4. Eficiencia del generador por el método de pérdidas
5. Sincronización
6. Regulación de voltaje

MOTOR SINCRONO

7. Arranque del motor. Curvas "V"
8. Par, potencia y eficiencia
9. Curvas de saturación con roter bloqueado

MAQUINA SINCRONA

10. Elevación de temperatura y métodos de dar carga
11. Balances de voltajes
12. Balances de corrientes
13. Resistencia de aislamiento y prueba dieléctrica

Laboratorio de Transformadores y Motores de Inducción.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (T.M.I.) y se desarrollaba igualmente en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas de práctica por semana (constando la teoría de 64 horas semestrales, 4 por semana; para un total acumulado de 96 horas semestre de teoría y práctica). Dentro del mapa curricular tenía como antecedentes: Análisis de Circuitos Eléctricos (necesaria) y como consecuencias, Máquinas Síncronas, Máquinas de C.D., e Instalaciones Eléctricas e Iluminación, todas ellas con carácter de necesarias. Pertenecía a una línea de formación técnica orientada al aprendizaje del alumno del área eléctrica, con objetivos muy definidos; como que el alumno pudiese hacer, al final del curso, un análisis cualitativo y cuantitativo del funcionamiento de transformadores y motores de inducción bajo diferentes condiciones de carga, apoyándose en los fenómenos físicos que justificasen dicho funcionamiento, habiendo efectuado correctamente las pruebas de laboratorio, apegadas a la normalización de la industria eléctrica respectiva, y siendo capaz de efectuar, de igual manera, su instalación eléctrica para una operación adecuada.

Dado que en el objetivo ya señalado, quedan perfectamente claros los fines teórico-prácticos, pasemos a mencionar los temarios respectivos.

TEMARIO:

1. Características de los circuitos magnéticos
2. Teoría del transformador
3. Operación del transformador en sistemas eléctricos

de 96 horas semestre). Dentro del mapa curricular tenía como antecedentes, la asignatura de Transformadores y Motores de Inducción (necesaria) y como consecuentes, sólo la materia de Plantas Generadoras (necesaria). Pertenecía a una línea de formación técnica orientada al aprendizaje del alumno del área eléctrica, siendo el objetivo principal el que el alumno fuese capaz de analizar finalizado el curso, cualitativa y cuantitativamente, el funcionamiento de generadores y motores síncronos como sistema en sí, y como parte de sistemas eléctricos, siendo capaz de efectuar correctamente las pruebas de laboratorio, apegadas a la normalización de la industria eléctrica respectiva, y siendo capaz de efectuar, de igual manera, su instalación eléctrica para una operación adecuada.

Dado que en el objetivo ya mencionado, se hacen patente los fines, tanto teóricos como prácticos, no queda más que desglosar sus temarios respectivos.

TEMARIO:

1. Teoría básica de la máquina síncrona
2. Operación y estabilidad de generadores síncronos
3. Operación de motores y capacitores síncronos
4. Sistemas de excitación
5. Arrancadores e instalación de motores
6. Funcionamiento transitorio

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

GENERADOR SINCRONO

1. Curvas de saturación en vacío y pérdidas magnéticas
2. Curvas de saturación en corto-circuito, pérdidas eléctricas y obtención de la impedancia síncrona no saturada
3. Curvas de saturación con corriente nominal y factor de potencia cero. Saturación con corriente nominal y cualquier factor de potencia
4. Eficiencia del generador por el método de pérdidas
5. Sincronización
6. Regulación de voltaje

MOTOR SINCRONO

7. Arranque del motor. Curvas "V"
8. Par, potencia y eficiencia
9. Curvas de saturación con rotor bloqueado

MAQUINA SINCRONA

10. Elevación de temperatura y métodos de dar carga
11. Balanceo de voltajes
12. Balanceo de corrientes
13. Resistencia de aislamiento y prueba dieléctrica

Laboratorio de Transformadores y Motores de Inducción.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (T.M.I.) y se desarrollaba igualmente en 16 semanas (32 horas), a razón de 2 horas de práctica por semana (constando la teoría de 64 horas semestrales, 4 por semana; para un total acumulado de 96 horas semestre de teoría y práctica). Dentro del mapa curricular tenía como antecedentes: Análisis de Circuitos Eléctricos (necesaria) y como consecuentes, Máquinas Síncronas, Máquinas de C.D., e Instalaciones Eléctricas e Iluminación, todas ellas con carácter de necesarias. Pertenecía a una línea de formación técnica orientada al aprendizaje del alumno del área eléctrica, con objetivos muy definidos; como que el alumno pudiese hacer, al final del curso, un análisis cualitativo y cuantitativo del funcionamiento de transformadores y motores de inducción bajo diferentes condiciones de carga, apoyándose en los fenómenos físicos que justificasen dicho funcionamiento, habiendo efectuado correctamente las pruebas de laboratorio, apegadas a la normalización de la industria eléctrica respectiva, y siendo capaz de efectuar, de igual manera, su instalación eléctrica para una operación adecuada.

Dado que en el objetivo ya señalado, quedan perfectamente claros los fines teórico-prácticos, pasemos a mencionar los temarios respectivos.

TEMARIO:

1. Características de los circuitos magnéticos
2. Teoría del transformador
3. Operación del transformador en sistemas eléctricos

4. Motores polifásicos de inducción
5. Instalación de motores
6. Motores monofásicos de inducción

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

TRANSFORMADORES

1. Resistencia óhmica
2. Resistencia de aislamiento
3. Relación de transformación
4. Polaridad e secuencia de fases
5. Verificación del diagrama de conexiones y desplazamiento an gular
6. Pérdidas magnéticas y corriente de excitación
7. Pérdidas eléctricas y por ciento de impedancia
8. Elevación de temperatura y métodos de dar carga
9. Rigidez dieléctrica del aceite
10. Potencial aplicado
11. Potencial inducido
12. Impulso y Descargas parciales

MOTORES DE INDUCCION

13. Saturación en vacío y con rotor bloqueado
14. Análisis del circuito equivalente
 - a) Método analítico
 - b) Método gráfico (Diagrama de Heyland)
15. Curvas Par-Velocidad
16. Otras aplicaciones del motor de inducción
 - a) Generador asíncrono
 - b) Regulador de inducción
 - c) Cambiador de frecuencia
 - d) Control Selsyn
17. Arranque de motores monofásicos

Existe un plan de estudios mucho más antiguo - de la década de los 70's, parece ser -, que contenía, eventualmente, los mismos laboratorios, aunque con otros nombres, a saber: Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica II y Laboratorio de Con

versión de Energía Electromecánica III, y cuyos temarios estaban conformados de la siguiente forma:

Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica II.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (C.E.E.II) y se desarrollaba en 42 horas al semestre, abarcando: Transformadores y Máquinas de C.D.

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

A.- Transformadores

1. Pérdidas magnéticas (transformadores trifásicos)
2. Pérdidas eléctricas (transformadores trifásicos)
3. Eficiencia (transformadores trifásicos)
4. Temperatura y métodos de dar carga
5. Tensión aplicada y tensión inducida
6. Impulso

B.- Máquinas de C.D.

7. Conmutación y determinación del punto neutro
8. Saturación y pérdidas en el núcleo
9. Voltaje con carga variable
10. Velocidad con carga variable
11. Acoplamiento de generadores
12. Temperatura y métodos de dar carga
13. Eficiencia usando pérdidas
14. Regulación de velocidad

Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica III.

Este laboratorio pertenecía a la materia del mismo nombre (C.E.E.III) y se desarrollaba en 26 horas al semestre, abarcando: Motores de Inducción y Máquinas Síncronas.

TEMARIO (LABORATORIO) = PRACTICAS

1.- Motor de inducción

- a) Saturación en vacío y con rotor bloqueado
- b) Par de arranque y características por el circuito equivalente
- c) Par-velocidad
- d) Como generador asincrónico

2.- Máquinas síncronas

- a) Saturación y pérdidas en el núcleo
- b) Corte circuito y pérdidas en corte circuito
- c) Saturación con carga completa a cero factor de potencia
- d) Saturación a rotor bloqueado para voltaje y corriente inducidas. Par de arranque
- e) Pérdidas mecánicas y eficiencia
- f) Temperatura y métodos de dar carga
- g) Balanceo corriente, voltaje
- h) Resistencia de aislamiento y prueba dieléctrica

En cuanto a los laboratorios de Máquinas Eléctricas y Sistemas Eléctricos de Potencia II, se daban exactamente igual a como se dan hoy en día; por lo cual, quedan igual a como se especificaron en un principio.

Para ser más explícitos, hagamos una comparación entre los laboratorios de antaño, ya mencionados, y el actual Laboratorio de Equipo Eléctrico.

TABLAS (A CONTINUACION).

PLAN DE ESTUDIO DE LOS AÑOS:

LABORATORIO QUE CUBRE ESTAS PRÁCTICAS Y/O PRUEBAS:

NO. CRÉDITOS DE LA MATERIA SOLAMENTE; DURACION DEL CURSO: SEMANAS; HORAS; HORAS

AL SEMESTRE: TEORIA; PRACTICA; HORAS A LA SEMANA: TEORIA; PRACTICA:

PRACTICAS: MAQUINAS SINCRONAS

	70's	80's	90's
	LAB. CONVERSION DE ENERGIA MECANICA EN ELECTRICIDAD	LAB. MAQUINAS SINCRONAS	LAB. EQUIPOS ELECTRICOS
	-; -; -; -; -; -	00; 01; 02; 03; 04; 05; 06	1; 16; 24; 0; 14; 0; 1
GENERADOR SINCRONO			
1. CURVAS DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS MAGNETICAS O EN EL NUCLEO.	✓	✓	✓
2. CURVAS DE SATURACION EN CORTO CIRCUITO, PERDIDAS ELECTRICAS O EN C.C. OBTENCION DE LA IMPEDANCIA SINCRONA NO SATURADA.	✓	✓	✓
3. CURVAS DE SATURACION CON CORRIENTE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA CERO. (A PLENA CARGA) SATURACION CON CORRIENTE NOMINAL Y CUALQUIER FACTOR DE POTENCIA. (A PLENA CARGA)	✓ sólo con 30, 40, 50 y 60% potencia	✓	x
4. EFICIENCIA DEL GENERADOR POR EL METODO DE PERDIDAS.	x	✓	✓
5. SINCRONIZACION.	x	✓	✓
6. REGULACION DE VOLTAJE. CURVAS DE REGULACION DE TENSION CON CARGA R, C E I.	x	✓	✓
7. ACOPLANAMIENTO DE GENERADORES.	x	x	✓
MOTOR SINCRONO			
8. ARRANQUE DEL MOTOR. CARACTERISTICAS Y CURVAS "V"	x	✓	✓
9. PAR MOTOR, POTENCIA Y EFICIENCIA DEL MOTOR. PERDIDAS MECANICAS.	x	✓	✓
10. CURVAS DE SATURACION CON [O A] ROTOR BLOQUEADO con V e I inducidas. Por de arranque	✓	✓	✓
MAQUINA SINCRONA			
11. IDENTIFICACION DE ELEMENTOS, PARTES ESTRUCTURALES, AUXILIARES Y TERMINALES DE LA MAQUINA.	x	x	✓
12. ELEVACION DE TEMPERATURA Y METODOS DE BALANCEO.	✓	✓	✓
13. BALANCEO DE VOLTAJES.	✓	✓	✓
14. BALANCEO DE CORRIENTES.	✓	✓	✓
15. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PRUEBA DIELECTRICA.	✓	✓	✓

Otras (no incluidas): - control de campo y f. p.
- capacitor síncrono
- curvas "V"; generador síncrono

PLAN DE ESTUDIO DE LOS AÑOS:

LABORATORIO QUE CUERDE ESTAS PRACTICAS Y/O PRUEBAS:

10. REQUISITO DE LA MATERIA CUERESTRUCTURANTE; DURACION DEL CURSO: SEMANAS; HORAS; HORAS AL SEMESTRE; TEORIA; PRACTICA; RESULTA A LA SEMANA: TEORIA; PRACTICA:

PRACTICAS: TRANSFORMADORES

	70's	80's	90's
	LAB. CONVERSION DE DEL- GIA RECTIFICACION II	LAB. TRANSFORMADORES Y MATERIA DE ILUMINACION	LAB. EQUIPO ELECTRICO
	-; -; -; R2; -;	20; 10; 5; 0; 20; 10; 2	4; 16; 64; 0; 64; 0; 4
1. IDENTIFICACION DE ELEMENTOS, PARTES ESTRUCTURALES, AUXILIARES Y TERMINALES DE LA MAQUINA.	x	x	x
2. RESISTENCIA OHMICA.	x	✓	✓
3. RESISTENCIA DIELECTRICA DE HILAMIENTO.	x	✓	✓
4. RELACION DE TRANSFORMACION.	x	✓	✓
5. POLARIDAD Y/O SECUENCIA DE FASES.	x	✓	✓
6. VERIFICACION DEL DIAGRAMA FASEAL DE CONEXIONES Y DESPLAZAMIENTO ANGULAR.	x	✓	✓
7. PERDIDAS MAGNETICAS Y CORRIENTE DE EXCITACION.	✓ 0/10 34	✓	✓
8. PERDIDAS ELECTRICAS Y POR CIENTO DE IMPEDANCIA.	✓ 0/10 34	✓	✓
9. ELEVACION DE TEMPERATURA Y METODOS DE DAR CARGA.	✓	✓	✓
10. RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE.	x	✓	✓
11. POTENCIAL O TENSION ARUCADO (A).	✓	✓	✓
12. POTENCIAL O TENSION INDUCIDO (A).	✓	✓	✓
13. IMPULSO Y DESCARGAS PARCIALES.	x	✓	✓
14. EFICIENCIA.	✓ 0/10 34	x	x

Otras (no incluidas): - construion y aplicacion de transformadores

Como se puede observar en las tablas ya mencionadas, se trata "prácticamente" de las mismas prácticas - con una pequeña variación en los laboratorios de los 70's -, lo que nos lleva a la misma conclusión, ya señalada con anterioridad, de que poco o nada han cambiado los programas y/o prácticas de estos laboratorios, en años. Además, es necesario enfatizar, de que existe mucho menos tiempo para realizar tales prácticas; porque cuando eran tres laboratorios se empleaban 96 horas para realizarlas, ahora se ven, aparentemente, las mismas prácticas en 64 horas. Existe un cuaderno de prácticas para la materia de Laboratorio de Equipo Eléctrico, que se llama Prácticas de Laboratorio de Equipo Eléctrico, en el cual, también aparentemente, se basan la mayoría de los profesores de laboratorio, pero el cual no contiene, lamentablemente, todas las prácticas estipuladas en el programa, aunque sí, las más importantes, y dada la disminución de tiempo, es muy factible que se efectúen sólo éstas, en detrimento del alumnado. Pero, después de todo, están contempladas prácticamente las mismas prácticas en estos planes - actuales y anteriores -, reforzando lo que ya se dijo, a manera de conclusión, que no han habido cambios substanciales en mucho tiempo.

Es pues imperativo, que se creen nuevos laboratorios, en los que se modifiquen planes y programas de estudio deficientes, y en los que se involucre más la tecnología reciente, aunque claro, sin desechar por completo lo que ya se tiene - pero que valga la pena -, para que conjuntamente reflejen una estructura educacional más acorde con el momento actual, pretendiendo mejorar, a su vez, la preparación del educando.

+ El número de horas por práctica se ha soslayado a lo largo de estos análisis comparativos, dado que en algunos programas si

aparecen las hrs. x práctica, como en los Labs. de Conversión; pero en otros sólo aparecen las hrs. x grupo de prácticas, como en el Lab. de Equipo Eléctrico; y en otros no aparecen, ni de una forma, ni de otra, como en los Labs. de Máquinas de C.D., Síncronas, y Transformadores y Motores de Inducción; aun que lo importante no es el número de horas dedicados a cada práctica, sino el que se vean bien, el mayor número de prácticas estipuladas en el programa al semestre. Los objetivos por capítulo también se han soslayado, pero pueden consultarse en cada programa de asignatura, al igual que, la bibliografía, las técnicas de enseñanza, y los elementos de evaluación.

2. PRUEBAS DE INVESTIGACION.

En el devenir actual de supuesto avance y competitividad, la enseñanza de la ingeniería, en su aspecto práctico, principalmente, debe contemplar un concepto que está muy en boga, y que, ciertamente, es muy importante, el de la tecnología. Pero no es tanto hablando de modernizar los programas, haciendo uso de una tecnología anacrónica y obsoleta, sino por el contrario, el de hacer uso de una tecnología moderna y vigorosa, y si es posible, de vanguardia.

Una educación en base a esta tecnología, debe ser, pues, parte medular de la formación educativa de cada estudiante, y debe de estar contemplada, a su vez, dentro de cada programa, dependiendo de cada área de estudio, en este caso, dentro de cada programa del área eléctrica.

Dentro de los programas del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica están contempladas una cantidad considerable de prácticas de máquinas eléctricas (además de prácticas de potencia y protección), las cuales se han llevado a efecto para, según, reforzar y/o cubrir los aspectos teóricos vistos en clase, sin embargo, como se vió en el capítulo anterior, poco o nada han cambiado estas prácticas en años y se ha visto necesario actualizarlas, cambiarlas o quitarlas. Por tal motivo, nos dimos a la tarea de recabar información, con una cantidad considerable de empresas, que pudiesen también tener el equipo para realizarlas, por si posteriormente se desease adquirir éste. El trabajo fue arduo y de mucha investigación, de visitas a estas compañías, de contactar gente, de solicitarles folletos, demos y demás; pero lo más pesado vino después, al resumir y clasificar toda esa información, de manera que se pudiese incluir en este trabajo (capítulo).

Así pues, en las tablas que a continuación se presentan, están mencionadas las pruebas y/o los equipos, que se pudiesen, en un momento dado, implementar en nuestro laboratorio, además de, las compañías que los manufacturan y el modelo respectivo (si lo tienen).

A pesar de que nuestra finalidad primordial era recabar información exclusivamente sobre el área eléctrica y específicamente sobre máquinas eléctricas rotatorias, obtuvimos infinidad de ésta sobre el área en cuestión como:

- Carga
- Circuitos de control/contactores
- Construcción y verificación de máquinas eléctricas rotatorias
- Construcción y verificación de transformadores
- Control de máquinas eléctricas (salvo por contactores)
- Control mediante PLC
- Electrónica de potencia
- Fallas
- Generación
- Instalaciones
- Máquinas de CA (+)
- Máquinas de CD (+)
- Máquinas especiales (+)
- Protección
- Redes y sistemas
- Sistemas de adquisición de datos/registro de curvas/mediciones computarizadas/...
- Transformadores
- Transmisión
- Utilización

y sobre la ingeniería mecánica y eléctrica, y computación, en todos sus tipos.

Lamentablemente, era punto menos que imposible desplegar toda esta información en esta tesis (sección), y por lo cual, se hizo pues una selección, suscribiéndonos sucintamente a las máquinas eléctricas rotatorias y a sus prácticas y/o pruebas (+).

No obstante, se elaboraron tablas de esta información no utilizada, las cuales están a disposición de quien las quiera consultar, poniéndose en contacto con los alumnos que suscriben esta tesis.

Al final de este trabajo, en el Apéndice, se hace mención de las referencias sobre personas y/o compañías, para que el(los) interesado(s) se ponga(n) en contacto con ellas, además de la bibliografía sobre los folletos mediante los cuales se elaboraron estas tablas.

Pero retomando lo ya mencionado al principio, el que la educación debe de basarse en la tecnología actual, hemos de enfatizar además, que ésta debe de estar contemplada dentro de unos programas bien estructurados, donde no se involucre la tecnología, sin ton ni son, de manera que se trate de una simple compra de equipo sofisticado, sino que se vaya más allá, apoyándose en esta tecnología para tener una educación más moderna para los estudiantes (en base a, sistemas de entrenamiento técnico, software educativo, computadoras, sistemas interactivos y demás) pero sólo como soporte y no como fin. De manera que los alumnos desarrollen su propia inventiva, en base a esta infraestructura, que los lleve a desarrollar, a la larga, nueva tecnología, poco a poco, en un círculo que cumpla dos cosas muy importantes; la educación profesional del alumno y el de la eventual sustitución de tecnología importada.

Sin embargo, es necesario dejar bien claro, que a nuestro modo de ver, la enseñanza de la ingeniería en la facultad y muy especialmente en nuestra área debe de dejar de impartirse exclusivamente, en base a pruebas de equipo eléctrico, en el mayor de los casos, y en base a pruebas y/o prácticas de potencia y protección, dado que este no va muy acorde con nuestra filosofía de modernidad y desarrollo. En los capítulos subsecuentes (4 y 5) damos los fundamentos a tales aseveraciones, y esperamos sean, sino aceptados, sí, por lo menos, comprendidos. Mientras tanto, digamos como justificación, a este nuestro trabajo, que son pruebas "muy importantes" que de una u otra forma pueden llevarse a cabo en la escuela, ya sea, si así se juzga conveniente, como pruebas de programa o como pruebas de apoyo a la pequeña industria (capítulo siguiente (3)), en una manera de ob

tener ingresos para la facultad, además de la manera de dar de alta a nuestro laboratorio como laboratorio acreditado de pruebas de máquinas eléctricas rotatorias.

Así pues, pasemos al desglose de las tablas ya mencionadas y al desglose de una más, de la cual hacemos mención ahora. Se trata de una tabla comparativa de las compañías que manufacturan los equipos con los cuales es posible realizar tales pruebas, en cuanto a ver cuál de éstas es mejor en tal o cual aspecto, y que sirva como referencia para inclinarse por tal o cual equipo; sin embargo, hemos de decir que las clasificaciones mencionadas y las calificaciones dadas, son muy subjetivas y pueden dar lugar a controversias, interpretaciones y puntos de vista diferentes, así pues, tómesese como nuestro punto de vista, simple y llanamente.

NOTA: Al final del capítulo vienen fotografías de algunos de estos equipos, los que se consideraron más representativos, significativos, importantes, demostrativos, etc. En ellos se trataron de plasmar también la mayoría de las diferentes compañías manufactureras y sus principales líneas de investigación y/o enseñanza. Esperamos haber acertado en la elección.

- (+) - CALIFICACIONES: (E) - EXCELENTE
 (MB) - MUY BUEN(O)(A)
 (B) - BUEN(O)(A)
 (R) - REGULAR
 (M) - MAL(O)(A)
 (P) - PESIMO

SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TÉCNICO

Cursos técnicos - Compañía Manufacturera	De Lengua	Extrínseca	Edición	Escritura Versa	Fondos	Lab. V&E	Leyshol' Dalanc	Luzes M&E	TQ
1. Metodología (material de entrenamiento)	R	F	E	E	R	E	E	E	MB
2. Calidad	R	R	B	E	MB	E	E	MB	B
3. Precisión	B	R	B	E	MB	E	E	MB	B
4. Precisión en entrega (de equipos y materiales)	R	R	R	R	R	E	R	R	R
5. Aplicación para estudio de casos (estructura y flujo)				E		B			
6. Cuantificación (Apogeo gráfico en español y en inglés, manual de instrucciones)	MB	MB	MB	E	P	B	P	E	P
7. Curso de capacitación y apoyo en el campo de trabajo				E	E	B			
8. Calidad de entrega (revisión)	R		B	E	B	E	E	E	B
9. Revisión de entrega (revisión)	M	M	E	B	B	E	B	B	B
10. Metodología de entrega (revisión) (revisión) (revisión) (revisión) (revisión)			E	E	MB		MB	MB	
11. Metodología de entrega (revisión) (revisión) (revisión) (revisión) (revisión)	R	MB	MB	E	B	E	E	E	B
12. Precisión de la programación	D	MB	MB	E	MB	E	E	E	MB
13. Precisión de la programación	B	R	MB	E	MB	E	E	E	B
14. Precisión de la programación	MB								
15. Metodología de entrega (revisión) (revisión) (revisión) (revisión) (revisión)	MB	M	R	E	B	MB	R	E	MB
16. Metodología de entrega (revisión) (revisión) (revisión) (revisión) (revisión)									

* En Anexo de Metodología (Anexo A)

Parte D							
Constitución americana							/
Serie de unidades							/
Sistema de la firma de rúbrica							/
Adición de Framer							/
Módulo electrónico de control de emisiones de CO de vehículos				TR-SIAN DRIVE			
El motor y alternador				S.M. SIVAK			
El motor y alternador, Parte I						801	
El motor y alternador, Parte II						/	
El motor y alternador, Parte III						/	
Máquina motopulsadora como blower y generador							EMS 104
Carter "V" de Motor del motor y alternador		LAB. MICRO LAB					
Características eléctricas de los cables del motor y alternador		/					
Ferros de CD de un motor de inducción						E.A. SERIE 1AW	
Ferros de inducción						EMT 101A	
Características del factor de potencia de un motor de inducción						/	
Cambio de la velocidad de un motor de inducción						/	
Completa descripción de un motor de inducción de tres polos							
Módulo (regulador) de la velocidad		LAB. MICRO LAB					
Efecto de la velocidad sobre el torque de un motor de inducción de tres polos		/					
Motor de inducción de CA en serie						EMT 101	
Características de un motor de inducción de tres polos						E.A. SERIE 1AW	
Modo de operación de un motor de inducción de tres polos						/	
El motor de inducción de fase dividida, Parte I						801/802	
El motor de inducción de fase dividida, Parte II						/	
El motor de inducción de fase dividida, Parte III						/	
El motor de inducción de fase dividida, Parte I						801	
El motor de inducción de fase dividida, Parte II						/	
El motor de inducción de fase dividida, Parte III						/	
Motor de polos salientes						EMT 101A	
Pruebas del motor de polos salientes							
Módulo de la resistencia de la derivación en un motor de polos salientes				S.M. SIVAK			
Prueba en vacío				/			
Prueba en carga				/			
Diagrama circular y características de funcionamiento del motor				/			
Determinación de la constante de tiempo en un motor de polos salientes				/			
Motor de polo saliente							
Características de un motor de polos salientes de un motor de polos salientes							
Características de un motor de polos salientes de un motor de polos salientes							
Características de un motor de polos salientes de un motor de polos salientes							EMS 104
Características de un motor de polos salientes de un motor de polos salientes						/	
Características de un motor de polos salientes de un motor de polos salientes						/	

Máquinas de CA									
Módulo universal									
Conexión, arranque, inversión de marcha, chequeo de los datos de placa especificados para conexiones de CD y CA								EMS 10.3	
Características de carga a 1, 2, 3, 4 y 5 ϕ para conexiones de CD y CA								✓	
Características de carga a 1 ϕ y 3 ϕ para conexiones de CD y CA								✓	
Ajuste de velocidad mediante el cambio de carga para conexión de CD								✓	
MOTORES DE CORRIENTE ALTERNAS									
Módulo universal									
Conexión y cambio del sentido de giro del motor universal									EEM 3A / 1
Curvas características de carga y conexión a la corriente alterna del motor universal									EEM 3A / 2
Curvas características de carga y conexión a la corriente alterna del motor universal									EEM 3A / 3
Curvas características del régimen de velocidad en corriente alterna del motor universal									EEM 3A / 4
Curvas características del régimen de velocidad en corriente alterna del motor universal									EEM 3A / 5
El módulo universal							S M SEC / COMB		
El módulo universal, Parte I								2021 - 2011	
El módulo universal, Parte II								✓	
Módulo de regulación									
Conexión, arranque, inversión de marcha, chequeo de los datos de placa especificados								EMS 10.3	
Características de carga a 1, 2, 3, 4 y 5 ϕ para conexiones de CA								✓	
Características de carga a 1 ϕ y 3 ϕ para conexiones de CA								✓	
Características de carga a 1 ϕ y 3 ϕ para conexiones de CA								✓	
Módulo de regulación									
Conexión y ajuste de las curvas de regulación									EEM 3B / 1
Curvas características de carga del motor de regulación									EEM 3B / 2
Módulo en conexión de CA de regulación							EMT 10:		
El módulo en conexión de regulación							S M SEC / COMB		
Módulo de regulación de funcionamiento con ajuste en el arranque								A E SERIE 02 AN	
Módulo en conexión con las curvas de regulación									
Conexión y cambio del sentido de giro del motor universal de corriente alterna con la velocidad de arranque									EEM 3C / 1
Curvas características de carga del motor universal de corriente alterna con la velocidad de arranque									EEM 3C / 2
Módulo en conexión con las curvas de regulación y de arranque									
Conexión y cambio del sentido de giro del motor universal de corriente alterna con la velocidad de arranque y de servicio									EEM 3D / 1
Curvas características de carga del motor universal de corriente alterna con la velocidad de arranque y de servicio									EEM 3D / 2
Curvas características del género de la velocidad en corriente alterna con la velocidad de arranque y de servicio									EEM 3D / 3

LOSADH AUXILIAR DE ENTRENAMIENTO A BAJA VELOCIDAD PARA SISTEMAS ELECTRICOS Y MAGNETICOS								
Parte A								
General de C.A.								
Generación de voltajes mediante bobina giratoria							LOSADH	
Dependencia del voltaje inducido y la intensidad de campo								✓
Dependencia del voltaje inducido y la velocidad de rotación								✓
Dependencia de la frecuencia y la velocidad de rotación								✓
Efecto de parámetros sobre la forma de onda								✓
Generadores en fase y en oposición								✓
Carga en un generador								✓
Valores efectivos (RMS)								✓
Constante de fase en corriente C.F.								✓
Curva de características y de regulación del generador en un sistema de potencia								
Bobbie Luchenburg a River								1431, 1432, 1433, 1434
Estabilización de la tensión del alternador								✓
Determinación del plano de onda								SIN SER / COMP
El alternador trifásico								✓
El alternador trifásico en carga (obtusos, inductivos, capacitivos)								✓
Conexión en paralelo de dos alternadores								✓
Impedancia de un alternador trifásico								E. A. SERIE 2 VM
Reactiva de eje directo y en cuadratura de una máquina síncrona								✓
Reactiva transmitida y absorción en un alternador síncrono								✓
Conexión y ajuste de tensión del motor trifásico en un banco general								EEM SB 3 - 6A 5
Curvas características de carga del motor trifásico en un banco general								EEM SB 3 - 6A 6
Sincronización a la red con un motor trifásico y ajuste del motor trifásico en un banco general								EEM SB 7 - 6A 7
Sincronización a la red con un motor trifásico y medición de la potencia activa y reactiva								EEM SB 8 - 6A 8
Medición de la potencia activa y reactiva del motor trifásico en un banco general								EEM SB 8 - 6A 8
Máquina síncrona SP (motor de potencia), Máquina síncrona SC (motor de potencia) en un banco general y trifásico								
Conexión								EEM 10 5
Circuitos de sincronización por lámpara, lámpara oscilante y lámpara de lámpara oscilante								✓
Circuitos de sincronización con un medidor de frecuencia y un medidor de voltaje RMS y medidor de voltaje seno								✓
Características de carga $I_a = I_L$ y características de corriente $I_a = I_L$								✓
Características de carga $I_a = I_L$, S=10								✓
Características de carga de corriente $I_a = I_L$								✓
Máquina multifásica en un banco general y trifásico								EEM 10 4
General de máquinas								E. A. SERIE 2 VM
General de máquinas								
General de máquinas								1441, 1442

MAQUINAS DE C. D.							
MAQUINA A CORRIENTE CONTINUA							
Existencia de las bobinas	LAB. MICROLAB						
Pérdida mecánica y en el hierro	✓						
Rendimiento comercial	✓						
Características de magneto, etc., corriente y de regulación para las generadoras	✓						
Características electro-mecánicas con prueba directa para las máquinas	✓						
Módulos y máquinas eléctricas							
Determinación de las características de las máquinas de corriente continua					57 ELECTRO		
Pruebas de máquinas de CC							
Cálculo de la eficiencia de la máquina					54 POWER		
Características de regulación con excitación separada					✓		
Características exactas para excitación en derivación, excitación separada y excitación compuesta					✓		
Características de regulación para excitación en derivación, excitación separada y excitación compuesta					✓		
Determinación de las pérdidas mecánicas y de las pérdidas en el hierro de la máquina como motor					✓		
Cálculo de la eficiencia de la máquina con el método de motor					✓		
Pruebas de la máquina como motor							
La máquina funciona en modo motor para medir la potencia mecánica de la máquina en cualquier punto. Además, se la puede operar a todas las velocidades de las máquinas de corriente continua					✓		
MÁQUINAS DE C. D.							
Máquina de CD							
Módulo generador y motor de par						2061	
Pruebas de corriente directa, Parte I						✓	
Pruebas de corriente directa, Parte II						✓	
Pruebas del arranque del motor en vacío con fuente de fuerza	ECONOMIZADOR						
Fuerza sobre un conductor por tiempo y corriente							LOGANITH
Flujo de la fuerza y en la intensidad de la corriente							✓
Efectos de la fuerza conectada en vacío a una velocidad de motor							✓
Dependencia de la velocidad del motor y la intensidad de campo, además de la fuerza de campo							✓
EXPERIMENTOS AVANZADOS, SERIE 2144							
Pérdida por momento de inercia de un motor de C.D.						E A. SERIE 2144	
Pruebas de un motor de CD						✓	
Máquina de CD							
Máquina de dos ejes en derivación de motor							
Módulo de CD de dos ejes en derivación							
Construcción, arranque, inversión de marcha, chequeo de los datos de placa y otros. Pruebas, arranque de velocidad							
Influencia del devanado de excitación (en 0.1 1%)							ENS 107
Influencia de los devanados de excitación en el momento de arranque (0.1 1%)							✓
Características de campo α , β , γ , ρ , ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4							✓

Máquina de devanado compuesto con:							
Máquina de CD de devanado compuesto							
Conexión, arranque, inversión de marcha, chequeo de la dirección de la placa especificada, arranque de emergencia							
Influencia del devanado de excitación (en 0.1 MW)						EM 10.2	
Influencia de la devanado de excitación y compuestos en 1.0 MW						/	
Características de carga n (I_a , q , P_a , f_a , ω)						/	
a) Para compuestos normal						/	
b) Para compuestos parcial						/	
Características de corriente de excitación de velocidad n (ω) y características de voltaje de armadura de velocidad n (ω)						/	
Características de par de velocidad n (ω)						/	
a) Para diferentes voltajes de armadura						/	
b) Para diferentes tensiones de armadura en serie						/	
Características de velocidad de par M (ω)						/	
Características de carga						/	
a) Para diferentes voltajes de armadura						/	
b) Para diferentes tensiones de armadura en serie						/	
a) Para compuestos parcial						/	
Máquinas especiales de corriente continua							
Conexión y arranque de las máquinas especiales. Funcionamiento normal							EM 20.1
Cambio del sentido de giro de las máquinas especiales. Funcionamiento normal							EM 20.2
Control de número de revoluciones de las máquinas especiales. Funcionamiento normal							EM 20.3
Características de carga de las máquinas especiales. Funcionamiento normal							EM 20.4
El motor de CC con excitación compuesta, en derivación cruzada y en derivación larga directa					SM 20.1 - 20.4		
El motor de CC con excitación compuesta, en derivación cruzada y en derivación larga inversa					/		
El motor compuesta de CD						SM	
Máquina de CD multi devanado con:							
Máquina de CD de devanado compuesto						EM 10.2	
GENERADORES DE C. D.							
INSTRUCCIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS							
Generalidades					EM 10		
Generalidades de C. D.							
Acción normal							LEGADO
Generadores de una sola y múltiples máquinas							/
Generadores de una sola y múltiples máquinas							/
Reguladores							/
Carga en un generador de C. D.							/
SISTEMA MODULAR PARA MEDICIONES EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRACCION							
SISTEMA MODULAR PARA MEDICIONES EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRACCION							
MEDICIONES EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS							
El generador de CC con excitación independiente					SM 20.1 - 20.4		
Máquina de CD en derivación						EM 10	

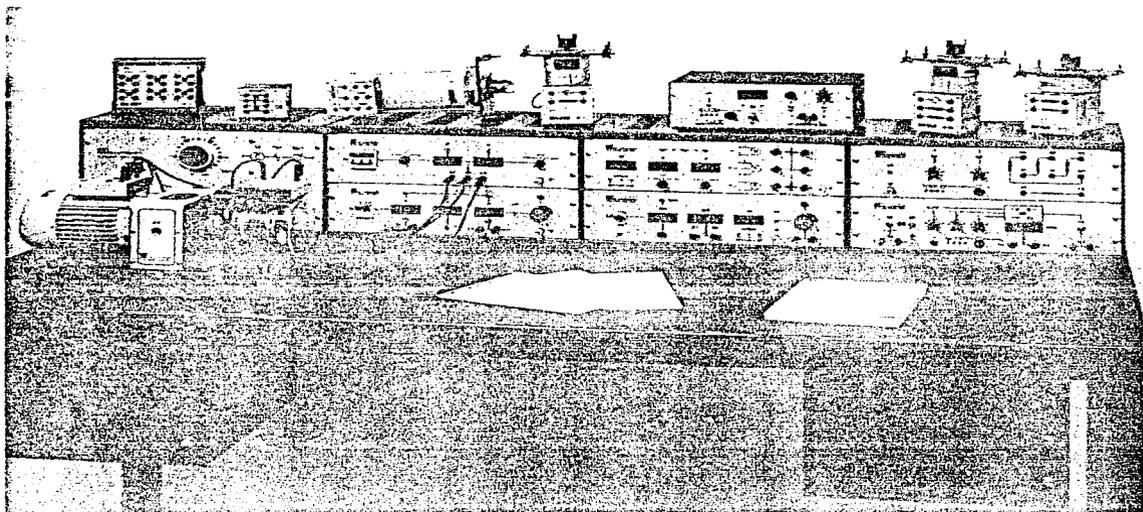
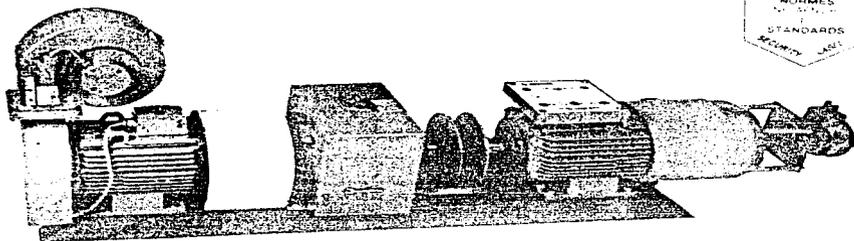


FIG. - LABORATORIO MICROLAB
(DE LORENZO)



LAB. SECURITY
NORMES
STANDARDS
SECURITY LAB.

FIG. - ECUMOTUVAR
(ECODIME)

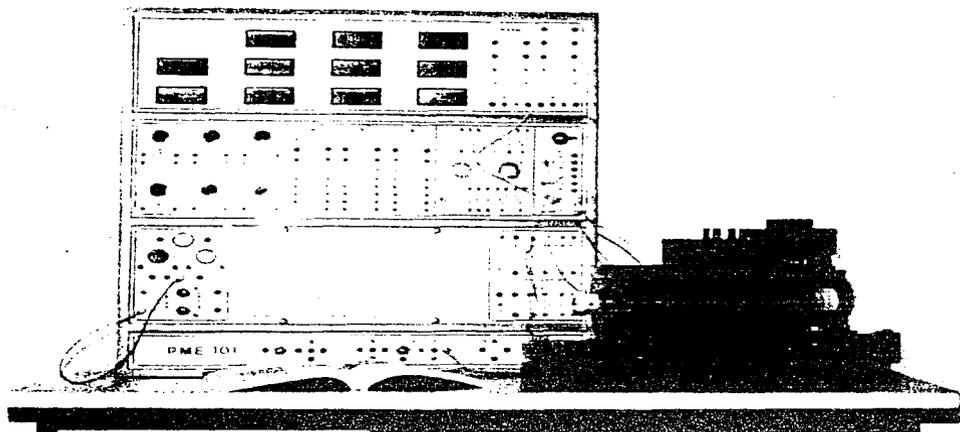


FIG - TE SCAN DEINE
(ELECTRONIC)

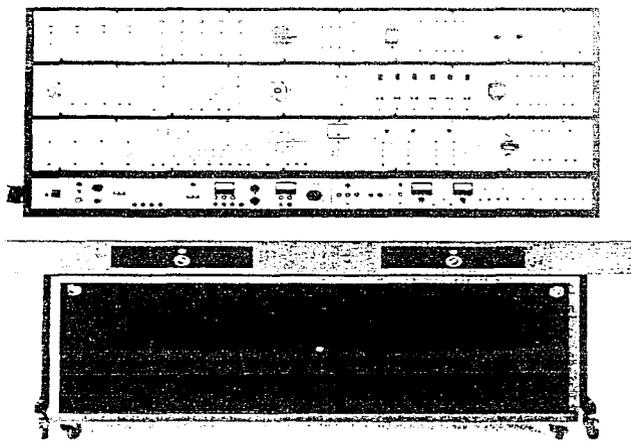


FIG - SOLUCION RENALEUTE DE ELECTROTECNIA
(ELECTRONICA VENETA)

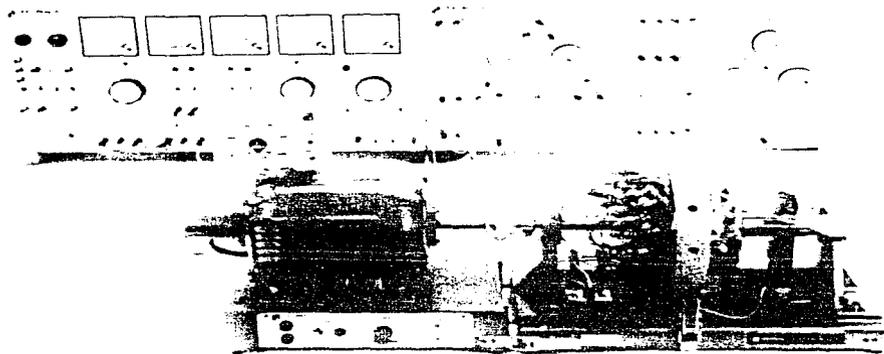


FIG. - EMT 180. RANGO DE LABORATORIOS DE MAQUINAS ELECTRICAS
(FEDERALE)

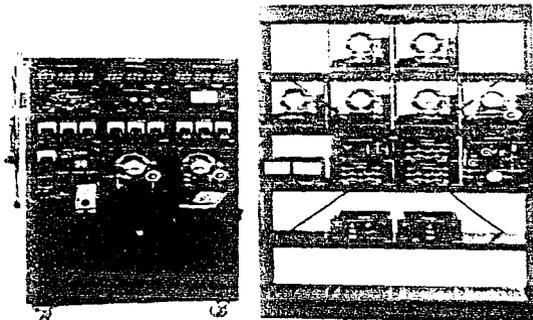


FIG. - MODELO 5001. SISTEMA ELEC-
TROMECANICO DE 0.2 KW
(245-500T)

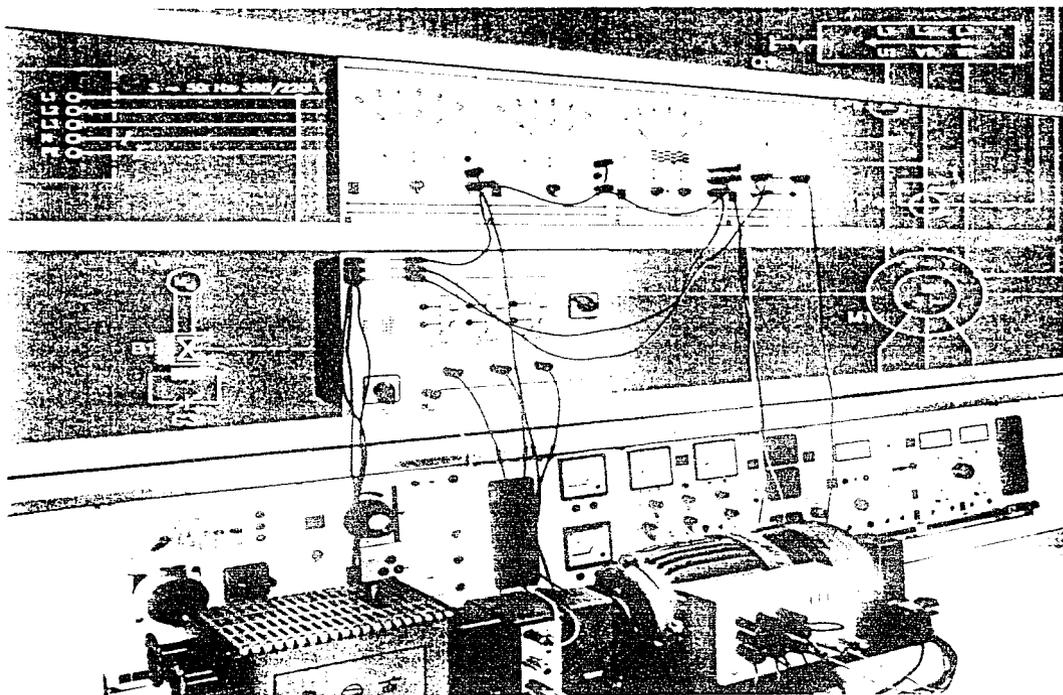


FIG. 1. EMS / TPE 10 MAGUINAS ELECTRICAS
DIRECCION DE ENSEÑANZA MAGUINAS ELECTRICAS
(LEYBOLD DIDACTIC)

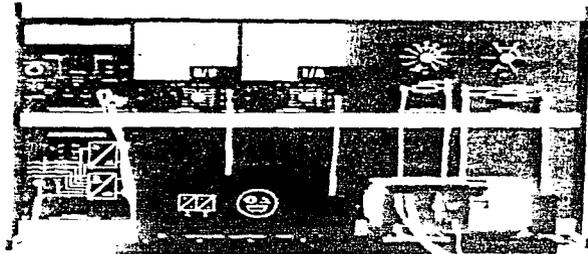


FIG. - EEMO MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA
(LOCAR MULLE)

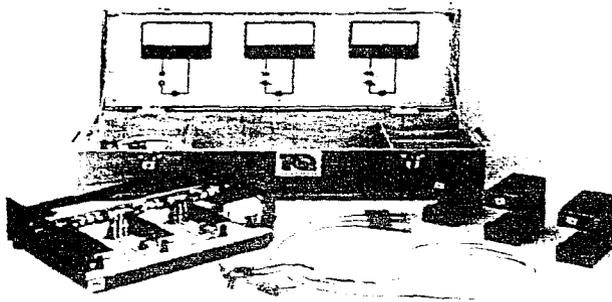


FIG. - LOSALDIL. AUXILIAL DE ENTRENAMIENTO
A BAJA VELOCIDAD PARA SISTEMAS
ELECTRICOS Y MAGNETICOS
(TR - TEQUIPMENT LIMITED.)

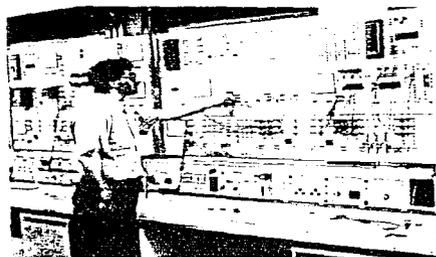


FIG. - TMS 11. INGENIERIA DE
 POTENCIA ELECTRICA
 (LEYBOLD.)

MaE10DNT

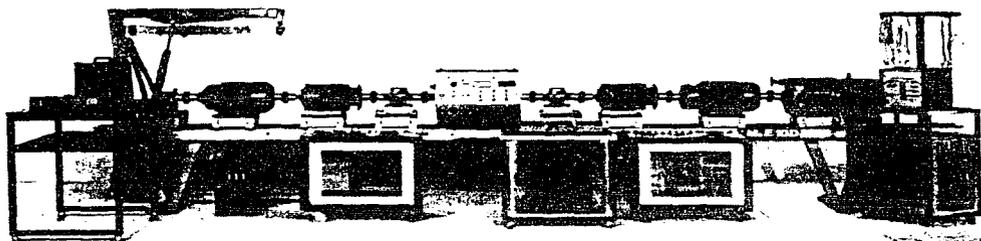


FIG. - Ma E10DNT - LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS
 (SISACTA IZQUIERDA)

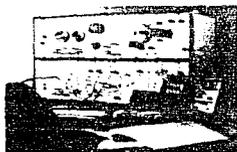


FIG. - SISTEMAS DE ENTI-
 NAMIENTO EN EN-
 TROL CA/CC 3EL-
 VO SINCRU
 (DEGEM > SYSTEMS)

3. PRUEBAS DE APOYO A LA PEQUEÑA INDUSTRIA.

En los tiempos actuales de globalización de la economía y com
petitividad, las universidades juegan un papel importantísimo,
pero ya no sólo como centros educativos formadores de profesio -
nistas, sino también como coadyuvadores de desarrollo y creado -
res de tecnología. Las escuelas de ingeniería deben hacer suyo
el reto de crear una base estudiantil comprometida y competente,
a la vez de formar ingenieros con profundas ideas innovadoras pa
ra que conformen bienes y servicios de calidad, pero ya no sólo
para beneficio de las empresas para las cuales trabajan, sino pa
ra beneficio de los centros de los cuales egresaron, ya que, de
esta manera se podrían obtener fondos para éstos (tan necesarios
y tan raquíuticos - en el caso de la UNAM -, muchas veces, produc
to de políticas caducas de formación profesional gratuita, malos
manejos, burocracia y exceso de personal inoperante).

Esto pudiera lograrse creando centros de diseño y desarrollo
tecnológico - algunos ya existentes -, que produzcan, principal-
mente, bienes de capital, mediante prototipos de máquinas, que
realicen labores específicas en las industrias, ya que no ten -
dría caso inmiscuirse en otros rubros, más eficientemente desa -
rrollados por la industria, gracias a su potencial económico, co
mo pudiera ser, la producción a granel.

Por otro lado, se pudieran crear también, centros de servi-
cio, como pudieran ser laboratorios de pruebas, encargados de
dar apoyo a la industria (principalmente pequeña), en cuanto a
resolver sus problemas de falta de infraestructura para realizar
pruebas. Estas pruebas pudieran ser desde el tipo de ingeniería
para corroborar los diseños desarrollados, o bien, de rutina pa
ra evaluar y mejorar la calidad de su manufactura. Además de que
se podrían realizar pruebas especiales según los requerimientos
de cada cliente.

Pero esto nos lleva a otro problema, a la necesidad de mejo -
rar el aspecto cualitativo de los bienes y servicios creados y
proporcionados, pero ya no sólo para suministro de un mercado na

cional - otrora cautivo, producto de políticas proteccionistas, estatistas, corruptas, absurdas, obsoletas y sin visos de desarrollo, que hundieron en el pasado al país, donde no importaba la calidad ni el mejoramiento progresivo de los productos y servicios, sino tan solo la venta indiscriminada de éstos, dada la casi nula competitividad exterior y la enviciada "competitividad" interior -, sino también para suministro de un mercado regional, altamente competitivo y exigente, como el de Estados Unidos y Canadá, y eventualmente el latinoamericano y mundial.

Esto nos lleva a su vez a la inminente configuración paulatina de una ingeniería global, que no es otra cosa más que la homologación de la ingeniería mexicana con su contraparte extranjera, para que se desarrolle todo de acuerdo a normas, estándares y especificaciones internacionales, forzando a su vez, a países como el nuestro no sólo a producir y a trabajar bien, si no también a respetar su propio entorno, en cuanto a propiciar un buen aprovechamiento de los recursos naturales, sin degradar los vilmente y a respetar el ambiente, polucionado en demasía; a la vez que fomentará el que se creen ingenieros más comprometidos con este fin, y más competentes a nivel mundial.

Bajo este aspecto, debemos valorar el carácter importantísimo de una buena normatividad, respetando las normas y siguiendo las fielmente, aunque sin menoscabar el intento de crear nuevas o mejorar las ya existentes.

Como parte de este trabajo de tesis nos hemos dado a la tarea de esbozar los requerimientos necesarios para la normalización y acreditación del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la F.I. de la U.N.A.M., como laboratorio de pruebas - de máquinas eléctricas-, ante los organismos competentes.

Pero para esto, es necesario conocer que pruebas requiere la pequeña industria y enfocarse a ellas, viendo que pruebas de esas puede efectuar el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, en base a normas y a su potencial instalado.

Antes de proceder a desglosar las pruebas posibles de reali-

zar en el laboratorio, es necesario explicar lo más claramente posible como se puede lograr el acreditamiento, siendo a su vez necesario adentrarse en el conocimiento de los sistemas de acreditamiento y normalización, para llevar a buen fin nuestros objetivos.

Primero que nada, el control de la calidad para cualquier proceso industrial implica una responsabilidad muy grande y se apoya, generalmente, en las normas y especificaciones que han sido establecidas por los organismos nacionales, e internacionales que las investigan y desarrollan. Una vez conseguida la calidad estipulada de esta forma, el siguiente paso es su demostración, es decir, comprobar que existe, y más aun, que se mantiene uniforme.

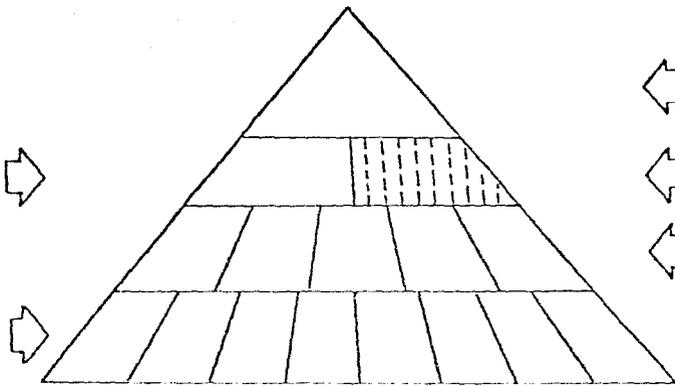
Para ello es necesario establecer un Sistema de Aseguramiento de Calidad, a través del cual se efectúen los controles adecuados y las pruebas de verificación correspondientes. Así mismo, para que los trabajos de control y verificación den resultados confiables es indispensable que exista uniformidad en los criterios aplicados por los laboratorios que se dedican a la ejecución misma de las pruebas.

Para lograr esta homogeneidad en los criterios universales, han sido creados diversos sistemas susceptibles de captar y procesar información y que han arrojado resultados adaptables a muchas circunstancias.

Estos sistemas han adoptado como marco de referencia, un modelo que consiste en una estructura de directrices en orden jerárquico, tal como se muestra en la Fig 1.

CRITERIOS TECNICOS
 GENERALES ENTRE
 LOS CUALES SE EVA-
 LUA LA COMPETENCIA
 DE UN LABORATORIO
 DE PRUEBAS.

CRITERIOS ESPE-
 CIFICOS POR ME-
 TODO DE PRUEBA,
 PUNTOS CLAVE PA-
 RA SU CUMPLIMIENTO.



DIRECTRICES CONSILIALES
 PARA UN SISTEMA DE
 ACREDITAMIENTO DE
 LABORATORIOS.

DIRECTRICES GENERALES
 PARA LOS ADMINISTRA-
 DORES DEL SISTEMA.

DEFINICION DE LOS
 CAMPOS DE PRUEBA
 POR DISCIPLINAS U
 OTRAS CATEGORIAS.

DIRECTRICES PARA
 LOS EVALUADORES.

FIG 1.- MODELO DE ACREDITAMIENTO DE LA BORATORIOS

Con este esquema y con base en el Plan Nacional de Desarrollo Industrial se creó en México, desde 1980, el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (SINALP) como un mecanismo que integra la participación de los sectores Público y Privado, que busca la implantación de criterios de operación universales que garanticen la confiabilidad de los resultados de las pruebas efectuadas en los Laboratorios de nuestro país.

De este modo, aquellos laboratorios capaces de cumplir con los requisitos de operación establecidos por el SINALP serán Acreditados (Reconocidos Oficialmente). Este sistema está integrado por la Dirección General de Normas como Unidad Rectora; los Comités de Acreditamiento, con su Padrón de Evaluadores, como unidad evaluadora y los laboratorios acreditados.

COMPARACION DE SISTEMAS DE ACREDITAMIENTO

SISTEMAS DE ACREDITAMIENTO

Un sistema de Acreditamiento puede considerarse como una estructura de reglas, procedimientos y bases que gobiernan las Funciones de un Organismo Acreditador.

La figura 1 presenta un modelo de acreditamiento de laboratorios.

El Sistema es de naturaleza autónoma pero está auspiciado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, donde está adscrito a la D.G.N. quien lo coordina a través de la oficina de Acreditamiento de Laboratorios del Departamento de Control de Calidad.

MARCO LEGAL

El SINALP fue establecido por Decreto Presidencial el 21 de Abril de 1980, y sus bases de operación aparecieron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 6 de Octubre del mismo año.⁺

Los laboratorios que cubran los requisitos indicados por el SINALP a través de sus Comités Técnicos pueden ser acreditados y reciben un Certificado otorgado por la D.G.N., en donde se manifiesta un reconocimiento Oficial de Acreditamiento, dicho de

otro modo, se hace del conocimiento del público, la aceptación formal y legal acerca de la competencia del servicio, ya que el reconocimiento se otorga exclusivamente a aquellos laboratorios que cumplen con una serie predeterminada de requisitos de: Organización, Personal, Equipo, Calibración, Control interno de Calidad y Seguridad. Debe pasar una evaluación inicial y una serie de evaluaciones periódicas que demuestren la continuidad de su competencia.

Es interesante señalar que los laboratorios acreditados por este Sistema pueden recibir reconocimiento a niveles Nacionales e Internacionales.

+ Si se desea conocer el contenido de estos documentos, se puede solicitar copia a la D.G.N. en la Oficina de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas (Puente de Tecamachalco No. 6, 2º Piso).

DESCRIPCION DEL SINALP

En México el Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Pruebas desarrolla sus actividades como apoyo gubernamental en programas concretos de desarrollo tecnológico en diferentes ramas. Su organización está diseñada para que se unifiquen criterios y modos de operación de los diversos laboratorios del país. Emplea la asesoría de conjuntos de expertos quienes conforman los Comités de Normalización de laboratorios en cuyas reuniones se desarrollan las bases técnicas para la homologación y se designan a las personas que actuarán como evaluadores, quienes realizarán la función específica de evaluar el laboratorio solicitante por medio de visitas que se efectúan en sus instalaciones de prueba en las entidades que voluntariamente efectuaron los trámites necesarios para solicitar su acreditamiento.

En base a los informes escritos por los evaluadores, el laboratorio recibe asesoría y asistencia técnica, por lo cual se le dan sugerencias para efectuar correcciones; al final del proceso de evaluación, los Comités elaboran un dictamen favorable

ble o desfavorable que es turnado a la D.G.N. para que se otorgue, si así procede, el acreditamiento. Toda la información correspondiente al laboratorio durante el proceso se maneja con carácter absolutamente confidencial.

El SINALP es un medio ideal para que los fabricantes, distribuidores y consumidores en general puedan identificar con suma facilidad aquellos laboratorios capaces y confiables, a los cuales puedan acudir para cubrir sus necesidades de pruebas.

Actualmente operan comités de expertos que asesoran a la Dirección General de Normas en la evaluación de laboratorios en las siguientes ramas específicas:

1. Construcción.
2. Eléctrica y Electrónica.
3. Metal-Mecánica.
4. Textil y del Vestido.
5. Alimentaria.
6. Química.
7. Envase y Embalaje.
8. Metrología.

Los laboratorios reciben acreditamiento para ejecutar pruebas específicas o grupos de Pruebas señalados por los Comités de cada Rama.

Los laboratorios podrán solicitar acreditamiento para una sola prueba o para varias, y estar incluidos en un solo campo de pruebas o abarcar varios.

El SINALP clasifica los siguientes campos de pruebas, de medición y de calibración dentro de sus actividades de acreditamiento:

1. Mediciones de acústica y vibración.
2. Pruebas biológicas.
3. Pruebas químicas.
4. Pruebas eléctricas.
5. Medición de calor y temperatura.
6. Pruebas mecánicas.

7. Metrología.

8. Pruebas no destructivas.

9. Fotometría y ópticas.

REPRESENTANTE AUTORIZADO

El representante autorizado es la persona nombrada por un laboratorio acreditado, para representarlo en todos los asuntos relacionados con el acreditamiento, y en esos términos, es el enlace entre el Comité y el laboratorio.

El término "representante autorizado" no se debe confundir con el término "signatario autorizado" es decir, "firma autorizada o aprobada".

SIGNATARIO AUTORIZADO

El signatario autorizado es una persona responsable del área de pruebas que ha sido propuesta por el laboratorio y autorizada por el Comité para firmar los informes de pruebas producidos por un laboratorio acreditado y endosar los documentos. Pueden ser autorizados varios signatarios, los que se comprometen a cumplir cotidianamente con los requisitos del SINALP.

AMECALPAC - ASOCIACION MEXICANA DE COMITES DE ACREDITAMIENTO DE LABORATORIOS DE PRUEBAS, A.C.

Esta asociación es un conjunto integrado por los Comités de Acreditamiento y está representado por un miembro de cada comité, elegido para tal efecto, como lo marcan los estatutos de la misma.

El objetivo de esta asociación, es servir de apoyo al SINALP (Sistema Nacional de Acreditamiento de Laboratorios de Prueba) y administrar los ingresos y egresos de los Comités de Normalización de Laboratorios de Pruebas que se encuentran integrados. Por lo tanto, maneja el aspecto económico relacionado con los costos de las evaluaciones y los estados de cuenta de Acreditamientos y todos los gastos relativos al mismo.

PROCESO DE ACREDITAMIENTO

FORMAS PARA SOLICITUD

Las formas para solicitud de registro de acreditamiento, son proporcionadas por la Oficina de Acreditamiento de Laboratorios de la Dirección General de Normas. Una vez llenada en original y 3 copias; se distribuye como sigue:

- Una copia al solicitante.
- Una al Comité.
- Una para AMECALPAC.
- La original para la Oficina de Acreditamiento de Laboratorios.

SOLICITUD

A grandes rasgos, lo que puede contemplar una solicitud, ya que pueden haber variaciones, es lo siguiente:

- Datos Generales; incluyendo rama industrial en la que se solicita el acreditamiento (en este caso, Eléctrica y Electrónica), además de, campo(s) de prueba(s) en los que se solicita el acreditamiento (en este caso, Pruebas eléctricas), y una descripción sintética de las actividades globales del laboratorio, indicando giro y área de influencia.
- Organización; incluyendo si el laboratorio cuenta con Manuales de Organización y Procedimientos, y revisiones a ellos.
- Personal; incluyendo relación de signatarios autorizados y personal técnico del laboratorio.
- Capacitación; incluyendo si el laboratorio cuenta con Programas de Adiestramiento y Capacitación, Sistemas de revisión sistemática de la capacitación y Registros de capacitación del personal.
- Pruebas en las que se solicita el acreditamiento; incluyendo pruebas que se desean efectuar (en nuestro caso, se verán más adelante) y la norma o metodología a utilizar; si es posible, indicándose la cantidad aproximada de pruebas que se realizarían por día y por mes.
- Equipo, incluyendo si existen en el laboratorio Manuales y Registros de Operación y Mantenimiento (Preventivo y Correctivo) además de, Registros de Calibraciones efectuadas.

- Condiciones ambientales del laboratorio; incluyendo condiciones adecuadas en cuanto a distintas variables, tales como: temperatura, humedad, vibraciones, control de polvos, ruido, etc.
- Archivo de documentos; incluyendo si en el laboratorio existen formas de registro, informes de resultados, inventario de materiales y equipo.
- Información y/o documentación adicional.

CUOTAS

Las cuotas aportadas por el laboratorio solicitante cubren los siguientes conceptos:

- Derechos de acreditamiento pagaderos en la Tesorería de la Federación, según el artículo _____ del Decreto del _____
- Cuotas por concepto de evaluaciones (iniciales y periódicas) cuyo valor es determinado por el Comité y son cubiertas a la AMECALPAC, mediante el procedimiento descrito en el Boletín SINALP No. 2 / 82.

PROCEDIMIENTO PARA SOLICITAR REGISTRO Y ACREDITAMIENTO

Como ya se vió, cada solicitud de registro de laboratorio está acompañada de un cuestionario con la información sobre personal, organización, equipo y distribución del Laboratorio, la que una vez recibida por la Dirección General de Normas, es enviada en forma abreviada para su trámite de evaluación, al Comité de la rama específica, a fin de poder realizar una selección apropiada de el o los evaluadores de acuerdo con las pruebas que ese laboratorio realice y disponer de una apreciación preliminar de la organización y trabajo del mismo, antes que ellos lo visiten.

El Comité asignará el o los evaluadores que visitarán al Laboratorio solicitante, previa conformidad de dicho laboratorio y se determinará una fecha para la realización de la visita de conformidad con los requisitos para registro definidos en el capítulo tercero de las bases de operación del SINALP, bases específicas del Comité y la Guía ISO-25.

Las etapas más significativas de este procedimiento son la

comprobación de las calificaciones y experiencia técnica de los miembros del personal, de acuerdo al rango, precisión y dificultad del trabajo ejecutado y evaluar la operación del laboratorio con respecto a los métodos de pruebas utilizados, datos relevantes sobre calibración y mantenimiento de equipo, informes de resultados y aspectos de organización en general.

ORDEN DE EVALUACION

La D.G.N. se asegura que la evaluación de un laboratorio solicitante sea conducida bajo condiciones que sean aceptables por el mismo laboratorio.

Los evaluadores que visitan el laboratorio, son seleccionados de un equipo de especialistas en el tipo de trabajo que ahí se realiza.

La selección se hace después de considerar las relaciones industriales, comerciales o profesionales que existen entre el Evaluador y el personal del laboratorio solicitante.

A cada Evaluador se le invita a participar en la evaluación específica y puede declinar cualquier invitación que considere inaceptable. Finalmente, al representante autorizado del laboratorio se le proporciona, antes de la visita, el nombre del Evaluador visitante y sus antecedentes para que después de consultar con sus superiores pueda ejercer la visita inmediatamente o solicitar la sustitución de alguno o todos los Evaluadores nombrados originalmente.

El horario y fecha de visita de evaluación se fija por acuerdo entre los Evaluadores y el representante autorizado.

Los Evaluadores pueden utilizar un día por laboratorio, pero hay laboratorios en los que el amplio rango de trabajo o la complejidad de las pruebas es tal, que puede emplear mayor tiempo para su evaluación.

Los Evaluadores generalmente hacen una estimación del tiempo requerido para cada visita, y con objeto de agilizarla, indican al representante autorizado del laboratorio en cuestión, los datos y documentos, que en especial, deberá tener disponibles du-

rante la visita.

EVALUACION

Es siempre esencial que el o los signatarios autorizados propuestos por el laboratorio sean facultados por sus superiores para discutir los asuntos que surjan durante todo el tiempo que permanezcan los Evaluadores en el laboratorio.

Es deseable que cada Jefe de Área del laboratorio también sea autorizado para informar durante el tiempo en que los Evaluadores estén discutiendo el trabajo de esa Área específica del laboratorio.

Los Evaluadores pueden solicitar y presenciar la ejecución o demostración de varias de las pruebas que el laboratorio desea acreditar y revisar el funcionamiento de los aparatos para pruebas específicas, a fin de juzgar la capacidad del equipo en ciertas circunstancias. Al representante autorizado le será solicitado proporcionar evidencia sobre los registros de pruebas anteriores efectuadas en el laboratorio y comprobar la coincidencia de los resultados; también, si es el caso, el Evaluador podrá pedir la comprobación de pruebas sobre muestras o la intercomparación de equipos.

CALIBRACION DE EQUIPO

Uno de los principales requisitos para registro, es el equipo de medición de laboratorio que debe tener un programa adecuado y actualizado de mantenimiento y calibración, en el que se puedan comprobar aspectos de intervalos establecidos y la trazabilidad de las mediciones con respecto a los patrones nacionales de referencia, o en su caso, a los que autorice el Sistema Nacional de Calibración.

Las disposiciones de calibración que tenga el laboratorio deberán ser presentadas a los Evaluadores, para su análisis y aprobación.

Cualquier información sobre requisitos de calibración o asistencia en programación de planes de calibración, se proporcionará con la ayuda de las autoridades de DGN y de los Comités.

RESULTADOS DE EVALUACION

Si la evaluación del laboratorio demuestra que todos los requisitos de acreditamiento se cumplen, el Comité informa a la DGN su conformidad y el acreditamiento se otorga rápidamente por esta Dependencia.

En el caso de que el procedimiento de evaluación revele cualquier punto que no esté de conformidad con los requisitos señala dos para otorgar acreditamiento, el Comité señalará cuáles son estas deficiencias y después:

1. Si el número determinado de requisitos no conformes con las condiciones de registro es considerablemente pequeño y si la acción requerida para remediarlos es razonablemente sencilla o fácil de hacer, el Comité informa al representante autoriza do que algunos aspectos requieren atención y proporciona suge rencias sobre los métodos más sencillos para corregir los defectos involucrados. El laboratorio determinará cuál es el tiempo en el que puede ejecutar las correcciones necesarias, el cual no debe ser mayor a un año de haber sido evaluado y el Comité mediante la constancia de haber efectuado las modificaciones, envía su dictamen favorable a la D.G.N., quien otorga el Acreditamiento.
2. Si, por otra parte, el número de defectos es significativamen te grande, o involucran cuestiones de principio, o si el representante autorizado manifiesta que las soluciones propuestas no pueden efectuarse, o no le resultan prácticas, el Comi té turna a la D.G.N., su dictamen, la cual puede entonces tomar la decisión de diferir indefinidamente el Acreditamiento.

INFORMACION CONFIDENCIAL

Toda información dada por el Comité, los Evaluadores o las Au toridades en relación a una solicitud de registro y cualquier otra información obtenida o anotada en conexión con la evalua - ción de un laboratorio, está considerada por la D.G.N. como confi dencial. Todas las personas que participan en la evaluación de los laboratorios, firman un Código de Ética que les compromete a

guardar secrecía.

Por supuesto, es esencial que los Evaluadores, miembros del Comité y ciertos miembros del personal de la D.G.N. reciban y estudien esta información, pero bajo la apreciación de que es completamente confidencial.

DESPUES DEL ACREDITAMIENTO INICIAL

Una vez que haya sido otorgado el acreditamiento, el laboratorio debe comprometerse a cumplir con los requisitos que fije el SINALP, los cuales en términos generales serán los siguientes:

- 1) Mantener los procesos de operación a un nivel aceptable para el SINALP.
- 2) Notificar cualquier cambio del personal a nivel de Jefatura, ya sea por fallecimiento, renuncia o transferencia.
- 3) Notificar los cambios de actividad de los Signatarios Autorizados.
- 4) Notificar los cambios importantes del local o equipo.
- 5) Adherirse a los requisitos que fija el SINALP para la manifestación de su acreditamiento en los informes de resultados de pruebas.

El representante autorizado de un Laboratorio es el responsable de asegurar que se cumplen los requisitos anteriores.

REVISIONES POSTERIORES

Para garantizar la continuidad en el cumplimiento de los requisitos, el SINALP establece 2 tipos de evaluaciones a los laboratorios acreditados:

- Aleatorias, ya que el Sistema se reserva el derecho de revisar nuevamente a cualquier laboratorio en el momento en que lo considere necesario y
- Periódicas, que se llevan a cabo a intervalos menores de dos años. En estas revisiones, se sigue el mismo procedimiento de la primera evaluación, sólo que en menos tiempo pues existen antecedentes del mismo, que la hacen más sencilla.

FLUJO DEL PROCESO

Como una síntesis del proceso de acreditamiento, se da a conocer el diagrama aceptado a nivel internacional por ILAC (International Laboratory Accreditation Conference), para este tipo de actividades.

REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL LABORATORIO

El acreditamiento que otorga el SINALP significa el reconocimiento oficial de que un laboratorio tiene la capacidad para ejecutar correctamente las pruebas, cumpliendo con las normas que han sido establecidas por los organismos y expertos reconocidos en el área técnica determinada. Este acreditamiento no se obtiene, ni se retiene sin un compromiso permanente, de parte del laboratorio de pruebas, de trabajar siempre de acuerdo con las normas indicadas.

En consecuencia, el laboratorio deberá cumplir con los requisitos que se señalan a continuación, los cuales permitirán la ejecución correcta de sus actividades.

ORGANIZACION

Es indispensable contar con una organización bien definida para garantizar la confiabilidad de los resultados que emite un laboratorio. Esto significa una coordinación adecuada entre todas las actividades, con líneas de mando y responsabilidad bien establecidas entre todos los puestos de la empresa. Así mismo, los procesos para ejecución de las pruebas deben seguir un programa y un orden apropiado para evitar confusiones que puedan alterar los resultados. Cada etapa del trabajo debe estar controlada para asegurar la uniformidad y confiabilidad requerida.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Una definición clara del campo del laboratorio y sus políticas generales, además de sus objetivos y alcance.
- Un organigrama funcional donde estén definidas claramente las funciones y las relaciones funcionales.
- Una definición clara de puestos en donde se contemplen perfectamente las áreas de responsabilidad de cada puesto.

- Una lista o nómina completa de personal, indicando nombre y puesto.
- Un procedimiento confiable de control, con evidencia en las áreas de operación, costos, actualización de información y comparación de resultados.

PERSONAL

La persona directamente responsable del laboratorio y todos los jefes que tengan responsabilidad técnica en la operación del laboratorio deben estar debidamente capacitados y deben tener suficiente experiencia en el trabajo que se desarrolla.

El resto del personal debe estar suficientemente capacitado para el trabajo específico que ejecuta, permitiéndose sólo una proporción razonable de personas en proceso de adiestramiento.

Cada laboratorio que solicite su acreditamiento en el SI - NALP, deberá nombrar a una persona como representante autorizado, quien hará las gestaciones administrativas y atenderá todos los asuntos que afecten al laboratorio ante el Comité que le corresponda. El representante autorizado podrá ser cualquier dirigente responsable de la Compañía, ya sea que intervenga en el área técnica o en la administrativa. Es importante que su puesto tenga la autoridad necesaria para asegurar que el laboratorio cumpla con los requisitos que impone el acreditamiento.

El laboratorio también deberá contar con Signatarios Autorizados, que serán personas aprobadas por el Comité para firmar los reportes de pruebas que estén incluidas dentro del acreditamiento otorgado. Deberán ser personal técnico relacionado directamente con el trabajo que desarrolla el laboratorio.

Si el Signatario Autorizado deja de prestar sus servicios en la Compañía, o si se desea sustituirlo en esa función, se deberá dar aviso de inmediato al Comité del SINALP.

La función del Signatario Autorizado es diferente a la del representante autorizado. Una organización puede contar con uno o varios Signatarios, pero solamente con un representante. Es conveniente señalar que el representante puede además ser Signatario Autorizado.

El Jefe encargado de un laboratorio de pruebas debe contar con suficientes conocimientos técnicos y experiencia para permitirle prever, reconocer y solucionar cualquier problema técnico que se presente durante la ejecución de las pruebas. Además debe poder controlar las actividades de su personal. Cualquiera otra persona encargada de supervisión técnica también deberá conocer y tener criterio suficiente para su trabajo.

El personal de menor grado debe tener adiestramiento y experiencia que vayan de acuerdo con el trabajo que desempeñan.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Una currícula completa del personal del laboratorio, existiendo expedientes personales de cada uno de los empleados y siendo correspondientes las currículas del personal con los requisitos del puesto, además de una razonable rotación del personal.
- Una capacitación y actualización adecuada en el laboratorio, en base a las funciones desempeñadas en el mismo.

INSTALACIONES

El local para el laboratorio deberá ser apropiado para ejecutar todas las pruebas incluidas en la solicitud de acreditamiento. Las máquinas de prueba deben contar con suficiente espacio alrededor para permitir que los especímenes y el equipo auxiliar puedan ser manejados fácilmente durante la ejecución de la(s) prueba(s).

Debe existir espacio suficiente para colocar el mobiliario adecuado con el objeto de poder manejar y almacenar eficientemente, especímenes de prueba, así como el equipo pequeño y la herramienta necesaria.

Cada operador debe contar con un espacio o superficie adecuada para registrar los resultados de las pruebas. La iluminación deberá ser apropiada en todos los sitios de trabajo.

Si el procedimiento de prueba pide requisitos especiales para controlar la temperatura y la humedad, se deberá contar con el equipo necesario para lograrlo y con los instrumentos apropiados para medir y controlar estas condiciones.

El jefe del laboratorio debe asegurarse que se mantenga un buen nivel de limpieza y de orden.

EQUIPO

El laboratorio debe contar con el equipo adecuado para ejecutar las pruebas para las que solicita el acreditamiento, y éste debe cumplir con las especificaciones marcadas por las normas correspondientes.

El equipo nuevo debe ser revisado en cuanto a su funcionamiento y calibración antes de ser puesto en servicio.

Deberá existir un programa de calibración periódica de todo el equipo importante para asegurar su cumplimiento con los requisitos especificados en las normas correspondientes. Cualquier equipo que no cumpla con estos requisitos deberá ser corregido antes de ser empleado nuevamente.

Las calibraciones requieren el empleo de equipo y personal especializado y debidamente autorizado para su ejecución.

En cualquier caso en que exista duda sobre las condiciones del equipo, por sobrecarga o mal uso, deberá ser recalibrado antes de volver a emplearse.

Deberá llevarse un registro del mantenimiento, ajuste y calibración de todo el equipo de importancia, incluyendo certificados o dictámenes de calibración y la bitácora de cualquier modificación efectuada.

Cuando un instrumento presenta errores en sus lecturas, fuera de tolerancia, no deberán aplicarse factores de corrección. Deberá ser ajustado y recalibrado para poder obtener directamente lecturas dentro de especificaciones si es posible.

Cuando un Laboratorio requiera del empleo de servicios externos para efectuar alguna prueba en particular, se permite que acuda a otro laboratorio acreditado.

Todo el equipo de medición empleado por el laboratorio para las pruebas deberá estar calibrado con equipo cuya precisión sea rastreable hasta los patrones oficiales del Sistema Nacional de Calibración.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Un inventario completo del equipo del laboratorio, donde se contemple perfectamente la siguiente información:
 - Descripción del equipo, marca, modelo y/o tipo, número de serie, rango o gama de operación, resolución, precisión, accesorios y uso o aplicación.
- Un adecuado control del equipo, en el que se vea claramente que el equipo es el señalado por la norma o satisface el uso al que está destinado; teniendo en todos los casos, instructivos para su operación, ajuste y mantenimiento, además de registros y controles de las calibraciones requeridas.

MÉTODOS DE PRUEBA

Las pruebas deben ejecutarse de acuerdo a las normas para las cuales se solicita el acreditamiento, por lo que deberán existir copias de dichas normas o métodos a la disposición del personal que las ejecuta.

Es conveniente que se elaboren manuales o instructivos de operación para cada una de las pruebas y que estén a disposición del personal para facilitar su trabajo y evitar errores de ejecución.

Si en algún caso es indispensable el uso de pruebas especiales desarrolladas por el laboratorio, sin apego a las Normas, éstas deberán describirse con todo detalle en un instructivo, el cual deberá proporcionarse al Comité correspondiente del SINALP para que éste juzgue si es posible otorgar el acreditamiento para esa prueba en particular.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Una adecuada recepción de especímenes de prueba, en donde se reciban y controlen éstos, de acuerdo con norma.
- Una programación y desarrollo de actividades justa, en donde se elaboren programas de trabajo, se supervise el desarrollo de actividades y se desarrolle el trabajo conforme a norma.

SISTEMA DE REGISTRO

Cada laboratorio debe contar con un sistema adecuado para registrar los datos esenciales de sus clientes, de las muestras obtenidas y de los resultados de pruebas. Aun cuando estos sistemas pueden variar de uno a otro laboratorio, existen requisitos básicos que todos deben cumplir.

El primer requisito es el de identificar perfectamente todas las muestras, incluyendo su número y localización, en tal forma que se elimine la posibilidad de confundirlas.

Cada muestra debe contar con toda la información necesaria que permita, en caso de duda, una repetición de la prueba o comprobación mediante pruebas adicionales equivalentes.

Las formas que se utilicen para registrar los procesos de muestreo, ensaye y reporte deberán contener toda la información requerida según el método de prueba que sea utilizado.

El operador deberá contar con todos los datos relativos a la muestra y al método de prueba que se pretende emplear. Además, deberá registrar cualquier anomalía o condición especial que presente la muestra o que aparezca durante el proceso de prueba.

Los valores obtenidos durante la ejecución de la prueba deben ser leídos con la precisión adecuada y registrados por el operador en las formas correspondientes con tinta, nunca con lápiz.

Cualquier error de anotación podrá ser tachado y el valor correcto registrado a un lado, pero nunca deberá ser borrado. Cualquier modificación de este tipo deberá incluir las iniciales -

les del operador o supervisor responsable que la efectuó.

Se recomienda que todos los trabajos y cálculos sean revisados por supervisores competentes, quienes deberán firmar las formas correspondientes para dejar constancia de esta labor.

INFORMES DE RESULTADOS

El informe debe incluir los resultados de la prueba, con la precisión requerida y toda la información de importancia que venga al caso. Para esto deberán emplear las formas diseñadas expresamente y nunca formas que correspondan a pruebas distintas de la ejecutada. Los miembros de los Comités del SINALF podrán ayudar a los laboratorios, con sugerencias constructivas, para diseñar las formas adecuadas a sus pruebas.

Como regla general los informes de los resultados de pruebas emitidos por el laboratorio deberán incluir la siguiente información:

- Nombre del laboratorio de pruebas.
- Dirección del laboratorio.
- Título indicando la prueba efectuada.
- Fecha y número de la orden de trabajo.
- Nombre del cliente.
- Descripción e identificación de la muestra.
- Especificación del material, proporcionada por el cliente.
- Norma de prueba empleada.
- Resultados de la prueba.
- Cumplimiento o no cumplimiento de las especificaciones proporcionadas por el cliente.
- Cualquier información adicional, que no sea opinión personal y que ayude al cliente a comprender los resultados de la prueba.

El Signatario Autorizado deberá firmar los informes de resultados cuando tenga la seguridad de que los procesos han sido debidamente revisados y la información es correcta.

La papelería para informe de pruebas podrá exhibir un sello o una nota divulgando su inscripción como laboratorio acreditado

por el SINALP. La reglamentación de esta promoción se explica en un Anexo aparte (solicitarlo si se desea).

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Una buena verificación de resultados, en base a alguna práctica o procedimiento certero que corrobore los resultados de prueba, además de verificarse cuál es el grado de cumplimiento de los programas.
- Un informe de resultados óptimo, que siga un formato que contenga como mínimo:
 - Objetivo, método de prueba, equipo empleado, desarrollo de la prueba, resultados e interpretación.

ARCHIVO DE RESULTADOS

Copias de todos los informes y registros correspondientes a las pruebas acreditadas por el SINALP, incluyendo formas de campo y laboratorio, deberán permanecer en archivo por lo menos durante 5 años.

El laboratorio deberá contar con un sistema de archivo que le permita rastrear cualquier información relacionada con clientes, informes de resultados, lecturas originales, etc.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- El contar en el laboratorio con un archivo actualizado de las Normas Oficiales relativas a las pruebas y métodos de prueba, además de un procedimiento confiable para su actualización periódica.
- El contar con un archivo suficiente que recabe los registros de los trabajos realizados, conteniendo toda la información necesaria, habiendo además un control justo para el acceso a esta información y un lapso de conservación de los informes razonable.

SEGURIDAD

Las condiciones de seguridad de un laboratorio no conciernen directamente al SINALP, sin embargo, éstas pueden influir en la

calidad del trabajo, por lo que los Evaluadores las tomarán en cuenta al efectuar su visita de revisión a las instalaciones del laboratorio que aspire al acreditamiento.

De manera explícita, entre otras cosas deberán cumplirse las siguientes premisas:

- Una muy buena seguridad producto de unas instalaciones de la boratorio que reúnan ciertas condiciones elementales de segu ridad, tales como:
 - Area suficiente, distribución especial de equipos, cubículos, extintores, rociadores, alarmas, caretas, guantes, an teos, pértigas, plataformas, aislantes, instalación de servicios: agua, electricidad, gas, vapor, aire a presión, etc.
- Unas buenas condiciones ambientales establecidas por norma, relativas a: temperatura, humedad, polvos o gases, ruidos y vibraciones.

LABORATORIO DE CAMPO

Un laboratorio de campo es una instalación subsidiaria, localizada en un sitio distinto al del laboratorio matriz, que opera por un tiempo mayor a dos meses, ejecutando pruebas y elaborando reportes de resultados. Funcionará con personal y equipo propio, pero su sistema de operación y registro de resultados es compatible con el del laboratorio matriz. El Si- NALP, para estos casos, entrevistará a los dirigentes del laboratorio de campo y revisará las instalaciones y el equipo para verificar que cumpla con los requisitos que al respecto se establecen para otorgar el acreditamiento.

Si el laboratorio de campo opera ejecutando los trabajos en forma independiente al laboratorio matriz, se requerirá su inscripción al SINALP por separado, pagando su cuota completa como organización independiente.

Por otro lado, si el laboratorio opera por un tiempo menor de 2 meses se considera como trabajo de rutina manejado desde el laboratorio matriz y será amparado por el acreditamiento de

este último.

Cuando un laboratorio acreditado instala un laboratorio de campo, deberá proporcionar la siguiente información al SI - - NALP.

1. Localización del laboratorio de campo.
2. Duración estimada del servicio.
3. Tipo de trabajo que se efectuará.
4. Nombre de la persona que se hará cargo del trabajo.
5. Personal adicional que será empleado.
6. Equipo e instalaciones que se pretende emplear.
7. Volumen y naturaleza de las pruebas que se pretende realizar.

Como se puede constatar, existe un trabajo arduo para acceder a la implementación de un laboratorio de pruebas, sin embargo, es posible llevarlo a cabo, si se cuenta con todo el apoyo y la voluntad, y se unen a la vez esfuerzos para lograrlo.

No obstante, es necesario adentrarnos en lo más importante, en lo que a este capítulo se refiere, que es el desplegar las pruebas más significativas en las que se podría solicitar el acreditamiento.

Sin embargo, antes de proceder a ello, hagamos una observación importante; la cantidad de normas y por ende métodos de prueba encontrados fue bastante significativa, pero dado que a la vez se hicieron algunas visitas a empresas (o laboratorios) encargados de realizar este tipo de pruebas (eléctricas) (ver figuras), ellas nos confiaron las pruebas más importantes (o más solicitadas) que merecían ser implementadas.



FIG. - PUNJAB POWER PLANT



FIG. - PUNJAB POWER PLANT

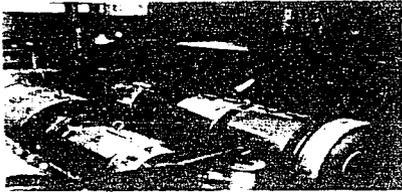


FIG. - PUNJAB POWER PLANT

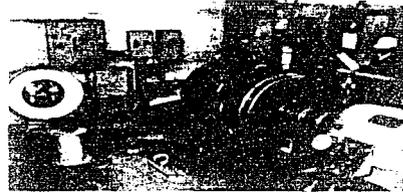


FIG. - PUNJAB POWER PLANT

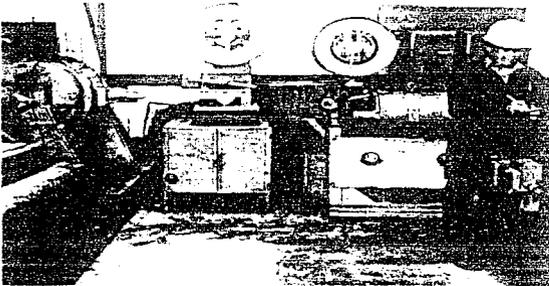


FIG. - PUNJAB POWER PLANT

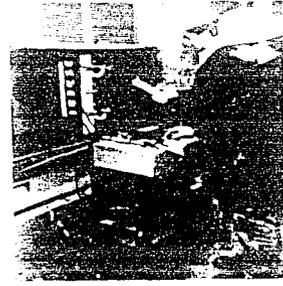


FIG. - PUNJAB POWER PLANT

Así pues, éstas se seleccionaron, anexando otras que se juzgaron también relevantes. (Si se quisiese ahondar más en éstas u otras pruebas, pudiese hacerse un trabajo o tesis posterior más exhaustivo que el que aquí se ha desarrollado en un solo capítulo).

Finalmente, antes de desplegar las pruebas, hagamos énfasis en qué es una Norma de Métodos de Prueba. Estas no son otra cosa más que documentos que contienen las disposiciones que regulan los sistemas y procedimientos de prueba elegidos, incluyendo ocasionalmente los procesos de muestreo, análisis químicos, pruebas físicas y biológicas, la descripción del equipo utilizado e ilustraciones necesarias.

A continuación se muestra el listado de pruebas que se podrían realizar en el eventual Laboratorio Acreditado de Pruebas de Máquinas Eléctricas de la F.I. de la U.N.A.M. (siempre y cuando se cuente con el equipo especificado, calibraciones necesarias, etc.).

PRUEBAS GENERALES

Nombre de la prueba

Norma(s) bajo la(s) que se realiza
(ver NOTA anexa al final de esta
Tabla)

1) Medición de resistencia
del devanado

MIL-STD-705C
(Método 401.1b)
IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.3)
IEEE Std 113-1985
(Inciso 4.2)
IEEE Std 112-1991
(Inciso 9.3)

2) Alto potencial aplicado
al devanado

MIL-STD-705C
(Método 302.1b)
IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.2)
IEEE Std 113-1985
(Inciso 4.8)
IEEE Std 112-1991
(Inciso 9.2)
NOM-J-433-1987
(Inciso 7.1.3)
NOM-J-075
(Inciso IV.3.1.3)
DGN-J-226-1977
(Inciso 8.1)

3) Medición de las resis -
tencias del aislamiento
e índice de polariza -
ción

IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.1)

- IEEE Std 113-1985
(Inciso 4.7)
- IEEE Std 112-1991
(Inciso 9.1)
- NOM-J-433-1987
(Inciso 7.1.4)
- NOM-J-075
(Inciso IV.3.1.4)
- 4) Secuencia de fases
- IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.7)
- 5) Vibración
- IEEE Std 113-1985
(Inciso 4.5)
- IEEE Std 112-1991
(Inciso 9.6)
- NOM-J-433-1987
(Inciso 7.1.5)
- NOM-J-075
(Inciso IV.3.1.5)

PRUEBAS PARA MOTORES DE INDUCCION

- 6) Operación en vacío
- NOM-J-433-1987
(Inciso 7.1.2)
- NOM-J-075
(Inciso IV.3.1.2)
- 7) Rotor bloqueado
- IEEE Std 112-1991
(Inciso 3.5)
- NOM-J-433-1987
(Inciso 7.2.1)
- NOM-J-075
(Inciso IV.3.2.1)
- 8) Prueba de temperatura
- IEEE Std 112-1991
(Inciso 8)
- NOM-J-433-1987
(Inciso 7.3.2)
- NOM-J-075

(Inciso IV.3.3.2)

DGN-J-226-1977

(Inciso 8.3)

9) Determinación del cir -
cuito equivalente

•NOM-J-433-1987

(Inciso 7.2.2)

NOM-J-075

(Inciso IV.3.2.2)

10) + El uso de la frecuen
cia variable (f.v.)
para pruebas de tem
peratura en motores
de inducción

..

PRUEBAS PARA MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA11) Saturación en vacío

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 5.1)

12) + Medición del entre -
hierro

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 4.3)

13) Prueba con carga

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 5.7)

14) Conmutación

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 5.2)

15) Regulación de veloci -
dad

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 5.3)

16) Eficiencia
(x Método de pérdidas)

•IEEE Std 113-1985

(Inciso 5.4)

PRUEBAS PARA GENERADORES SINCRONOS17) Saturación en vacío

•IEEE Std 115-1983

(Inciso 4.2.4)

18) Saturación en cortocir
cuito

•IEEE Std 115-1983

(Inciso 4.2.7)

- 19) Prueba de temperatura por el método de circuito corto y circuito abierto
- IEEE Std 115-1983
(Inciso 6)
- 20) Medición de contenido de armónicas
- IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.12)
- 21) + Determinación de la reactancia síncrona
- IEEE Std 115-1983
(Inciso 8.4)
- 22) Sobrevelocidad
- IEEE Std 115-1983
(Inciso 3.13)
- + PRUEBAS ADICIONALES (NO TAN FUNDAMENTALES).

NOTA:

- En algunas de las pruebas listadas, como se puede ver, existen varias Normas bajo las cuales se puede realizar la prueba en cuestión, dependiendo del tipo de máquina eléctrica de que se trate, o simplemente son Normas complementarias que no especifican el método de prueba a utilizarse; por motivos obvios, principalmente de espacio, se procedió a hacer una selección entre tales Normas, quedando sólo las que se juzgaron más convenientes (*). Sin embargo, se han dejado las otras como referencia, por si se desea consultarlas.

En el desglose en sí de estas pruebas (o métodos de prueba), se hace referencia a varios incisos, secciones, etc. (dentro o fuera de la Norma en cuestión), los cuales tampoco fueron incluidos, ya que hubiera sido un trabajo inacabable, dado que éstos nos remiten a otros, y éstos a otros, ... Así pues, sólo se añadieron tablas, gráficas, curvas, dibujos, etc., primordiales para la prueba, y ésta se desplegó tal cual, sin mayores añadiduras.

MIL-STD-705C

Método 401.1b

Prueba de resistencia del devanado

401.1.1 General. Las mediciones de resistencia de un devanado son comúnmente usadas para determinar incrementos de temperatura; para comparar la resistencia del devanado con datos de diseño; para comparar modelos de producción contra modelos de primer artículo; y para detectar devanados defectuosos.

401.1.2 Aparatos. Será necesaria instrumentación para medir la resistencia del devanado.

401.1.3 Procedimiento.401.1.3.1 Preparación para la prueba.

- a. Aisle el devanado cuya resistencia va a ser medida, desconectando un extremo de todos los demás circuitos.
- b. Las mediciones de resistencia del devanado serán hechas mediante uno de los siguientes métodos aprobados: puente de Wheatstone; puente de Kelvin; caída de potencial; o comparación.
- c. Conecte el aparato de medición al devanado, en concordancia con las instrucciones del fabricante del aparato. Si los métodos de caída de potencial o comparación son empleados, mida el voltaje sólo en la porción del circuito a ser incluida en las mediciones de resistencia. Dado que estas mediciones son usadas al comparar una lectura contra otra, debe de tenerse cuidado en medir el voltaje en el mismo lugar durante cada medición de devanados semejantes.
- d. Las mediciones de resistencia en frío

serán hechas con el conjunto generador a aproximadamente la temperatura ambiente circundante; esto es, las mediciones serán tomadas después de que el conjunto generador ha estado sin operar durante un tiempo suficiente (aproximadamente 12 horas) para inducir la mayor temperatura a la masa del generador hasta dentro de los 3 °C de la temperatura ambiente.

401.1.3.2 Prueba. Opere el aparato de prueba en concordancia con el método aplicable seleccionado y registre el valor de resistencia para el (los) devanado(s) bajo prueba (ver figura 401.1-I).

Los valores de resistencia serán registrados con un mínimo de cuatro dígitos significativos. Cuando este método de prueba es usado para la determinación del cambio de temperatura, la velocidad en la toma de las mediciones es esencial. La temperatura ambiente a la cual las lecturas de resistencia son tomadas será también registrada.

401.1.4 Resultados. Valores corregidos determinados mediante otras mediciones serán comparados con el documento obtenido o con requerimientos de diseño, o serán usados en otros cálculos.

401.1.5 Requerimientos del documento obtenido. Los siguientes puntos deben ser especificados en el documento individual obtenido:

- a. Los valores mínimo y máximo de resistencia permitidos para cada componente probada, si es aplicable.
- b. La temperatura estándar para la cual estas mediciones van a ser corregidas, si es aplicable.

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

NOM-J-433-1987

7.1.3 Prueba de potencial aplicado.

7.1.3.1 Alcance.

Esta prueba la efectúa el fabricante por una sola vez a cualquier tipo de motores de los clasificados en esta norma.

No es recomendable una segunda prueba de potencial aplicado, pero en caso de requerirse el valor de la tensión de prueba no debe exceder del 80% del valor especificado en 5.1.12.

7.1.3.2 Objetivo.

Debe verificarse que los aislamientos del motor soportarán los esfuerzos dieléctricos provocados por la tensión nominal durante su vida útil.

7.1.3.3 Aparatos y equipo.

a) Transformador.

Del tipo de alta reactancia, diseño para proporcionar la tensión de la prueba en el secundario y con capacidad suficiente.

b) Interruptor automático de sobrecorriente.

c) Control de tensión.

Un aparato (como un autotransformador de relación variable) para controlar la baja tensión en el devanado primario del transformador.

d) Voltmetro.

Para determinar la tensión de circuito abierto, conectado en el lado de baja tensión del transformador y calibrado para obtener la tensión en el secundario; es decir, sus lecturas deben estar multiplicadas por la relación de vueltas.

e) Voltmetro de esferas.

Para verificar que el transformador proporciona la tensión efectiva de prueba en el lado de alta tensión.

f) Varios.

Interruptor, cable y aislamiento adecuado para el manejo de la tensión de prueba.

g) Accesorios preventivos de seguridad, por ejemplo, lámparas in-

termitentes, sirenas, barreras, etc.

7.1.3.4 Preparación de la muestra.

La muestra consta de un motor nuevo y completo en todas sus partes; ninguna preparación especial es necesaria.

7.1.3.5 Procedimiento.

Se aplica sucesivamente la tensión de prueba especificada entre cada circuito eléctrico y el armazón, de acuerdo con los siguientes pasos:

- a) La tensión aplicada durante la prueba debe ser de corriente alterna, y la onda senoidal con un factor de desviación máximo de 0.1 y una frecuencia de 60 Hz, o en forma opcional debe utilizarse c.d. (véase 5.1.12).
- b) Activar accesorios preventivos de seguridad.
- c) Se aplica, inicialmente, no más de la mitad del valor de la tensión de prueba.
- d) Se incrementa el valor de la tensión, aumentándola progresivamente o por pasos que no excedan el 5% de dicha tensión. El tiempo permitido para el aumento de la tensión, desde la mitad hasta el valor de prueba, debe ser mayor de 10 s.
- e) Una vez alcanzado el valor de prueba, se mantiene durante un minuto.

NOTA.- Como medida de seguridad, terminada la prueba deben descargarse a tierra los devanados.

7.1.3.6 Resultados.

Durante la prueba no deben presentarse fallas en el aislamiento, como flameos o descargas disruptivas; los zumbidos no se toman en consideración.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

NOM-J-433-1987

7.1.4 Resistencia de aislamiento.

7.1.4.1 Alcance.

Esta prueba debe efectuarse a todos los motores.

7.1.4.2 Objetivo.

Debe verificarse que la resistencia de aislamiento del devanado cumpla con lo establecido en esta norma.

7.1.4.3 Aparatos y equipo.

- a) Ohmetro de magneto con alimentación de 500 V o mayor.
- b) Accesorios preventivos de seguridad; ejemplo: lámparas intermitentes, sirenas, barreras, etc.

7.1.4.4 Preparación de la muestra.

La muestra consta de un motor nuevo y completo en todas sus partes, a temperatura ambiente, ninguna preparación especial es necesaria.

7.1.4.5 Procedimiento.

- a) Se unen entre sí todas las terminales del motor, y se conectan al borne positivo del óhmetro de magneto.
- b) Se conecta el borne negativo al cuerpo del motor, asegurando se que exista una buena conexión a tierra.
- c) Activar accesorios preventivos de seguridad.
- d) Se aplica el potencial del óhmetro de magneto al devanado y se toman las lecturas de resistencia.

NOTA.- Al finalizar la prueba, deben descargarse a tierra los devanados.

7.1.4.6 Resultado.

Se reporta el valor leído, que no debe ser menor al valor establecido en 5.1.13.

SECUENCIA DE FASES

IEEE Std 115-1983

3.7 Secuencia de fases

3.7.1 General. La prueba de secuencia de fases se efectúa para checar la correlación de una máquina con las marcas de las terminales y la rotación de fases que han sido especificados, o con los requerimientos de ANSI/NEMA MG1-1978.

Los resultados son usados cuando se conectan conductores de línea a las terminales de armadura para obtener el ajuste de fase correcto de un generador a la barra colectora, o para la dirección de rotación correcta de los motores. La secuencia de fases en máquinas trifásicas puede ser invertida, intercambiando las conexiones de línea a cualesquiera dos terminales de armadura. La secuencia de fases en máquinas bifásicas puede ser invertida, intercambiando los dos conductores de fase.

3.7.2 Método 1. Indicadores de secuencia de fases. La secuencia de fases se determina haciendo funcionar la máquina como generador en la dirección de rotación para la cual fue diseñada y conectando a las terminales un indicador de secuencia de fases o un motor de inducción, cuya dirección de rotación sea conocida cuando una secuencia de fases dada es aplicada a sus terminales.

3.7.2.1 La figura 1 muestra uno de los diferentes tipos de indicadores de secuencia de fases, el cual consiste de devanados colocados sobre un núcleo de hierro laminado, con una barra de acero montada en el centro.

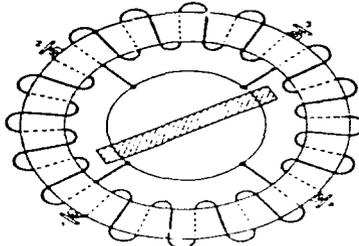


Fig 1
MEDIDOR DE SECUENCIA
DE FASES

Las terminales de la máquina bajo prueba, ya sea trifásica o bifásica, deben ser conectadas a las terminales correspondientes del indicador. El indicador mostrado en la Fig 1 operará en sentido de las manecillas del reloj si la secuencia de fases es 1,2,3 y en sentido contrario al de las manecillas del reloj si la secuencia de fases es 1,3,2.

- 3.7.2.2 Un tipo de indicador de secuencia de fases sin partes móviles está también disponible para máquinas trifásicas y es mostrado esquemáticamente en la Fig 2.

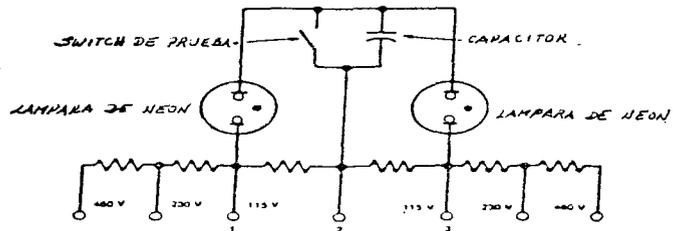


Fig 2
INDICADOR DE SECUENCIA DE FASES MEDIANTE LAMPARAS DE NEON

El indicador hace uso de un pequeño capacitor y dos lámparas de neón conectadas en Y a través del circuito trifásico a ser probado. Para secuencia de fases 1,2,3 la lámpara conectada a la terminal 1 prenderá. Para secuencia de fases 1,3,2 la lámpara conectada a la terminal 3 prenderá.

Para checar el estado del indicador, el switch mostrado en la Fig 2 debe ser cerrado. Si opera el indicador correctamente, ambas lámparas prenderán con igual intensidad.

- 3.7.2.3 Cuando es necesario conectar un indicador de secuencia de fases a las terminales de la máquina a través de transformadores de potencial, se requiere un cuidado extremo ya que la inversión de la polaridad de cualquier devanado del transformador alterará las relaciones de fase entre los voltajes aplicados al indicador. Si una conexión Y-Y es usada, las terminales seleccionadas de los devanados de alto voltaje de los transformadores de potencial deben ser conecta-

das para formar el neutro del primario. Las terminales correspondientes de los devanados de bajo voltaje deben ser conectadas para formar el neutro del secundario.

Si una conexión delta-delta ($\Delta-\Delta$) o en V va a ser usada, se requiere un cuidado similar para asegurar un ajuste de fase apropiado del secundario.

Para cualquiera de los casos indicados, es importante retener la identificación de la secuencia de fases apropiada a la red secundaria.

3.7.3 Método 2. Indicación de voltaje diferencial. Un chequeo correcto de la secuencia de fases de un generador sin-crono comparado con el sistema al cual va a ser conectado, puede ser obtenido como sigue:

Cuatro transformadores de potencial deben ser conectados como se muestra en la Fig 3 para máquinas trifásicas.

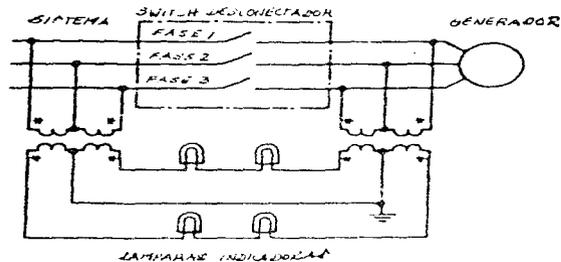


Fig 3
DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA LA COMPARACIÓN DE LA SECUENCIA DE FASES DE UN GENERADOR CON UN SISTEMA, MEDIANTE LA INDICACIÓN DEL VOLTAJE A TRAVÉS DE UN SWITCH DE CONECTOR ABIERTO

Es necesario tener un gran cuidado para mantener la polaridad correcta de las conexiones del transformador. Los asteriscos muestran las terminales correspondientes de los devanados primario y secundario. Esta conexión tiene lámparas indicadores estratégicamente colocadas a través de switches desconectores abiertos entre el generador y el sistema. El generador debe hacerse funcionar hasta una velocidad y excitación aplicada correspondiente al voltaje normal. Cuando esté cerca de la velocidad síncrona, las lámparas conectadas a los secundarios de los transformadores de potencial se prenderán y apagarán simultáneamente si el generador tiene la misma secuencia de fases que el sistema, mientras que se prenderán y apagarán una después de otra, si las secuencias de fase son opuestas.

- 3.7.4 Método 3. Comparación con el voltaje del sistema. Este método provee un chequeo absoluto de la secuencia de fases de un generador síncrono comparado con el sistema al cual va a ser conectado. Es necesario que el generador sea separado del sistema mediante un breaker y deben ser provistos medios a su vez para desconectar el generador del breaker. Un indicador de secuencia de fases debe ser conectado al lado del generador del breaker a través de transformadores de potencial adecuados. Con el generador desconectado, el breaker debe ser cerrado y la indicación del indicador de secuencia de fases anotada. Con el generador conectado al breaker pero éste último abierto, se anotará la indicación del indicador de secuencia de fases cuando el generador esté operando a velocidad normal y sea excitado para producir un voltaje normal. Si las dos indicaciones de secuencia de fases son las mismas, se puede decir que tienen la misma secuencia de fases que el sistema.

3.7.5 Método 4. Dirección de rotación para motores. En el caso de un motor, la secuencia de fases puede ser chequeada, arrancándolo desde su fuente normal de potencia y observando su dirección de rotación. Si algún daño puede resultar de su rotación impropia, el motor debe ser desconectado del aparato que pudiera ser dañado. En algunos casos, aparatos tales como un trinquete irreversible no puede ser desconectado. En este caso, un voltaje lo suficientemente bajo debe ser usado tal que no dañe al aparato, u otro procedimiento tal como el del método 1 ó una adaptación del método 2 ó 3 debe ser usado.

PRUEBA DE VIBRACION

NOM-J-433-1987.

7.1.5 Prueba de vibración.

7.1.5.1 Alcance.

Esta prueba debe efectuarse a todos los motores.

7.1.5.2 Objetivo.

Verificar que el motor cumpla con lo especificado en 5.3.3, para garantizar que durante su vida normal, los efectos de la vibración no le causen daño al equipo asociado.

7.1.5.3 Aparatos y equipo.

- a) Base elástica que pueda comprimirse, por lo menos, en las cantidades indicadas en la tabla 10, al colocar el motor sobre ella.

Tabla 10 - Compresión mínima de la base elástica, para medir la vibración de motores eléctricos.

Velocidad sincrona del motor. RPM	Compresión mínima. mm
900 y menos	25
1200	12.5
1800	6.5
3600	1.6

La compresión no debe exceder en ningún caso del 50% del espesor original.

- b) Vibrómetro del tipo de carátula, o equivalente, en el que se obtengan lecturas de 0 a 250 centésimas de milímetro (0 a 100 milésimas de pulgada) y una exactitud de 2.5 centésimos de milímetros.

7.1.5.4 Preparación de la muestra.

En caso de que la flecha tenga cuñero, éste debe rellenarse con una cuña de material similar al de la flecha sin sobresalir de

la periferia y longitud de la misma.

7.1.5.5 Procedimiento.

- a) Se coloca el motor sobre la base elástica y se hace funcionar a su tensión y frecuencia nominales, sin carga.
- b) Se coloca el vibrómetro sobre las tapas del motor, lo más cercano posible de los rodamientos, durante el tiempo necesario para estabilizar la amplitud de la vibración en las tres direcciones (vertical, horizontal y axial).
- c) La amplitud máxima obtenida debe estar dentro de los límites indicados en 5.3.3, cuando se mide con la flecha del motor en posición normal de operación (véase tabla 5).

Tabla 5 - Valores máximos permisibles para amplitud de vibración, en motores eléctricos.

Intervalo de velocidades RPM	Amplitud de la onda vibratoria pico a pico en mm*.
3000 ó más	0.025
1500 a 2999	0.051
1000 a 1499	0.064
999 y menores	0.076

* La amplitud, como se usa en esta tabla, significa desplazamiento total pico a pico.

7.1.5.6 Resultado.

Debe reportarse la amplitud de las vibraciones obtenidas en el vibrómetro, en las tres direcciones.

OPERACION EN VACIO

NOM-J-433-1987.

7.1.2 Prueba en vacio.

Se efectúa para verificar las características eléctricas y mecánicas sin carga.

7.1.2.1 Aparatos y equipos.

Vóltmetro.

Ampérmetro.

Wáttmetro.

Frecuencímetro.

Tacómetro.

Ohmetro.

7.1.2.2 Procedimiento.

a) Se mide la resistencia entre las terminales del motor por medio del óhmetro y se anotan los tres valores.

Estas mediciones deben realizarse antes de energizar el motor.

Los valores deben estar balanceados en $\pm 5\%$ del valor promedio de los tres.

b) Se arranca el motor sin carga y se efectúan lecturas con el vóltmetro, ampérmetro, wáttmetro y tacómetro.

c) Esta prueba debe realizarse a tensión y frecuencia nominales y deben verificarse con el vóltmetro y el frecuencímetro.

7.1.2.3 Resultado.

Se reportan los valores observados de corriente, potencia, velocidad y resistencia del devanado.

ROTOR BLOQUEADO

NOM-J-075.

IV.3.2.1 Determinación del Par y la Corriente de Arranque.

Existen dos tipos de pruebas que son el Método directo y Métodos analíticos, se sugiere el uso de cualquiera de los métodos analíticos para motores de más de 373 kW (500 CP).

IV.3.2.1.1 Método Directo.

Consiste en la medición de los parámetros de arranque del motor, bajo el siguiente procedimiento:

- (a) Se bloquea el motor por medio de un brazo de palanca en posición horizontal, con su extremo libre descansando en forma adecuada sobre la plataforma de una báscula.
- (b) Se aplica la tensión y la frecuencia nominales, verificándose por medio de un voltmetro y frecuencímetro.
- (c) Se toma la fuerza en la escala de la báscula.
- (d) Simultáneamente se obtiene la lectura de corriente de fase y se registra como corriente de arranque.
- (e) La prueba no deberá durar más de 5 seg.
- (f) Se calcula el valor de Par de arranque de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$T_a = L \cdot P$$

donde:

T_a	Par de arranque [kgf·m].
P	Lectura de fuerza en la báscula [kgf].
L	Longitud del brazo [m].

- (h) Como resultado el Par de arranque calculado y de la corriente de arranque medida deberán cumplir con los valores de las tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 de la sección II.

TABLA 2. Valores mínimos de par de arranque [N·m] × 10², para motores monofásicos de arranque por capacitor.

Potencia [kW]	Potencia [CP]	[RPM]		
		3600	1800	1200
0.062	1/12	----	----	----
0.093	1/8	----	7030	2720
0.124	1/6	1270	2790	3650
0.187	1/4	1780	3890	5000
0.249	1/3	2200	4820	6180
0.373	1/2	3140	7210	8480
0.560	3/4	4220	10100	10980
0.746	1	5170	12210	13040
1.119	1 1/2	6180	17170	17850
1.492	2	7550	22060	22060
2.238	3	10300	30400	31380
3.73	5	15100	45110	----
5.60	7 1/2	22060	61780	----

TABLA 3. Valores mínimos de Par de arranque [lb·pie], para motores monofásicos de arranque por capacitor.

Potencia [kW]	Potencia [CP]	[RPM]		
		3600	1800	1200
0.062	1/12	----	----	----
0.093	1/8	----	1.5	2.0
0.124	1/6	1	2.1	2.7
0.187	1/4	1.3	2.9	3.7
0.249	1/3	1.6	3.6	4.6
0.373	1/2	2.3	5.3	6.3
0.560	3/4	3.1	7.4	8.0
0.746	1	3.8	9.0	9.5
1.119	1 1/2	4.5	12.5	13.0
1.492	2	5.5	16	16.0
2.238	3	7.5	22	23.0
3.73	5	11	33	----
5.60	7 1/2	16	45	----

TABLA 4. Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños "A" y "B", 60 Hz, en porciento del par a plena carga.

Potencia [kW]	Potencia [CPI]	[RPM]						
		3600	1800	1200	900	720	600	514
0.187	1/4	190	275	190	170	170	---	---
0.249	1/3	190	275	190	170	170	---	---
0.373	1/2	190	275	190	140	140	115	110
0.560	3/4	180	275	175	135	135	115	110
0.746	1	180	275	170	135	135	115	110
1.119	1 1/2	175	250	165	130	130	115	110
1.492	2	170	235	160	130	125	115	110
2.238	3	160	215	155	130	125	115	110
3.73	5	150	185	150	130	125	115	110
5.60	7 1/2	140	175	150	125	120	115	110
7.46	10	135	165	150	125	120	115	110
11.19	15	130	160	140	125	120	115	110
14.92	20	130	150	135	125	120	115	110
18.65	25	130	150	135	125	120	115	110
22.38	30	130	150	135	125	120	115	110
29.84	40	125	140	135	125	120	115	110
37.30	50	120	140	135	125	120	115	110
44.76	60	120	140	135	125	120	115	110
55.95	75	105	140	135	125	120	115	110
74.60	100	105	125	125	125	120	115	110
93.25	125	100	110	125	120	115	115	110
111.90	150	100	110	120	120	115	115	---
149.20	200	100	100	120	120	115	---	---
186.50	250	70	80	100	100	---	---	---
223.80	300	70	80	100	---	---	---	---
261.10	350	70	80	100	---	---	---	---
298.40	400	70	80	---	---	---	---	---
335.70	450	70	80	---	---	---	---	---
373.00	500	70	80	---	---	---	---	---

TABLA 5. Valores mínimos de par de arranque, para motores trifásicos, diseño "C", 60 Hz, en porciento del par a plena carga.

Potencia [kW]	Potencia [CP]	[RPM]		
		1800	1700	900
2.238	3	---	250	225
3.73	5	250	250	225
5.60	7 1/2	250	225	200
7.46	10	250	225	200
11.19	15	225	200	200
14.92	20	200	200	200
18.65 - 149.2	25 - 200	200	200	200

TABLA 6. Valores máximos de la corriente de arranque, en amperes para motores monofásicos, 60 Hz

Potencia [kW]	Potencia [CP]	127 V		220 V			
		Diseño		Diseño			
		O	N	O	N	L	M
0.124 ó menos	1/8 ó menos	55	22	24	12	-	-
0.187		55	29	24	15	-	-
0.249	1/4	55	34	24	17	-	-
0.373	1/2	55	50	24	24	-	-
0.560	3/4	-	67	-	34	-	-
0.746	1	-	88	-	44	-	-
1.119	1 1/2	-	-	-	-	48	38
1.492	2	-	-	-	-	62	48
2.238	3	-	-	-	-	86	67
3.73	5	-	-	-	-	129	96
5.60	7 1/2	-	-	-	-	191	143

TABLA 5. Valores mínimos de par de arranque, para motores trifásicos, diseño "C", 60 Hz, en porciento del par a plena carga.

Potencia [kW]	Potencia [CP]	[RPM]		
		1800	1700	900
2.238	3	---	250	225
3.73	5	250	250	225
5.60	7 1/2	250	225	200
7.46	10	250	225	200
11.19	15	225	200	200
14.92	20	200	200	200
18.65 - 149.2	25 - 200	200	200	200

TABLA 6. Valores máximos de la corriente de arranque, en amperes para motores monofásicos, 60 Hz

Potencia [kW]	Potencia [CP]	127 V		220 V			
		Diseño		Diseño			
		O	N	O	N	L	M
0.124 ó menos	1/8 ó menos	55	22	24	12	-	-
0.187	1/4	55	29	24	15	-	-
0.249	1/2	55	34	24	17	-	-
0.373	3/4	55	50	24	24	-	-
0.560	1	-	67	-	34	-	-
0.746	1 1/2	-	88	-	44	-	-
1.119	2	-	-	-	-	48	38
1.492	3	-	-	-	-	62	48
2.238	5	-	-	-	-	86	67
3.73	7 1/2	-	-	-	-	129	96
5.60		-	-	-	-	191	143

TABLA 7. Valores máximos de la corriente de arranque [A], a 220 volts, y 60 Hz.

Capacidad [kW]	Capacidad [CP]	Corriente [A]	Diseño		
0.187	1/4	15	B	D	
0.249	1/3	17	B	D	
0.373	1/2	21	B	D	
0.660	3/4	26	B	D	
0.746	1	31	B	D	
1.119	1 1/2	42	B	D	
1.492	2	52	B	D	
2.238	3	67	B	C	D
3.73	5	96	B	C	D
5.60	7 1/2	133	B	C	D
7.46	10	169	B	C	D
11.19	15	243	B	C	D
14.92	20	303	B	C	D
18.65	25	382	B	C	D
22.38	30	455	B	C	D
29.84	40	606	B	C	D
37.30	50	758	B	C	D
44.76	60	909	B	C	D
55.95	75	1134	B	C	D
74.60	100	1516	B	C	D
93.25	125	1897	B	C	D
111.90	150	2269	B	C	D
149.20	200	3032	B	C	D
186.50	250	3816	B	C	D
223.80	300	4600	B	C	D
261.1	350	5332	B		D
298.4	400	6064	B		D
335.7	450	6795	B		D
373.0	500	7579	B		D

IV.3.2.1.2 Métodos Analíticos.

El Método Directo de prueba, en la práctica, resulta difícil de llevarse a cabo, particularmente para motores de más de 373 kW (500CP), debido a los problemas y riesgos que implica el bloqueo del rotor y las elevadas corrientes que se manejan.

Por lo anterior, son ampliamente utilizados los métodos de prueba de rotor bloqueado a tensión reducida que son:

- Método proporcional directo.
- Método proporcional logarítmico.

Para los dos métodos el motor tiene que ser nuevo y completo en todas sus partes; ninguna reparación especial es necesaria y además debe cumplir con lo siguiente:

- (a) El motor debe estar aproximadamente a la temperatura ambiente antes de iniciar la prueba.
- (b) Verificar la dirección de rotación del motor.
- (c) Asegurar que los medios de bloqueo del rotor sean lo suficientemente fuertes para evitar la posibilidad de daños al personal y/o equipo.
- (d) Las mediciones de tensión, corriente y potencia deben tomarse tan rápido como sea posible.

IV.3.2.1.2.1 Método proporcional directo.

El procedimiento es el siguiente:

- (a) Una vez bloqueado el rotor, aplicar aproximadamente la corriente nominal al devanado primario del motor a frecuencia nominal.
- (b) Hacer las mediciones de la tensión de prueba, corriente de prueba y potencia de entrada.
- (c) Medir la resistencia del estator tan pronto como se interrumpa la corriente de prueba.
- (d) Proceder a calcular corriente, potencia y par de arranque como sigue:

$$I_a = I_{sl} \cdot \frac{V_{nom}}{V_{sl}}$$

$$W_a = W_{sl} \cdot \frac{I_a^2}{I_{sl}^2}$$

$$T_a = T_{nom} \cdot \frac{(1-S) \cdot (W_a - 1.5r_{sl} \times r_a^2)}{W_{nom}} \cdot 100$$

donde:

I_a	Corriente de arranque [A].
I_{sl}	Corriente de prueba [A].
V_{nom}	Tensión nominal [V].
V_{sl}	Tensión de prueba [V].
W_a	Potencia de arranque [W].
W_{sl}	Potencia de prueba [W].
T_a	Par de arranque [kgf·m].
T_{nom}	Par nominal [kgf·m].
S	Deslizamiento a plena carga.
r_{sl}	Resistencia del estator al término de la prueba [Ω].
W_{nom}	Potencia de salida nominal [W].

IV.3.2.1.2.2 Método proporcional logarítmico.

Cuando el motor de inducción tiene una considerable saturación en la trayectoria de su flujo de dispersión, el método proporcional directo dará un valor de corriente de arranque diferente del valor real. En tal caso, el resultado de la prueba mostrado en una gráfica (tensión vs corriente) es una línea curva, pero en una gráfica logarítmica es una línea aproximadamente recta de manera que la corriente de arranque para tensión nominal puede obtenerse en una gráfica logarítmica con mejor exactitud. El procedimiento es el siguiente:

- Realizar los incisos IV.3.2.1.2.1 (a,b,c).
- Repetir el inciso (a), pero aplicando ahora una corriente aproximadamente de 1.5 a 2.0 veces la corriente nominal.
- Proceder a calcular como sigue:

$$I_a = I_{s2} \cdot \frac{V_{nom}^{\alpha}}{V_{s2}^{\alpha}}$$

$$\alpha = \frac{\log \frac{I_{s2}}{I_{s2}}}{\log \frac{V_{s2}}{V_{s2}}}$$

$$W_a = W_{s2} \cdot \frac{I_a^2}{I_{s2}^2}$$

$$T_a = T_{nom} \cdot \frac{(1-S) (W_a - 1.5 r_{s2} \times I_a^2)}{W_{nom}}$$

•100

donde:

I_a	Corriente de arranque [A].
I_{s2}	Corriente de prueba (aproximadamente la corriente nominal) [A].
V_{nom}	Tensión nominal [V].
V_{s2}	Tensión de prueba (a corriente I_{s2}) [V].
W_a	Potencia de arranque [W].
W_{s2}	Potencia de prueba (a corriente I_{s2}) [W].
I'_{s2}	Corriente de prueba del método logarítmico (aproximadamente 1.5 a 2.0 veces la corriente nominal) [A].
V'_{s2}	Tensión de prueba del método logarítmico (a corriente I'_{s2}) [V].
T_a	Par de arranque [kgf·m].
T_{nom}	Par nominal [kgf·m].
S	Deslizamiento a plena carga.
r_{s2}	Resistencia del estator al término de la prueba [Ω].
W_{nom}	Potencia de salida [W].

PRUEBA DE TEMPERATURA

NOM-J-075

IV.3.3.2 Determinación de Incremento de Temperatura.

Esta prueba se realiza a cualquier tipo de motores de los clasifi-
cados en esta norma.

IV.3.3.2.1 Condiciones de prueba.

- (a) El valor de la temperatura ambiente durante la prueba de un motor deberá ser preferentemente mayor de 283.15 K (10°C) y menor de 313.15 K (40°C).
- (b) Tiempo de prueba.
Para motores de servicio continuo la prueba debe prolongarse hasta que se alcance el equilibrio térmico es decir cuando la temperatura de los devanados es prácticamente constante.
- (c) Cualquier prueba de temperatura debe efectuarse bajo las condiciones nominales de placa del motor.
- (d) El método de carga deberá ser alguno de los siguientes:
 - Carga real, la máquina es cargada en condiciones nominales.
 - Carga equivalente, la máquina no es cargada.

IV.3.3.2.2 Método de carga real.

La muestra consiste en un motor nuevo y completo en todas sus partes, no se requiere ninguna preparación especial, el procedimiento es el siguiente:

IV.3.3.2.2.1 Determinación de la temperatura ambiente.

La temperatura ambiente, debe mantenerse promediando la temperatura de varios termómetros colocados en diferentes puntos, alrededor y en la parte media superior del motor, a una distancia de 1 a 2 metros y protegidos de toda radiación de calor y corriente de aire. Cuando la temperatura ambiente pueda variar a tal grado que resulten errores al determinar el diferencial de temperatura, los termómetros deben colocarse en copas con paredes gruesas de metal y llenas de un líquido adecuado como por ejemplo aceite.

Una forma conveniente de esta copa con aceite es la que se obtiene al barrenar un cilindro metálico. Este barrenado se llena con aceite y se introduce el termómetro quedando su bulbo completamen

te sumergido.

Las variaciones en la indicación del termómetro en relación con la rapidez de cambio de temperatura, depende en gran parte del tamaño, la masa y la clase del material del cilindro o copa y pueden ser reguladas mediante la cantidad de aceite que se coloque que en la misma.

Mientras más voluminoso sea el aparato que se prueba, mayor debe ser el tamaño del cilindro utilizado como copa. Las dimensiones mínimas de esta copa deben ser: diámetro 25 mm y altura 50 mm.

El valor adoptado para la temperatura del ambiente durante la prueba, debe ser el promedio de las lecturas de los termóme - - tros, tomadas a intervalos iguales, durante el último cuarto del tiempo de duración de la prueba.

IV.3.3.2.2.2 Procedimiento.

Para determinar la temperatura de los devanados y otras partes del motor, se usa uno de los siguientes métodos: de termóme - - tros, de resistencia o de detector de temperaturas preinsertado (termopar o detector de temperatura tipo resistencia).

(a) Método del termómetro. Este método se aplica en el caso en que el detector interno de temperatura o el método de resistencia no son aplicables.

La temperatura se determina colocando termómetros en las superficies accesibles del motor. El término termómetro comprende también a los termopares y termómetros de resistencia, aplicados a los puntos inaccesibles para termómetros de bulbo.

Si se emplean termómetros de bulbo en lugares en donde exista campo magnético o vibración, deben preferirse los termómetros de alcohol a los termómetros de mercurio, por su mayor exactitud.

(b) Método de resistencia. Este método se usa para determinar el incremento de temperatura de los devanados que no em - - plean detectores de temperatura internos.

En este método la elevación de temperatura en los devanados, se determina por los incrementos de resistencia de los mismos.

Para la determinación del aumento de temperatura $t_2 - t_a$, de los devanados de cobre o aluminio, por el incremento de resistencia, se aplica la siguiente fórmula:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{t_2 + K}{t_1 + K}$$

donde:

R_1	Resistencia inicial del devanado en frío [Ω].
R_2	Resistencia del devanado al final de la prueba [Ω].
t_1	Temperatura en grados K (°C), del devanado en frío, en el momento inicial de la prueba.
t_2	Temperatura en grados K (°C), del devanado al final de la prueba.
t_a	Temperatura en grados K (°C), del ambiente, al final de la prueba.
K	234.5 para cobre puro.
K	225.0 para aluminio basado en un volumen de conductividad del 62%.
ΔT	Incremento de temperatura en grados K [°C].

Para propósitos prácticos, puede emplearse la siguiente forma, de la fórmula anterior:

$$\Delta t = t_2 - t_a = \frac{R_2}{R_1} \cdot (t_1 + K) - (t_a + K)$$

agrupando se tiene:

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{(t_2 - t_a) + (t_a + K)}{(t_1 + K)}$$

Cuando la temperatura del devanado vaya a determinarse por el método de resistencia, antes de la prueba, debe comprobarse por termómetro que sea prácticamente la misma que la del ambiente.

(c) Método del detector de temperatura preinsertado. Los detectores de temperatura preinsertados, son termómetros de resistencia o termopares preinsertados en el embobinado durante la construcción del motor, en los puntos que son inaccesibles, con el motor ya ensamblado.

Deben montarse, convencionalmente distribuidos alrededor de la circunferencia y colocados en la parte media del núcleo, en lugares donde puedan ocurrir las mayores elevaciones de temperatura. Cada detector se instala en contacto directo, con la superficie cuya temperatura debe medirse, y en tal forma que quede protegido contra el contacto del aire de enfriamiento.

En casos en que no se desee el uso de detectores internos de temperatura, pueden omitirse de común acuerdo entre el cliente y el fabricante, debiendo entonces emplearse el método de resistencia con el mismo límite de elevación de temperatura.

Los detectores deben colocarse de la siguiente forma:

(I) Para motores de devanados con dos lados de bobina por ranura: Se coloca cada detector entre los lados aislados de bobinas, dentro de la ranura.

(II) Para motores con devanados con más de dos lados de bobina por ranura:

Cada detector se debe colocar entre los lados aislados de bobinas, en el lugar donde se espera se produzca la mayor elevación de temperatura.

(III) Para motores de devanados con un lado de bobina por ranura: No es recomendable usar en este tipo de devanados, un detector interno de temperatura, por lo que es más conveniente usar el método de resistencia.

Para medir la temperatura de estos devanados en servicio, el uso de un detector interno en el fondo de la ranura es de poco valor, porque registra principalmente la temperatura del núcleo de hierro. Un detector colocado entre la bobina y la cufía, acusa mejor la temperatura del devanado, obte

niéndose mejores resultados, aun cuando la temperatura en ese punto sea menor.

- (d) Alcanzando el equilibrio térmico (ver inciso IV.3.3.2.1 (b)), desenergizar el motor y en el intervalo indicado en la tabla 6, medir y registrar los siguientes parámetros:
- (a) Resistencia de línea del estator [Ω].
 - (b) Temperatura de los devanados [K] o [$^{\circ}\text{C}$].

Tabla 6- Período para la medición de parámetros (ver inciso IV.3.3.2.2(d)).

Capacidad en kW (CP)	Tiempo de retardo para la medición en seg.
37.3 (50) ó menor	30
mayor de 37.3 (50) a 149.2 (200)	90
mayor de 149.2 (200)	120

Nota- Si el tiempo de retardo dado en la tabla anterior es excesivo, graficar una curva basada en la resistencia a través de las terminales con al menos 5 puntos en un intervalo de 60 segundos para determinar los valores de retardo dados en la tabla.

IV.3.3.2.3 Método de carga equivalente.

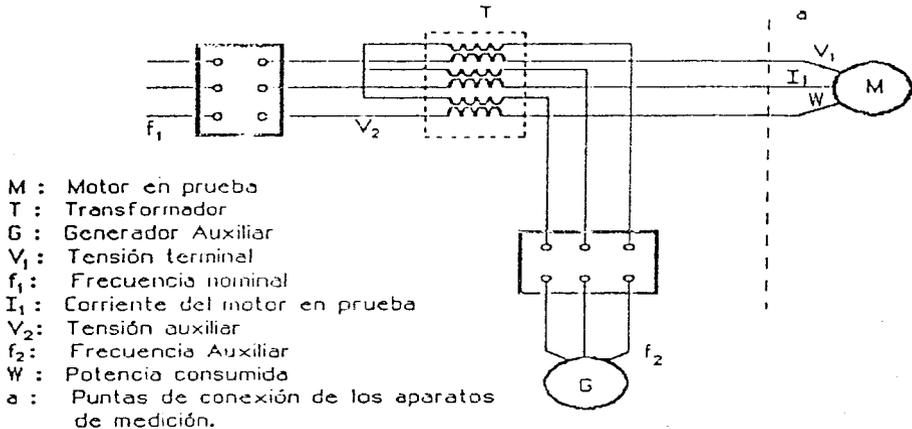
El método de carga equivalente es de gran utilidad para medir la elevación de temperatura de máquinas de inducción especialmente de gran tamaño por las siguientes razones:

- No requiere equipo de carga y generación de energía de capacidad comparable con la de la máquina que se quiere probar.
- No necesita acoplarse ninguna carga, lo cual ahorra mucho tiempo, especialmente en motores de gran capacidad o motores verticales.
- No hay elementos de carga que consuman energía en forma de calor, lo cual es bastante significativo en motores de gran capacidad.

La prueba consiste en aplicar simultáneamente dos tensiones de diferente magnitud y frecuencia al motor bajo prueba. Una de

las tensiones será de magnitud y frecuencia nominales, la otra será de una frecuencia que usualmente es menor y su magnitud debe ajustarse para que en las terminales del motor exista la corriente nominal equivalente al valor a plena carga. La figura 3 muestra un arreglo típico de conexiones para realizar la prueba.

Figura 3. Diagrama esquemático de conexión para la prueba de carga equivalente.



Al operar el motor en las condiciones anteriormente mencionadas, el motor girará a una velocidad menor a la sincrónica con respecto a la fuente de frecuencia nominal, por lo que trabajará como motor; sin embargo, respecto a la fuente de menor frecuencia, el motor actuará como un generador de inducción.

Las pérdidas en el cobre (I^2R) del primario del motor, cuando el

valor de corriente sea igual, serán las mismas que en una prueba con carga real. La tensión en las terminales del motor también se ajusta al valor nominal de tensión del motor y por tanto, se puede esperar que el flujo magnético y las pérdidas del núcleo sean aproximadamente iguales a las obtenidas en una prueba con carga real.

Nota- Antes de aplicarle al motor las dos fuentes de tensión simultáneamente, debe verificarse que la secuencia de fases sea la misma, ya que de lo contrario puede provocarse un sobrecalentamiento excesivo del motor. Para verificar el sentido puede conectar por separado ambas fuentes y si el motor gira en la misma dirección en ambos casos, la secuencia de fases será la misma, en caso contrario intercambia dos fases de la fuente que haga girar el motor en el sentido inverso al establecido.

El procedimiento es el siguiente:

- (a) Se arranca el motor con la fuente de tensión y frecuencia nominales únicamente; luego aplique la tensión de la fuente auxiliar incrementando lentamente la corriente de excitación del generador auxiliar.
- (b) En general, la magnitud de la tensión de la fuente auxiliar es aproximadamente el 20% de la tensión nominal del motor. En cuanto a la proporción de las frecuencias, se recomienda una separación entre ellas de aproximadamente 10 Hz. Una combinación de frecuencias adecuada es de 50 y 60 Hz.
- (c) Una vez que se obtengan en las terminales del motor la tensión y las frecuencias nominales, se mantiene el motor operando hasta que se logre el equilibrio térmico, y entonces se mide la temperatura de los devanados (ver inciso IV.3.3.2.1(b)).
- (d) El incremento de temperatura debe ser la diferencia entre el valor medido y la temperatura ambiente al momento de realizar la prueba y este valor debe cumplir con los valores de la tabla 3.

Tabla 3. Temperatura de referencia de acuerdo a la clase de aislamiento.

Clase de aislamiento	Temperatura (°C)
105 (A)	75
130 (B)	95
155 (F)	115
180 (H)	130

Nota- Es posible que se necesite hacer ajustes a las tensiones de ambas fuentes (inciso IV.3.3.2(a)) para lograr la tensión y la corriente nominales, en las terminales del motor.

Las temperaturas obtenidas por el método de carga equivalente en general son mayores que las obtenidas por el método de carga real.

Este método sirve únicamente para medir la elevación de temperatura y no para calcular eficiencia, factor de potencia o medir vibración.

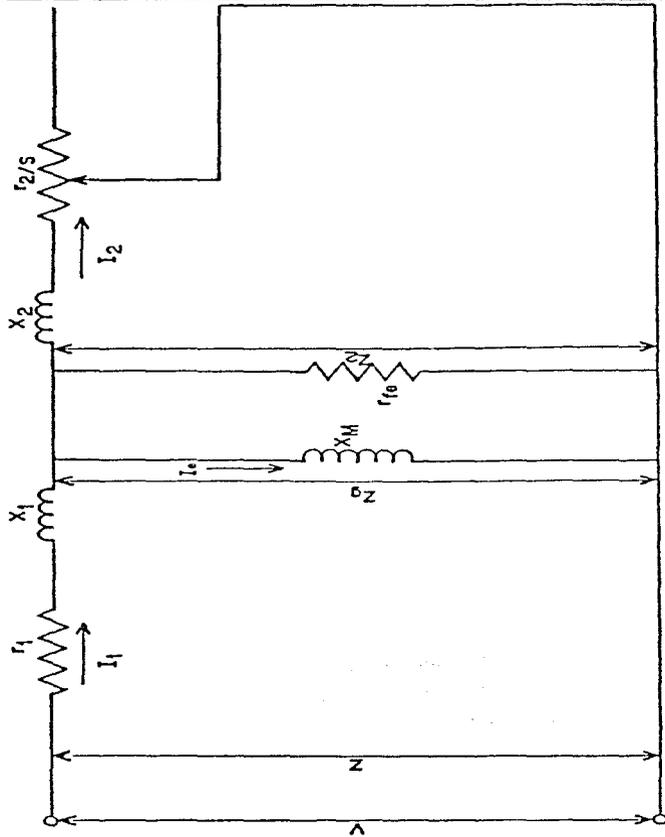
DETERMINACION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

NOM-J-433-1987.

7.2.2 Método de cálculo del circuito equivalente para determinar las características de funcionamiento de motores de inducción trifásicos.

a) Antecedentes.

El motor de inducción trifásico, en condiciones estables de operación, puede representarse mediante el circuito equivalente mostrado en la figura 4.



Nota:
 Referirse al inciso 7.2.2-1 para la lista completa de nomenclatura de variables

Escala: no

Acot. no

Dibujó: A. M. T.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE MOTOR
 DE INDUCCION

NOM - J - 435

Fig. 4

Todas las características importantes de funcionamiento para un valor dado de carga como son corriente, velocidad, eficiencia, factor de potencia, etc., pueden determinarse a partir del circuito equivalente, cuyos parámetros se obtienen de los datos de prueba en vacío y prueba de impedancia (rotor bloqueado) descritas a continuación:

b) Determinación de parámetros.

b.1) Medición de la resistencia del devanado del estator en frío (r_1)

b.1.1) Aparatos y equipo.

Puente doble (aparato medidor de resistencias).

b.1.2) Procedimiento.

Se mide la resistencia del estator en frío línea a línea, y se corrige a su valor por fase a la temperatura de referencia, de acuerdo a la clase de aislamiento aplicado al estator (véase tabla 11).

Tabla 11 - Temperatura de referencia de acuerdo a la clase de aislamiento.

Clase de aislamiento.	Temperatura. (°C)
105 (A)	(75)
130 (B)	(95)
155 (F)	(115)
180 (H)	(130)

b.2) Prueba en vacío.

De esta prueba debe obtenerse lo siguiente:

Corriente en vacío I_{10}
 Potencia de entrada en vacío W_0

Pérdidas de fricción y ventilación W_f

Pérdidas del núcleo W_h

b.2.1) Procedimiento.

La prueba de vacío se efectúa operando el motor a tensión y frecuencia nominales, sin carga alguna acoplada a su flecha. Para obtener un valor correcto de pérdidas de fricción y ventilación el motor permanecerá operando hasta que la potencia de entrada (W_0) permanezca constante. La corriente medida en cada línea, durante esta prueba es la corriente en vacío del motor (I_{10}).

b.2.2) Pérdidas.

La lectura de potencia de entrada (W_0) corresponde a las pérdidas totales del motor en vacío. Restando a esta potencia de entrada las pérdidas $I_{10}^2 \cdot r_{10}$ del estator (a la temperatura de la prueba) se obtiene la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y del núcleo ($W_f + W_h$).

La separación de pérdidas del núcleo, de las de fricción y ventilación, se lleva a cabo mediante la variación de la tensión de entrada desde un 120% hasta un 40% de la tensión nominal, midiéndose tensión, corriente y potencia de entrada en cada punto. En seguida se grafica la curva de potencia de entrada contra tensión extrapoliándose la curva obtenida hasta tensión cero.

La intersección con el eje de tensión dará las pérdidas de fricción y ventilación (W_f).

Las pérdidas del núcleo quedan dadas por la ecuación:

$$W_h = W_0 - W_f - (I_{10}^2 \cdot r_{10}) \text{ del estator.}$$

b.3) Prueba de impedancia (rotor bloqueado).

De esta prueba debe obtenerse lo siguiente:

Tensión de fase	V_L
Corriente de línea	I_{1L}
Potencia de entrada	W_L
Resistencia del estator	r_{1L}
Frecuencia a rotor bloqueado	f_L

NOTA.- L indica dato de prueba de rotor bloqueado.

b.3.1) Procedimiento.

El procedimiento es el mismo que se indica en 7.2.1.4.1 a, b y c⁺, con la única diferencia de que la prueba se efectúa a 25% de la frecuencia nominal. El valor exacto de frecuencia durante la prueba debe ser anotado.

Es necesario que los datos de impedancia se obtengan haciendo la prueba a frecuencia reducida a fin de obtener lo más exacto posible los valores de resistencia del rotor y de reactividades requeridos para el cálculo.

+ - Ver prueba a rotor bloqueado NOM-J-075.

b.3.2) Cálculos en la determinación de los parámetros (solución del circuito equivalente).

La secuencia de cálculos en la determinación de los parámetros del circuito equivalente, es la indicada en la forma 7.2.2-1.

Forma 7.2.2-1 para la secuencia de cálculos en la determinación de los parámetros del circuito equivalente.

a) Nomenclatura.

A menos que otra cosa se especifique, todas las impedancias, admitancias y tensiones son por fase estrella.

Los valores de potencia y los Volt-Amperes son totales del motor.

- V = Tensión en Volts.
- f = Frecuencia en Hertz.
- I_1 = Corriente de línea o del estator en amperes.
- I_2 = Corriente del rotor en amperes.
- S = Deslizamiento expresado por unidad.
- m = Número de fases.
- r_1 = Resistencia del estator en ohms corregida a la temperatura de referencia.
- r_{10} = Resistencia del estator en ohms a la temperatura durante la prueba en vacío.
- r_{1L} = Resistencia del estator en ohms en la prueba de impedancia.
- r_2 = Resistencia del rotor en ohms referida al estator y corregida a la temperatura de referencia.
- r_{2L} = Resistencia del rotor en ohms referida al estator en la prueba de impedancia.
- X_1 = Reactancia de dispersión del estator en ohms.
- X_2 = Reactancia de dispersión del rotor referida al estator en ohms.
- X_m = Reactancia de magnetización en ohms.
- b_m = Susceptancia de magnetización en ohms⁻¹.
- r_{fe} = Resistencia del núcleo en ohms.
- g_{fe} = Conductancia del núcleo en ohms⁻¹.

VAR = Volt-Amperes Reactivos.

W = Potencia en Watts.

W_h = Pérdidas del núcleo en Watts.

W_f = Pérdidas de fricción y ventilación en Watts.

W'_{LL} = Pérdidas extrañas o indeterminadas en Watts (se consideran 0.5% de la potencia nominal a corriente a carga plena).

Inom = Corriente a carga plena de diseño o placa en amperes.

Subíndices

L = Cantidades pertenecientes a la prueba de impedancia.

o = Cantidades pertenecientes a la prueba en vacío u operación sin carga.

b) Procedimiento.

b.1) Estimar un valor para la relación X_1/X_2 . Cuando los detalles de diseño están disponibles, use la razón calculada (X_1/X_2), de otra forma use

$(X_1/X_2) = 1.0$ para motores equivalentes al diseño A y D.

$(X_1/X_2) = 0.67$ para motores equivalente al diseño B.

$(X_1/X_2) = 0.43$ para motores equivalente al diseño C.

$$\text{VARO} = \sqrt{(m \cdot V I_{10})^2 - W_o^2}, \quad \text{VAR}_L = \sqrt{(m V_L I_{1L})^2 - W_L^2}$$

$$X_m = \left(\frac{M V_o^2}{\text{VARO} - m I_{10}^2 X_1} \right) \left(\frac{1}{1 + X_1/X_m} \right)^2 \dots (1)$$

$$X_{1L} = \frac{\text{VAR}_L}{(m I_{1L})^2 (1 + X_1/X_2 + X_1/X_m)} (X_1/X_2 + X_1/X_2) \dots (2)$$

$$X_1 = \frac{t}{f_L} (X_{1L}) \dots \dots \dots (3)$$

b.2) Las ecuaciones 1, 2 y 3 se resuelven como sigue:

- 1) Resuelva la ecuación 1 para X_m , asumiendo un valor de X_1/X_m .
- 2) Resuelva la ecuación 2 para X_{1L} , usando el valor de X_m obtenido en el paso 1.
- 3) Resuelva la ecuación 3 para X_1 .
- 4) Resuelva la ecuación 1 para X_m usando el valor de X_1 obtenido en el paso 3.
- 5) Calcule la relación entre (X_1/X_m) de cálculo a (X_1/X_m) asumida, la cual deberá estar dentro del rango de 0.99 a 1.01%. Si no es así, continúe iterando hasta obtenerlo.

b.3) Una vez obtenido lo anterior, solucione las siguientes ecuaciones:

$$b_m = 1/X_m \dots \dots \dots (4)$$

$$X_2 = X_1/(X_1/X_2) \dots \dots \dots (5)$$

$$W_h = W_0 - W_f - m I_{10}^2 \cdot r_{10} \dots \dots \dots (6)$$

$$g_{fe} = \frac{Wh}{mV_0^2} (1 + X_1/X_m)^2 \dots \dots \dots (7)$$

$$r_{fe} = 1/g_{fe} \dots \dots \dots (8)$$

$$r_{2L} = \left(\frac{W_L}{mI_{1L}^2} - r_{1L} \right) / \left[\left(1 + \frac{X_1}{X_2} \cdot \frac{X_1}{X_m} \right)^2 - \left(\frac{X_2}{X_1} \cdot (X_{1L}^2 \cdot g_{fe}) \right) \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$r_2 = K \cdot r_{2L} \quad \text{Donde: } K = \text{Factor de corrección a la temperatura de referencia de acuerdo al material} \dots\dots\dots (10)$$

$$K = \frac{234.5 + T_s}{234.5 + T_f} \quad (\text{para el cobre}) \dots\dots\dots (11)$$

Donde: T_s = Temperatura de referencia (véase tabla 11).

T_f = Temperatura ambiente cuando se mide la resistencia del estator en frío.

$$W'_{LL} = 1000 \cdot kW_{nom} \cdot 0.005 \dots\dots\dots (12)$$

c) **Determinación de las características de funcionamiento.**

Una vez obtenidos los parámetros del circuito equivalente, las características de funcionamiento del motor a cualquier valor dentro del rango de carga se obtienen siguiendo la secuencia de cálculo mostrada en la forma 7.2.2-2. Los cálculos se han ordenado de modo que su programación en una computadora pueda hacerse fácilmente.

Forma 7.2.2-2 determinación de las características de funcionamiento.

El cálculo se inicia asumiendo un valor de deslizamiento S , correspondiente al valor esperado de velocidad para plena carga o cualquier otro punto de carga. Para la operación como motor, S es positivo así como todos los valores numéricos anotados en las ecuaciones. Los números entre paréntesis representan el número de la ecuación correspondiente.

Número de ecuación	Descripción.
1	$S =$ Deslizamiento (por unidad).
2	r_2/s
3	x_2
4	$z_2^2 = (2)^2 + (3)^2$
5	$g_2 = (2)/(4)$
6	g_{fe}
7	$g_1 = (5) + (6)$
8	$-b_2 = (3)/(4)$
9	$-b_m$
10	$-b = (8) + (9)$
11	$y^2 = (7)^2 + (10)^2$
12	$r_g = (7)/(11)$
13	$r_1 =$ Resistencia por fase
14	$r = (12) + (13)$
15	$x_g = (10)/(11)$
16	x_1
17	$x = (15) + (16)$

$$\begin{aligned}
18 \quad z &= \sqrt{(14)^2 + (17)^2} \\
19 \quad I_1 &= V/(18) \\
20 \quad I_2 &= I_1 / \sqrt{(4) \cdot (11)} \\
21 \quad \text{Watts de entrada} &= m \cdot (19)^2 \cdot (14) \\
22 \quad \text{Watts de entrada al rotor} &= m \cdot (20)^2 \cdot (2) \\
23 \quad \text{Pérdidas del estator} &= m \cdot (19)^2 \cdot (13) \\
24 \quad \text{Pérdidas del núcleo} &= m \cdot (19)^2 \cdot (6)/(11) \\
25 \quad \text{Pérdidas del rotor} &= (1) \cdot (22) \\
26 \quad \text{Pérdidas de fricción y ventilación} &= W_1 \\
27 \quad W_{LL} &= W'_{LL} \cdot [(20)/Inom]^2 \\
28 \quad \text{Pérdidas totales} &= \\
&= (23) + (24) + (25) + (26) + (27) \\
29 \quad \text{Watts de salida} &= (21) - (28) \quad (\text{véase nota}) \\
30 \quad \text{Eficiencia } (\%) &= 1 - (28)/(21) \cdot 100 \\
31 \quad \text{Factor de potencia } (\%) &= 100 \cdot (14)/(18) \\
32 \quad \text{Potencia de salida (cp)} &= (29)/746 \\
33 \quad \text{Velocidad} &= [1 - (1)] \cdot \text{Vel. Sinc.} \\
34 \quad \text{Par} &= *K_T \cdot (29)/(33) \\
* \quad K_T &= 7.043 \quad (\text{par en Lb}_f \cdot \text{ft}) \\
K_T &= 112.69 \quad (\text{par en ozf.ft}) \\
K_T &= 9.549 \quad (\text{par en N.m})
\end{aligned}$$

NOTA.- Una vez obtenida la potencia de salida, se compara contra el valor de potencia al cual se quieren conocer las características de funcionamiento. En caso de existir diferencia, el valor de deslizamiento se ajusta hasta obtener la igualdad.

En la forma 7.2.2-3, los resultados de la prueba en vacío de impedancia, los parámetros del circuito equivalente y las características de funcionamiento a 25, 50, 75, 100 y 125% de carga nominal, son resumidos.

Forma 7.2.2-3 Resumen de características.

Tensión: _____ Volts Potencia: _____ Kilowatts
No. de Polos: _____ No. de Fases _____
Frecuencia _____ Hertz No. de Serie: _____

II. Resumen de Pruebas.

II.a Prueba en vacío.

$I_0 =$ _____ Amperes

$W_0 =$ _____ Watts

II.b Prueba de impedancia.

$V_{1L} =$ _____ Volts

$I_{1L} =$ _____ Amperes

$f_L =$ _____ Hertz

$W_L =$ _____ Watts

$r_{1L} =$ _____ Ohms

III. Parámetros del circuito.

V = _____ Volts por fase r_1 = _____ Ohms r_2 = _____ Ohms
 W_f = _____ Watts r_{fe} = _____ Ohms X_1 = _____ Ohms
 W_{ll} = _____ Watts X_2 = _____ Ohms b_m = _____ Ohms⁻¹
 W'_{LL} = _____ Watts g_{fe} = _____ Ohms⁻¹ $(X_1 + X_2) =$ _____ Ohms

IV. Características de funcionamiento.

Parámetros.	% de carga nominal				
	25	50	75	100	125
Potencia (kW).					
Velocidad (RPM)					
Corriente de línea (A).					
Eficiencia (%)					
Factor de potencia (%).					

d) **Determinación del par máximo.**

El circuito equivalente mostrado en la figura 5b es una modificación del circuito equivalente de la figura 4, a partir del cual se determina el valor de par máximo.

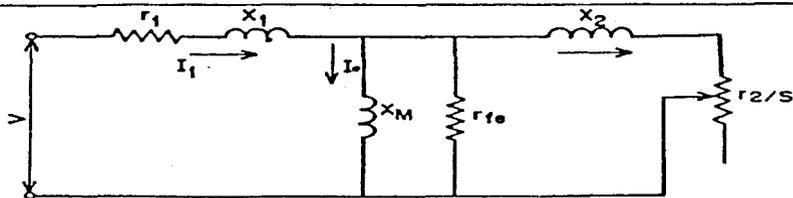


Fig. 5 a

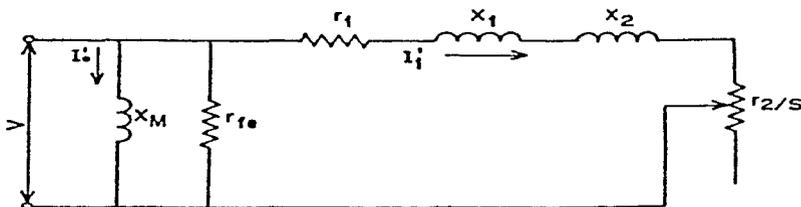


Fig. 5 b

Escala:	nc
Acot.	no
Dibujó:	A. M. T.

Fig. 5 a-CIRCUITO EQUIVALENTE DE
MOTOR DE INDUCCION
Fig. 5 b.- CIRCUITO EQUIVALENTE MODIFICADO
DE MOTOR DE INDUCCION

NOM - J - 433
Fig. 5 a, b.

d.1) Desarrollo.

En el circuito de la figura 5b se tendrá una máxima potencia en r_2/S cuando

$$r_2/S = \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{\max} = (m \cdot I_1^2) (r_2/S) \text{ (watts)} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$$I_1 = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2/S)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \text{ (amperes)}. (3)$$

Por tanto, sustituyendo (3) en (2), tenemos:

$$P_{\max} = \frac{mV^2}{2[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}]} \text{ (watts)} (4)$$

Ahora bien, para un circuito trifásico $m = 3$ (número de fases), por lo que la ecuación 4 será

$$P_{\max} = \frac{3V^2}{2[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}]} \text{ (watts)} (5)$$

Expresando el par máximo en función de la potencia máxima

$$T_{\max} = \frac{P_{\max}}{\frac{2\pi \cdot f}{60}} \text{ (newton·metro)} \dots\dots\dots (6)$$

El par nominal del motor viene dado por

$$T_{\text{nom}} = \frac{1000 (kW_{\text{nom}})}{\frac{2\pi \cdot f}{60} (1 - S_{\text{nom}})} \text{ (newton·metro)} \dots\dots (7)$$

Finalmente, el par máximo expresado en por ciento del par nominal será

$$T_{\max}(\%) = \frac{3V^2(1 - S_{\text{nom}})}{2[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2)^2}] \cdot 1000 \cdot kW_{\text{nom}}} \cdot 100$$

EL USO DE LA FRECUENCIA VARIABLE (F.V.) PARA PRUEBAS DE TEMPERATURA EN MOTORES DE INDUCCION

INTRODUCCION

Cuando un motor de inducción está operando en vacío y la frecuencia de la fuente se incrementa, el motor tomará una cierta carga promedio durante el periodo de aceleración, dependiendo de la inercia total de su rotor (WR^2) y de la magnitud y relación del cambio en frecuencia.

Si se reduce la frecuencia de la fuente, se obtendrá una desaceleración de las masas rotatorias y se entregará energía a la fuente. Ahora la máquina actuará como un generador.

Con la máquina trabajando alternativamente como motor o como generador se establecerá un flujo alternativo de energía y si estos cambios sucesivos son de duración corta, se podrá hacer que la máquina maneje una carga eléctrica equivalente a la de plena carga sin necesidad de aplicar una carga mecánica externa.

FUENTE DE FRECUENCIA VARIABLE

Si se tienen dos fuentes eléctricas de corriente alterna con voltajes diferentes ($V_a > V_b$) y con frecuencias distintas f_a y f_b , cuando se suman en serie, el voltaje V_r y frecuencia f_r resultantes están dados por:

$$V_r = V_a \sqrt{1 + K^2 + 2K \cos 2\pi (f_a - f_b) t} \quad (1)$$

$$f_r = \frac{f_a + K^2 f_b + K (f_a + f_b) \cos 2\pi (f_a - f_b) t}{1 + K^2 + 2K \cos 2\pi (f_a - f_b) t} \quad (2)$$

donde $K = \frac{V_b}{V_a}$ y $t =$ Tiempo en seg.

Las fuentes de suministro utilizadas son:

- a) La fuente principal con el voltaje V_a y frecuencia f_a nominales o de placa en el motor bajo prueba.
- b) Una fuente auxiliar que tiene voltaje reducido V_b (generalmente entre 20 y 30% del de la fuente principal) y una frecuencia f_b que difiere de la principal entre 5 y 10 Hz.

La figura 1 muestra un arreglo típico de las dos fuentes y el motor bajo prueba y la figura 2 muestra el voltaje V_r y la frecuencia f_r resultantes cuando:

$$V_a = 100\% \text{ y } f_a = 60 \text{ Hz.}$$

$$V_b = 30\% \text{ y } f_b = 50 \text{ Hz.}$$

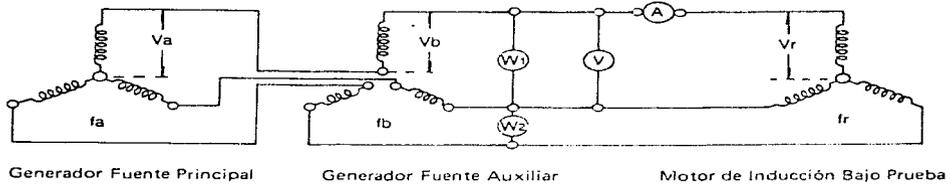


Fig. 1. Circuito típico de prueba por FV

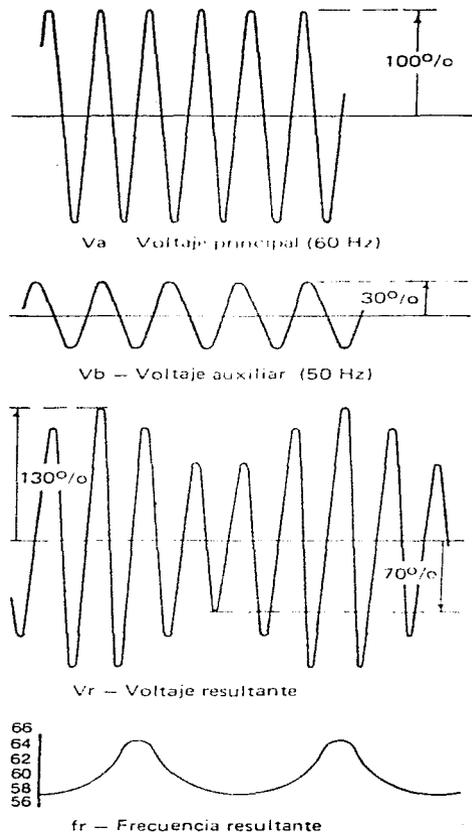


Fig. 2 Voltajes V_a , V_b , V_r y frecuencia F_r .

CARGANDO EL MOTOR

El motor de inducción bajo prueba se arranca a plena velocidad con la fuente principal de 60 Hz. La frecuencia auxiliar f_b se ajusta a aproximadamente $f_a + .15f_a$ y el voltaje de esta fuente auxiliar se incrementa gradualmente hasta que el motor bajo prueba tome su corriente de plena carga.

Las lecturas de los vóltmetros y ampérmetros así como la velocidad fluctuarán a una frecuencia $(f_a - f_b)$ Hz. Si es necesario reducir esta fluctuación se dará una separación mayor a las frecuencias. Cuando las lecturas en el vóltmetro y ampérmetro corresponden a los valores nominales de placa, los wáttmetros indicarán aproximadamente el total de las pérdidas en el motor a plena carga.

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA

Aunque el efecto general de la fuente variable resultante se podrá apreciar en forma convencional, la condición de carga actual no puede analizarse directamente utilizando la teoría del motor de inducción en "estado estable".

En la figura 3, las características calculadas de par y corriente contra velocidad se grafican para la fuente principal y para la auxiliar, de donde puede observarse que el balance de par ocurre un poco abajo de la velocidad síncrona para la fuente de 60 Hz., a un deslizamiento de aproximadamente 0.1%.

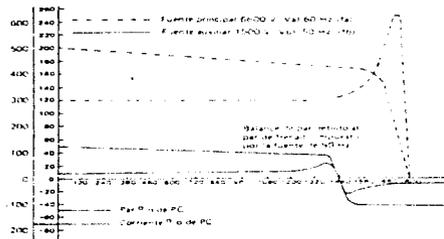


Fig. 3 Características para un motor 350 HP, 6.6 KV, 3 fases, 60 Hz., 4 Polos Inducción Jaula de Ardilla.

Cuando $f_b > f_a$ el balance de par ocurrirá justamente arriba de 1800 rpm.

La figura 4 muestra las componentes de corriente en el estator así como su resultante.

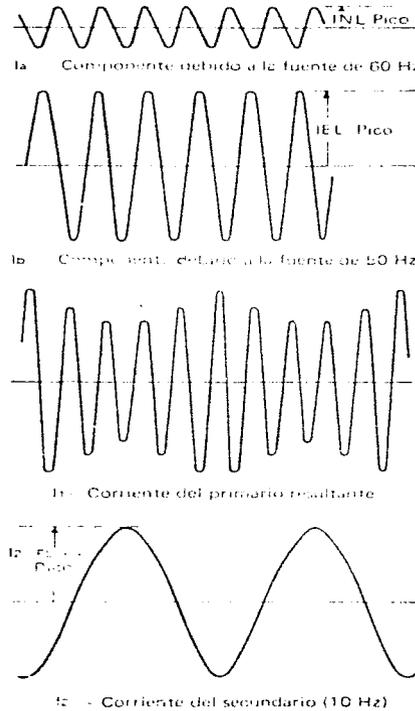


Fig 4 Corrientes Ia, Ib, I1 y I2.

La corriente de plena carga en el estator a 50 Hz., circula debido a la fuente auxiliar y la corriente aproximadamente de vacío a 60 Hz., circula debido a la fuente principal o sea que la fuente auxiliar es responsable por la circulación de la corriente de plena carga y la fuente principal de producir las cargas magnéticas normales. La corriente principal en el rotor a 10 Hz., se debe a un deslizamiento relativo del 25% respecto a la fuente auxiliar de 50 Hz., asociado con un par aproximado del 10% de plena carga nominal.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS PERDIDAS DE COMPONENTES

1.- Pérdidas por fricción y ventilación.

Puesto que la velocidad del motor es para propósitos prácticos, la velocidad de sincronismo asociada a la fuente principal de 60 Hz., las pérdidas por fricción y ventilación serán el valor normal de vacío.

En caso necesario, las pérdidas de fricción y ventilación asociadas al valor de velocidad a plena carga podrán obtenerse con una ligera reducción en la frecuencia de la fuente principal, lo que en la mayoría de las aplicaciones prácticas no sería justificable.

2.- Pérdidas en el hierro.

La fuente principal a voltaje y frecuencia nominales por sí sola introducirá las pérdidas normales en el motor bajo prueba, el efecto de la fuente auxiliar adicional producirá una adición a las pérdidas del hierro sobre el primer valor.

Considerando que las fuentes principal y auxiliar tuvieran 100% V., 50 Hz., y 30% V., 50 Hz., respectivamente y si tomamos las pérdidas del hierro como directamente proporcionales al cuadrado de la densidad del flujo y a la frecuencia ($\propto B^2 \omega$ o $\left[\frac{V}{l}\right]^2 \omega$), las pérdidas en el hierro debidas a cada fuente serán 100% y 13% respectivamente de las normales.

Alternativamente, si la resultante de la fuente variable se considera (ecuaciones 1 y 2), el promedio de las pérdidas en el hierro durante un ciclo completo en la variación de la fuente resulta

ser 111% de las pérdidas normales en el hierro.

3.- Pérdidas en el cobre del estator.

Con la lectura en el amperímetro de corriente a plena carga, las pérdidas en el cobre del estator se pueden tomar como al menos aquéllas que ocurren bajo condiciones normales de plena carga. Realmente, con la aguja del amperímetro oscilando centrada en el valor de corriente a plena carga, el valor de corriente efectivo RMS sobre un ciclo completo de oscilación estará ligeramente arriba del valor de corriente a plena carga.

4.- Pérdidas en el cobre del rotor.

Como se estableció con anterioridad, la fuente auxiliar es la responsable de hacer circular la corriente de plena carga en el estator. Debido a la componente de corriente magnetizante relativamente baja, la corriente del rotor tendrá que ser ligeramente mayor que la que maneja en condiciones de carga real.

Las pérdidas del rotor también se ven incrementadas sobre el valor normal a plena carga debido al incremento en la resistencia de las barras por la frecuencia de alto deslizamiento en el rotor respecto a la fuente auxiliar. Este último efecto será por supuesto más significativo cuando se utilizan en el motor barras con un alto grado de desplazamiento de corriente alterna. Como ejemplo, considerando nuevamente que las fuentes principal y auxiliar tienen frecuencias de 60 Hz. y 50 Hz., respectivamente y que las barras del rotor tienen una relación de resistencia en corriente alterna a directa de 1.70, entonces la relación de resistencias efectiva durante una corrida con P.V., será alrededor de 1.75.

5.- Pérdidas dispersas o indeterminadas.

Aunque las corrientes del estator y rotor son iguales o un poco en exceso de sus valores bajo operación normal a plena carga, las pérdidas en las regiones extremas del estator y las corrientes de eddy en el conductor serán mayores que las normales cuando f_b es mayor que f_a y menores si f_b es menos que f_a .

Las pérdidas por armónicas en el rotor y frecuencia de ranuras (generalmente las más significativas), tendrán sensiblemente los mismos valores que bajo carga normal independientemente de la frecuencia en la fuente auxiliar.

CONCLUSIONES

El total de las pérdidas en un motor de inducción durante una prueba de temperatura con F.V., se encontrará siempre con exceso respecto a las de una condición estable normal a plena carga. Por tal motivo cuando no se pueda aplicar carga directa ya sea por limitaciones en la fuente, de acoplamiento o de carga, este método de corrida de temperatura es una alternativa que asegura cumplimiento con las especificaciones relevantes con respecto al incremento de temperatura en los devanados.

Los Kw., medidos como pérdidas durante la prueba F.V., aunque muy cercanos, no corresponden exactamente a las pérdidas en la máquina a plena carga y como en esta prueba no se pueden medir el factor de potencia y el deslizamiento, se utilizarán valores calculados para establecer la eficiencia por el método de sumariación de pérdidas.

SATURACION EN VACIO

IEEE Std 113-1985

5.1 Saturación magnética. La curva de saturación sin carga es una relación no lineal entre el voltaje terminal de la armadura y la corriente de campo a una velocidad nominal base y a una corriente de armadura cero. Los datos deben ser tomados a voltajes debidamente espaciados para permitir una graficación precisa desde una corriente de campo cero hasta aproximadamente el 125% del voltaje nominal.

5.1.1 Controlada separadamente. La máquina debe ser hecha funcionar a velocidad nominal mediante cualquier medio conveniente. Si es posible, la corriente de campo debe ser suministrada desde una fuente separada para estabilizar el voltaje y facilitar la toma de datos. Lecturas simultáneas de la corriente de campo, del voltaje de armadura y de la velocidad, deben ser tomadas.

PRECAUCION: Si la máquina que está siendo probada tiene polos de conmutación y está construida con escobillas localizadas fuera del neutro, tal prueba puede ser dañina y carente de significado.

5.1.1.1 Curva ascendente. Un conjunto de lecturas deben ser tomadas comenzando con una corriente de campo cero e incrementándola hasta que el voltaje máximo sea obtenido. Tres de las lecturas tomadas deben estar tan cerca como sea posible al 90%, 100% y 110% del voltaje nominal.

Para evitar inconsistencias causadas por efectos de histéresis, el voltaje terminal de armadura nunca debe ser llevado arriba del punto de prueba determinado y entonces disminuido. Si esto debe ocurrir durante la

prueba, la corriente de campo debe ser reducida a cero y el voltaje terminal de armadura aumentado hasta el punto de prueba determinado.

5.1.1.2 Curva descendente. Otro conjunto de lecturas puede ser obtenido mediante el arranque a un voltaje terminal de armadura máximo y disminuyendo la corriente de campo a cero. Para evitar inconsistencias causadas por efectos de histéresis, el voltaje terminal de armadura nunca debe ser llevado abajo del punto de prueba determinado y entonces aumentado. Si esto debe ocurrir durante la prueba, la corriente de campo debe ser aumentada hasta el valor máximo y el voltaje terminal de armadura disminuido hasta el punto de prueba determinado.

5.1.2 Autocontrolada (Excepto motores de devanado serie).

Si ningún control por separado adecuado está disponible, los datos para una curva aproximada de saturación sin carga pueden ser tomados operando la máquina como motor no acoplado, desde una fuente separada de potencia, de corriente directa y libre de rizo. Esta fuente debe ser ajustable desde aproximadamente un 25% hasta un 125% del voltaje nominal. Los efectos de la histéresis magnética deben ser evitados como es discutido en 5.1.1.1 y 5.1.1.2. La corriente de campo requerida para obtener una velocidad nominal a los diferentes voltajes, varía de los datos de saturación sin carga debido a los efectos de la corriente de armadura, la cual es requerida para operar la máquina como motor no acoplado. La máquina puede volverse inestable a bajo voltaje y por consiguiente deben tomarse precauciones contra una posible sobrevelocidad.

MEDICION DEL ENTREHIERRO

IEEE Std 113-1985

4.3 Mediciones del entrehierro. La medición de los entrehierros debe incluir un chequeo de la instalación correcta de los polos principales, una prueba de posible deformación del rodamiento o del soporte del rodamiento, una inspección de su suficiente juego antes de la prueba y un apropiado ensamblado del rotor con respecto al estator. Disimetría en los entrehierros de los polos principales de campo - o auxiliares - puede provocar dificultades, tales como un rizo de voltaje excesivo o un sobrecalentamiento de los compensadores. Medir el mínimo entrehierro en el centro (aproximadamente) de cada polo principal y de cada pieza polar auxiliar de campo, usando una plantilla de espesor o regla graduada adecuada para determinar el intervalo (entrehierro), por lo menos, lo más cercano a 0.100 mm (0.005 pulg) para motores de potencia integral (hp) y lo más cercano a 0.050 mm (0.002 pulg) para motores de potencia fraccional (hp). Todas las mediciones deben ser hechas entre las superficies de hierro de las piezas polares y el rotor. En la práctica normal, un punto común sobre el rotor es seleccionado y el punto es rotado a cada polo en turno, conforme las mediciones son hechas.

Donde no existan las aberturas, la uniformidad del entrehierro puede ser determinada asegurándose de que el rotor de vuelta libremente en la máquina ensamblada cuando gire con un alambre espiralmente espaciado alrededor de la periferia del rotor. Para esta prueba el diámetro del alambre debe ser de al menos el 70% de la mitad de la diferencia entre la distancia diametral de las caras del polo principal y el diámetro exterior del rotor.

4.3.1 Registro de datos. Este procedimiento recomienda uniformidad en la identificación del polo. El polo principal No 1 y el polo auxiliar de campo No 1 serán ya

sea el polo más elevado o el primer polo de cada tipo en dirección de las manecillas del reloj, desde una línea o eje vertical a una línea o eje horizontal, cuando la máquina sea vista desde el extremo del conmutador. Cada polo principal será numerado empezando con el polo No 1 y procediendo consecutivamente en dirección de las manecillas del reloj.

Para una máquina de flecha vertical, el polo No 1 es el primero en dirección de las manecillas del reloj, mientras es visto desde el extremo del conmutador de la máquina, desde algún punto designado, tal como la placa del fabricante o la marca de dirección de rotación. Este punto debe ser identificado en el registro de datos.

PRUEBA CON CARGA

IEEE Std 113-1985

5.7 Prueba con carga en motores de potencia fraccional (hp). El rendimiento o eficiencia en la carga para motores de potencia fraccional (hp) debe ser medido por medio de un dinamómetro, torquímetro o freno de freno.

En motores de régimen continuo, la máquina debe ser operada a carga nominal hasta que una temperatura prácticamente constante sea obtenida antes de la prueba. En motores de régimen momentáneo, la carga nominal debe ser aplicada igualmente durante el periodo de tiempo nominal antes de hacerse la prueba de carga. Emiece la prueba de carga con dos y media a tres veces la corriente de carga nominal y tome lecturas desde aproximadamente un 25% hasta cero carga, o en el caso de un motor serie, hasta la velocidad máxima de seguridad. Las lecturas deben ser tomadas a cada carga de voltaje de línea, corriente de línea (entrada), corriente de campo, ununt (siempre que las terminales sean proveídas), velocidad y par.

5.8 Prueba de carga en motores de potencia integral (hp).

5.8.1 Carga. Pequeños motores de potencia integral (hp) pueden ser cargados usando un generador de carga, un dinamómetro, o un freno de freno con o sin torquímetro.

En grandes motores de potencia integral (hp), no están usualmente disponibles medios para medición directa del par de salida. El método de bombeo de regreso (ver 5.4.4) puede ser usado, previendo que dos máquinas del mismo tipo y capacidad están disponibles para la prueba. Cuando no está disponible el mismo tipo y capacidad de máquina, la prueba de carga puede ser efectuada cargando el motor de prueba usando un generador de corriente directa o un brado, o el motor puede ser operado a velocidad nominal como generador, cortocircuitado o muy baja corriente de campo, regulada mediante un motor pequeño. Las pérdidas bajo condiciones de cortocircuito son principalmente pér-

didias I²R. Solo muy limitados datos de carga pueden ser obtenidos por el método de cortocircuito.

ADVERTENCIA: Durante pruebas de cortocircuito, el flujo en el entrehierro es muy bajo y la posición de las escobillas puede tener un efecto adverso sobre la estabilidad de la carga en la máquina; una condición de escape de corriente de carga puede ocurrir. El circuito entonces debe ser protegido mediante un breaker de acción rápida de alta capacidad interruptora. Si debe ocurrir inestabilidad, debe reajustarse la posición de las escobillas hacia la posición neutral. Una falla al observar estas precauciones puede resultar en posible daño al personal y/o al equipo.

5.8.2 Procedimiento de prueba. En motores de régimen continuo, la máquina debe ser operada a carga nominal hasta que una temperatura prácticamente constante sea obtenida antes de la prueba.

En motores de régimen momentáneo, la carga nominal debe ser aplicada durante el período de tiempo nominal antes de hacerse la prueba de carga.

- (1) Para motores sin rango de velocidad por debilitamiento de campo, la prueba de carga debe ser comenzada a una y media veces la corriente de carga nominal y las lecturas tomadas en bases desde aproximadamente el 25% hasta cero carga. En el caso de motores excitados en serie, la carga debe ser disminuida en bases del 25%, hasta que una velocidad máxima de seguridad sea obtenida.
- (2) Para motores destinados para ajuste de velocidad mediante debilitamiento de campo, la prueba de carga

puede ser realizada, ya sea a velocidad base (campo completo), como a velocidad nominal máxima (campo atenuado). Procédase como en (1) excepto que cuide la estabilidad de la velocidad del motor en una operación a velocidad máxima.

- 5.8.3 Lecturas.** Las mismas lecturas deben ser hechas como es indicado en 5.4.3, excepto que las mediciones de par pueden ser omitidas en pruebas de carga de naturaleza rutinaria.

CONMUTACION

IEEE Std 113-1985

5.2 Conmutación. Una buena conmutación de máquina se consigue cuando ni las escobillas ni el conmutador son dañados o quemados durante la realización de una prueba o en servicio normal, en el caso de que un mantenimiento inusual sea requerido.

La presencia de algún chisporroteo visible no es evidencia necesariamente de una mala conmutación.

En potencia rectificadora, la conmutación del motor será afectada por la reactancia de línea de ca, los reactores de línea de cd o las impedancias, y la relación del voltaje de ca al voltaje de cd. Es importante, por consiguiente, que cuando se pruebe una conmutación que use una determinada fuente de poder, ésta tenga características tan similares como sea posible a la fuente de poder determinada. Ver también 3.5. La conmutación visible aparente, generalmente, parecerá más severa con fuentes de alimentación rectificadora. A causa de la persistencia del ojo, un chisporroteo muy corto parecerá prolongado o continuo. La conmutación será observada durante un buen período de tiempo para evaluar correctamente si un chisporroteo dañino está ocurriendo.

REGULACION DE VELOCIDAD

IEEE Std 113-1985

5.3 Regulación. (No aplicable a motores de devanado serie)

5.3.1 Regulación de velocidad de motores. El propósito de esta prueba es determinar la variación de la velocidad en un motor cuando la carga es disminuida uniformemente desde una carga nominal hasta una carga cero con un voltaje de armadura constante y una corriente de campo constante. El procedimiento de prueba es el siguiente:

5.3.1.1 Esta prueba debe ser efectuada después de que ha alcanzado una temperatura estable, resultante de una operación continua a carga nominal. Los datos de prueba deben ser tomados rápidamente tal que la temperatura de los devanados no cambie apreciablemente. Haga funcionar el motor manteniendo el voltaje de armadura y la corriente de campo nominales. Si el motor usa un reóstato de campo en servicio, ajuste el reóstato para obtener una velocidad nominal a una corriente y un voltaje de armadura nominal.

5.3.1.2 Gradualmente, reduzca y aplique plena carga, un cierto número de veces, hasta que lecturas consistentes sean obtenidas. Registre las velocidades respectivas a plena carga y cero carga y calcule la regulación de velocidad en concordancia con la siguiente ecuación:

$$\text{Regulación de velocidad por } \% = 100 \left[\frac{\text{velocidad en vacío} - (\text{velocidad a carga nominal})}{\text{velocidad a carga nominal}} \right]$$

Quando sea requerido, datos de prueba de velocidad-carga más completos pueden ser tomados.

EFICIENCIA

IEEE Std 113-1985

5.4 Eficiencia. La eficiencia es la razón de la potencia de salida a la potencia de entrada total. La potencia de salida es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas. Por consiguiente, si dos de las tres variables (salida, entrada, pérdidas) son conocidas, la eficiencia puede ser determinada por una de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de entrada}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{potencia de entrada}}$$

(Particularmente aplicable a motores)

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de salida} + \text{pérdidas}}$$

(Particularmente aplicable a generadores)

Para motores, la potencia de entrada puede ser determinada midiendo la potencia del circuito de armadura y la potencia del campo shunt, incluyendo las componentes de cd y ca si la operación es con potencia rectificadas, como es descrito en 3.4. La potencia de salida puede ser determinada midiendo la salida mecánica usando un torquímetro o un dinamómetro y un tacómetro como es descrito en 5.4.3.1 y en 5.4.3.2. Las pérdidas segregadas pueden ser determinadas como es descrito en 5.4.5 y 5.5.

Para generadores, la potencia de entrada puede ser determinada como la suma de la entrada de potencia mecánica medida usando un torquímetro o un dinamómetro y un tacómetro, y la entrada de potencia eléctrica al campo shunt. La potencia de salida puede ser determinada como el producto del voltaje y la corriente terminal de armadura medida. Las pérdidas pueden ser determinadas como es descrito en 5.4.5 y 5.5.

5.4.1 Condiciones de referencia.

5.4.1.1 A menos que sea especificado de otra manera,

los datos de eficiencia serán determinados para el voltaje y la velocidad nominal. En el caso de motores de velocidad ajustable, la velocidad base será usada a menos que sea especificado de otra manera.

- 5.4.1.2 En la determinación individual de las pérdidas I^2R para cálculos de eficiencia, las resistencias de los devanados serán corregidas a una temperatura igual a un ambiente de 25°C más los incrementos de temperatura a carga nominal observados mediante resistencia. Cuando los incrementos de temperatura a carga nominal no han sido medidos, refiérase a ANSI/NEMA MG1-1978, para determinar la temperatura a ser usada en la corrección de las resistencias de devanado.
- 5.4.1.3 Si son utilizadas pruebas de entrada-salida para determinar la eficiencia, éstas deben ser hechas tan cercanamente como sea posible a la temperatura final obtenida en operación durante el tiempo especificado en los datos técnicos (de placa) bajo las condiciones ya señaladas con anterioridad.
- 5.4.1.4 Otras pérdidas diferentes a las pérdidas I^2R no tienen que ser corregidas por temperatura si los datos son tomados bajo condiciones estándar. Ver 4.1.2.

5.4.2 Métodos. En general, para el tamaño indicado de las máquinas, deben ser usados los siguientes métodos para los cuales serán observadas las precauciones listadas en la Sección 3 de estos procedimientos:

Tamaño de la máquina	Método para esa máquina
Potencia fraccional (hp)	Freno, dinamómetro o

Potencia integral(hp)

torquímetro

Dinamómetro, torquímetro, freno, bombeo de regreso o pérdidas segregadas

5.4.3 Mediciones directas de entrada y salida. Mediciones directas de entrada y salida son hechas siempre en máquinas de potencia fraccional (hp) y generalmente en máquinas pequeñas pero éstas llegan a ser cada vez más difíciles de realizar conforme el tamaño de la máquina aumenta, a causa de limitaciones del equipo de prueba disponible.

Lecturas. Lecturas de entrada (o salida) de corriente y voltaje, salida (o entrada) de velocidad y par, temperatura ambiente, temperatura o resistencia de armadura, y temperaturas o resistencias de bobina de campo, deben ser obtenidas para seis puntos de carga, substancial e igualmente espaciados desde 0.25 hasta 1.5 veces la carga nominal. Con motores excitados en serie, la carga mínima es determinada por las limitaciones de velocidad de la máquina. Para lecturas a ser usadas en determinaciones de rendimiento, el incremento de temperatura en la máquina estará en algún valor entre el 50% y el 100% del incremento de temperatura nominal. En potencia rectificada, (Ver Forma C) las siguientes lecturas deben ser tomadas en cada uno de los seis puntos de carga:

Lectura	Valor	Valor
	RMS	Promedio

Entrada de voltaje a la fuente de poder, todas las fases	X	-
--	---	---

Entrada de voltaje al circuito de armadura	•	X
Entrada de corriente al circuito de armadura	•	X
Componente de CA de la corriente del circuito de armadura	X	-
Entrada de potencia al circuito de armadura	-	•
Componente de CA de la entrada de potencia al circuito de armadura	-	X
Entrada de voltaje al circuito de campo shunt	•	X
Entrada de corriente al circuito de campo shunt	•	X
Entrada de potencia al circuito de campo shunt	-	•
Velocidad	-	X
Par		X
Temperatura o resistencia de armadura	-	X
Temperaturas o resistencias de bobina de campo	-	X
Temperatura ambiente	-	X

• Opcional

FORMA C
POTENCIA RECTIFICADA
PRUEBA DEL DINDINAMETRO H.C.A MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

____ hp kW _____ r/min volts _____ amperes _____ °C Tiempo indicado _____ ohms a _____ °C
RESISTENCIA: Armadura _____ ohms a _____ °C
No. serie _____ Devanados en serie _____ ohms a _____ °C

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Punto de prueba						
Temperatura en los bornes, provea						
Amperes en la armadura, provea						
Amperes en la armadura, provea						
(2) Componente de ca de la potencia de entrada						
Voltaje en el campo, voltios						
Corriente en el campo, amperes						
Temperatura del devanado de armadura, durante la prueba						
Temperatura del devanado en serie, °C durante la prueba						
Resistencia de campo, ohms, durante la prueba						
Temperatura ambiente, °C						
Velocidad, r/min						
Par, libra pie (u onza pie)						
(1) Corrección del dinamómetro						
(2) Par corregido						
(3) Salida, hp						
I ² R en C - Devanado de armadura, watts (7)						
Devanado en serie, watts (8)						
Campo, watts (9)						
(5) TOTAL, watts						
Pérdida I ² R (7) - Devanado de armadura, watts (7)						
Devanado en serie, watts (8)						
Campo, watts (9)						
(6) TOTAL, watts						
(4) Corrección = (5) - (6)						
(d) Entrada de potencia (4)						
(e) Entrada de potencia corregida, watts						
(c) Eficiencia, por ciento						

* Resistencia corregida por temperatura.

* Pérdida I²R a la temperatura del devanado durante la prueba.

(2) Pérdida de la componente de potencia de ca de la potencia de entrada si la potencia total en (d) no es registrada.

(1) Corrección de pérdida por fricción en el eje y en el rotamiento del dinamómetro y que es igual a:

$$\frac{k(A-B)}{r/min} - C$$

donde:

A = potencia requerida por la máquina de motor cuando está acoplada al dinamómetro con la armadura del dinamómetro en circuito abierto, watts

B = potencia requerida por la máquina de motor cuando corre libre y desacoplada, watts

C = salida de par registrada por el dinamómetro durante la prueba "A"

k = 7.544 para par en libras-pulgadas

112.7 para par en libras-fuerza-pies

135.2 para par en onzas-fuerza-pulgadas

NOTA: Las pruebas A y B son hechas con potencia libre y desacoplada.

(2) El par corregido es igual al par observado más la corrección (1).

(5) Este valor es igual a la potencia observada (d) más la corrección (4).

(6) Eficiencia por ciento = $\frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \cdot 100 = \frac{(3)}{(5)} \cdot 74600 = \frac{(3)}{(5)} \cdot 74600$ para un generador.

(7 y 8) Use el valor rms de las corrientes e incluya el total conectado a los campos en serie (esto es, en serie).

(4) Medida con un wattímetro o la suma del producto de la tensión en los bornes promedio y la corriente de armadura promedio más (a) en watts de ca. También incluya los watts en el campo shunt.

5.4.3.1 Método del freno. Debe de tenerse cuidado en la construcción y en el uso del freno y de su polea. La tara debe ser cuidadosamente determinada y su compensación proveída. El rendimiento de un motor será calculado como se muestra en la Forma D.

FORMA D
PRUEBA DEL DINAMOMETRO PARA MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA (POTENCIA DE C.D.)

_____ hp kW _____ r/min _____ volts _____ amperes _____ °C Tiempo indicando _____ °C
RESISTENCIA: Arma para _____ ohms a _____
No. serie _____ Devanado en serie _____ ohms a _____ °C

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Punto de prueba						
Temperatura de la armadura, watts						
Corriente de entrada o salida, amperes						
Voltaje en el campo, volts						
Corriente en el campo, amperes						
Temperatura del devanado de armadura, °C durante la prueba						
Temperatura del devanado en serie, °C durante la prueba						
Medición de campo opaco durante la prueba						
Temperatura ambiente, °C						
Velocidad, r/min						
Peso, libra-pie (u. onza-pie)						
(1) Corrección del dinamómetro						
(2) Par corregido						
(3) Entrada de potencia, hp						
IR en C - devanado de armadura, watts =						
Devanado en serie, watts =						
Campo, watts =						
(4) TOTAL, watts						
Pérdida IR (1) - devanado de armadura, watts						
Devanado en serie, watts						
Campo, watts						
(5) TOTAL, watts						
(6) Corrección = (5) - (4)						
(7) Entrada de potencia, salida, watts						
(8) Entrada de potencia corregida o salida						
(9) Eficiencia, por ciento						

Curva de rendimiento No. _____

Datos obtenidos de la curva de rendimiento

Carga	5%	15%	25%	Carga Nominal	100%
Eficiencia por ciento					
Velocidad, r/min					

* Resistencia corregida por temperatura mediante la Sección 5.4.1.2 de este código
y Pérdida IR = la temperatura del devanado durante la prueba

(1) Corrección de pérdida por fricción en el aire y en el rodamiento del dinamómetro y que es igual a:

$$\frac{K(A-B)}{r/\text{min}} - C$$

donde: A = potencia requerida por la máquina de medida cuando está acoplada al dinamómetro con la armadura del dinamómetro en circuito abierto, watts

B = potencia requerida por la máquina de medida cuando corre libre y desacoplada, watts

C = salida de par registrada por el dinamómetro durante la prueba a

K = 7.549 para un newton-metro

112.7 para un libra-fuerza-pie

1352.4 para un onza-fuerza-pulgada

(2) El par corregido es igual al par observado más la corrección (1).

(3) Este valor es igual a la potencia observada (d) más la corrección (4).

$$(6) \text{ Eficiencia por ciento} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \cdot 100 = \frac{(3)}{(5)} \cdot 74.570 \text{ para un motor}$$

$$= \frac{(5)}{(2) \cdot 7.457} \text{ para un generador}$$

5.4.3.2 Método del dinamómetro o torquímetro. Cuando el método del dinamómetro o torquímetro es usado, la potencia en la flecha es obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{T \cdot n}{k}$$

donde

P=potencia en la flecha (kilowatts)

T=par

n=velocidad rotacional (r/min)

k=constante relacionada con las unidades usadas

T	k
-----	-----
newton metros	9.549·10 ³
libra-fuerza (pie)	7.043·10 ³
onza-fuerza (pulg)	1.352·10 ³

Para obtener resultados exactos, la capacidad del dinamómetro no debe exceder a tres veces la capacidad de la máquina de prueba y debe ser sensible a un par de 0.25% de su par nominal. La corrección del dinamómetro debe ser hecha como se especifica en la Forma D.

La fricción en el rodamiento de la cuna del dinamómetro puede resultar en que ciertas lecturas de escala varíen para el mismo valor de potencia eléctrica dependiendo de si la carga está aumentando o disminuyendo antes de la lectura.

En conformidad, el promedio de los dos conjuntos de lecturas debe ser tomado. El primer conjunto debe ser tomado mientras gradualmente se incrementa la carga; el segundo conjunto mientras se decrementa la carga. En cada caso debe de tenerse cuidado en no traslapar los puntos a ser leídos. Las curvas de par vs. potencia eléctrica

trica deben ser trazadas para cada conjunto de lecturas y el promedio de las curvas ser usado.

En casos especiales, durante la prueba de un motor, puede ser deseable hacer una contrapueba, operando la máquina como generador y el dinamómetro como motor de mando. La prueba se hace exactamente de la misma forma como se hace la prueba típica de entrada-salida de un motor, pero en este caso la pérdida total será igual a la entrada mecánica menos la salida eléctrica, en lugar de ser igual a la entrada eléctrica menos la salida mecánica. Cualquier error en alguna de las escalas o medidores ocurrirá en direcciones opuestas en las dos pruebas, y el promedio de las pérdidas de carga dispersa dado por las dos pruebas, será cercanamamente correcto a pesar de que errores relativamente grandes hayan ocurrido en las calibraciones.

Es recomendable que la prueba, al operarse la máquina como generador, sea hecha a velocidad y voltaje nominal, y con el mismo par mecánico en el dinamómetro como en la prueba de la máquina como motor. Las pérdidas de carga dispersa encontradas en las pruebas del generador y del motor deben ser determinadas separadamente en cada caso, restando de la pérdida total medida, la pérdida I^2R en el circuito de armadura a la temperatura de prueba, la pérdida en el núcleo y la fricción, y la fricción del aire.

Debe de tenerse presente al interpretar las pérdidas de carga dispersa así obtenidas, que

las temperaturas de los devanados pueden no ser conocidas exactamente. Además, grandes errores pueden ocurrir cuando dos grandes números son sustraídos uno del otro. Algunos puntos de carga deben ser tomados en cada prueba y las pérdidas de carga dispersa resultantes, dibujadas contra la corriente de armadura. Una sola curva dibujada a través de los promedios de los resultados de prueba del motor y del generador da el valor final de las pérdidas de carga dispersa. Sumando ésta a las otras pérdidas da las pérdidas totales y de aquí la eficiencia. La Forma E puede ser usada para este cálculo.

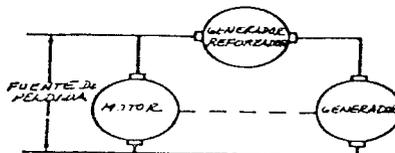
FORMA E
CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA DISPERSA DE LA PERDIDA DEL DIAMETRO*

No	KW	Pérdida de temperatura en %	Watts		Porcentaje		No. de pruebas
			Watts	Porcentaje	Watts	Porcentaje	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

* El valor de la potencia es la potencia real.
 (1) Entrada de (1) a (2) en la Forma D.
 (2) Salida de (2) a (3) en la Forma D.
 (3) Salida de (3) a (4) en la Forma D.
 Todo A de arriba es determinado por las condiciones durante la prueba.

5.4.4 Método de bombeo de regreso. Este método puede ser usado cuando estén disponibles máquinas similares. Las dos máquinas son acopladas y conectadas eléctricamente como se muestra en la Fig 1.

Fig 1
DIAGRAMA DE CONEXION ESQUEMATICA
PARA PRUEBA DE BOMBEO DE REGRESO



Una máquina es operada como motor y la otra como generador. La potencia principal es bombeada de regreso y sólo las pérdidas son suministradas. Aproximadamente, el generador reforzador suministra la pérdida de carga y la fuente de pérdidas suministra la pérdida sin carga. Esta prueba puede efectuarse omitiendo el generador reforzador, sin embargo, puede ocurrir inestabilidad en el sistema.

- 5.4.4.1 El motor y el generador deben ser operados con la intensidad de campo requerida para producir el voltaje interno calculado correspondiente a la carga probada.
- 5.4.4.2 La pérdida total en las dos máquinas es igual a la potencia suministrada por la fuente de pérdidas y el generador reforzador, más las pérdidas en cualesquiera de los campos excitados separadamente que son usados, menos las pérdidas en los cables, barras colectoras, switches, breakers, etc., usados para conectar las máquinas.
- 5.4.4.3 Las pruebas deben ser efectuadas en seis puntos de carga y las lecturas deben ser tomadas como es indicado en 5.4.3. La eficiencia de la máquina será determinada como es delineado en la For

ma F.

FORMA #

PRUEBA DE JUMBO DE REGISTRO DE MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA

No. / /

RESISTENCIA Armadura

No. serie

PRUEBA DE JUMBO	01	02	03	04	05	06
1. PRUEBA DE ESCOBILLA ARMADURA						
2. PRUEBA DE ESCOBILLA VOLT						
3. CONTACTOS DE ESCOBILLA ARMADURA						
4. CONTACTOS DE ESCOBILLA VOLT						
5. ESCOBILLA DE VOLT ARMADURA						
6. ESCOBILLA DE VOLT VOLT						
7. CAMPO DE VOLT ARMADURA						
8. CAMPO DE VOLT VOLT						
9. CAMPO DE ESCOBILLA ARMADURA						
10. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT						
11. CAMPO DE ESCOBILLA VOLT						
12. CAMPO DE ESCOBILLA VOLT						
13. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (1) VOLT						
14. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (2) VOLT						
15. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (3) VOLT						
16. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (4) VOLT						
17. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (5) VOLT						
18. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (6) VOLT						
19. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (7) VOLT						
20. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (8) VOLT						
21. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (9) VOLT						
22. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (10) VOLT						
23. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (11) VOLT						
24. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (12) VOLT						
25. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (13) VOLT						
26. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (14) VOLT						
27. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (15) VOLT						
28. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (16) VOLT						
29. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (17) VOLT						
30. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (18) VOLT						
31. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (19) VOLT						
32. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (20) VOLT						
33. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (21) VOLT						
34. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (22) VOLT						
35. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (23) VOLT						
36. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (24) VOLT						
37. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (25) VOLT						
38. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (26) VOLT						
39. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (27) VOLT						
40. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (28) VOLT						
41. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (29) VOLT						
42. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (30) VOLT						
43. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (31) VOLT						
44. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (32) VOLT						
45. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (33) VOLT						
46. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (34) VOLT						
47. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (35) VOLT						
48. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (36) VOLT						
49. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (37) VOLT						
50. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (38) VOLT						
51. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (39) VOLT						
52. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (40) VOLT						
53. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (41) VOLT						
54. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (42) VOLT						
55. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (43) VOLT						
56. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (44) VOLT						
57. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (45) VOLT						
58. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (46) VOLT						
59. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (47) VOLT						
60. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (48) VOLT						
61. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (49) VOLT						
62. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (50) VOLT						
63. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (51) VOLT						
64. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (52) VOLT						
65. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (53) VOLT						
66. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (54) VOLT						
67. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (55) VOLT						
68. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (56) VOLT						
69. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (57) VOLT						
70. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (58) VOLT						
71. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (59) VOLT						
72. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (60) VOLT						
73. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (61) VOLT						
74. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (62) VOLT						
75. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (63) VOLT						
76. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (64) VOLT						
77. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (65) VOLT						
78. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (66) VOLT						
79. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (67) VOLT						
80. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (68) VOLT						
81. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (69) VOLT						
82. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (70) VOLT						
83. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (71) VOLT						
84. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (72) VOLT						
85. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (73) VOLT						
86. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (74) VOLT						
87. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (75) VOLT						
88. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (76) VOLT						
89. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (77) VOLT						
90. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (78) VOLT						
91. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (79) VOLT						
92. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (80) VOLT						
93. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (81) VOLT						
94. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (82) VOLT						
95. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (83) VOLT						
96. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (84) VOLT						
97. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (85) VOLT						
98. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (86) VOLT						
99. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (87) VOLT						
100. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (88) VOLT						
101. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (89) VOLT						
102. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (90) VOLT						
103. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (91) VOLT						
104. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (92) VOLT						
105. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (93) VOLT						
106. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (94) VOLT						
107. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (95) VOLT						
108. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (96) VOLT						
109. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (97) VOLT						
110. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (98) VOLT						
111. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (99) VOLT						
112. ESCOBILLA DE ESCOBILLA VOLT (100) VOLT						

5.4.5 Método de pérdidas segregadas. Cuando la eficiencia del motor es determinada por el método de pérdidas segregadas, las siguientes pérdidas son utilizadas:

Tipo de pérdida	Descripción de prueba y cálculos
I^2R en la armadura	5.5.1
I^2R en devanados conectados en serie	5.5.2
Contacto en la escobilla	5.5.3
Carga dispersa	5.5.4
I^2R en campo shunt	5.5.5
Reóstato	5.5.6
Excitador	5.5.7

Núcleo rotacional	5.5.8
Fricción en la escobilla	5.5.9
Fricción y fricción del aire	5.5.10
Ventilación	5.5.11

SATURACION EN VACIO

IEEE Std 115-1983

- 4.2.4 Curva de saturación en circuito abierto. La curva de saturación en circuito abierto se obtiene haciendo funcionar la máquina bajo prueba a velocidad nominal, en circuito abierto, y registrando su voltaje terminal de armadura y corriente de campo. Normalmente al menos 12 de estas lecturas deben ser distribuidas aproximadamente como sigue:
- (1) 4 abajo del 60% del voltaje nominal (1 a cero excitación)
 - (2) 2 entre el 60% y el 90% del voltaje nominal
 - (3) 4 entre el 90% y el 110% del voltaje nominal, incluyendo una lectura a aproximadamente el voltaje nominal
 - (4) 2 arriba del 110% del voltaje nominal, incluyendo un punto a aproximadamente el 120% de la corriente de campo nominal sin carga (o al máximo valor recomendado por el fabricante)

NOTA: Para máquinas de rotor cilíndrico es recomendable que el fabricante sea consultado para determinar el máximo voltaje o excitación que debe ser usado al hacerse la curva de saturación en circuito abierto, checando la capacidad de la máquina para operar durante el tiempo requerido en cada punto de prueba.

La prueba no debe ser hecha con un transformador en la línea a menos que el fabricante del transformador haya aprobado su operación a los sobrevoltajes deseados.

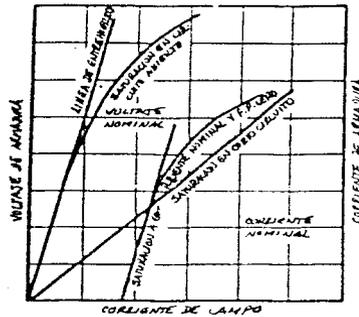
A voltaje nominal, las lecturas deben ser tomadas del voltaje terminal (línea a línea) de todas las tres fases para checar el equilibrio de éstas. Estas lecturas deben ser hechas bajo condiciones constantes de excitación y velocidad, y con el mismo voltmetro.

Las lecturas para esta curva deben siempre ser tomadas con excitación creciente. Si alguna vez llega a ser nece-

sario disminuir la corriente de campo, ésta debe ser reducida a cero y entonces aumentada cuidadosamente hasta el valor deseado.

A las máquinas se les debe hacer funcionar durante algunos minutos en cada punto de voltaje para permitir que la velocidad se establezca al valor nominal tal que no haya error causado por variación en la velocidad y en la excitación, excepto para los dos puntos de arriba del 110% del voltaje nominal, donde las recomendaciones del fabricante deben ser seguidas.

Los resultados pueden ser dibujados como en la Fig 5.



El voltaje de una sola fase (línea a línea) o el promedio de los voltajes de las fases, en cada valor de excitación, puede ser usado.

SATURACION EN CORTOCIRCUITO

IEEE Std 115-1983

- 4.2.7 Curva de saturación en cortocircuito. La curva de saturación en cortocircuito se obtiene haciendo funcionar la máquina bajo prueba a velocidad nominal, cortocircuitada, y registrando sus corrientes de armadura y campo. Normalmente las lecturas deben ser registradas para corrientes de armadura de aproximadamente 125%, 100%, 75%, 50% y 25% de la corriente nominal. El valor máximo de la corriente de prueba, tradicionalmente puesto en 125%, debe ser obtenido del fabricante, ya que para algunos tipos de máquinas, el enfriamiento del estator no permite una operación mayor al 100% de la corriente nominal, sin el riesgo de daño.
- A corriente nominal, las lecturas deben ser tomadas de la corriente en todas las tres fases para checar el balance de corriente. Si hay más de una línea o terminal neutra por fase, el balance de corriente entre las terminales separadas debe ser checado para cada fase.
- Las lecturas de corriente deben ser tomadas con excitación decreciente, empezando con el valor para el cual se producirá una corriente de armadura igual a la máxima permisible.
- El punto de carga pesada debe ser tomado primero tal que la temperatura del devanado sea lo tan cercanamente constante como sea posible durante el funcionamiento. Los resultados pueden ser graficados como en la Fig 5.

PRUEBA DE TEMPERATURA POR EL METODO DE CIRCUITO CORTO Y CIRCUITO ABIERTO

IEEE Std 115-1983

6. Pruebas de temperatura

6.1 General. Las pruebas de temperatura se efectúan para determinar el incremento de temperatura en ciertas partes de la máquina arriba de la temperatura ambiente, cuando funciona bajo una condición de carga especificada.

6.2 Métodos de carga. Las pruebas de temperatura pueden ser hechas con la máquina operando a una cualquiera de las muchas condiciones de carga. La información que usualmente se requiere, es el incremento de temperatura de la máquina a uno o más valores especificados de carga. Dado que la carga, a una condición de carga deseada, no es siempre posible o práctica, algunos otros métodos de carga pueden ser utilizados para obtener datos que puedan ser usados a su vez para determinar el incremento de temperatura de la máquina para la carga deseada.

Existen cuatro métodos, que son los más comúnmente usados para la prueba de temperatura. Uno de ellos es el siguiente:

6.2.4 Método 4. Carga en circuito abierto y en cortocircuito. Este método consiste de tres pruebas por separado de funcionamiento térmico:

- (1) Voltaje especificado con las terminales en circuito abierto
- (2) Corriente de armadura especificada con las terminales cortocircuitadas
- (3) Excitación cero

El incremento de temperatura en la armadura es calculado como la suma de los incrementos de temperatura para las pruebas de circuito abierto y de cortocircuito, corregidas dada la duplicación del calentamiento debido a la fricción del aire.

Un funcionamiento térmico sin carga y a excitación cero producirá datos para la determinación del incremento de temperatura debido a la fricción del aire. Otro funcionamiento térmico a sobrevoltaje sin carga proveerá una mayor precisión del incremento de temperatura del campo. La aprobación del fabricante debe ser obtenida ya que un funcionamiento a corriente de campo nominal con carga en circuito abierto o cortocircuito por periodos prolongados podría provocar un daño en la armadura. Es posible combinar los funcionamientos térmicos dentro de uno, mediante la aplicación de los principios delineados en 6.2.3.2. Las mismas ecuaciones de pérdida de energía aplican, si las variables suscritas con "o" son referidas a la excitación en circuito abierto y aquéllas suscritas con "u" son referidas a la excitación en cortocircuito.

$$L_o \Delta i_o = \sum_{i=1}^n (L_v + L_i) \cdot \Delta i_o + \sum_{i=1}^n (L_v + L_i) \cdot \Delta i_u \quad \text{kW} \cdot \text{s} \quad (\text{Ec } 34)$$

$$L_r \Delta i_r = \sum_{i=1}^n L_r \cdot \Delta i_o + \sum_{i=1}^n L_r \cdot \Delta i_u \quad \text{kW} \cdot \text{s} \quad (\text{Ec } 35)$$

En la mayoría de los casos, una descarga del devanado de campo durante algunos segundos antes de ce- da cierre del contactor cortocircuitante de la armadura es recomendable para limitar la corriente de armadura subtransitoria y transitoria a valores aceptables. Circuitos de descarga de campo adecuados deben ser usados (ver Fig 32).

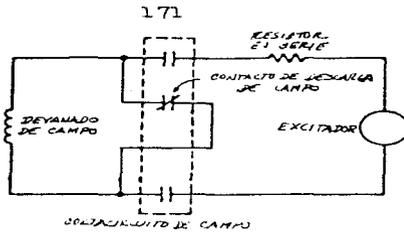


Fig 32
 CIRCUITO DE DEMANDADO DE CAMPO PARA UNA CONSTANTE DE
 TIEMPO A CIRCUITO ABIERTO TRANSITORIA DE ESTE DIRECTO

Tal precaución es también necesaria si un voltaje terminal excesivo es esperado antes de abrir el circuito de armadura.

MEDICION DE CONTENIDO DE ARMONICAS

IEEE Std 115-1983

3.12 Forma de onda

- 3.12.1 General. Para la definición de factor de desviación, ver ANSI/IEEE Std 100-1977.
- 3.12.2 La forma de onda del voltaje de prueba es registrada mediante un oscilógrafo ajustado para producir una deflexión amplia y operar a alta velocidad tal que el intervalo de tiempo de un medio ciclo puede ser subdividido en una serie de intervalos iguales. Para permitir un análisis adecuado, la amplitud máxima de la onda desde cero debe ser de al menos 1.25 pulgadas y la distancia para un medio ciclo de al menos 1.5 pulgadas. La figura 4 muestra el trazo "exagerado" de una onda a ser analizada, en coordenadas rectangulares.

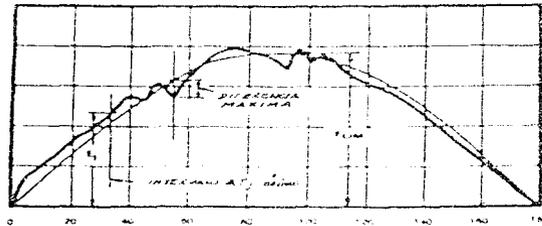


FIG. 4
TRAZOS DE LA ONDA PARA PARTES DE
DESVIACION

También, la onda seno equivalente ha sido trazada sobre la misma figura, de tal manera que la desviación máxima de la onda a ser analizada desde la onda seno es un mínimo. La amplitud de la onda seno equivalente puede ser determinada mediante el método descrito en 3.12.3. Trazos de la onda en coordenadas polares pueden también ser usados.

3.12.3 Para obtener la amplitud de la onda seno equivalente el intervalo de tiempo de un medio ciclo de la onda a ser analizada está dividido en J (al menos 18) intervalos iguales, comenzando en un punto donde el trazo de la onda cruza el eje de las abscisas, y una línea vertical es levantada al final de cada intervalo, cruzando el trazo. Si el valor del voltaje instantáneo, E_j , es medido en cada uno de los J puntos de intersección con el trazo de la onda, la amplitud de cero a pico de la onda seno equivalente, E_{OM} , está dada por la Ec 5.

$$E_{OM} = \sqrt{\frac{2}{J} \sum_{j=1}^J E_j^2} \quad (\text{Ec 5})$$

donde

E_j = valor instantáneo de la onda de voltaje en el j -ésimo punto

En ciertas máquinas se pueden producir armónicas de voltaje que resulten en medios ciclos alternados difiriendo del negativo de los mencionados. Para tal onda asimétrica, un ciclo completo debe ser analizado.

Como un método alternativo, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la onda seno equivalente, E_O , puede ser medida mediante un transformador o termopar exacto, del tipo de instrumento de corriente alterna, el cual haya sido calibrado contra el mismo estándar de referencia del oscilógrafo. Dado que diferencias en la calibración producen un error relativo magnificado en el factor de desviación, una lectura del voltmetro no debe ser aceptada a menos que las calibraciones del oscilógrafo y el voltmetro hayan sido cuidadosamente intercomparadas. El valor de cresta de la onda seno equivalente, E_{OM} , es la lectura

ra E_0 del medidor multiplicada por $\sqrt{2}$.

- 3.12.4 Para ajustar la onda seno equivalente de manera que la desviación entre la onda siendo analizada y la onda seno equivalente sea un mínimo, es conveniente trazar la onda seno equivalente sobre una hoja sobrepuesta transparente a la misma escala de la del oscilograma y pasar ligeramente ésta sobre el mismo, con los ejes de la abscisa coincidiendo, hasta que un trazo sea encontrado, donde el valor absoluto de la desviación vertical entre las dos ondas sea un mínimo. Este trazo usualmente ocurrirá cuando los valores cero de voltaje ocurrirán a su vez cercanamente en el mismo punto en el tiempo, y frecuentemente cuando la desviación máxima positiva sea la misma o cercanamente la misma a la desviación máxima negativa durante el medio ciclo (ver Fig 4).
- 3.12.5 El máximo valor de la desviación entre las dos ondas, cuando el trazo es como el ya descrito en 3.12.4, puede ser ΔE . Entonces el factor de desviación F_{DEV} es dado por la Ec 7.

$$F_{DEV} = \frac{\Delta E}{E_{OM}} \quad (\text{Ec } 7)$$

- 3.12.6 El factor de distorsión, F_{Di} , de una onda se obtiene dividiendo el contenido armónico eficaz (la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las amplitudes eficaces de todas las componentes de frecuencia, excepto la fundamental), entre la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la onda, incluyendo la fundamental, conforme a la Ec 8.

$$F_{Di} = \frac{\sqrt{\sum E_n^2}}{E_{rms}} \quad (\text{Ec } 8)$$

donde

$\sum E_n^2$ = suma de los cuadrados de todas las componen -

tes del voltaje, excepto la fundamental
 E_{rms} = raíz cuadrada de la media de los cuadrados del
 voltaje

- 3.12.7 La raíz cuadrada de la media de los cuadrados del contenido armónico de la onda puede ser obtenida mediante un filtro que bloquee sólo la fundamental, en conjunción con un dinamómetro del tipo de instrumento de corriente alterna, calibrado con el circuito. Un analizador armónico puede también ser usado para medir E_n .
- 3.12.8 Cuando un instrumento especial no está disponible, la amplitud eficaz de las componentes armónicas de la onda pueden ser determinadas mediante un análisis de Fourier de los valores instantáneos obtenidos en 3.12.3, conforme a uno de los varios métodos disponibles en manuales y en otras referencias generales. Debe entenderse que el número de intervalos en los cuales el medio ciclo va a ser dividido está relacionado al orden de la armónica más alta a ser determinada. En la mayoría de los casos, la amplitud de la armónica decrece conforme el orden de la armónica crece, tal que la determinación de las amplitudes de algunas de las primeras armónicas es toda la que se necesita para obtener un valor satisfactorio del factor de distorsión. Sin embargo, si el trazo de la onda indica, mediante la presencia de rizados de alta frecuencia que las armónicas de una relativamente alta frecuencia tienen una amplitud significativa, el número de intervalos utilizados debe ser suficiente para proveer una determinación de las amplitudes de estas armónicas. Cuando las amplitudes eficaces, E_n , de algunas armónicas significativas han sido determinadas, el factor de distorsión puede entonces ser calculado me -

diante la Ec 8.

3.12.9 La raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la onda se obtiene usando un dinamómetro o termopar del tipo de instrumento de corriente alterna de conveniente precisión. (Otro tipo de instrumentos pueden dar lecturas erróneas porque no responden a la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las ondas distorsionadas.)

DETERMINACION DE LA REACTANCIA SINCRONA

IEEE Std 115-1983

8.4 Reactancia síncrona de eje directo (X_d)

8.4.1 Para las definiciones de reactancia e impedancia sín -
crons de eje directo, ver ANSI/IEEE Std 100-1977.

8.4.2 Para máquinas de diseño normal, la magnitud de la reac -
tancia síncrona de eje directo es casi igual a la de
la impedancia síncrona de eje directo tal que las dos
pueden considerarse prácticamente iguales o del mismo
valor numérico.

El valor de la corriente nominal es obtenido mediante
la determinación del valor no saturado.

8.4.3 La impedancia síncrona de eje directo puede ser deduci -
da de los resultados de la prueba de saturación en cir -
cuito abierto (ver 4.2.4) y de la prueba de saturación
en cortocircuito (ver 4.2.7). La impedancia síncrona
en por unidad es igual a la razón de la corriente de
campo correspondiente a la corriente de armadura base
de la prueba de cortocircuito, y la corriente de campo
correspondiente al voltaje base sobre la línea del en -
trehierro (ver 4.2.5).

En términos de las cantidades identificadas en la Fig
18, la impedancia síncrona puede ser calculada usando
la Ec 59.

$$Z_d = \frac{I_{PSI}}{I_{FG}} = X_d \text{ en por unidad} \quad (\text{Ec } 59)$$

donde

Z_d = impedancia síncrona

X_d = reactancia síncrona

I_{PSI} = corriente de campo correspondiente a la corriente
de armadura base sobre la curva de saturación en
cortocircuito

I_{FG} = corriente de campo correspondiente al voltaje base

8.5 Reactancia síncrona de eje en cuadratura (X_q)

8.5.1 General. Para la definición de reactancia síncrona de eje en cuadratura, ver ANSI/IEEE Std 100-1977.

8.5.2 Método 1. Prueba de deslizamiento. La prueba de deslizamiento se efectúa mediante el accionamiento del rotor a velocidad ligeramente diferente al de la síncrona con el campo en circuito abierto y la armadura energizada mediante una fuente de poder trifásica, a frecuencia nominal, de secuencia positiva, a un voltaje abajo del punto sobre la curva de saturación a circuito abierto donde la curva se desvía de la línea del entrehierro. La corriente de armadura, el voltaje de armadura, y el voltaje a través del devanado de campo en circuito abierto son observados. Los mejores resultados se obtienen gracias a oscilogramas. Si son utilizados medidores (ver 8.5.2.1), el voltaje de campo debe ser medido mediante un voltmetro de corriente directa de centro cero. (Dado que las corrientes y los voltajes en las tres fases están balanceados, cualquier voltaje línea a línea y la corriente en cualquiera de ellas, pueden ser usados). La figura 22 ilustra el método, aunque el deslizamiento mostrado para ilustrar las relaciones es más alto que el que debe ser usado en la práctica.

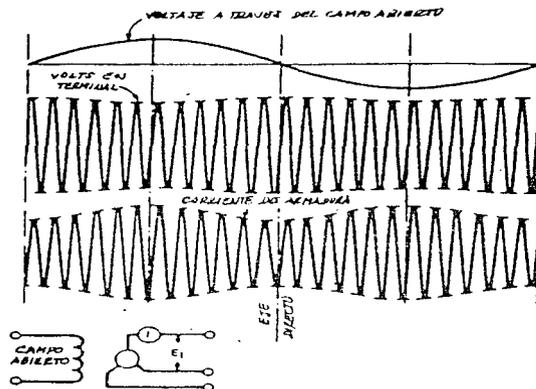


Fig 22
MÉTODO DE DESAJUSTAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN
DE LA REACTANCIA SÍNCRONA DE EJE EN CUA-
DRATURA, MÉTODO I

Las razones mínima y máxima del voltaje de armadura a la corriente de armadura se obtienen cuando el deslajamiento es muy pequeño. De éstas, los valores aproximados de las reactancias síncronas de eje en cuadratura y de eje directo (X_{qs} y X_{ds}) pueden ser obtenidos mediante las Ecs 60 y 61, pero para mejores resultados, estos valores no son tomados como valores finales. El método más exacto es determinar la reactancia síncrona de eje directo (X_d) mediante prueba (ver 8.4.3) y obtener la reactancia síncrona de eje en cuadratura mediante las Ecs 62 ó 63.

$$X_{qs} = \frac{E}{I} \frac{\text{mín}}{\text{máx}} \quad \text{en por unidad} \quad (\text{Ec } 60)$$

$$X_{ds} = \frac{E_{m\acute{a}x}}{I_{m\acute{i}n}} \quad \text{en por unidad} \quad (\text{Ec } 61)$$

$$X_q = X_d \left(\frac{X_{qs}}{X_{ds}} \right) \quad \text{en por unidad} \quad (\text{Ec } 62)$$

$$X_q = X_d \left(\frac{E_{m\acute{i}n}}{E_{m\acute{a}x}} \right) \left(\frac{I_{m\acute{i}n}}{I_{m\acute{a}x}} \right) \quad \text{en por unidad} \quad (\text{Ec } 63)$$

La razón mínima (Ec 60) ocurre cuando el voltaje de campo es máximo, mientras que la razón máxima (Ec 61) ocurre cuando el voltaje de campo pasa a través de cero, como es indicado en la Fig 22.

Si el deslizamiento no es extremadamente bajo, las corrientes inducidas en el devanado amortiguador producirán un error apreciable.

8.5.2.1 Si el deslizamiento es suficientemente bajo y la velocidad, prácticamente constante, los instrumentos indicadores seguirán las variaciones de voltaje y de corriente fielmente, lo suficiente para permitir su uso. Lecturas simultáneas de corriente y voltaje deben ser hechas cuando la corriente alcance sus valores más bajo y más alto. La reactancia síncrona es determinada de la misma forma como cuando se hace uso de un oscilógrafo.

8.5.2.2 Algunas veces es bastante difícil mantener la velocidad constante cuando el deslizamiento es lo suficientemente bajo para una determinación exacta de la reactancia síncrona de eje en cuadratura, debido a que los efectos de los polos salientes y de las corrientes inducidas en el devanado amortiguador producen un par pulsante. En tales casos, una serie de lecturas pueden ser tomadas, empezando con el deslizamiento más pequeño al cual una velocidad constante o cercanamente constante puede ser mantenida, y

haciendo tres o más pruebas a deslizamientos mayores progresivamente. Una curva aproximada de reactancia síncrona de eje en cuadratura como función del deslizamiento puede ser extrapolada a cero deslizamiento para dar el valor de prueba de la reactancia síncrona de eje en cuadratura.

El deslizamiento puede ser determinado, como la razón de la frecuencia del voltaje inducido en el campo a la frecuencia del voltaje aplicado. El deslizamiento puede también ser determinado mediante el uso de un estroboscopio energizado a la misma frecuencia cuando el voltaje aplicado ilumine las marcas igualmente espaciadas sobre el rotor, el número de marcas es igual al número de polos. La frecuencia de deslizamiento es la razón aparente de progresión de las marcas en revoluciones por segundo multiplicadas por el número de pares de polos, y el deslizamiento es la razón de la frecuencia de deslizamiento a la frecuencia del voltaje aplicado.

- 8.5.2.3 El voltaje inducido en el circuito de campo abierto puede alcanzar valores peligrosos cuando el deslizamiento es grande (más de aproximadamente el 5%), o cuando ondas debidas al switch ocurren debido a la apertura de líneas de corriente alternas. Para protegerse contra daño por alto voltaje, un switch cortocircuitante de acción rápida (tal como un breaker de campo controlado a distancia) debe ser conectado a través del campo. Como una protección adicional, un descargador explosivo a distancia de bajo voltaje puede también ser conectado a través del campo. El switch debe ser cerrado excepto

cuando se conoce que el deslizamiento es cercano a cero y las lecturas van a ser tomadas. Los instrumentos deben ser desconectados del circuito de campo hasta que se asegure que los voltajes inducidos son menores que los rangos de voltaje de los instrumentos. Debido a la frecuente dificultad encontrada para mantener el deslizamiento deseado durante la prueba, es necesario observar continuamente el voltaje de campo y estar preparado para cortocircuitar el campo rápidamente para evitar el peligroso incremento del voltaje a través de los instrumentos.

8.5.3 Método 2. Máxima corriente de atraso. La máquina bajo prueba es hecha funcionar como motor síncrono con carga no controlada, con un voltaje de prueba aplicado no mayor del 75% del normal y con aproximadamente una excitación normal sin carga. La excitación de campo es entonces reducida a cero, invertida en polaridad y entonces gradualmente aumentada con la polaridad opuesta, produciendo un incremento en la corriente de armadura. La corriente de línea en por unidad, I_t , correspondiente a la máxima excitación negativa estable es determinada incrementando la excitación negativa en pequeños incrementos hasta que ocurra inestabilidad. La reactancia sin corona de eje en cuadratura es entonces obtenida como sigue:

$$X_q = \frac{E}{I_t} \quad \text{en por unidad} \quad (\text{Ec } 64)$$

donde

E=voltaje de armadura en por unidad

I_t =corriente de armadura en por unidad al límite de estabilidad

8.5.4 Método 3. Empírico. La razón de la reactancia síncrona de eje en cuadratura a la reactancia síncrona de eje directo, para una máquina convencional, puede ser determi

nada mediante una función empírica, dadas ciertas dimensiones significativas de la máquina en cuestión y por consiguiente puede ser calculada por el mismo fabricante. La reactancia síncrona de eje en cuadratura es entonces determinada multiplicando la reactancia síncrona de eje directo, determinada por prueba (ver 8.4.3) por la razón proveída por el fabricante.

NOTA: Dado que la función empírica usualmente usada no prevee todos los factores que afectan la razón de X_q a X_d , este método no es exacto. Además, cuando la máquina no tiene las proporciones de diseño convencionales, o cuando un valor más exacto de X_q es requerido, el método 1 ó 2 debe ser usado.

SOBREVELOCIDAD

IEEE Std 115-1983

3.13 Pruebas de sobrevelocidad

3.13.1 Las pruebas de sobrevelocidad se efectúan sólo cuando es especificado. Están generalmente especificadas para generadores síncronos conectados a turbinas u otros equipos mecánicos que puedan adquirir sobrevelocidad por pérdida de carga u otras causas. El fabricante debe ser consultado antes de llevarse a cabo cualquier prueba de sobrevelocidad.

3.13.2 Antes de efectuarse una prueba de sobrevelocidad la máquina debe ser cuidadosamente inspeccionada, asegurando que todos los tornillos de sujeción baja y las partes rotatorias estén fuertemente apretadas y en buena condición. Antes de empezar la prueba el rotor debe estar en tan buen balance mecánico como sea posible. Toda precaución debe ser tomada para proteger la vida y la propiedad en caso de cualquier imprevisto. La velocidad debe ser leída mediante un tacómetro eléctrico o cualquier otro dispositivo remoto exacto que nos indique ésta. Antes de comenzar la prueba el tacómetro debe ser calibrado con los cables a usarse durante la misma y la lectura checada a velocidad normal.

3.13.3 Al efectuarse la prueba, la máquina debe ser operada a velocidad nominal durante un periodo lo suficientemente largo para que se tomen y se estabilicen las lecturas de vibración, al igual que para asegurar que la máquina esté funcionando satisfactoriamente. La máquina debe entonces ser acelerada con incrementos razonables hasta la sobrevelocidad especificada. Para pruebas a velocidades mayores del 115% de la velocidad nominal, es deseable hacer una breve pausa a diferentes velocidades durante la aceleración para checar

ciertas condiciones de operación tales como vibración, carrera de la flecha del rotor, y comportamiento del aceite en los rodamientos. Las lecturas de vibración deben también ser efectuadas a velocidad nominal, siguiendo la prueba para comparación y referencia.

3.13.4 Normalmente, la prueba de sobrevelocidad es hecha con la máquina no excitada. Si la máquina es excitada, entonces debe de tenerse cuidado en reducir la excitación durante la prueba tal que el voltaje no exceda del 105% del voltaje nominal.

3.13.5 Después de la operación a la velocidad y el tiempo especificados, la máquina debe ser desacelerada de vuelta, pronta y suavemente hasta, o más abajo de la velocidad nominal.

Si la sobrevelocidad ha sido aplicada durante un periodo prolongado, los rodamientos estarán a temperaturas substancialmente más altas de las normales y la viscosidad del aceite mucho más baja de lo normal. Por consiguiente, una de dos, la máquina debe ser regresada a la velocidad normal o más abajo, o debe ser parada rápidamente y no rearrancada, hasta que, en cualquier caso, las temperaturas de los rodamientos bajen hasta condiciones normales.

La máquina debe ser cuidadosamente inspeccionada después de la prueba.

4. FUNCIONAMIENTO DE LOS LABORATORIOS DE ENSEÑANZA ACTUAL.

La manera en la que se enseñan los laboratorios está actualmente en un periodo de transición. La reciente firma y puesta en marcha del TLC ha hecho necesario mayores cambios tendientes a modernizar no sólo la infraestructura con la que se cuenta, sino también la manera en la que funcionan y se dan los laboratorios de enseñanza. Esto ha suscitado cierta oposición velada y cierta indiferencia entre algunos profesores que imparten los laboratorios de Ingeniería Eléctrica de nuestra facultad, quienes no quieren o no les conviene que éstos se modifiquen. En una encuesta realizada con algunos miembros de este personal docente, en - cargado de impartir estos laboratorios - ver Apéndice -, salieron a relucir muchos problemas, aunque también es menester señalar que hubieron muchas propuestas importantes para el mejoramiento y modernización futura de los laboratorios. Entre éstas, hubo una propuesta en la cual se exhortaba a los "interesados" a visitar otras universidades, ya sea nacionales y/o extranjeras, para percatarse de su devenir educativo; pero siendo prácticamente irrelevante el hacer visitas a universidades nacionales, dada su pobre infraestructura y el poco avance en cuanto a metodologías de estudio se refiere, además de programas y planes de estudio no muy buenos - aunque hay que señalar que hay escuelas, tales como el IPN-ESIME Culhuacán, que visitamos, que poseen infraestructura similar a la nuestra y parecidos programas de estudio -, decidimos por consiguiente, poner los ojos en alguna(s) universidad(es) del extranjero, principalmente de E.U., dada su relevancia a nivel mundial y primordialmente su cercanía con México, para poder en un momento dado realizarles una visita. Así pues, y por motivos de diferente índole, pero principalmente por tratarse de una de las mejores escuelas de ingeniería del mundo - sino la mejor -, se decidió visitar el Instituto Tecnológico de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology, M.I.T.) ubicado en la ciudad de Cambridge, Massachusetts, E.U. (Fig 1).

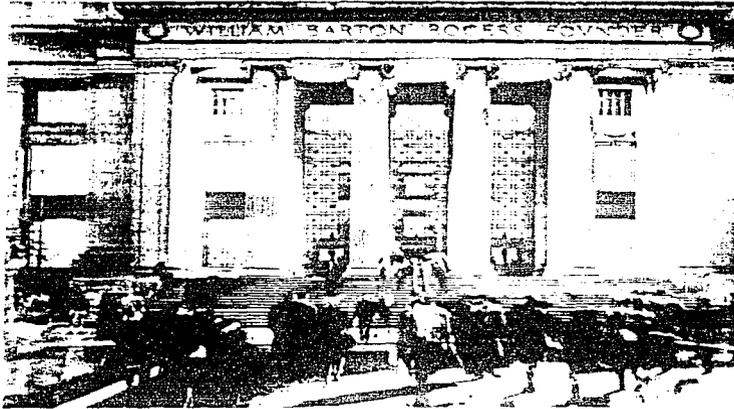


Fig. 1. - M. I. T.

Gracias a la colaboración de varios miembros de nuestra facultad, pudimos establecer contacto con el Instituto y específicamente con el Dr. L.A. Gould, encargado de la oficina para asuntos a nivel licenciatura del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de Cómputo del MIT (además de ser miembro del LEES - Laboratorio de Sistemas Electrónicos y Electromagnéticos -, profesor y director de tesis, entre otros cargos) (Fig 2).



Fig. 2 - Profr. Leonard L. Gould.

Este ingeniero se portó de lo más atento y nos dió todas las facilidades para conocer sus instalaciones y principalmente sus laboratorios. Así, pudimos conocer, en su compañía, los siguientes laboratorios: el Laboratorio de Introducción a la Electrónica Analógica, el Laboratorio de Introducción a Sistemas Digitales, el Laboratorio de Proyectos de Bioelectrónica, el Laboratorio de Proyectos de Dispositivos Semiconductores, el Laboratorio de Proyectos de Optica Moderna (Fig 3), el Laboratorio de Proyectos de Estrobo y el Laboratorio de Proyectos de Psiconcústica.



Fig. 3- Proyectos de Optica Moderna.

Además de enterarnos de cómo están conformados los siguientes: el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de Cómputo, el Laboratorio de Proyectos de Microcomputadora, el Laboratorio de Tecnología de Procesamiento de Microelectrónica, el Laboratorio en Ingeniería de Software y las Materias Especiales de Laboratorio en Ingeniería Eléctrica y Ciencias de Cómputo, y Proyectos de Licenciatura Avanzados.

Está por demás señalar que estos laboratorios cuentan con todos los recursos necesarios para sacarle el mayor provecho a la educación, gracias a donaciones y ayuda de compañías muy importantes. Por poner un ejemplo, en los laboratorios introductorios de electrónica cuentan con computadoras (si las requieren), osciloscopios, multímetros, tabletas, fuentes, generadores de funciones, analizadores de espectros, etc., todo de lo más moderno. En algunos otros cuentan con equipo similar e incluso con equipo desarrollado y fabricado por ellos mismos. Además, cuentan con apoyo bibliográfico importante, suministrado por su Biblioteca (Barker) - Fig 4 - o mediante una de las más grandes prensas universitarias de E.U. la MIT Press, que a través de sus librerías ofrecen su material al estudiante.

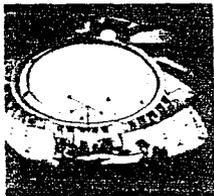


Fig. 4. - Biblioteca Barker de Ingeniería.

Otro de los recursos más destacable es el medio ambiente de cómputo del MIT (Fig 5), el cual da a los miembros de la comunidad acceso a un rico conjunto de tecnologías y fuentes de información.



Fig. 5.- Computadoras en el M.I.T.

Los sistemas de información (IS) proveen cómputo comprensivo, redes y servicios de telecomunicación para todo el MIT. Los servicios IS y sus facilidades apoyan el uso académico, de investigación y administrativo de una amplia gama de información y tecnología de cómputo, y tienen mucha responsabilidad en cuanto al Medio Ambiente de Cómputo Athena y la Red MIT (MITnet), la red de cómputo que cubre el campus. IS opera la Conexión de Cómputo del MIT, donde estudiantes, miembros del cuerpo facultativo y el staff pueden comprar selectas microcomputadoras, estaciones de trabajo, software y accesorios, con muchos productos de éstos, ofrecidos con un descuento educacional. Los Servicios de Apoyo de Cómputo proveen líneas de ayuda, consulta, entrenamiento y publicaciones. El Medio Ambiente de Cómputo Athena ofrece recursos de cómputo a todos los estudiantes y miembros facultativos. Las estaciones de trabajo de Athena están localizadas en agrupaciones públicas y departamentales, facilidades académicas, LABORATO

RIOS, bibliotecas y oficinas. Conectado por vía MITnet, los usua
rios de Athena tienen acceso a courseware, correo electrónico,
matemáticas simbólicas y paquetes estadísticos, procesadores de
palabra y programas de gráficos, utilidades, herramientas de pro
gramación, impresoras y un conjunto de otros servicios de red.
MITnet conecta a miles de computadoras a través del campus, y
sus conexiones con Internet le da al MIT acceso a computadoras
alrededor del mundo. Con las conexiones al MITnet en cada dormi-
torio estudiantil y grupo de vida independiente, los estudiantes
pueden usar sus computadoras personales para tener acceso a los
recursos de red y a algunos recursos de Athena. Además, de los
recursos disponibles en IS y Athena, algunos departamentos y LA-
BORATORIOS cuentan con facilidades de cómputo necesarios para
sus propios requerimientos especializados. Muchos miembros facul
tativos y del staff tienen acceso a PC's y a estaciones de traba
jo individuales. Un número creciente de estos sistemas son liga-
dos a MITnet y a otras redes de cómputo, lo cual provee una comu
nicación conveniente entre usuarios y facilitan el compartimien-
to de los recursos de cómputo.

Todo lo mencionado anteriormente en cuanto a sus sistemas de
cómputo, no conlleva otra finalidad que el darnos cuenta que las
computadoras juegan un papel primordial e indispensable en todo
su sistema educativo, para lo que se quiera llevar a cabo dentro
o fuera de las aulas.

Volviendo a lo que nos interesa, los laboratorios, en éstos,
los alumnos desarrollan proyectos que van desde lo muy básico
(Fig 6) hasta lo muy complejo (Fig 7), dependiendo de sus gustos
e intereses, además de los requerimientos especificados; uno de
estos proyectos que pudimos constatar fue el de la modificación
de una máquina de entretenimiento o juego de galería (arcade ga-
me), llamada "pinball machine", también por ahí andaban haciendo
un simulador de helicóptero.

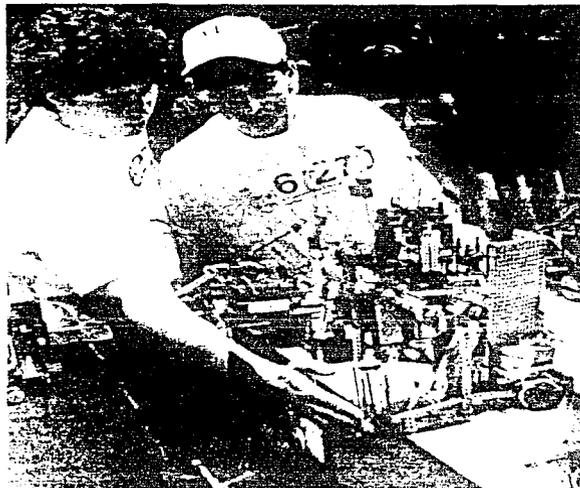


Fig. 6 - Propeller (in assembly)

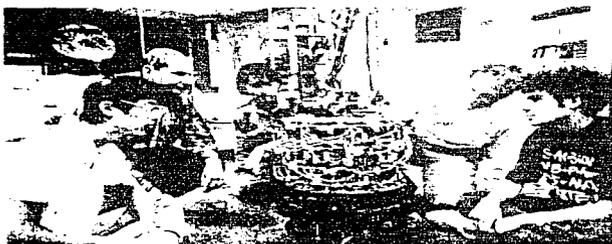


Fig. 7 - Propeller

Lamentable o afortunadamente, en esta universidad no cuentan con laboratorios de Ingeniería Eléctrica como los nuestros, dado que desde hace muchos años ya no forma parte de sus políticas de enseñanza el tenerlos, ¿será que ya son arcaicos u obsoletos? (Fig 8).

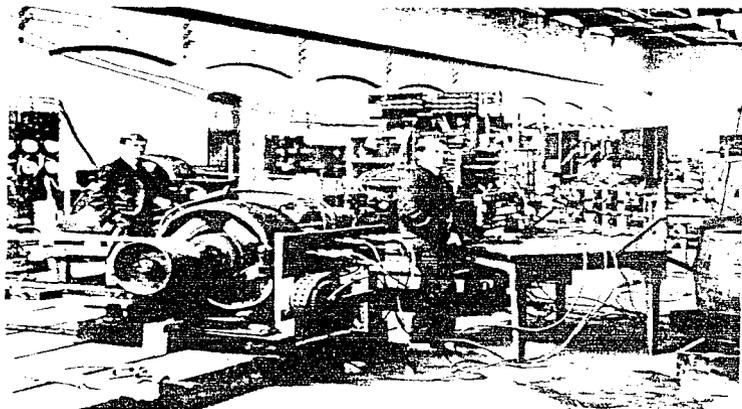


Fig. 8.- Este foto antigua del cuarto de máquinas del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica del Edificio Lowell, ya mostraba - en ese entonces - las carencias del "nuevo" departamento, lo cual dificultaba un arranque vigoroso en términos de sus capacidades de investigación.

En nuestra facultad existe todavía la creencia de que en los laboratorios de Ingeniería Eléctrica debe enseñarse el cómo hacer pruebas de equipo y material eléctrico, lo que hay que ver es si realmente en esta etapa de estadio de desarrollo y modernidad se ría conveniente seguir con esta línea de educación. A nuestra ma nera de ver, no existe un sustento lógico para ello, realmente al final de los cursos lo que les queda a los alumnos es el con ocer más o menos cómo se realiza una prueba de éstas, con las con sabidas ventajas que esto pudiera traer, si en algún momento de su vida profesional llegan a una empresa que se dedique a hacer pruebas semejantes, ahí sí, realmente, les va a ser de mucha uti lidad, pero ¿cuántos llegarán a trabajar en una de ellas?, realmente muy pocos. En esta universidad americana ya han superado esto desde hace muchos años, y en su lugar se dedican primordial mente al diseño y a la investigación; desde el principio de la carrera el estudiante se aboca fuertemente a esto, utilizando tremendamente la computadora y todos los demás recursos disponibles, trabajando en base al método científico experimental, sobre el cual todos los alumnos desarrollan sus experimentos propios, mediante la proposición de una hipótesis y la validación o no, de ésta. Todo esto lo pueden hacer ya sea en computadora, gracias a paquetes de simulación o bien físicamente, adquiriendo o construyendo ellos mismos los implementos necesarios, como pudieran ser motores, arrancadores, controladores, etc., ya que tienen a la mano todos los medios, incluso los económicos, para obtenerlos. Como puede verse, en estas universidades trabajan a la par la investigación y la enseñanza de la ingeniería, en todas las áreas de estudio, siendo responsabilidad de los alumnos obtener los conocimientos necesarios para seguir con el mismo ritmo de avance, en cuanto a investigación, a lo largo de toda su carrera. Obviamente, si cuentan con materias netamente teóricas, pero éstas son sólo su medio y no su fin, como pudiera ser, tal vez, el nuestro.

Como una propuesta importante, que pudiera tomarse o no, en

cuenta, se podría ver la posibilidad de dejar total o parcialmente el enfoque actual de los laboratorios de Ingeniería Eléctrica, esto es, dejar el desarrollo de pruebas de equipo y material eléctrico como base fundamental de la enseñanza de éstos, desarrollándolas, sí, pero para obtener, principalmente, recursos adicionales para la facultad, como está planteado en el capítulo de normalización y acreditación de los Laboratorios de Ingeniería Eléctrica de la facultad para funcionar como laboratorios de prueba, en apoyo a las industrias. En donde los alumnos que quisieran, pudieran realizar su servicio social o tesis, o bien trabajar parcialmente. Enfocando en su lugar la enseñanza de éstos, en base al desarrollo de investigación y/o diseño en el área, ya sea mediante paquetes y/o módulos de simulación, o bien, de manera general, mediante el uso de equipo físico disponible o adquirido para tal o cual efecto, teniendo como meta principal el que los alumnos desarrollen, aunque sea pobremente, algo de investigación científica y/o tecnológica, y/o diseño en el área, haciendo aflorar su inventiva. Estamos conscientes que es un poco difícil, dado que se tendrían que reformar los programas y planes de estudio, pero si se pudiese hacer algo al respecto, por muy pequeño que fuera, para comenzar a trabajar con miras a, en un futuro, tener una educación más activa, innovadora, emprendedora y afrontadora de retos, y creadora de ingenieros de calidad, y no pasiva y forjadora, las más de las veces, de ingenieros "sin ingenio", conformistas y mediocres, sería lo mejor que se pudiera hacer por nuestra escuela; dado que, actualmente, esperamos que sólo los alumnos o egresados de posgrado, y algunos ex alumnos que trabajan en compañías importantes, realicen algo de investigación, ¿qué no sería mejor que se hiciese algo al respecto desde licenciatura y no esperarse a que otros lo hagan? Es necesario darse cuenta que vivimos en un rezago educacional muy pronunciado, producto, tal vez, de un sistema de enseñanza que no es el más adecuado, y que, sin embargo, se ha hecho perenne a lo largo de generaciones. ¿Por qué decimos esto? Simplemente porque

está visto que los estudiantes egresados de nuestras escuelas terminan con muchas carencias y lagunas formativas que los imposibilitan a adentrarse plenamente a pasos firmes a una bien pretendida corriente de desarrollo. Los egresados salen con una falta de experiencia laboral indiscutible, producto de una falla en el sistema educativo, en el cual muy poco se trábaja en proyectos de investigación, en desarrollo de tecnología, en manejo y creación rutinaria de software y de hardware, así como en metodologías de vanguardia. En fin, son tantas cosas, que si el alumno egresado las manejara como algo intrínseco y natural en su actuar cotidiano en el campo profesional, júrenlo que estaría mucho muy preparado para trabajar en cualquier ámbito que él se propusiera, ya sea dentro o fuera del país.

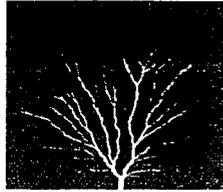
Pero, ¿cuáles son las ventajas de todo esto, además de lo ya mencionado? Bueno, existen muchas ventajas adicionales para que el alumno se adentre lo más pronto posible en esta corriente de enseñanza que se basa en la investigación, entre éstas podríamos mencionar, el establecer lazos más fuertes con los profesores (Fig 9), adquirir un acceso más viable hacia los recursos de asesoría, consejo y tutoría de un grupo profesional, investigar con un mayor potencial, adquirir mayores datos y técnicas de laboratorio, explorar las fronteras de un campo, adentrarse en tópicos no muy accesibles en clases normales, encarar problemas del mundo real, y establecer una base de experiencias educacionales.



Fig. 1. - Profesores del M.I.T.

En esta universidad americana, los estudiantes que intervienen más en el desarrollo de investigación a través de múltiples alternativas y programas específicos, obtienen un mayor entendimiento del proceso intelectual necesario para indagar, mientras tienen la oportunidad de un crecimiento mayor en su experiencia personal y profesional.

Para darnos una idea del tipo de investigación a gran escala que realizan, muy aparte de la que se lleva a cabo en menor grado, y siempre enfocándonos en el área que nos concierne mayormente, podríamos referirnos a uno de los laboratorios más importantes del instituto y de más renombre a nivel internacional, el comúnmente llamado LEES, Laboratorio de Sistemas Electrónicos y Electromagnéticos (Laboratory for Electromagnetic and Electronic System) - Fig 10 -.



*Fig. 10.- Proyecto
del LEES.*

El Laboratorio de Sistemas Electrónicos y Electromagnéticos (LEES) es una coalición de 12 facultades y 10 staffs de investigación de los Departamentos de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de Cómputo, Ingeniería Mecánica y Arquitectura. Las disciplinas representadas incluyen electrónica de potencia, control automático, electromecánica, electromecánica continua, calor y transferencia de masa, alto voltaje e investigación de aislamiento, fisiología cuantitativa, biología celular, análisis de sistemas y economía. Existen interacciones con otros laboratorios del instituto y de su área, que contribuyen al éxito de la alta investigación interdisciplinaria que es el sello característico de este laboratorio.

La investigación en electrónica de potencia va desde el análisis y la fabricación de dispositivos, al diseño de circuitos y desarrollo y control de sistemas. La investigación también envuelve el modelado, análisis, estimación y control de máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Un interés especial se enfoca en sistemas eléctricos automotrices y en la integración de electromecánica, electrónica de potencia y procesamiento de señales digitales/analógicas en motores para equipos llegando hasta aplicaciones de alta eficiencia en robots. Un programa mayor dentro del laboratorio es el diseño de un sistema de transporte terrestre de alta velocidad levitado magnéticamente.

Es el comportamiento eléctrico de gases, líquidos y sólidos - especialmente combinaciones de éstos -, lo que es materia de investigación de alto voltaje en el LEES. Con el objeto de entender las microdescargas en gases y sólidos y la evolución de cargas en dieléctricos líquidos están siendo usadas técnicas electro-ópticas y digitales para acortar la escala de tiempo y aumentar la sensibilidad y la resolución espacial con la cual los fenómenos pueden ser observados. Otras aplicaciones incluyen almacenamiento de energía de potencia pulsante, generación de potencia, aparatos de procesamiento y transmisión, y el desarrollo de nuevos materiales para capacitores. En un proyecto normal interdisciplinario con el Laboratorio de Tecnología de Microsistemas, un micromotor de 300 micrometros ha sido fabricado. En otro proyecto, microdescargas, vibraciones inducidas electromecánicamente, microdielectrometría, y sensado químico son combinados con mediciones eléctricas y térmicas para discernir tendencias en la operación de grandes transformadores de potencia y para predecir su futuro funcionamiento.

Estas y otras actividades envuelven la disciplina de electromecánica continua. Fenómenos de electrificación asociados con procesos electrocinéticos en dieléctricos líquidos - usados ambos para aislar y enfriar transformadores de distribución - están en esta categoría, como está el trabajo en sensores y actuadores para deducir parámetros y variables eléctricos, magnéticos, mecánicos y térmicos en sistemas heterogéneos. El trabajo en electromecánica continua de cartilago se enfoca sobre la influencia de fuerzas mecánicas, químicas y eléctricas en enfermedades tales como la osteoartritis y sobre las fuerzas mecánicas en la reparación de cartilago vivo y la síntesis de vida y reemplazo de tejido. Investigación relacionada apunta en la detección y diagnóstico de temprana degeneración del cartilago usando espectroscopia electromecánica superficial y NMR. Un trabajo en transporte controlado eléctricamente a través de membranas polielectrólitas está apuntando hacia

sistemas de entrega de droga y separación de proteínas en biotecnología. La partícula del electrón y otras facilidades de radiación de alto voltaje tienen una larga tradición en aplicaciones médicas. Estas facilidades son un recurso en la promoción de procesos físicos y químicos.

Los muchos procesos que conciernen con necesidades de hardware y software de utilidades eléctricas, así también como los recursos proveídos por el Programa de Utilidades Eléctricas del Laboratorio de Energía (Fig 11), proporcionan un apoyo natural para el trabajo extensivo del laboratorio en el área de sistemas de potencia.



Fig. 11.- Laboratorio de Energía.

Este trabajo incluye aparatos y monitoreo de sistemas, y el desarrollo de nuevos métodos de análisis, modelado y control como es demandado por sistemas que están desregulándose y esforzándose en aumento para entregar potencia segura y de alta calidad, económicamente.

Los intereses interdisciplinarios y las capacidades de los miembros facultativos del LEES y los estudiantes, sirvieron de fundamento en el rol significativo del laboratorio en los programas Líderes de Manufactura y Nuevos Productos de las Escuelas de

Administración e Ingeniería. A través de estos programas el laboratorio está comprometido en la investigación sobre herramientas CAD para el diseño y la manufactura, la transferencia de nueva tecnología para la industria, y el proceso de diseño del producto.

Todos los programas dentro del laboratorio son llevados a cabo con la asistencia de estudiantes de licenciatura y posgrado, bajo la supervisión de miembros facultativos.

Existen otros grupos de investigación en el área de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de Cómputo, también muy importantes, tales como: el Laboratorio de Inteligencia Artificial, el Centro para Ingeniería Biomédica, el Centro para Investigación Espacial, el Laboratorio de Audición y Fisiología "Eaton-Perbody", el Laboratorio de Energía, el Laboratorio Magnético Nacional "Francis Bitter" (Fig 12), los Sistemas de Información (IS), el Laboratorio para Ciencias de Cómputo, el Laboratorio para Sistemas de Información y Decisión, el Laboratorio de Media, los Laboratorios de Tecnología de Microsistemas, el Centro de Investigación de Operaciones, el Centro de Fusión de Plasma, el Laboratorio de Investigación en Electrónica, el Laboratorio de Luz Estroboscópica, el Programa Unido de Ingeniería Oceanográfica con la Institución Oceanográfica Woods Hole, el Laboratorio Lincoln, el Centro para Ciencias de Materiales e Ingeniería, el Centro de Políticas Alternativas, el Centro para Estudios Internacionales y el Laboratorio Thorndike del Hospital de la Ciudad de Boston.

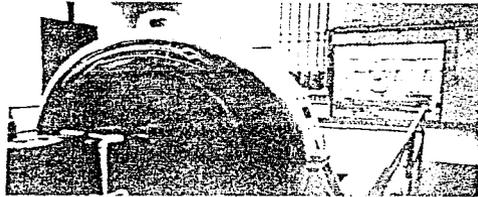


Fig. 12. - Laboratorio Magnético Nacional "Francis Bitter"

En estos grupos se desarrolla investigación muy diversa como puede ser: Sistemas, Comunicaciones y Control; Ciencias de Cómputo; Electrónica, Computadores y Sistemas; Energía y Sistemas Electromagnéticos, Materiales y Dispositivos e Ingeniería Biomédica. Destacándose entre éstas, investigación relativa a sistemas y control, comunicaciones, investigación de operaciones, teoría de ciencias de cómputo, inteligencia artificial, sistemas de cómputo y arquitectura, procesamiento digital de señales, radioastronomía, óptica, física del plasma, electromecánica continua, láseres de estado sólido y gaseoso, materiales semiconductores, dispositivos y procesamiento, automatización de diseño electrónico, electrónica médica, lenguaje, audición, acústica, y neurofisiología; finalmente, electrodinámica y sistemas de energía.

A esta última concentración concierne aplicaciones de las ecuaciones de Maxwell y la ley de fuerza de Lorentz, a sistemas cuasiestáticos y electrodinámicos y medios. Ejemplos incluyen sistemas de potencia; maquinaria rotatoria; actuadores electromecánicos, sensores y sistemas; física de dieléctricos e ingeniería de alto voltaje; teoría de ondas electromagnéticas; radio, microondas y sistemas ópticos; electrodinámica de plasmas y sistemas de energía de fusión; láseres, interacciones ópticas no lineales; y procesamiento de información óptica; y sistemas electroquímicos y electrofisiológicos.

Ciertamente, existen muy pocas áreas técnicas en las cuales no hay investigación, dado que la facultad tiene alrededor de 100 áreas de investigación.

Investigación paralela muy importante es llevada a cabo por grupos o investigadores independientes con la ayuda de los alumnos, algunas veces apoyados en los centros de investigación ya señalados, y otras veces de manera autónoma. Estos grupos e investigadores realizan también investigación a gran nivel, tal como:

- Planeación y Operación de Sistemas de Potencia Eléctrica.

- Problemas de estructura, control y estimación en sistemas dinámicos, principalmente en máquinas eléctricas y electrónica de potencia.
- Electrónica y circuitos transductores y sistemas para alta potencia.
- Análisis, diseño y control de sistemas físicos. Sistemas de control digital y de parámetros distribuidos. Maquinaria rotatoria, estructuras flexibles y procesadores de propósito especial para control digital.
- Nuevos tipos de motores y sistemas de control de motores. Métodos de bajo costo de generación de potencia eléctrica solar.
- Energía y sistemas electromagnéticos que van desde la física básica de generación y propagación de energía electromagnética hasta aplicaciones relativas con la identificación de recursos, sistemas de potencia y componentes, control del medio ambiente y nuevas formas de energía. Incluidos en este espectro de actividades están la dinámica de sistemas de potencia, y el desarrollo de componentes para la generación de potencia de alta eficiencia.
- Generación y uso de ultrasonido a muy alta frecuencia como diagnóstico de materiales aislantes, como celulosa.
- Interacciones electromagnéticas, electromecánicas y electro-ópticas en medios gaseosos, líquidos y sólidos, especialmente bajo condiciones de altos campos eléctricos.
- Sistemas de potencia eléctrica, diseño de maquinaria eléctrica, y aplicación de computadoras a los sistemas de energía.
- etc.

Como puede observarse, se ha hecho sólo mención, tanto como ha sido posible, de investigación relacionada con el área eléctrica y áreas y temas conexos; y sólo ha sido una muestra, dado que existe infinidad de investigación relacionada, que sería, en muchos casos, difícil de mencionar, pero lo poco que se ha visto no lleva otra finalidad que el mostrar el grado de avance y modernidad que tienen estas universidades, en cuanto a laborato-

rios e investigación, principalmente, y a lo cual debemos de aspirar o por lo menos hacer el intento de alcanzar.

Finalmente, y a manera de conclusión, hagamos referencia a lo que un connotado profesor de física de la Universidad Johns Hopkins llamado Henry A. Rowland dijo allá por 1884 en la Conferencia Nacional de Electricistas, y que reflejó el espíritu de su tiempo: "Dejémos que los laboratorios de física crezcan", "Dejémos que las escuelas técnicas también se funden ... no es operadores de telégrafos, sino ingenieros electricistas lo que el futuro demanda". Haciendo un parangón con lo anterior, y en base a lo que se ha desarrollado y propuesto en este capítulo, podría - mos decir: "Dejemos que nuestros laboratorios crezcan y se modernicen, realizando a la vez investigación", "Dejemos que las escuelas técnicas retomen mucho de lo que se hace actualmente ... no es ingenieros prácticos, sino ingenieros científicos lo que el futuro y México demanda.

5. TENDENCIA DE LA METODOLOGIA DE LA ENSEÑANZA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA ELECTRICA.

En base a la experiencia obtenida en nuestra visita al M.I.T, hemos desarrollado una breve, pero concisa disertación sobre como ven ellos la enseñanza actual y a futuro de los laboratorios en general, y por ende de Ingeniería Eléctrica. La mayoría de los conceptos ya han sido puestos en práctica y trabajan en base a ellos, y algunos otros están en vías de implementación, pero todos ellos conforman, ciertamente, la metodología de enseñanza a seguirse en las universidades americanas en los próximos años.

Analícemos pues, paulatinamente estos conceptos, considerando las posibles controversias que pudieran ocasionar, producto de la innegable divergencia existente entre ambos sistemas.

En nuestras escuelas, a través de los años, se ha seguido generalmente la política de enseñar por separado la teoría y la práctica, lo que ha propiciado en el estudiante cierta angustia y confusión, dado que muchas veces lo que ve en el laboratorio no lo ha visto en clase y viceversa. Una alternativa viable de ser implementada sobre este punto, sería que la teoría y la práctica estuviesen integradas, enseñándose sobre una base común de conocimiento progresivo y simultáneo, enfocado en problemas de ingeniería reales.

Así mismo, se ha seguido por sistema, el que los laboratorios sean impartidos de manera separada y con mínimas conexiones entre sí, pero ya no sólo con laboratorios de diferente área, sino lo que es peor, con laboratorios de su misma área, propiciando esto, que los estudiantes estén segregados por disciplinas y grados, y que enfrenten una educación lineal en la que las materias sean impartidas a su vez, por un solo profesor. Es necesario que se enseñen los laboratorios de manera interdisciplinaria y sin grados, esto es, que alumnos del Laboratorio de Equipo Eléctrico hagan prácticas y proyectos comunes con otros alumnos del Laboratorio de Manufactura, p.ej., aunque

claro, teniendo cada uno su fuerte base teórica y práctica, por separado. Esto propiciaría que estudiantes de diferentes campos y niveles trabajasen juntos, sacándolos de sus áreas respectivas y adentrándolos en otras disciplinas; siendo además necesario, que estos laboratorios sean, a la larga, impartidos por varios instructores y no sólo por uno, de manera que los estudiantes conozcan diferentes experiencias laborales, y principalmente, diferentes tipos de enseñanza.

Por otro lado, normalmente en nuestras escuelas, el maestro suele crear, alimentar y reforzar la dependencia de los alumnos para con él, muchas veces de manera inconsciente, en lugar de fomentar su independencia, pero todo esto ha sido producto de una metodología arcaica, en la cual se enfoca y se propicia la atención de los alumnos siempre en el maestro, no dejando florecer el intercambio de ideas y la comunicación de dos vías, entre los alumnos y el profesor, ni mucho menos entre los estudiantes. Esto en sí, no lleva a nada bueno, siendo necesario, por el contrario, que el profesor siembre, desde un principio, en los alumnos, la semilla de la iniciativa, creándoles un sentido de mayor responsabilidad.

Existe también la costumbre de llevar a cabo el desarrollo de una práctica de laboratorio mediante la exposición de hechos, de conceptos teóricos, de procedimientos y de toma de resultados, creando un acartonamiento tremendo en la educación del estudiante, haciendo a un lado lo que debería también de fomentarse, el crearles un pensamiento crítico y creativo, de desarrollo interpersonal y de comunicación entre ellos, pero ya no sólo para la solución de un problema, sino también para la definición plausible de muchos otros, ya sea en clase o fuera de ella.

Pasando un poco al aspecto docente, es conveniente preguntarse: ¿quiénes dan clase de laboratorio - y teoría - en las universidades de los E.U.?

Bueno, primero que nada, la mayoría, sino es que todos, tienen grado doctoral y una buena experiencia en investigación básica, investigación aplicada y/o multidisciplinaria, como lo es el desarrollo de ciencia y/o tecnología, ya que sin eso, es muy difícil que puedan dar clase. La experiencia laboral es muy importante, pero sólo si va acompañada de alguna investigación y/o publicación. El desenvolvimiento en la investigación es el principal criterio para obtener un puesto de profesor, para mantenerlo (hay que seguir investigando) y para lograr llegar a altos puestos dentro del organigrama universitario.

Hubo una época en la que los investigadores exitosos, aunque no se dedicasen a la enseñanza, o muy poco, eran muy bien vistos y gozaban de todos los beneficios del sistema, mientras que los maestros exitosos - con mucha menos investigación -, tenían más problemas para ascender en el escalafón establecido. Ahora, esto ha cambiado paulatinamente y ahora los profesores pueden transitar por diferentes caminos académicos, y obtener también todo el apoyo, promoción y prestigio, que otrora lo obtenían solamente los grandes investigadores. En la actualidad existen profesores enfocados profundamente en la investigación, que basan sus cursos en el desarrollo de proyectos de punta y de vanguardia, profesores parcialmente enfocados en la investigación pero con fuerte experiencia profesional, que basan sus cursos en la enseñanza del diseño en la ingeniería, la economía y la investigación de operaciones, proveyendo además, asesorías y tutorías, y finalmente, profesores más enfocados a la enseñanza que a la investigación - aunque sin dejarla completamente -, que basan sus cursos en teorías y metodologías educacionales, teniendo como actividades básicas, el desarrollo, la implementación y la publicación de trabajos acerca de materiales y métodos de enseñanza innovadores, así como escritura de libros, textos y software educacional. Todos ellos propiciando con su labor la adquisición de fondos externos para

el apoyo y la consecución de sus proyectos, y eventualmente, la mejora de la infraestructura de la universidad y con ello de la educación.

Lamentablemente, nuestros laboratorios siempre se han encasillado en un tipo de enseñanza orientado a que el alumno aprenda de manera intuitiva, verbal, deductiva, reflexiva y secuencial, siendo ya hora de que la enseñanza se de, en base a un aprendizaje sensitivo e intuitivo, visual y verbal, inductivo y deductivo, activo y reflexivo, secuencial y global. Pero, ¿cómo se logra esto? Es necesario que los laboratorios cambien de fisonomía, aunque para esto es necesario a su vez, que haya un mayor presupuesto, para poder modernizar sus instalaciones, para que cuenten con equipos y paquetes de cómputo, y se pueda desarrollar, ya no sólo el tipo de educación tradicional cuestionable, en la que el maestro da la teoría de la práctica, el procedimiento a seguir, la toma adecuada de resultados, la manera de entregar los reportes, y en la que el alumno hace las conexiones, hecha a andar el equipo, toma nota de lo acontecido y eso es todo. Por el contrario, es necesario que exista en su lugar una enseñanza práctica basada en una preparación previa por parte del alumno, con lecturas y ejercicios, no sólo individuales sino también grupales, en los que el alumno proponga prácticas y las desarrolle, comenzando desde la planeación del diseño del experimento, seleccionando la técnica de medición, y determinando el procedimiento a usar para la validación de los datos; formulando hipótesis y probándolas mediante la comparación con los resultados obtenidos. El estudiante entonces compara y discute los resultados experimentales en términos del estado actual de conocimientos, y prepara ya sea, informes progresivos o reportes finales del trabajo. Esto es, por demás decirlo, un coadyuvante muy importante para que el alumno deje atrás las prácticas rutinarias y se sumerja en una tarea que le estimulará el intelecto y le hará fluir las ideas y la inventiva. Además, se-

ría conveniente que el alumno hiciese uso del equipo físico existente como máquinas, instrumentos de medición, componentes y demás, pero a su vez, incursionara en el uso de nuevos recursos para su aprendizaje, como pudieran ser paquetes de cómputo, principalmente de simulación, para realizar experimentos, muchas veces económica y prácticamente, muy difíciles de realizar; y aún más, el llevar a cabo experimentos más avanzados mediante demostraciones en multimedia y en general en equipo de cómputo interactivo. Es necesario dejar atrás el acartonado aprendizaje de desarrollar prácticas rutinarias hechas cada semestre durante años, si no del todo, sí, en buena parte, que no servirán más que, para que el alumno sepa hacer pruebas, en base a la conexión de diagramas, puesta en marcha de éstos y toma de resultados, como ya se ha señalado. Pero todo esto no se ha implementado por arte de magia, sino por el contrario, ha sido producto de una educación ya un tanto cuanto obsoleta, en la que por lo general el alumno siempre ha observado pasivamente y en la que el profesor se ha concretado a hablar y escribir y ocasionalmente a hacer preguntas. Es necesario que el aprendizaje del estudiante sea más activo, en la que la mayor parte del tiempo previsto para cada sesión teórica, el alumno discuta con sus compañeros, haga preguntas, ataque y resuelva problemas, descifre coyunturas y genere y responda nuevas dudas. Es necesario a su vez que se dejen tareas, pero no las típicas de dejar un problema con una única respuesta, siendo la labor del estudiante encontrarla; sería conveniente en su caso, que existiese una mezcla de problemas con múltiples soluciones, en donde la tarea del educando fuese la de generar y evaluar respuestas alternativas a los problemas dados, explicando y describiendo lo encontrado, construyendo derivaciones correctas y formulando nuevos problemas generados de los anteriores.

Casi siempre ha existido una educación individualista, en la que los estudiantes trabajan solos, salvo en los laboratorios, en donde casi siempre por falta de equipo lo hacen en grupo, pe-

ro en donde se concretan a entregar reportes hechos maquinalmente. Es necesario que se trabaje en grupo, sí, pero de manera más disciplinada y eficiente, ya sea generando un conjunto de soluciones o bien desarrollando proyectos y entregándolos en equipo, de manera que exista una mayor cooperación en su aprendizaje, chequeando mediante evaluaciones alternativas el grado de aprovechamiento individual.

Por otro lado, en algunos laboratorios sí se dejan proyectos al final del curso - e incluso antes - y en otros no. Por regla general deberían dejarse como norma en todos los laboratorios, dándole el mayor peso de la calificación a éstos, ya que así, se reforzaría lo aprendido y se le despertaría al estudiante, como ya se dijo, la inventiva y el "ingenio" (ingeniero). Estos proyectos es necesario que sean interdisciplinarios también, y que los puedan llevar a cabo, incluso con alumnos de posgrado (ya que aquí en México la desvinculación entre ambos grados, licenciatura y posgrado es total), debiendo existir todo el apoyo para su terminación. Es necesario inculcarles a los alumnos un afán competitivo y de superación, mediante concursos bien organizados que tengan un buen incentivo moral y económico, pero que a la vez fomenten un ambiente cooperativo entre todos ellos, y principalmente entre los grupos de trabajo.

No existe tradicionalmente la costumbre de examinar al alumno al final del curso de laboratorio, y eso también va en detrimento suyo, pero eso no es todo, sería muy útil evaluarlo en base a tareas y trabajos completados - y no sólo a reportes de prácticas - siguiendo muy de cerca los objetivos propuestos y finalmente conseguidos. Igualmente debieran existir en los exámenes susodichos una serie de preguntas y problemas evaluatorios sobre cursos anteriores, indispensables de responder para poder resolver los actuales, de manera que exista una continua preparación y actualización del estudiante, evitando que pase maquinalmente de una materia a otra, sin importarles ya la anterior.

Finalmente, por todos es sabido, que a los profesores no les

es dado ningún curso de asesoría, de capacitación o actualización (ni mucho menos a los ayudantes de laboratorio). Los profesores enseñan primero a imitación de sus propios maestros (quienes tampoco tuvieron entrenamiento), algunos con el paso del tiempo mejoran sus métodos de enseñanza a través de prueba y error o mediante el estudio de bibliografía sobre enseñanza y metodologías. Por el contrario, debiera existir un entrenamiento continuo, tanto para los profesores con muchos años de ejercicio únicamente escolar (ya que los que han trabajado en la industria la misma evolución tecnológica los hace superarse) para que no se anquilosen, como para los recién egresados, para que adquieran las bases mínimas para desarrollar su labor docente, siendo necesario tener programas de tutoría, para éstos últimos. Al mismo tiempo es necesario evaluar a los maestros mediante un sondeo de sus cursos, para ver que tan exitosamente desarrollan sus clases, pidiéndoles su opinión a los alumnos y en base a observaciones hechas por colegas y autoridades honestas y competentes, tomando en cuenta entre otros, exposición, metodología, apoyo didáctico, aprovechamiento-producto de sus alumnos y principalmente nuevas alternativas educativas, como aquéllas en base al uso de la computadora. Sin embargo, no se debe malinterpretar todo lo ya mencionado tan solo como una falla del sistema educativo, de infraestructura, de las autoridades, de los profesores, ya que el alumno también tiene mucho que ver y a veces no responde como debería. Por el contrario, es necesario subrayar la importancia, tal vez involuntariamente soslayada, de que el alumno se concientice y asuma cabalmente su responsabilidad como estudiante, que es la de aprender lo más posible, - y más en una universidad como la nuestra, en donde la educación es prácticamente gratuita -, para que de esta forma le sea útil a la sociedad, resarciendo ya como egresado un poco del costo de la educación que de ella devengó. No obstante la problemática es muy compleja, no pudiéndose establecer plenamente que tanto el atraso educativo es culpa del alumno como de los demás factores. Lo que está bien

claro es que por ahora los alumnos no cuentan con las bases académicas suficientes ni con la motivación necesaria, por lo cual se les hace muy difícil sobresalir en los estudios, y bajo este contexto, es muy difícil arrancar con un sistema nuevo que les exija mucha preparación previa, dedicación y estudio, sin embargo, por algo se tiene que empezar si se desea realmente cambiar, para bien.

Es pues necesario un verdadero diálogo y un trabajo continuo y arduo entre autoridades, profesores y alumnos, que se refleje en un mejoramiento paulatino de la educación, para que no sólo todo lo aquí expresado, si así se juzga conveniente, se lleve a cabo, sino muchas cosas más que, a la larga, unidas, puedan crear una educación más dinámica y moderna, igual o mejor (porque no) que la que existe en muchas otras escuelas importantes de ingeniería del mundo, como la que visitamos. Que se consiga o no, y aún más, que se intente o no, dependerá de nosotros mismos.

6. PROYECTOS ADICIONALES

Siendo la finalidad del presente trabajo, cambiar el enfoque actual del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, de manera de hacerlo más moderno y competitivo, el trabajo que nos ocupa no se puede quedar tan solo en algo escrito, sino que es necesario ir más allá, aportando algo más tangible y evidente, y dado que se requiere "echar a andar" un par de equipos, no utilizados hasta el momento, se ha juzgado conveniente atacarlos, volviéndolos más didácticos y operativos, intentando a la vez, hacer algunas prácticas con ellos, para que en el futuro se puedan incorporar a los programas de los diferentes laboratorios que ahí se imparten.

Como en todo trabajo serio que se precie de serlo, es necesario introducir los fundamentos e los antecedentes teóricos que deben preceder a cada uno de los proyectos e equipos en cuestión, de manera que se vea cuál ha sido el desarrollo tecnológico hasta llegar a éstos, y se comprenda mejor cada uno de ellos.

Así pues y sin más, primeramente se trata el proyecto (y equipo) que nos permite regular la velocidad de un motor de c.d., para posteriormente pasar a analizar el caso análogo para un motor de c.a. e de inducción.

Debido a que estas regulaciones de velocidad se efectúan en base a accionamientos (drives), tanto de c.d. como de c.a. (aunque en ocasiones no únicamente por éstos), se menciona al final de los trabajos correspondientes a ambos equipos reguladores de velocidad, una tabla comparativa de las ventajas y desventajas entre ambos drives (c.d. y c.a.), de manera que sirva como guía para escoger uno en específico, dependiendo de las necesidades de control.

Finalmente, se trata un tercer proyecto, independiente de los equipos del laboratorio, que consiste en un garage automático controlado por un autómata programable, que nos sirve para llevar a la práctica una aplicación en el ámbito del laboratorio de un equipo de lo más avanzada, novedosa y utilizada actualmente como es el de los controladores lógicos programables (PLC's). Adicionalmente a éste,

se añaden algunas componentes eléctrica/electrónicas, como son metros pequeños, switches, relés y fotoceldas, que hacen las veces de sensores y actuadores para el proyecto en cuestión.

A continuación se presentan los resultados de tales acciones.

REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA
CON CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Antes de definir las prácticas ha realizar con este equipo, entre éstas, la práctica que lleve a cabo en sí el control de velocidad del motor de c.d. - además de otras prácticas en las que se estudiarán los PLC's, mismos que servirán para lo primero -, es necesario conocer a fondo el o los equipos que utilizaremos en ello, de manera que se eficiente su potencialidad y se eviten errores que pudieran dañarlos. Así las cosas, primeramente se hará una exposición teórica de los métodos de control más rudimentarios para regular la velocidad de un motor de c.d., para paulatinamente ir describiéndolos subsecuentemente hasta llegar al estudio de los controladores lógicos programables (PLC's), pasando por los controles por realimentación, analógicos y digitales, y por los accionamientos (drives) de c.d.

Después de esto, se analizará el equipo con el que contamos en el laboratorio, y sus componentes principales, o sea el drive y los PLC's (introduciéndonos en sus manuales), para finalmente, desarrollar las prácticas para este equipo, que, como ya se mencionó, incluirán prácticas de conocimiento de PLC's, y aquella para la regulación de velocidad del motor de c.d.

En sí, la PRACTICA 1, consistirá de una práctica introductoria al equipo en general, la PRACTICA 2, 3 y parte de la 4, tratarán sobre programación de algunas instrucciones importantes de los PLC's disponibles, el resto de la PRACTICA 4 será en la que se lleve a cabo la regulación de velocidad del motor de c.d. del equipo, y la PRACTICA 5 se enfocará, a manera de proyecto, por parte del alumno, en el desarrollo de un programa para PLC de su propia inventiva.

Como recomendación al instructor (profesor), antes de cada práctica el alumno entregará el cuestionario previo respectivo, que servirá para que el alumno en sí llegue mejor preparado a realizarla y sea mejor su aprovechamiento. Un reporte de la práctica también es conveniente se entregue en la clase siguiente.

Para concluir, al final, en el Apéndice, se darán los resultados de las prácticas y de los cuestionarios previos, para uso y conocimiento exclusivo de los instructores (profesores).

REGULACION DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.D., MEDIANTE LA VARIACION DE SU VOLTAJE DE ARMADURA, HACIENDO USO DE UN REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD Y DE UN CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC).
MOTOR ELECTRICO

El motor eléctrico es una máquina que convierte energía eléctrica tomada de la fuente de alimentación en energía mecánica, que entrega a través de la flecha al equipo accionado.

El motor eléctrico básico consiste de un elemento estacionario, y un elemento giratorio, teniendo ambos, campos magnéticos energizados por medio de corriente eléctrica que pasa a través de las bobinas, la interacción de esos campos magnéticos produce un par provocando que el elemento rotatorio gire.

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Las dos partes principales del motor de corriente directa son el estator y la armadura o inducido.

El estator contiene los polos magnéticos con el bobinado de excitación para producir el campo magnético. El rotor contiene el bobinado de armadura y el conmutador.

Existen varios tipos de motores de cc. los cuales difieren en el modo como se derivan sus flujos de campo. Estos tipos son:

1. Motor de cc con excitación externa (independiente)
2. Motor de cc en derivación*
3. Motor de cc serie
4. Motor de cc de excitación compuesta

La manera como se deriva el flujo afecta el modo como éste varía con respecto a la carga, lo cual a su vez afecta la característica momento de torsión-velocidad total del motor.

Un motor de cc con excitación externa es aquel cuyo circuito de campo lo abastece una fuente de alimentación de voltaje constante, mientras que un motor de cc en derivación es aquel cuyo circuito de campo obtiene su potencia directamente a través de los terminales del inducido del motor. Cuando la tensión de suministro a un motor se supone constante, no hay diferencia práctica en el comportamiento de estas dos máquinas. Por consiguiente, cada vez que se

mencione a un motor en derivación y se describa su comportamiento - a menos que se especifique otra cosa -, se estará hablando también de un motor con excitación externa.

Así, un motor de cc en derivación o con excitación externa tiene una característica momento de torsión-velocidad cuya velocidad desciende linealmente en proporción directa al aumento del momento de torsión. Su velocidad puede controlarse al cambiar la corriente de campo, el voltaje en el inducido o la resistencia del inducido.

Un motor de cc serie es uno cuyos embobinados de campo constan de, relativamente, pocas vueltas conectadas en serie con el circuito inducido.

Un motor serie tiene el más alto momento de arranque que cualquier otro motor de cc, pero tiende a desbocarse en vacío. Se utiliza para aplicaciones de momento muy alto donde la regulación de velocidad no es importante, como el arranque de un automóvil.

Un motor de cc compuesto tiene un campo en derivación y uno en serie. A partir de una convención es posible tener ya sea un motor de cc compuesto acumulativamente o bien un motor de cc compuesto diferencialmente.

Un motor de cc compuesto acumulativamente es un término medio entre un motor serie y uno en derivación, y posee algunas de las mejores propiedades de cada uno de ellos. Por otra parte, un motor de cc compuesto diferencialmente es un desastre completo; es inestable y tiende a desbocarse a medida que se le aumenta la carga.

Debido a la diversidad de motores de cc ya mencionados, existen variaciones, aunque muy pequeñas, entre el control de la velocidad de uno y otro. Así pues, esto hace necesario, antes de introducirnos a detallar el control de la velocidad para cada uno de estos tipos de motores de cc, el mencionar las ecuaciones, los diagramas y las gráficas básicas de cada uno de ellos, para que se pueda comprender cómo se produce el control en sí.

- + - Dentro de esta categoría se puede incluir el motor de cc de imán permanente (CCIP), el cual es, básicamente, la misma máquina en cuestión, excepto que el flujo en este tipo de motores es fijo y se deriva, obviamente, de imanes permanentes. Por lo cual, no es posible controlar la velocidad de un motor CCIP variando la corriente de campo ni el flujo. Los únicos métodos disponibles de control de velocidad para un motor CCIP son el control de voltaje en el inducido y el control de resistencia del inducido.

NOTA: A pesar de que aquí nos enfocamos en mencionar solamente a los motores de cc más importantes, está claro que existen otros no tan conocidos ni tan relevantes, pero ciertamente usados, como pueden ser el motor Lincoln, y algunos otros ya señalados en las tablas del Capítulo 2.

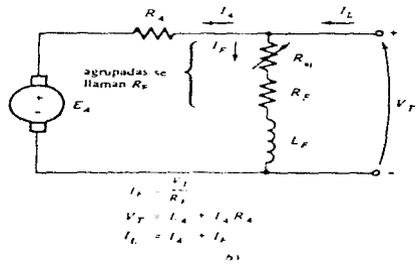
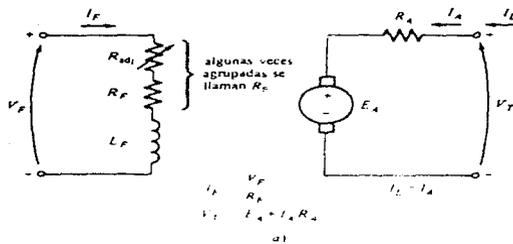
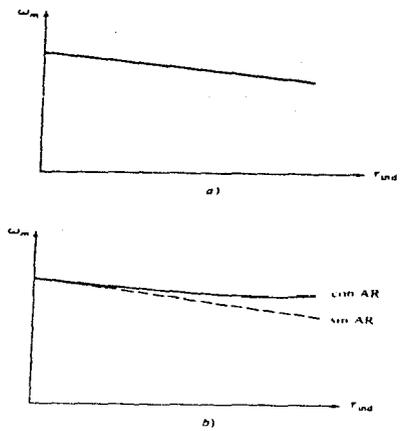


FIGURA
 a) Circuito equivalente de un motor de cc con excitación externa b) Circuito equivalente de un motor de cc en derivación



$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$E_A = K \phi \omega$$

$$V_T = K \phi \omega + I_A R_A$$

$$T_{ind} = K \phi I_A$$

$$I_A = \frac{T_{ind}}{K \phi}$$

$$V_T = K \phi \omega + \frac{T_{ind} R_A}{K \phi}$$

$$\omega = \frac{V_T}{K \phi} - \frac{R_A}{(K \phi)^2} T_{ind}$$

FIGURA
 a) Característica momento de torsión-velocidad de un motor de cc en derivación o con excitación externa con embobinado de compensación para eliminar la reacción de inducido b) Característica momento de torsión-velocidad del motor que presenta reacción de inducido

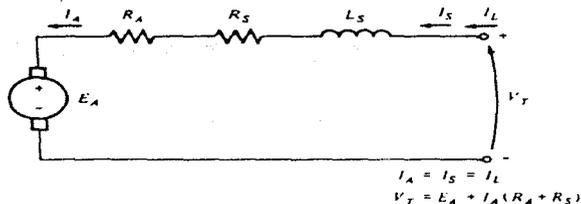


FIGURA
Circuito equivalente de un motor de cc serie.

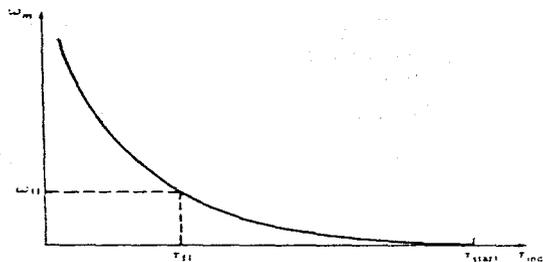


FIGURA
Característica momento de torsión-velocidad de un motor de cc serie

$$T_{ind} = K\phi I_A$$

$$\phi = C I_A$$

$$T_{ind} = K\phi I_A = K C I_A^2$$

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S)$$

$$I_A = \sqrt{\frac{T_{ind}}{K C}}$$

$$E_A = K\phi\omega$$

$$V_T = K\phi\omega + \sqrt{\frac{T_{ind}}{K C}} (R_A + R_S)$$

$$I_A = \frac{\phi}{C}$$

$$T_{ind} = \frac{K}{C} \phi^2$$

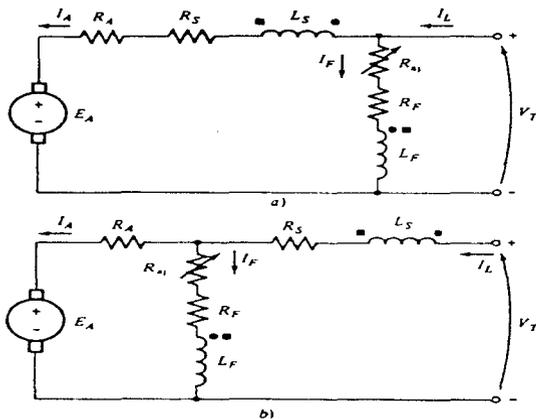
$$\phi = \sqrt{\frac{C}{K}} \sqrt{T_{ind}}$$

$$V_T = K \sqrt{\frac{C}{K}} \sqrt{T_{ind}} \omega + \sqrt{\frac{T_{ind}}{K C}} (R_A + R_S)$$

$$\sqrt{K C} \sqrt{T_{ind}} \omega = V_T - \frac{R_A + R_S}{\sqrt{K C}} \sqrt{T_{ind}}$$

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{K C} \sqrt{T_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{K C}$$

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{K C} \sqrt{T_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{K C}$$



$$N_{\text{net}} = I_A N_A \pm I_F N_F - I_A R_A$$

$$I_F = I_A \pm \frac{N_A E_A}{N_F} - \frac{I_A R_A}{N_F}$$

- Composición acumulativa (+)
 - $V_T = E_A + I_A (R_A + R_S)$
 - $I_A = I_L - I_F$
 - $I_F = \frac{V_T}{R_F}$
- Composición diferencial (-)
 - $V_T = I_A R_S + I_F \frac{R_A R_F}{N_F}$
 - $V_T = I_A R_A + E_A$
 - $V_T = I_L R_S + I_A R_A + E_A$
 - $I_L = I_A + I_F$
 - $I_A = I_L - I_F$
 - $I_F = \frac{V_T - I_L R_S}{\frac{R_A R_F}{N_F}}$

FIGURA
Circuito equivalente de los motores de cc de excitación compuesta a) conexión en derivación larga. b) conexión en derivación corta

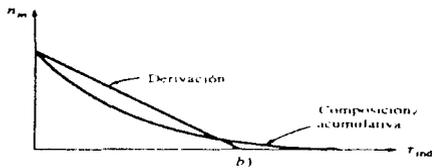
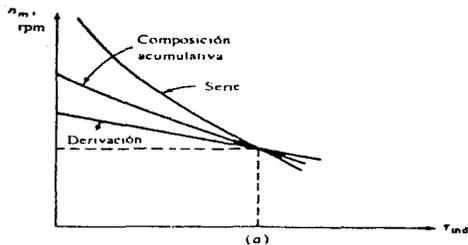


FIGURA
a) Característica momento de torsión-velocidad de un motor de composición acumulativa comparado con motores serie y en derivación con la misma proporción de carga total. b) Característica momento de torsión-velocidad de un motor de composición acumulativa comparado con un motor en derivación con la misma velocidad sin carga



FIGURA
Característica momento de inercia velocidad de un motor
de CC de compensación diferencial

CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE CC

Las máquinas de cc son en general mucho más adaptables al servicio de velocidad ajustable que las de ca asociadas con un campo giratorio de velocidad constante. En realidad la fácil susceptibilidad de los motores de cc al ajuste de su velocidad de operación dentro de un margen muy amplio y mediante diversos métodos, es uno de los motivos principales de la posición fuertemente competitiva de la maquinaria de cc en las aplicaciones industriales modernas.

CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE CC EN DERIVACION

¿Cómo puede controlarse la velocidad de un motor de cc en derivación? Para esto hay dos métodos comunes y uno menos común.

Los dos comunes son:

- Ajustando la resistencia de campo R_p (y con ello el flujo de campo).
 - Ajustando el voltaje terminal aplicado al inducido.
- El método menos común de control de velocidad es:
- Insertando una resistencia en serie con el circuito del inducido.

Cada uno de estos métodos se describe a continuación.

CAMBIO DE LA RESISTENCIA DE CAMPO

Para comprender lo que ocurre cuando se cambia la resistencia de campo de un motor de cc, suponga que aumenta el valor de la resistencia de campo y observe la respuesta. Si aumenta la resistencia de campo, entonces la corriente de campo disminuye ($I_p \downarrow = V_T / R_p \uparrow$) y a medida que decrece la corriente de campo, el flujo ϕ también se reduce. Una disminución del flujo ocasiona una reducción instantánea del voltaje interno generado $E_A (=K\phi\omega)$ la cual ocasiona un gran incremento de la corriente de inducido

de la máquina, ya que

$$I_A = \frac{V_T - E_A \downarrow}{R_A}$$

El momento inducido en un motor está dado por $\tau_{ind} = K\phi I_A$. Puesto que el flujo ϕ en esta máquina disminuye mientras que la corriente I_A aumenta, ¿de qué modo cambia el momento inducido? La respuesta es sencilla: el aumento de la corriente predomina sobre la disminución del flujo, y el momento inducido se eleva:

$$\tau_{ind} = K\phi \uparrow I_A$$

Puesto que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$, las velocidades del motor crecen.

No obstante, a medida que éstas crecen, el voltaje interno generado E_A se eleva, ocasionando el descenso de I_A . A medida que desciende I_A , el momento inducido τ_{ind} desciende también y finalmente τ_{ind} otra vez iguala a τ_{carga} a una mayor velocidad de condición estable que la que se tenía originalmente.

Para resumir el comportamiento de causa y efecto que está involucrado en este método de control de velocidad:

1. El aumento de R_P ocasiona que $I_P (=V_T/R_P \uparrow)$ disminuya.
2. La disminución de I_P rebaja ϕ .
3. La disminución de ϕ reduce $E_A (=K\phi \downarrow \omega)$.
4. La disminución de E_A aumenta $I_A = (V_T - E_A \downarrow) / R_A$.
5. El aumento de I_A incrementa $\tau_{ind} (=K\phi \downarrow I_A \uparrow)$, con el cambio en I_A dominante sobre el cambio en el flujo.
6. El aumento de τ_{ind} hace que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$, y la velocidad ω se incrementa.
7. El aumento de ω incrementa $E_A = K\phi \uparrow$ nuevamente.
8. El aumento de E_A disminuye I_A .
9. El decrecimiento de I_A disminuye τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{carga}$ a una mayor velocidad ω .

El efecto de incrementar la resistencia de campo en la característica de salida de un motor en derivación se muestra en la figura 1a.

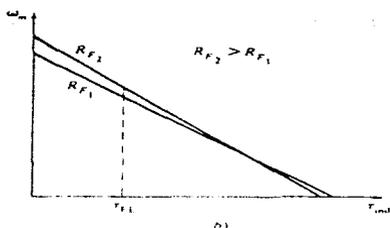
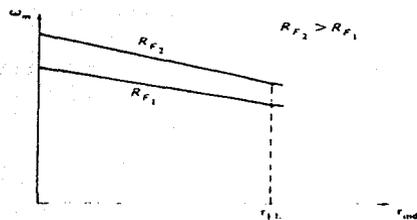


FIGURA 4
Efecto del control de velocidad por resistencia de campo sobre la característica momento-velocidad de un motor en derivación: a) sobre el rango de operación normal del motor, b) sobre el rango total desde la condición de vacío hasta las condiciones de parada del motor.

Obsérvese que a medida que disminuye el flujo en la máquina, aumenta la velocidad del motor en vacío, mientras se hace más empinada la pendiente de la curva momento de torsión-velocidad. Naturalmente, la disminución de R_p invertiría todo el proceso y rebajaría la velocidad del motor.

Advertencia sobre el control de velocidad por resistencia de campo

En la figura 1 se observa el efecto de aumentar la resistencia de campo en la característica de salida de un motor de cc en derivación. Nótese que a medida que disminuye el flujo en la máquina crece la velocidad del motor en vacío, mientras que la pendiente de la curva momento-velocidad se hace más empinada. Esta condición es una consecuencia de la ecuación

$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind}$$

la velocidad en vacío es proporcional al recíproco del flujo en el motor, mientras que la pendiente de la curva es proporcional al recíproco del cuadrado del flujo. Por tanto, una disminución del flujo hace que se haga más pronunciada la pendiente de la curva momento de torsión-velocidad.

En la figura 1a observamos la característica terminal del motor sobre el rango de la condición en vacío a la condición de plena carga. Sobre este rango, un aumento de la resistencia de campo aumenta la velocidad del motor, como se describió antes. En los motores que operan entre la condición de vacío y la de plena carga puede esperarse que un aumento de R_p aumente la velocidad de operación.

Examinemos ahora la figura 1b. En ésta se observa la característica terminal del motor sobre el rango total desde la condición de vacío hasta la de parada del motor. En la figura resulta evidente que a velocidades muy lentas un aumento de la resistencia de campo en realidad disminuirá la velocidad del motor. Este efecto ocurre porque a muy bajas velocidades el aumento de la corriente de inducido causado por la disminución de E_A ya no es suficiente para compensar la disminución de flujo en la ecuación de momento de torsión inducido. Con la disminución de flujo realmente mayor que el aumento de la corriente de inducido, el momento inducido disminuye y el motor disminuye su velocidad.

Algunos motores de cc pequeños que se utilizan con propósitos de control operan realmente a velocidades próximas a condiciones de parada de motor. En estos motores, un incremento en la resistencia de campo podría no tener efecto o incluso podría disminuir la velocidad del motor. Puesto que no pueden predecirse los resultados, el control de velocidad por resistencia de campo no debería utilizarse en estos tipos de motores de cc. En cambio debe usarse el método de control de velocidad de voltaje de inducido.

Efecto de un circuito de campo abierto

En el análisis del control de velocidad por variación de la resistencia de un motor en derivación. A medida que aumenta la resistencia de campo, la velocidad del motor aumenta con ella. ¿Qué ocurriría si este efecto se llevara al extremo, si la resistencia de campo realmente aumentara? ¿Qué ocurriría si el circuito de campo realmente se abriera mientras el motor estuviera en marcha? A partir del análisis previo, el flujo en la máquina caería drásticamente hasta ϕ_{res} , y $E_A (=K\phi\omega)$ caería con él. Esto causaría un aumento verdaderamente enorme de la corriente con el inducido, y el momento inducido resultante sería un poco mayor que el momento de la carga en el motor. En consecuencia, la velocidad del motor comenzaría a elevarse y mantendría ese ascenso.

Por consiguiente, es necesario ser más cuidadosos con la protección del circuito de campo. En los circuitos de arranque y protección de los motores de cc, normalmente se incluye un relevador de pérdida de campo para desconectar el motor de la línea en caso de una pérdida de corriente de campo.

Puede ocurrir un efecto similar en los motores corrientes de cc en derivación que funcionan con campos ligeros si sus efectos de reacción de inducido son bastante severos. Si en un motor de cc esta reacción es drástica, un aumento de la carga puede debilitar su flujo en tal medida que ocasione la elevación de la velocidad del motor. No obstante, la mayor parte de las cargas tienen curvas momento de torsión-velocidad cuyo momento aumenta con la velocidad, de modo que la velocidad aumentada del motor incrementa su carga, la cual eleva su reacción de inducido debilitando nuevamente su flujo. El flujo debilitado ocasiona un aumento adicional de la velocidad, además de un aumento de la carga, etc., hasta que el motor rebasa su velocidad. Esta condición se denomina desbocamiento.

En los motores que funcionan con cambios de carga y ciclos de servicio muy severos, este problema del debilitamiento de

Pero a medida que aumenta la velocidad ω , el voltaje interno generado $E_A (=K\omega\uparrow)$ se eleva ocasionando que disminuya la corriente de inducido. Esta disminución de I_A rebaja el momento inducido haciendo que τ_{ind} iguale a τ_{carga} a una mayor velocidad de rotación ω .

Puede resumirse así el comportamiento de causa y efecto en este método de control de velocidad:

1. Un aumento de V_A aumenta $I_A [(V_A \uparrow - E_A)/R_A]$.
2. Al aumentar I_A aumenta $\tau_{ind} (=K\phi I_A)$.
3. El aumento de τ_{ind} hace que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$, aumentando ω .
4. El aumento de ω aumenta $E_A (=K\omega\uparrow)$.
5. El aumento de E_A disminuye $I_A = (V_A - E_A \uparrow)/R_A$.
6. La disminución de I_A reduce τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{carga}$ a una mayor velocidad ω .

En la figura iii se observa el efecto de un aumento de V_A sobre la característica momento de torsión-velocidad de un motor con excitación externa.

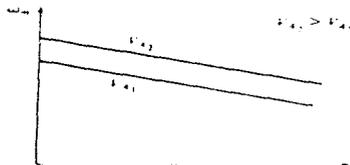


FIGURA ***
Efecto del control de velocidad por aumento del voltaje del inducido en la característica momento de torsión-velocidad de un motor en derivación.

Obsérvese que la velocidad en vacío del motor se cambia mediante este método de control de velocidad, pero la pendiente de la curva permanece constante.

INSERCIÓN DE UNA RESISTENCIA EN SERIE CON EL CIRCUITO DE INDUCIDO

Si se inserta una resistencia en serie con el circuito de inducido, el efecto que se produce es aumentar drásticamente la pendiente de la característica momento de torsión-velocidad del motor, haciendo que éste funcione más lentamente si está cargado (véase figura iv).

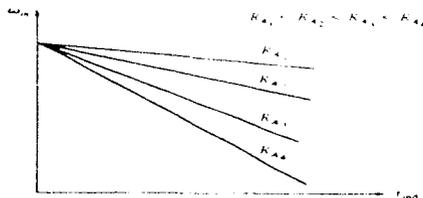


FIGURA iv
Efecto del control de velocidad por resistencia de inducido sobre la característica momento de torsión-velocidad de un motor en derivación

Esto puede verse fácilmente a partir de la ecuación

$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind}$$

La inserción de una resistencia es un método de control de velocidad que resulta muy antieconómico, pues las pérdidas en la resistencia insertada son muy grandes. Por esto, raramente se usa; sólo se le hallará en aplicaciones donde el motor gasta casi todo su tiempo de operación a máxima velocidad o en aplicaciones muy baratas que no justifican una mejor forma de control de velocidad.

Los dos métodos más comunes de control de velocidad de motores en derivación —la variación de la resistencia de campo y la variación del voltaje de inducido— tienen diferentes rangos seguros de operación.

En el control de resistencia de campo, cuanto menor sea la corriente de campo en un motor de cc en derivación (o con excitación externa), más rápido se vuelve éste; y cuanto mayor sea la corriente de campo, más lento se vuelve. Ya que

un aumento de la corriente de campo produce una disminución de la velocidad, siempre hay una velocidad mínima que puede alcanzarse mediante el control de circuito de campo. Esta velocidad mínima se presenta cuando la máxima corriente permitida fluye a través del circuito de campo del motor.

Si un motor está funcionando a su voltaje terminal, potencia y corriente de campo nominales, entonces estará marchando a velocidad nominal, llamada también velocidad base. El control de resistencia de campo puede controlar la velocidad del motor para velocidades superiores a la velocidad base, pero no para velocidades inferiores a ella. Lograr una velocidad inferior a la velocidad base mediante control de circuito de campo requeriría excesiva corriente de campo, haciendo quemar posiblemente los embobinados de campo.

En el control de voltaje en el inducido, cuanto menor sea el voltaje en el inducido en un motor de cc con excitación externa, más lento se vuelve éste; y cuanto mayor sea el voltaje en el inducido, más rápido se vuelve el motor. Puesto que un aumento del voltaje en el inducido causa un aumento de la velocidad, siempre hay una velocidad máxima alcanzable mediante control de voltaje en el inducido. Esta velocidad máxima se presenta cuando el voltaje en el inducido del motor alcanza su máximo nivel permitido.

Si el motor está funcionando a su voltaje, corriente de campo y potencia nominales, estará rodando a la velocidad base. El control de voltaje en el inducido puede controlar la velocidad del motor para velocidades inferiores a la velocidad base, pero no para velocidades superiores a ella. Alcanzar una velocidad mayor que la velocidad base mediante control de voltaje en el inducido requeriría excesivo voltaje en el inducido, posiblemente dañando el circuito del inducido.

Estas dos técnicas de control de velocidad son, obviamente, complementarias. El control de voltaje en el inducido

funciona bien para velocidades inferiores a la velocidad base, y el control de resistencia de campo o de corriente de campo funciona bien para velocidades superiores a la velocidad base. Al combinar en un mismo motor las dos técnicas de control de velocidad es posible obtener un rango de variaciones de velocidad de 40 a 1, o más. Por supuesto, los motores de cc en derivación y los de excitación externa son excelentes opciones para las aplicaciones que necesitan grandes variaciones de velocidad, especialmente en éstas deben controlarse con exactitud.

Hay una considerable diferencia en los límites para el momento de torsión y para la potencia en la máquina en estos dos tipos de control de velocidad. En cada caso el factor limitante es el calentamiento de los conductores del inducido, el cual establece un límite superior en la magnitud de la corriente de inducido I_A .

Para el control del voltaje en el inducido, el flujo en el motor es constante, por tanto el momento máximo en el motor es

$$\tau_{\max} = K\phi I_{A, \max}$$

Este momento máximo es constante independientemente de la velocidad de rotación del motor. Ya que la potencia de salida del motor está dada por $P = \tau\omega$, la potencia máxima del motor a cualquier velocidad bajo control de voltaje en el inducido es

$$P_{\max} = \tau_{\max}\omega$$

De este modo la máxima potencia de salida del motor es directamente proporcional a su velocidad de operación bajo control de voltaje en el inducido.

Por otra parte, cuando se utiliza control de resistencia de campo, el flujo cambia. En esta forma de control, una disminución del flujo de la máquina causa un aumento de velocidad. Para que no se exceda el límite de la corriente inducida, el límite del momento inducido debe disminuir a medida que aumenta la velocidad del motor. Como la potencia de salida del motor está dada por $P = \tau\omega$, y el límite del momento de torsión disminuye a medida que aumenta la velocidad del motor, la máxima po -

tencia de salida de un motor de cc bajo control de corriente de campo es constante, mientras que el momento máximo varía tanto como el recíproco de la velocidad del motor.

En la figura v pueden verse estas limitaciones de potencia y de momento del motor de cc en derivación para un funcionamiento seguro.

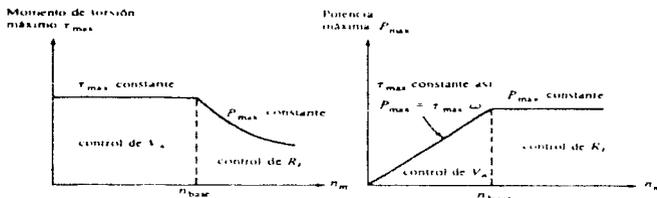


FIGURA v Límites de potencia y momento como función de la velocidad en un motor en derivación bajo control del voltaje en el inducido y control de resistencia de campo.

CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES SERIE DE CC

A diferencia de los motores de cc en derivación, hay una sola manera eficiente de cambiar la velocidad de un motor de cc serie. Este método consiste en cambiar el voltaje terminal del motor. Si se aumenta este voltaje, el primer término de la ecuación

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{I_c C}} \frac{1}{\sqrt{\mathcal{E}_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{K_c}$$

aumenta, de lo cual resulta una mayor velocidad para cualquier momento de torsión dado.

La velocidad de los motores de cc serie puede controlarse también mediante la inserción de una resistencia en serie dentro del circuito del motor, pero esta técnica ocasiona abundante desperdicio de potencia y sólo se usa para periodos intermitentes durante el arranque de algunos motores.

Hasta los últimos veinte años aproximadamente, no hubo una manera conveniente de cambiar V_T ; el único método disponible de control de velocidad eran las resistencias en se -

rie, que presentaba problemas de despilfarro. Actualmente todo es to ha cambiado con la introducción de los circuitos de control basados en el SCR y en base, a su vez, en técnicas de obtención de voltajes terminales variables.

CONTROL DE VELOCIDAD EN EL MOTOR DE CC DE EXCITACION COMPUESTA ACUMULATIVA Y DIFERENCIAL

Las técnicas disponibles para el control de velocidad en un motor de cc de excitación compuesta acumulativa son las mismas con que se cuenta para un motor en derivación:

1. Cambiar la resistencia de campo R_p .
2. Cambiar el voltaje de inducido V_A .
3. Cambiar la resistencia inducida R_A .

Los argumentos que describen los efectos producidos al cambiar R_p o V_A son muy semejantes a los que se expusieron para los motores en derivación.

Teóricamente, el motor de cc de excitación compuesta diferencial podría controlarse de manera análoga. Puesto que este motor casi nunca se usa, el hecho interesa muy poco.

SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CC

La velocidad de un motor de cc con excitación externa, en derivación o compuesto puede variarse mediante cualquiera de las tres maneras ya vistas: cambiando la resistencia de campo, cambiando el voltaje en el inducido o cambiando la resistencia en el inducido. Quizás el más usual de estos métodos sea el del control del voltaje en el inducido, ya que permite amplias variaciones de velocidad sin afectar el momento de torsión máximo del motor.

Con el paso de los años se han desarrollado numerosos sistemas de control de motor, en base a estos métodos y que, ciertamente, van desde los más básicos y rudimentarios hasta los más modernos y sofisticados. A manera de ejemplo se mencionarán a continuación algunos de ellos, pero antes y de forma introductoria, haremos mención, a grandes rasgos de, en que consiste el problema general del control.

EL PROBLEMA GENERAL DE CONTROL

En las aplicaciones de motores eléctricos a la industria hay dos magnitudes fundamentales que considerar con relación a la idea de control: el par motor, o esfuerzo producido en la flecha para vencer los obstáculos al movimiento derivados de fricción, gravedad, resistencia mecánica de materiales sometidos a proceso, inercia, viscosidad, etc.; y la velocidad adquirida en la operación, como resultado de un equilibrio establecido entre el momento de las fuerzas electromagnéticas interiores del motor y la suma de los momentos de las fuerzas exteriores que se oponen al movimiento. También son dos los medios al alcance del operador para modificar la marcha de una máquina: la tensión aplicada a la armadura y la intensidad de excitación; pero su acción no es directa y única sobre el par y la velocidad, sino después de un reajuste de valores bastante complicado. Por ejemplo, en un momento dado se aumenta la tensión aplicada a un motor acoplado a un molino. Lo primero que ocurre es que la diferencia $V - E$ (o $V_T - E_A$) se hace mayor y pasa más corriente por la armadura; después el par crece en el motor sin que todavía crezca en el molino, y se produce aceleración, es decir, la velocidad aumenta; pero a mayor velocidad hay más E inducida, y la diferencia vuelve al valor antiguo, quizás ligeramente aumentado, si el molino se resiste más que antes, para permitir el paso de una corriente que produzca el par normal, o mayor que éste. Supóngase, ahora, que se reduce la excitación del motor sin cambiar la tensión aplicada. Lo primero que sucede es que disminuye E y aumenta la diferencia $V - E$; después ocurre lo mismo que en el caso anterior, y la velocidad se eleva; pero hay ciertos matices distintos en el reajuste: la intensidad es ahora mayor que antes porque el flujo, que es el otro factor del par motor, ha disminuido, y la diferencia $V - E$ es también mayor; luego la tensión inducida es más baja, considerablemente, a pesar del incremento de velocidad.

En este ejemplo la aplicación separada de los medios de control determina un aumento de velocidad, sin cambio considerable de par motor por las características del molino; pero cámbiase el molino

por un ventilador, y repítase la experiencia. El resultado será un aumento de par motor considerable, con un ligero incremento en la velocidad; luego no debe ser atribuido a los dos medios de control efecto específico alguno.

Estas explicaciones son necesarias para la correcta interpretación de los términos "control de velocidad" y "control de par", usados en la tecnología industrial, para indicar la finalidad preponderante de cada uno; pero admitiendo la necesidad de modificar el otro factor al mismo tiempo.

Los sistemas de control pueden ser de dos tipos principales: voluntario, cuando es ejercido por una persona que actúa directa o remotamente, sobre los órganos de control; y automático, cuando la acción se desarrolla sin el concurso de un operador. En el tipo voluntario existen indicadores de la magnitud por controlar, y manubrios, botones o llaves para actuar. En el tipo automático se puede distinguir cada una de las partes fundamentales siguientes: un elemento sensible a la cantidad controlada, y capaz de medirla; un patrón que sirva de referencia a la cantidad en cuestión; un dispositivo de comparación entre el elemento y el patrón, que actúe diferencialmente; un sistema de alimentación de energía, con los auxiliares necesarios para ser utilizada; un mecanismo, o motor, que modifique las condiciones de tensión o flujo existentes en el motor principal, cuando el dispositivo de comparación lo requiera y proporcione la energía indispensable.

Un análisis más completo de los tipos automáticos será visto más adelante, pero, por ahora, se hará mención únicamente de los primeros, aunque, eventualmente, se hará mención de ellos en los párrafos siguientes, al tratar de las formas más comunes, como son control reostático; control serie-paralelo; de tensión múltiple; control WARD-LEONARD; y con amplificadores.

CONTROL REOSTÁTICO

En ciertos casos es aceptable el empleo de reóstatos para reducir temporalmente la velocidad de un motor. La resistencia en serie con la armadura absorbe una parte del potencial y produce los

efectos de una disminución de la tensión aplicada. El equipo es sencillo y de poco costo; pero disipa una cantidad de energía considerable en forma de calor, y la regulación de velocidad es frecuentemente intolerable si la carga no es constante.

El éxito del control reostático descansa en las siguientes condiciones:

- a) Que la reducción de velocidad sea pequeña;
- b) Que el par resistente del mecanismo acoplado al motor sea inferior al normal a velocidades reducidas;
- c) Que el tiempo de operación sea corto;
- d) Que el precio de la energía sea bajo;
- e) Que la carga no varíe una vez cambiada la velocidad;
- f) Que la producción de calor en el reóstato de control no sea un inconveniente serio.

El reóstato debe ser insertado en la armadura, no en la línea de alimentación, excepto cuando el motor es de tipo serie. Si se intercala entre un motor derivado y la línea, los resultados son inciertos, porque la disminución de potencial afecta también al campo derivado y el flujo de la máquina disminuye, lo cual tiende a hacer que la velocidad del motor aumente por un lado y disminuya por otro, es decir, a que la velocidad no disminuya en la forma deseada. Véase a este respecto la característica de la figura vi.

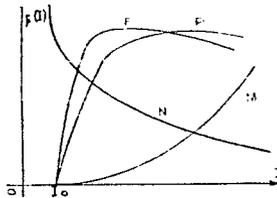


FIG. VI

CONTROL SERIE-PARALELO

Cuando se dispone de dos o más motores para impulsar una misma carga, es económico y sencillo el control de velocidad mediante el cambio de conexiones de las armaduras respectivas, una con otra. Si están conectadas en serie, cada una recibirá una fracción de la tensión total - la mitad si son iguales - y su velocidad será también una fracción de la que desarrollan cuando cada una recibe, en paralelo, la tensión total de la línea. Figura vii.

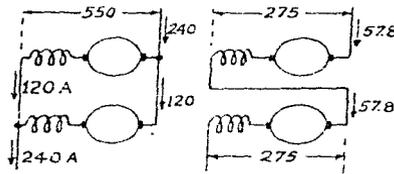


Fig. vii

CONTROL DE TENSION MULTIPLE

Este sistema se basa en disponer de varias tensiones distintas en las terminales del inducido del motor, obtenidas a menudo mediante un sistema de compensación (figura viii).

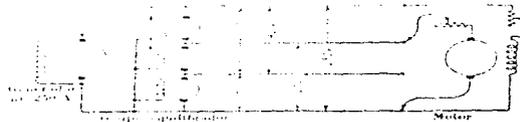


Fig. viii - Sistema de compensación mediante voltajes múltiples.

El inductor shunt del motor está sometido permanentemente a una tensión fija y, con el sistema de cuatro hilos que se indica en la figura, se puede disponer de seis tensiones distintas en el inducido. Los grados intermedios de velocidad se obtienen con un reóstato de campo. Por la necesidad de disponer de un sistema de compensación, o equivalente, y debido al crecido número de conductores que se requieren, este procedimiento se emplea poco en los casos normales.

CONTROL WARD-LEONARD (ELECTRICO)

En este sistema (figura ix), se consigue una tensión variable en el motor por medio de una dinamo G con excitación independiente, movida por un motor M_1 .



Fig. IX. Sistema Ward-Leonard de regulación de velocidad.

Variando el campo del generador se obtiene la tensión necesaria entre terminales del motor M_2 . El inductor del motor está conectado a la línea de alimentación en paralelo con los inductores de las otras dos máquinas. En la figura anterior, M_1 es el motor que acciona el generador G. Este a su vez suministra corriente a tensión variable al inducido del motor M_2 , cuya velocidad puede hacerse variar. Este sistema es muy flexible y proporciona un ajuste preciso y una buena regulación de velocidad. Sus principales desventajas son el bajo rendimiento total del sistema, especialmente para pequeñas cargas, y la necesidad de disponer de dos máquinas suplementarias. Se utiliza este procedimiento cuando se necesita una regulación muy fina de la velocidad y una aceleración suave.

Como lo usual es que la energía eléctrica se suministre en

corriente alterna, el motor M_1 debe ser de corriente alterna, utilizándose ordinariamente motores de inducción o síncronos. En este caso se necesita una pequeña excitatriz de corriente continua u otra fuente de ésta para la excitación del campo de G y M_2 .

El amplidyne, el rototrol y el régula x se utilizan también para suministrar corriente a tensión variable para los reguladores de velocidad.

CONTROL CON AMPLIFICADORES DINÁMICOS

El sistema Ward-Leonard está ligado estrechamente con los amplificadores, sobre todo cuando el control es automático, debido a la gran sensibilidad de los elementos de gobierno y calidad de los resultados. Ya sea para mantener constante la tensión de un generador, o la velocidad de un motor, o el esfuerzo que éste desarrolla; o la intensidad de corriente en un circuito cualquiera, el equipo Ward-Leonard está indicado siempre que el consumo del mecanismo regulador exceda de la capacidad del propio amplificador.

En el problema industrial de producir un impulso a velocidad estrictamente constante, pero ajustable a voluntad, el control Ward-Leonard combinado con amplificadores dinámicos o magnéticos, ofrece resultados excelentes. La figura x muestra las conexiones principales del grupo motor trifásico H , excitador E y generador principal G , con su campo C_G ; después el amplificador dinámico A , con sus campos patrón Q , y piloto P ; luego el motor de acción M , con su campo C_M , y un tacómetro eléctrico T , cuya corriente es una medida precisa de la velocidad de M , y que alimenta el campo de P , de A .

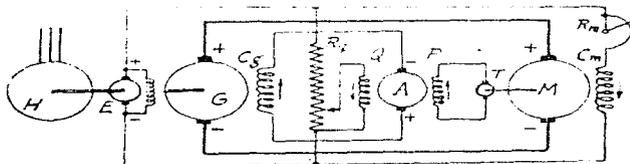


Fig. x

En este caso, A compara la corriente de T con otra corriente fija, que sirve de referencia, y que puede provenir del excitador, como en la figura, o de un manantial independiente. Según el dominio de P o Q, A excita poco o mucho a G, y éste produce y aplica a M, una tensión más débil o más fuerte, respectivamente, que determina un reajuste de velocidad hacia la normal en M. El reóstato Rm sirve para facilitar el arranque de M, y reducir la tensión en G, en operaciones a gran velocidad. El reóstato Rq sirve para ajustar la velocidad al valor deseado para cada clase de trabajo.

En la figura anterior no está representado el motor que impulsa al amplificador; pero por regla general es para corriente alterna, y de una velocidad apropiada a las características del mismo, casi siempre distinta de la velocidad del generador principal. Además, se ha supuesto que el amplificador que allí aparece es del tipo de polaridad fija, es decir, que la tensión que produce es de un solo sentido, porque no sería admisible que el generador principal fuera excitado por una corriente opuesta a la normal.

CONTROL CON AMPLIFICADORES MAGNETICOS

En los sistemas de control de dinamos y máquinas de corriente alterna, participan frecuentemente los amplificadores magnéticos, que rinden excelentes servicios aunque no tienen la enorme capacidad en watts de los giratorios.

La figura xi es un croquis de las conexiones principales de un amplificador para control automático de velocidad de un motor M, alimentado en su armadura por línea de tensión constante V y en su campo por corriente rectificadora y controlada por dos reactores saturables intercalados en un circuito de corriente alterna.

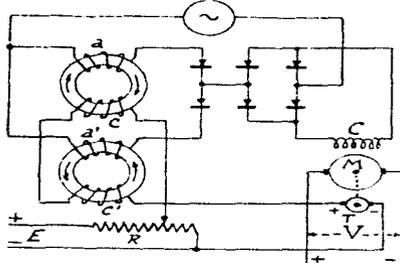


Fig. 14

Los devanados c y c' de los reactores cierran un circuito de corriente continua, formado por el tacómetro eléctrico T , y la caída en una parte del reóstato R , conectado a la fuente E , en oposición a T . Hay seis válvulas encargadas de rectificar la corriente en el campo C del motor, e impedir el paso por a y a' de corrientes inversas, habiendo dos válvulas en serie, en cualquier caso, para el objeto propuesto.

La operación es como sigue: mientras la velocidad de M sea normal, la tensión producida por T excederá ligeramente a la caída de potencial en R , y la corriente en c c' tendrá el sentido y valor adecuado para que los reactores dejen pasar la corriente justa que el campo C necesita; pero si la velocidad aumenta por falta de carga en el motor, o exceso de potencial en la armadura, la corriente en c c' crecerá, y los reactores darán paso a una corriente de campo más intensa, con la cual la velocidad de M volverá a ser normal. En caso de disminución de velocidad, la corriente en c c' se reducirá, y el efecto final será la disminución de campo, y la re-tauración de la marcha, siempre que haya suficiente potencial en la línea V .

En el caso de la figura anterior la tensión aplicada a la armadura no está sujeta a control porque se supone que proviene de una línea de potencial prácticamente constante, y porque se desea que

la capacidad del amplificador se reduzca al consumo de campo del motor, que, aun siendo máximo, es inferior al consumo de la armadura, en proporción de uno a 40 ó más. Pero también es posible pasar una corriente fija por el campo, graduada con un reóstato R y procedente de un circuito adecuado E de corriente continua, y controlar la tensión aplicada a la armadura con reactores saturables y 4 ó 6 válvulas grandes. Para regular la tensión en la armadura puede ser usado un tacómetro eléctrico, en oposición a una caída patrón, como en el caso de la figura anterior; pero dominando normalmente la caída para que, al bajar la velocidad llegue mayor corriente a la armadura. En lugar de tacómetro puede ser empleada la propia armadura del motor, a condición de restar de su potencial la pérdida óhmica en el devanado y carbonos, y cuyo saldo es proporcional a la velocidad, cuando el flujo en el campo no varía.

Los amplificadores dinámicos y magnéticos fueron estudiados y utilizados mayormente hace un par de décadas, tanto en Europa como en América, y se puede decir que alcanzaron un buen desarrollo. En general, los amplificadores magnéticos eran utilizables en aquellas aplicaciones en que no era indispensable una respuesta instantánea a la señal de cambio de control, ya que tenían (o tienen) un retardo más o menos grande, cercano a una decena de ciclos, que proviene de la inevitable inductancia de los enrollamientos y que, aunque puede ser reducido intercalando resistencia en el circuito de control, en ciertas ocasiones resulta apreciable.

No obstante, fueron preferidos en multitud de casos por su costo reducido, larga duración y bajas pérdidas, pudiendo aventajar a los otros tipos en el servicio industrial, particularmente si eran alimentados con corriente de 400 ciclos por segundo obtenida de un generador especial o convertidor de frecuencia, porque aumentaba su radio de acción y su respuesta se volvía instantánea, prácticamente. Es claro que el éxito de los amplificadores magnéticos dependió, en gran parte, del desarrollo que alcanzó la fabricación de válvulas eléctricas "secas", como eran las de óxido de cobre, de sulfuro de cobre, de selenio, de vapor de mercurio, de cesio, de

germanio y de silicio, entre los más importantes.

En la actualidad, como puede preverse fácilmente, toda esta tecnología ya es obsoleta, sin embargo, ha dado lugar, como todo avance tecnológico que se apoya en el anterior, a los actuales componentes y circuitos de electrónica de potencia y a los sistemas automáticos modernos. Las llamadas "válvulas" no son otra cosa más que los conocidos SCR's de uso común en nuestros días, base de los circuitos rectificadores y trozadores, entre otros. A continuación veremos estos temas, conscientes de que son imprescindibles para comprender el estado actual del control y su futuro inmediato.

CONTROL ELECTRONICO DE VELOCIDAD DE MOTORES DE CC

Los componentes y circuitos electrónicos de potencia han causado una revolución inmensa en el área de los controles de motor durante los últimos 30 años o más. Para el caso del control de motores de cc, la electrónica de potencia proporciona una forma fácil para convertir potencia de ca en potencia de cc y para cambiar el nivel de voltaje promedio de un sistema de potencia de cc.

La conversión de ca en potencia de cc se logra por medio de rectificadores; el nivel de voltaje de salida de cc puede controlarse cambiando los tiempos de energización de los SCR en los rectificadores.

El ajuste del nivel de voltaje promedio de cc en una carga se logra con los trozadores que controlan la fracción de tiempo en el cual una tensión de cc determinada se aplica a dicha carga.

CONTROL DE POTENCIA DE CA A CC. RECTIFICADORES

La propiedad casi unidireccional de los diodos se usa ampliamente en la rectificación, o conversión de corriente alterna en corriente continua. El símbolo usado para los diodos semiconductores ($\rightarrow|$), también se usa para los rectificadores en general. La punta de la flecha indica la dirección directa, es decir, la dirección de la corriente.

Las formas de onda de todos los rectificadores e mejor dicho, las salidas de voltaje de los circuitos rectificadores, p.ej. de un circuito rectificador de media onda (ver figura xii), corresponden a voltajes unidireccionales pero obviamente no representan un voltaje continuo constante.

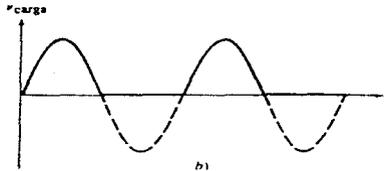
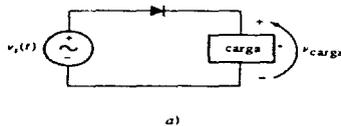


FIGURA xii
a) Circuito rectificador de media onda b) La salida de voltaje del circuito rectificador

El rizado e armónicos en el voltaje continuo son inconvenientes en muchos casos. Cuando los rectificadores se usan para producir las

fuentes de los sistemas electrónicos, un ruido indebidamente grande introduce ruido indeseable y puede enmascarar el efecto del voltaje de la señal.

Una buena medida para conocer que tan bueno es un rectificador es que tan eficiente es su rectificación es enterarnos de cuál es su factor de ruido, que no es otra cosa más que el grado de alisamiento del voltaje de cc que sale de él.

El porcentaje de ruido en una fuente de potencia de cc se define, a su vez, como la relación del valor rms de los componentes de ca en el voltaje suministrado, con el valor de cc del voltaje.

$$r = \frac{V_{CA, \text{ rms}}}{V_{CC}} \times 100\%$$

en donde $V_{CA, \text{ rms}}$ es el valor rms de los componentes de ca del voltaje de salida y V_{CC} es el componente de cc del voltaje en la salida. Cuanto más pequeño sea el factor de ruido en una fuente de alimentación, más suave la forma de la onda resultante de cc. El componente de cc del voltaje de salida V_{CC} , es muy fácil de calcular, puesto que es justamente el promedio del voltaje de salida del rectificador. Contrariamente, el valor rms de la parte de ca del voltaje de salida es más difícil de calcular, puesto que el componente de cc del voltaje debe sustraerse primero. Sin embargo, el factor de ruido r puede calcularse con una fórmula diferente, pero equivalente, que no requiere el valor de rms del componente de ca del voltaje. Esta fórmula para el ruido es

$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{\text{RMS}}}{V_{CC}}\right)^2 - 1} \times 100\%$$

en donde V_{RMS} es el valor rms del voltaje de salida total y V_{CC} es la cc o voltaje promedio de salida del rectificador.

Por lo general, en los rectificadores se supone una frecuencia de entrada de ca de 60 Hz.

Existen muchos circuitos rectificadores diferentes, que producen grados variables de alisamiento en su salida de cc. Los cua-

tres circuitos rectificadores más comunes son:

- El rectificador de media onda
- El rectificador de puente de onda entera
- El rectificador trifásico de media onda
- El rectificador trifásico de onda entera

El rectificador de media onda (ya mostrado en la figura anterior) es el más básico y por ende es el más fácil de explicar. El diodo conduce el flujo de corriente en el medio ciclo positivo y lo detiene en el medio ciclo negativo. Un rectificador simple de media onda de este tipo no es una buena aproximación a una cc constante en forma de onda; contiene componentes de frecuencia de ca a 60 Hz y todos sus armónicos. Un rectificador de media onda tal como el que se ha visto tiene un factor de rizado $r = 121\%$, lo que significa que tiene más componentes de voltaje de ca en su salida que componentes de voltaje de cc. Obviamente, el rectificador de media onda no es, en consecuencia, una forma muy buena de producir voltaje de cc a partir de una fuente de ca, pero existen otras que sí lo son.

Para no extendernos demasiado sólo mencionaremos que:

- el rectificador de onda completa, al hacer uso de un puente de diodos, produce que el voltaje de salida de este circuito sea más alisado que el voltaje de salida del rectificador de media onda, pero aún contiene componentes de frecuencia de ca a 120 Hz y sus armónicos. El factor de rizado de un rectificador de este tipo es $r = 48.2\%$, evidentemente, mucho mejor que el anterior.
- el rectificador trifásico de media onda, tiene un voltaje de salida aún más alisado que el del circuito puente rectificador de onda completa. Contiene los componentes de voltaje de ca a 180 Hz y sus armónicos. El factor de rizado para un rectificador de esta naturaleza es de 18.3%.
- el rectificador trifásico de onda completa tiene una salida todavía más suave que la salida de un rectificador trifásico de media onda. El componente de frecuencia de ca más bajo que se encuentra presente en él es 360 Hz y el factor de rizado es solamente un 4.2%.

Los filtros que constan de condensadores en derivación para des -
viar el rizado y de inductores en serie para ofrecer impedancias en
series altas a las frecuencias del rizado, se agregan para ajustar
la onda del voltaje de salida al grado deseado. Así como también, la
salida de cualquiera de estos circuitos rectificadores puede suavi -
zarse con el uso de filtros de paso bajo para eliminar otros compo -
nentes de frecuencia de ca que se encuentren en ella. Dos tipos de
elementos se usan regularmente para suavizar la salida del rectifica
dor:

- Condensadores conectados por medio de cables para suavizar los cam
bios de corriente de ca.
- Inductores conectados en serie por cable para suavizar los cambios
de corriente de ca.

Un filtro común de circuitos de rectificador, de los que se usan con
las máquinas, es un inductor en serie único, o choque.

En muchas aplicaciones de control y de potencia alta, la rectifi
cación se efectúa mediante el uso de los rectificadores controlados
de silicio (SCR) que también se llaman tiristores. Sin embargo, en
estos casos es necesario usar fuentes de pulsos de control de las
compuertas de los SCR (ya sean analógicos o digitales, de voltaje o
corriente, positivos o negativos), como pueden ser multivibradores
u osciladores de relajación o circuitos basados en microcomputado -
res.

CONTROL DE POTENCIA DE CC A CC. TROZADORES

Algunas veces es conveniente variar el voltaje disponible de una fuente de cc, antes de aplicarlo a la carga. Los circuitos que varían el voltaje de una fuente de cc se llaman convertidores de cc a cc trozadores. En un circuito trozador, el voltaje de entrada es una fuente de cc constante y el voltaje de salida es variable, al cambiar la fracción de tiempo en que la fuente de cc está conectada a su carga. El principio básico de un circuito trozador se ilustra en la figura xiii.

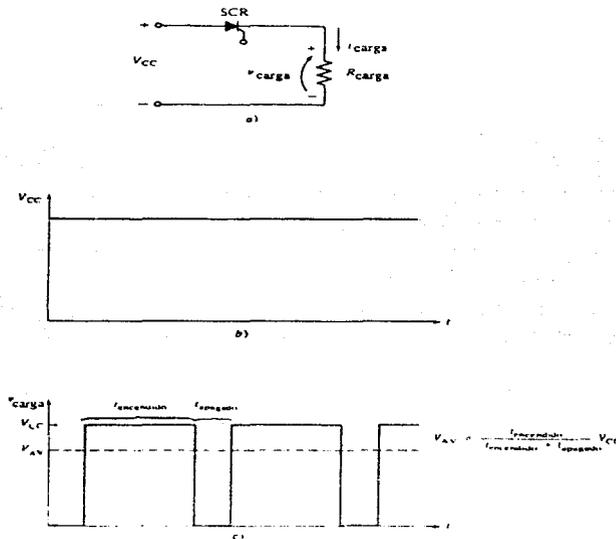


FIGURA XIII

a) Principio básico de un circuito trozador. b) Voltaje de entrada al circuito. c) Voltaje resultante en la carga.

Cuando el SCR se acciona, éste enciende y la potencia se envía a la carga. Cuando se apaga, la fuente de cc se desconecta de la carga.

En el circuito mostrado, la carga es una resistencia y el voltaje en la carga es, bien $V_{CC} \cos \phi$. En forma similar, la corriente en la carga es, bien $V_{CC}/R \cos \phi$. Es posible suavizar el voltaje de carga y la corriente, añadiendo un inductor en serie para filtrar algunos de los componentes de ca en la forma de onda.

En el caso de los controladores de fase de ca, los SCR se apagan automáticamente en el extremo de cada semiciclo cuando sus corrientes llegan a cero. (Este tipo de circuitos, que se venían, varían el voltaje mediante el control de fase o ángulo de fase de CA, ya sea para una carga de cc originada en una fuente de CA o para una carga de CA. Esto es así porque el nivel de voltaje que se aplica a un motor es una de las variables más comunes en las aplicaciones de control de motores, en donde el SCR y el TRIAC proporcionan una técnica apropiada para el control del voltaje promedio que se aplica a una carga, cambiando el ángulo de fase al que se aplica el voltaje de alimentación de dicha carga). Para los circuitos de cc, no hay ningún punto en el cual la corriente caiga naturalmente por debajo de I_H (llamada corriente retenedora, en donde, si la corriente se reduce a un valor por debajo de este límite, el diodo FWD se desactiva y no continuará hasta que la caída de tensión directa exceda nuevamente V_{BO} - voltaje de ruptura directa), así que una vez que un SCR se enciende, nunca se apaga. Para apagarlo nuevamente, al final de una pulsación, se necesita aplicar un voltaje inverso por poco tiempo. Este voltaje inverso detiene el flujo de corriente y apaga el SCR. Una vez apagado, no se encenderá nuevamente hasta que otra pulsación entre por la conmutación del SCR. El proceso de forzar un SCR a apagarse en un tiempo determinado se conoce como conmutación forzada.

El uso de los tiristores GTO es muy apropiado en los circuitos trezadores, puesto que son autoconmutadores. A diferencia de los SCR, los GTO pueden apagarse por medio de una pulsación de corrien-

te negativa aplicada a sus compuertas. Por tanto, los elementos adicionales que se requieren en un circuito trozador de un SCR para apagarlo pueden eliminarse de un tiristor GTO con un circuito del mismo tipo. Los transistores de potencia también son autoconmutadores y se usan en circuitos trozadores que caigan dentro de sus límites de potencia.

Los circuitos trozadores se usan con sistemas de potencia de cc para variar la velocidad de los motores de cc. Su mayor ventaja para el control de ésta, en comparación con los métodos convencionales, es que son más eficientes que los sistemas (tales como el Ward Leonard) que remplazan.

Finalmente, como ya se mencionó, cuando los SCR se usan con trozadores, se debe incluir un circuito de conmutación forzada para apagarlos a la hora deseada. La mayor parte de tales circuitos dependen para su voltaje de desconexión de un condensador cargado. Existen básicamente dos tipos que son los circuitos de conmutación con condensador en serie y los circuitos de conmutación con condensador en paralelo. En términos generales ambos realizan una función muy similar.

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO POR MOTOR

Una razón importante del uso difundido de la energía eléctrica es la capacidad para controlar el funcionamiento de los dispositivos y los procesos en una forma confiable a un costo relativamente bajo. Las cantidades físicas típicas que necesitan control en las operaciones industriales incluyen la velocidad, la aceleración, la posición, el par, la tensión, el flujo y la temperatura.

En el caso de la velocidad, como ya se vió, existen maneras de controlarla y hacerla más fina, sin embargo, entre los métodos vistos, por lo general, la entrada eléctrica al motor se ajusta para controlar su funcionamiento. A este tipo de sistema o manera de accionamiento se le conoce como sistema de accionamiento por motor. (Además de éste existen otros dos también muy importantes que son el sistema de control por realimentación y el sistema de control digital. El primero de estos dos es aquél en el cual se debe conocer una medida del funcionamiento real para efectuar el control. El segundo de éstos es aquél en el cual se usa un computador digital para predecir la respuesta deseada. La comparación entre las respuestas real y predicha es la base para el ajuste y el control del sistema.)

Así pues, en muchas aplicaciones industriales es importante ajustar las características de funcionamiento de un motor a las condiciones de carga particulares. Frecuentemente, la carga mecánica acoplada al motor es variable, y para alcanzar el funcionamiento deseado se necesita un sistema de control. Una clase de controles de motor utiliza los circuitos SCR, como los vistos ya. Un sistema de accionamiento por motor o, sencillamente, un sistema de accionamiento, se refiere a la combinación del motor y de sus elementos y circuitos de control relacionados.

El control de velocidad en los motores de cc se logra, como ya se vió, principalmente en una de tres formas. Mediante el control del voltaje cc del inducido, mediante el control de la corriente con el arrollamiento de campo y finalmente, mediante el cambio en la resistencia del inducido. Sin embargo, ahora la finalidad es

tratarlos desde el punto de vista de la electrónica de potencia.

Así pues, en la primera el control del voltaje cc del inducido se hace por medio del circuito SCR de la figura siguiente (figura xiv.)

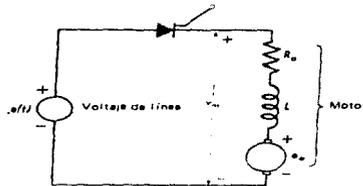


FIGURA XIV. Arranque por motor cc con SCR de media onda

La representación del motor de R_a , L y la PCEM e_a corresponden a las condiciones de carga ya expuestas. La señal de control aplicada a la compuerta puede usarse para ajustar el ángulo de encendido y, de este modo, controlar el voltaje medio aplicado al motor.

El segundo método es el control de la corriente con el arranque de campo. Generalmente, el campo actúa en condiciones de excitación constante que le suministra un circuito SCR. Para aumentar la velocidad debe disminuirse la corriente de campo. Esta condición se obtiene cuando se aumenta el ángulo de encendido del circuito por medio del control ejercido desde el circuito de la compuerta del SCR.

El tercer método de control de velocidad utiliza el SCR como un interruptor para cambiar efectivamente la resistencia del inducido. El interruptor SCR, llamado interruptor rotativo, opera en forma análoga a la función conmutativa que realiza un inversor. El control de la resistencia de inducido se efectúa mediante el interruptor rotativo al conmutar el voltaje aplicado entre el inducido y el interruptor a tasas muy rápidas. El control del interruptor SCR se ejerce desde el circuito de la compuerta de

tal forma que se ajusta el voltaje medio del inducido. El cambio del voltaje de inducido realizado en esta forma produce el efecto de agregar resistencia en serie con la resistencia del inducido.

Existen, además de los ya vistos, diversos circuitos SCR que trabajan de manera más eficiente para controlar la velocidad de un motor de cd, aunque son más complejos. Pero ciertamente, el despegue de la electrónica en los últimos años ha dado lugar a cada vez más complejos y adecuados sistemas de control de velocidad. A continuación se verán algunos de estos circuitos SCR (figs. xv y xvi), que sin ser muy modernos, aún se emplean ocasionalmente, para tratar de ejemplificar esta tecnología y para tratar de dar un seguimiento en el tiempo de cómo ha evolucionado el control de los motores, en este caso de corriente directa.

CONTROL DE VELOCIDAD DIRECTA POR TIRISTORES CON FUENTE DE CORRIENTE ALTERNA

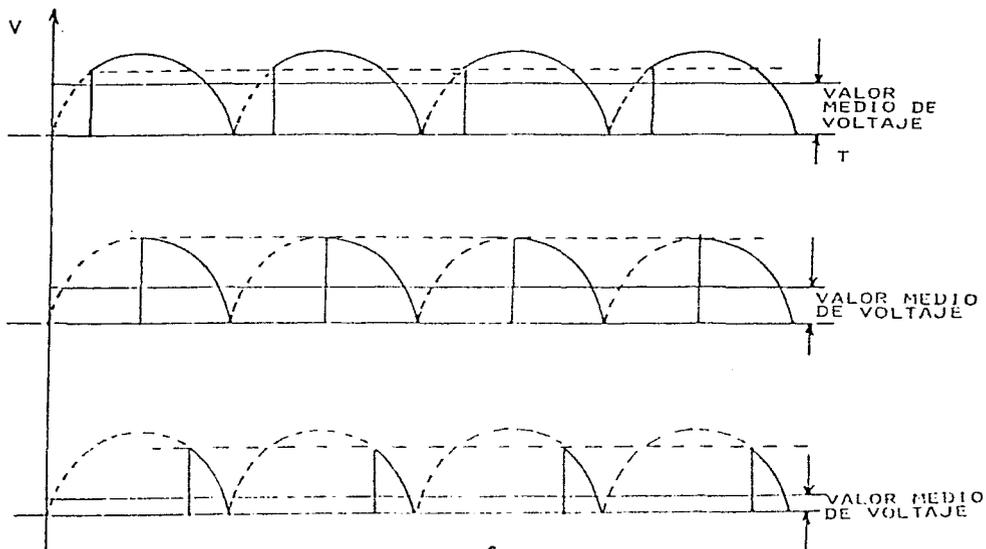
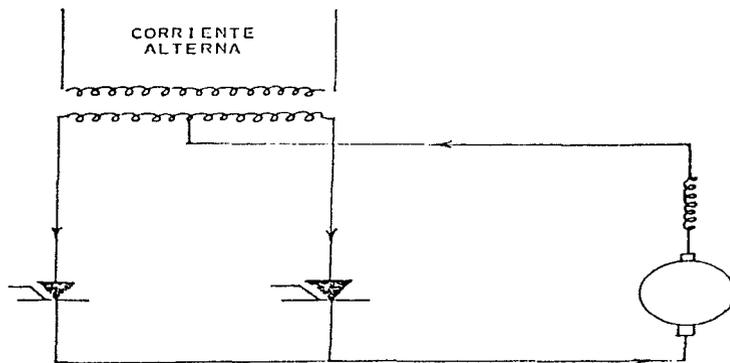


fig. 24

CONTROL DE VELOCIDAD DIRECTA
POR TIRISTORES CON FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA

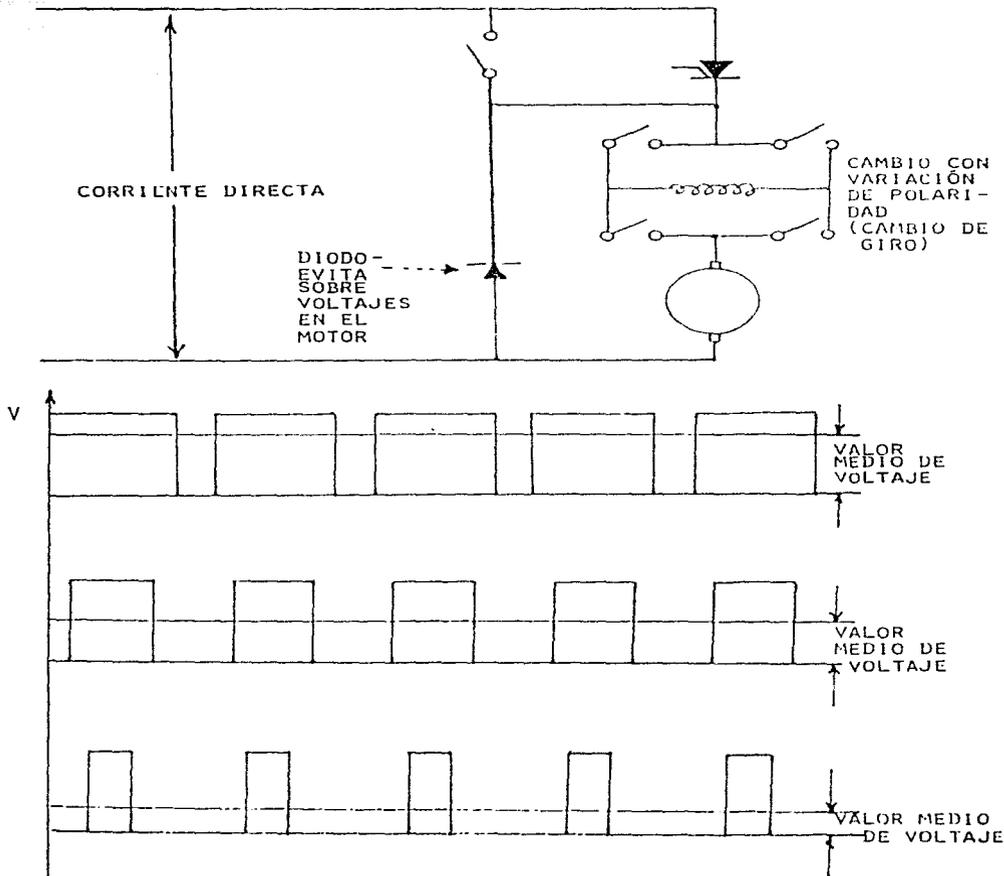
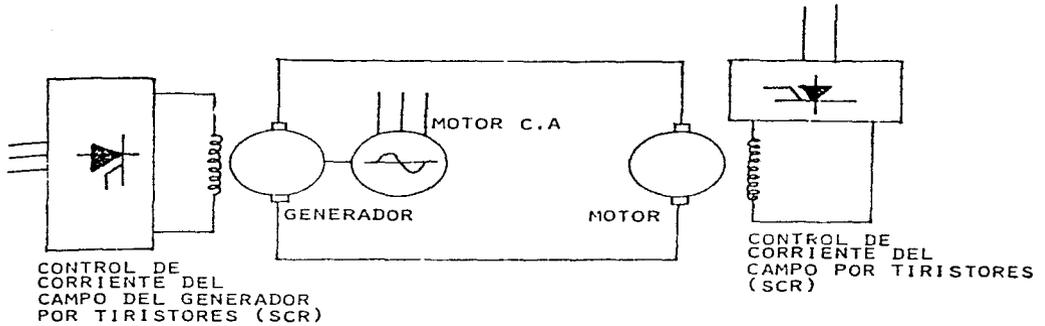


fig. xvi

SISTEMA WARD-LEONARD (ELECTRONICO) Y OTROS CONTROLADORES DE VELOCIDAD DE ESTADO SOLIDO

Anteriormente, se hizo referencia al sistema Ward-Leonard, y se explicó su funcionamiento, sin embargo, este sistema, como puede comprobarse fácilmente, era puramente eléctrico. Se pensará que puede existir duplicidad al volver a analizarlo de nuevo, en cierta forma sí, pero no del todo, ya que en este caso la finalidad es a la vez de introducirse en este sistema Ward-Leonard electrónico, incorporar otros sistemas un poco más modernos, en base a la electrónica de potencia. Esto es, ahora no se trata de un sistema meramente eléctrico, sino ya un poco más avanzado (ver figura xvii).

CONTROL DE VELOCIDAD WARD-LEONARD



$$N = \frac{V - \frac{R_A I}{K_1 \Phi}}{K_2 \Phi}$$

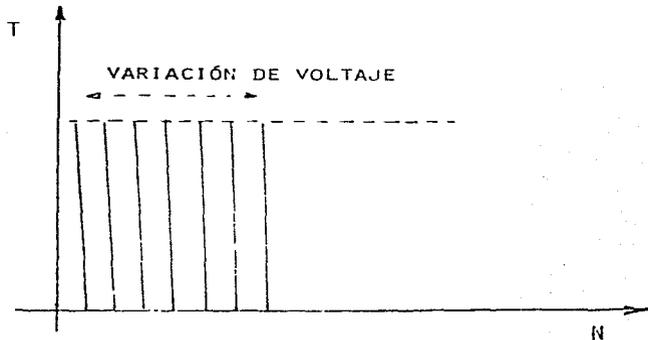


fig. xvii

A través del tiempo se han desarrollado diversos sistemas de control del motor para aprovechar los altos momentos de torsión y las velocidades variables que están disponibles a partir del control del voltaje en el inducido de los motores de cc. En la época en que aún no se tenían los componentes electrónicos de estado sólido, era muy difícil producir una variación del voltaje de cc. En realidad, la manera habitual de variar el voltaje en el inducido de un motor de cc era colocarle por separado su propio generador de cc.

En la figura xviii puede observarse un sistema de control de voltaje en el inducido de este tipo.

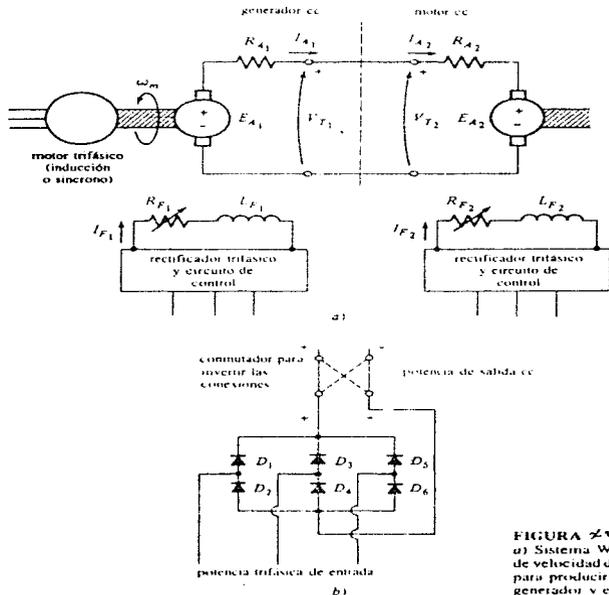


FIGURA 18.18
 a) Sistema Ward-Leonard para control de velocidad del motor de cc. b) Circuito para producir corriente de campo en el generador y en el motor de cc.

Allí aparece un motor de ca que sirve como motor primario para un generador de cc, el cual a su vez se usa para suministrar un voltaje de cc a un motor de cc. Este sistema de máquinas se denomina sistema Ward-Leonard y es sumamente versátil.

En este tipo de sistema, el voltaje en el inducido del motor puede controlarse variando la corriente de campo del generador de cc. Este voltaje en el inducido permite que la velocidad del motor varíe de manera homogénea entre un valor muy pequeño y la velocidad base. La velocidad del motor puede ajustarse por encima de la velocidad base reduciendo la corriente de campo del motor. Con un procedimiento tan flexible, es posible el control total de la velocidad del motor.

Incluso si se invierte la corriente de campo del generador, entonces la polaridad del voltaje inducido del generador también se invertirá. Esto hará que se invierta la dirección de rotación del motor. Por tanto, con un sistema Ward-Leonard de control de motor de cc, es posible obtener un rango muy amplio de variaciones de velocidad en cualquier sentido de rotación.

Otra ventaja del sistema Ward-Leonard es que éste puede regenerar o devolver la energía cinética de la máquina a las líneas de suministro. Si se levanta primero una carga pesada y luego se baja con el motor de un sistema Ward-Leonard, cuando baja la carga el motor actúa como un generador devolviendo potencia al sistema de potencia. De este modo puede recuperarse gran parte de la energía necesaria para levantar la carga en primer lugar, reduciendo el costo total de operación de la máquina.

Los posibles modos de funcionamiento de la máquina de cc aparecen en el diagrama de momento de torsión-velocidad de la figura xix.

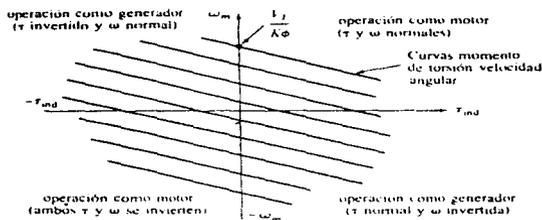


FIGURA 212

Rango de funcionamiento de un sistema de control Ward-Leonard. El motor puede operar como motor tanto en dirección de avance (cuadrante I) como en dirección inversa (cuadrante III), y también puede regenerar en los cuadrantes 2 y 4.

Cuando el motor rota en su dirección normal y aplica un momento de torsión en la dirección de la rotación, está funcionando en el primer cuadrante de la figura. Si se invierte la corriente de campo del generador, se invertirá el voltaje terminal del generador, invirtiendo a su vez el voltaje en el inducido del motor. Al invertirse el voltaje en el inducido sin que cambie la corriente de campo del motor, tanto el momento de torsión como la velocidad del motor se invierten, y la máquina funciona como un motor en el tercer cuadrante del diagrama. Si se invierte el momento de torsión o la sola velocidad del motor y no la otra cantidad, entonces la máquina sirve como generador, devolviendo potencia al sistema de potencia de cc. Puesto que el sistema Ward-Leonard permite rotación y regeneración en cualquier dirección, se denomina sistema de control de cuatro cuadrantes.

Las desventajas de un sistema Ward-Leonard son obvias. Una es que el usuario está obligado a adquirir tres máquinas completas de potencias básicamente iguales, lo cual es demasiado costoso. Otra desventaja es que tres máquinas serán mucho menos eficientes que una sola. Debido a su eficiencia tan costosa y relativamente baja, en nuevas aplicaciones el sistema

Ward-Leonard ya ha sido desplazado por circuitos controlados — res basados en SCR.

En la figura xx aparece un circuito controlador de voltaje en el inducido de cc.

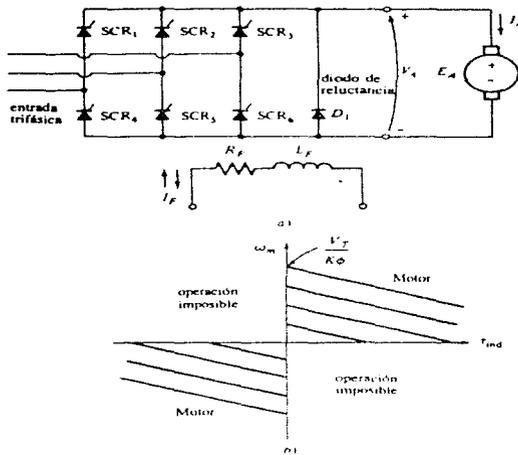


FIGURA xx
 a) Controlador de motor de cc de estado sólido de dos cuadrantes. Puesto que la corriente no puede fluir hacia afuera de los terminales positivos del inducido, este motor no puede actuar como generador devolviendo potencia al sistema b) Posibles cuadrantes de operación de este controlador de motor

El voltaje promedio aplicado al inducido del motor, y por tanto la velocidad promedio del motor, dependen de la fracción del tiempo que el voltaje de alimentación se aplica al inducido. Esta depende a su vez de la fase relativa a la cual se dispara el SCR en el circuito rectificador. Este circuito en particular sólo es capaz de suministrar un voltaje al inducido con una polaridad, por lo cual el motor sólo puede invertirse al accionar el conmutador de la polaridad de su conexión de campo. Obsérvese que no es posible que la corriente del inducido fluya hacia afuera del terminal positivo de este motor, ya que la corriente no puede devolverse a través de un SCR. Por consiguiente, este motor no puede regenerar, y no es posible recuperar ninguna energía suministrada al motor. Este tipo de circuito es un controlador de dos cuadrantes, como el que se observa en la figura xxb.

En la figura XXI aparece un circuito más avanzado, capaz de suministrar un voltaje al inducido con cualquier polaridad.

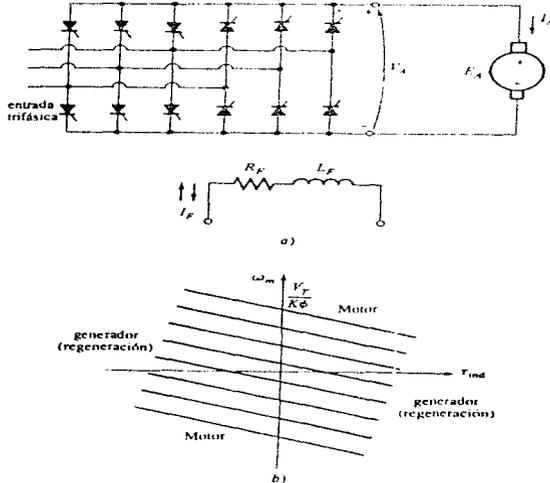


FIGURA XXI

a) Controlador de motor de cc de estado sólido de cuatro cuadrantes. b) Posibles cuadrantes de operación de este controlador.

Este circuito de control de voltaje en el inducido puede permitir un flujo de corriente hacia afuera de los terminales positivos del generador, por lo cual un motor con este tipo de controlador puede regenerar. Si la polaridad del circuito de campo del motor puede manipularse con el conmutador, entonces el circuito de estado sólido es un controlador completo de cuatro cuadrantes como el sistema Ward-Leonard.

En general, un controlador de dos o de cuatro cuadrantes construido con unidades de SCR es más barato que las dos máquinas completas adicionales que se necesitan para el sistema Ward-Leonard, por lo cual los sistemas de control de velocidad de estado sólido han desplazado ampliamente a los sistemas Ward-Leonard en nuevas aplicaciones.

Los sistemas de accionamiento por motor (sistemas en los cuales la entrada eléctrica al motor se ajusta para controlar su funcionamiento) ya descritos, se usan ampliamente en plantas industriales, sistemas de transporte y en grandes instalaciones de procesamiento de información. Sin embargo, representan solamente uno de tantos métodos diferentes para efectuar el control de la potencia eléctrica y de los dispositivos eléctricos. A continuación se verá otro método, el de sistemas de control por realimentación, para pasar finalmente al método referente a sistemas de control digital.

SISTEMAS DE CONTROL POR REALIMENTACION

Los sistemas de control se dividen naturalmente en dos clases según la relación entre el elemento controlado y el elemento de control.

Un sistema de control de lazo abierto o de ciclo abierto es aquel en el cual el elemento de control no se percata del efecto que está produciendo en el elemento controlado.

Un sistema de control de lazo cerrado, de ciclo cerrado o de realimentación es aquel en el cual la salida responde dependiendo de una entrada deseada y en el cual, a su vez, la precisión con la cual la salida real responde a la condición deseada depende

más del comportamiento del elemento de realimentación que del elemento de control real.

En general, un sistema de control de realimentación es inherentemente más preciso que el sistema de lazo abierto construido esencialmente con los mismos elementos.

Existen cinco elementos comunes a todos los sistemas de control de realimentación, la figura xxii los representa en un diagrama de bloques típico.

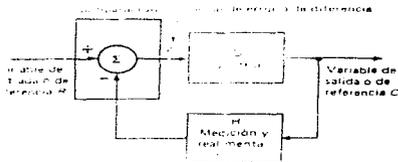


FIGURA XXII Diagrama de bloques de un sistema de control de realimentación.

El primero es la señal de entrada, o variable de referencia R , la cual determina el valor deseado de la variable controlada o de salida C (el segundo elemento). El tercer elemento, H , incluye la medición de la salida y su realimentación a la entrada, directamente o en una forma modificada pero proporcional. La comparación o suma es el cuarto elemento; su función es comparar la señal de entrada con la señal realimentada desde la salida. El resultado de la comparación es una señal de diferencia, o de error, E que a su vez impulsa el control G . La función de control, el quinto elemento, es producir la señal de salida. En general, el proceso que representa el control contiene el sistema o dispositivo cuyo funcionamiento quiere controlarse.

La parte de medición y de realimentación del sistema de control debe tomar la salida del sistema cualquiera que sea su forma, y convertirla en una señal eléctrica que pueda compararse con la señal correspondiente a la entrada. Se dispone de muchos tipos de transductores para este propósito, p.ej. la velocidad puede me

dirse con un tacómetro eléctrico.

La diferencia principal entre los sistemas de control de lazo abierto y de realimentación se manifiesta en la comparación de los elementos de control. En los sistemas de realimentación, el control procesa una señal que contiene información referente a la naturaleza de la salida, es decir, a la señal de diferencia. El control en un sistema de lazo abierto responde solamente a la señal de entrada R.

La señal de entrada a un sistema de control de realimentación es fundamentalmente una parte de la información que enuncia el funcionamiento deseado a la salida. De este modo, para controlar la velocidad de un motor de cc, la entrada puede indicar que se desea una velocidad de salida, p.ej. de 300 r.p.m. Como la velocidad del motor depende de la excitación del inducido, el voltaje de entrada del inducido se determina a partir de la velocidad deseada a la salida y de los parámetros del motor. La señal de entrada establece exactamente la salida si todos los componentes del sistema son ideales y no existen perturbaciones externas. La necesidad de control surge principalmente del hecho de que las características del motor varían. Los cambios ambientales como las variaciones de temperatura y el envejecimiento de los componentes, las perturbaciones externas como las variaciones de la carga y las tolerancias de los componentes en el proceso de fabricación, son algunos de los factores que determinan el grado de control necesario. Además, las técnicas de realimentación se usan para minimizar las no linealidades inherentes tales como la saturación.

Existen dos tipos principales de sistemas de control de realimentación. El primero se llama regulador y su función es mantener la salida, o variable controlada, constante a pesar de las variaciones en la carga, los cambios en los parámetros, etc. El segundo, por su parte, es llamado servomecanismo y es un tipo de sistema cuyas entradas son variables con el tiempo.

El mecanismo fundamental de un sistema de realimentación del tipo regulador se ilustra por medio del sistema de control de velocidad del motor de la figura xxiii.

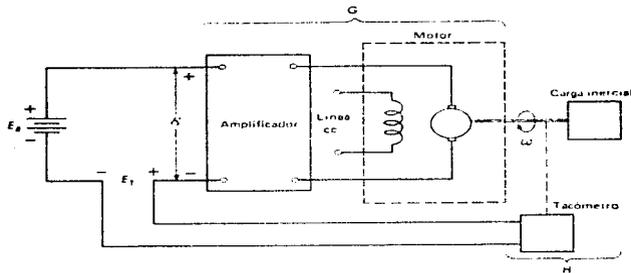


FIGURA xxiii Sistema de control de velocidad.

La función básica del sistema es mantener una rotación angular constante del eje de salida, el cual impulsa una carga de inercia pura, controlando el voltaje de inducido. Los cinco elementos de un sistema de control de realimentación se identifican como:

1. La entrada o nivel de referencia es la fuente cc, E_R .
2. La salida es la velocidad angular del eje del motor.
3. El tacómetro mide la velocidad de salida real y la convierte en un voltaje proporcional.
4. La señal de diferencia E se obtiene de la comparación entre E_R y el voltaje de salida del tacómetro E_p . (Según la ley de los voltajes de Kirshhoff, $E = E_R - E_p$.)
5. La señal de diferencia se amplifica y la salida del amplificador se usa para alimentar el inducido del motor.

El control G en la figura xxii puede considerarse como la combinación amplificador-motor; la red de alimentación H es el tacó-

metro.

Cuando el sistema está funcionando a la velocidad deseada, la señal de diferencia, cuando se amplifica, provee el voltaje de inducido exacto necesario para producir la rotación angular. En este tipo de sistema, como en la mayoría de los reguladores, debe existir la señal de diferencia; sin ella no existe la señal para alimentar el motor y producir la salida. Si, por alguna razón, la velocidad aumenta, la señal realimentada E_T también aumenta. Puesto que el nivel de referencia E_R es constante, el proceso de comparación hace que la señal de diferencia \mathcal{E} disminuya y de este modo la velocidad del motor tiende a disminuir. Análogamente, una disminución en la velocidad del motor hace que \mathcal{E} aumente, con lo cual la velocidad de salida tiende a aumentar hasta el valor deseado. Este principio de auto-aguste es fundamental en todos los sistemas de realimentación.

Como ya se mencionó con anterioridad, la entrada a un regulador es generalmente un valor constante relacionado en alguna forma con la salida deseada que debe permanecer constante independientemente de las fluctuaciones de la carga o de las variaciones de los componentes. Así las cosas, se puede observar que los criterios de funcionamiento para los reguladores deben incluir (1) la desviación permisible de la salida con relación al ideal debido a las variaciones de la carga y en la presencia de señales perturbadoras indeseadas y (2) la velocidad con la cual el sistema puede responder a tales cambios. En el funcionamiento del sistema de la figura anterior, surge un hecho importante: en tanto que la ganancia del amplificador G_A sea finita, la señal de diferencia no puede ser cero. Lo que esto significa prácticamente es que se necesita algún voltaje de error para que el sistema funcione, es decir, debe existir una entrada al control para tener una salida del control. Así pues, los sistemas de este tipo requieren de un error estacionario (señal de diferencia) para funcionar, a diferencia de los servomecanismos, en donde el

criterio de funcionamiento es la exactitud con la cual el sistema sigue a la entrada y deben considerarse los factores de velocidad de respuesta y de error estacionario, dada su característica natural, en la cual la salida debe corresponder a las variaciones de tiempo de la entrada, como ya se mencionó.

SISTEMAS DE CONTROL DIGITAL

La disponibilidad de hardware digital ha introducido una confiabilidad y flexibilidad mejoradas para la producción de controladores de proceso de propósito general.

Donde el número de mallas (lazos) de control para una planta en particular es pequeño, está llegando a ser práctica común instalar, en lugar de un controlador analógico, como los ya vistos, un controlador digital equivalente.

Además de la disponibilidad ya mencionada, la velocidad y la exactitud de los computadores digitales son las razones subyacentes del desarrollo de los sistemas de control digital.

Un sistema digital emplea señales discretas en comparación con las señales continuas (análogas) que usan los sistemas descritos anteriormente. Se usan dos tipos de señales discretas que aparecen en la figura xxiv.

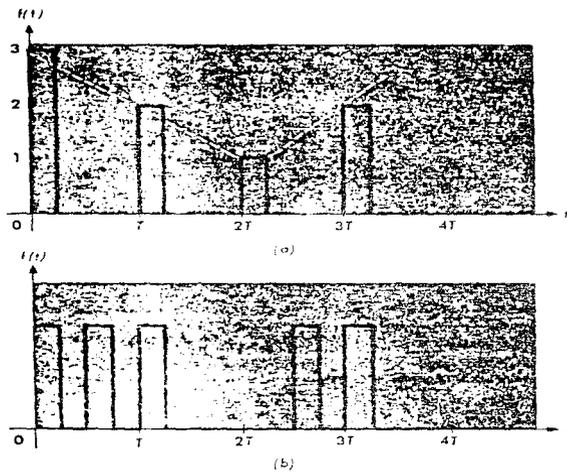


FIGURA 2.2.1 Formas de ondas discretas: (a) señal muestreada; (b) señal codificada numéricamente.

La señal muestreada, figura xxiva, es una secuencia de pulsos en la cual la amplitud de cada pulso es la misma amplitud de la señal análoga (la curva de trazos) en el instante de muestreo. En la figura xxivb los trenes de pulsos en cada intervalo de tiempo representan el valor numérico, generalmente expresado en términos binarios, de las amplitudes del pulso muestreado correspondiente. La representación binaria de un número es la base del funcionamiento de los computadores digitales, de tal forma que las señales del tipo de la figura xxivb pueden alimentar directamente a un computador. Esta propiedad es la característica clave que permite incorporar los computadores electrónicos digitales como componentes integrales en muchos sistemas de control. En base a los dos tipos de señales discretas, existen dos clases generales de sistemas de control digital: sistemas de control por información muestreada y sistemas de control por computador.

La figura xxv es una representación típica de un sistema de control por información muestreada.

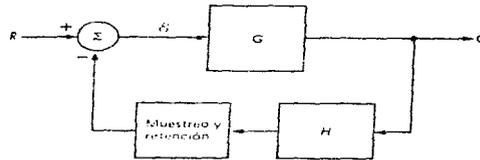


FIGURA XXV Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado por información muestreada.

Su estructura básica es análoga a la de los sistemas de control de realimentación analógicos ya vistos, y en consecuencia, su funcionamiento y la forma como se ejerce el control son también análogos. La diferencia principal está en el bloque titulado muestreo y retención. La función del bloque de muestreo y retención es medir periódicamente la salida del sistema y retener ese

nivel de salida hasta obtener el muestreo siguiente. Por consiguiente, solamente se genera una nueva señal de diferencia cuando se mide una nueva muestra de salida. De este modo, la señal de diferencia que excita la planta refleja la diferencia verdadera entre las salidas deseada y real solamente en los instantes en los cuales ocurre el muestreo. Sin embargo, si la tasa de muestreo, es decir, el número de muestras por unidad de tiempo, es alta comparada con el tiempo de respuesta del sistema, el control de la salida que se obtiene es prácticamente el mismo que se obtiene por medio de los sistemas de control continuo.

Existen dos ventajas al usar los sistemas de información muestreada. La primera consiste en que, por muestreo, la misma unidad central puede controlar varios procesos. En segundo lugar, la conversión de la información muestreada para uso en el computador digital se obtiene fácilmente. Una desventaja de los sistemas de información muestreada es que requieren más circuitos que los sistemas continuos. Estos circuitos son la realización del bloque de muestreo y retención. Mientras la velocidad de respuesta del sistema de control aumenta, la complejidad y el funcionamiento necesario del circuito adicional aumentan para poder mantener el nivel de control.

El segundo tipo de sistema de control por información muestreada se representa funcionalmente en la figura xxvi.

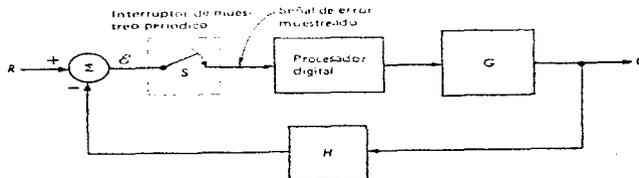


FIGURA xxvi Sistema de control por información muestreada con procesador digital.

Los bloques titulados G y H cumplen la misma función que realizan en los sistemas de realimentación. Las diferencias principales entre los sistemas de las figuras xxi y xxii son el lugar donde ocurre el muestreo y el uso de un procesador digital. En el sistema de la figura xxii se muestra la señal de diferencia. La señal muestreada entra en el procesador digital cuya salida provee la excitación del control G. El procesador digital es un computador central o un computador de propósito especial diseñado para la función de control particular; para utilizar el procesador digital, la señal muestreada se convierte en una señal numérica. La salida numérica entra a un convertidor digital-análogo que genera la señal continua necesaria para excitar el bloque G. La función del procesador digital es doble. Primero analiza la señal de diferencia por medio de la comparación con el funcionamiento anterior del sistema almacenado en la unidad de memoria del computador. La segunda función, basada en la información obtenida del análisis de la señal de diferencia, es generar, en forma numérica, la señal excitatriz aplicada a G necesaria para establecer la salida deseada.

Un tercer tipo de sistema de control que emplea el computador se llama control adaptivo (aunque también existe control adaptivo analógico) y se representa funcionalmente en la figura xxvii.

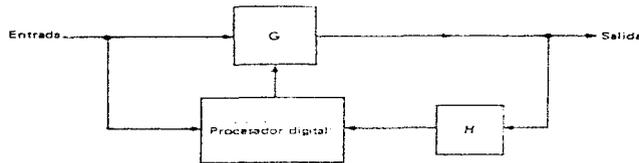


FIGURA xxvii Representación funcional de un sistema de control adaptivo.

El bloque G es el sistema o dispositivo que se usa para proveer la salida del sistema. La realimentación se provee por medio del bloque H y se convierte en una señal digital que sirve como una entrada al procesador digital cuya función es efectuar el control

necesario.

La forma como se realiza el control en un sistema adaptivo es muy diferente de como se lleva a cabo en los sistemas de control descritos anteriormente. El mecanismo de control adaptivo consiste esencialmente en cambiar las características del bloque G en tal forma que se obtiene la salida deseada para una entrada dada. De este modo, los parámetros del proceso o dispositivo que G representa no son constantes sino que varían con el tiempo. La forma como G cambia se determina mediante el procesador digital; la técnica usada se basa generalmente en la predicción del funcionamiento del sistema. El procesador digital, frecuentemente un computador, tiene otras entradas que se almacenan en su unidad de memoria. Estas entradas se basan en el valor esperado de las componentes del sistema y, a partir de él, el computador calcula la respuesta predicha. La entrada del bloque H se compara con la respuesta predicha. En seguida, el procesador calcula los parámetros que G debe tener para el valor dado de la señal de entrada real que también entrará en el computador. Las señales que representan los parámetros de G se convierten en general, en señales análogas cuya función es ajustar físicamente estos parámetros.

El proceso de control adaptivo puede ilustrarse por medio de un sistema de control de velocidad por motor basado en los ajustes de la resistencia del inducido que aparece en la figura xxviii.

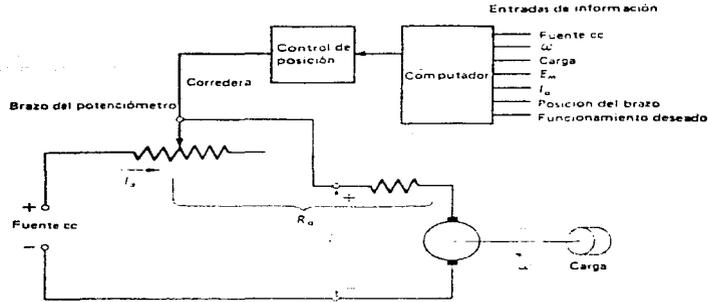


FIGURA XIV.111 Sistema de control adaptivo de velocidad.

La función del computador consiste en utilizar todas las entradas de información y calcular el valor óptimo de R_a para que la velocidad sea la adecuada a la carga. La señal que representa el valor calculado de R_a se convierte en una que se usa para dar la posición del brazo del potenciómetro de la resistencia variable. Por consiguiente, la resistencia real del inducido se controla por medio de la posición del brazo del potenciómetro, la cual, a su vez, puede controlarse mediante una versión de información muestreada de un sistema de control de posición.

Una razón importante del uso de los sistemas adaptivos en control industrial es la velocidad y potencia del computador digital. Con relación al tiempo necesario para mover los objetos, p. e. j., el tiempo requerido para el procesamiento digital es extremadamente pequeño. Típicamente, la escala de tiempo para el movimiento mecánico es del orden de segundos, o aún mejor, de fracciones de segundo; electrónicamente la escala de tiempo en un computador es del orden de microsegundos (10^{-6} s). En realidad, muchos computadores electrónicos modernos pueden realizar un millón de multiplicaciones de dos números de 12 dígitos en un segundo. Así, el proceso de predicción de la respuesta deseada y la comparación con la respuesta real pueden realizarse en un tiempo relativamente corto comparado con el tiempo de respuesta del sistema que se

controla.

Donde el número de mallas de control para una instalación excede una figura en la vecindad de (digamos) ocho, un medio más eficiente es usar un sistema electrónico basado en microprocesador, en donde el microprocesador es compartido entre un número de controladores, y esta técnica es frecuentemente usada en "control distribuido". Este medio ofrece mucha mayor flexibilidad, dado que los controladores no necesitan estar configurados hasta la etapa de arranque, previendo que un estandao correcto de la cantidad de controladores requerida ha sido hecho de antemano. Además, la configuración puede ser revisada fácilmente en una última etapa, lo cual es deseable. La configuración es hecha usando un teclado manual o portátil o por medio de un teclado montado en un panel en donde están localizados estos controladores, o mediante un teclado en una consola centralizada, la cual, normalmente, estaría situada en un cuarto de control.

La creación de un sistema de control distribuido es hecha en etapas: en orden cronológico, ésta envolvería la configuración del controlador y la intercomunicación, seguida por la especificación de rangos y límites de alarma de las variables, los valores de los parámetros de las leyes de control y los valores de las entradas de referencia (set points). Todos esos datos serían introducidos manualmente, en la forma de un código alfanumérico, y almacenados en memorias de semiconductor protegidas. Típicamente, la comunicación entre controladores y la planta sería por medio de transmisión de señal analógica; la comunicación entre controladores situados dentro del mismo grupo lógico sería por medio de transmisión digital de datos en paralelo; la comunicación entre grupos lógicos de controladores, estaciones centrales de control y computadoras de proceso sería por medio de transmisión digital de datos en serie.

En adición al sintetizado de todas las funciones disponibles con controladores de proceso analógicos, las configuraciones de control distribuido típicamente ofrecen los siguientes tipos adi -

cionales de funciones, todas las cuales serían implementadas digitalmente:

- características estáticas no lineales, envolviendo no linealidades como espacio muerto, leyes cuadradas, etc.
- suma, multiplicación, división, raíz cuadrada, etc. de valores de datos
- constantes de ganancia y constantes de tiempo, las cuales pueden ser hechas funciones variables de señales de entrada especificadas
- control supervisorio, en el cual, los valores de entradas de referencia o set points (remotos) pueden ser ajustados electrónicamente, usando datos generados por una computadora de proceso en línea (on line).
- control digital directo (CDD), en el cual, la operación del controlador basado en microprocesador es ahora hecha por una computadora de proceso en línea (on line), con el controlador relegado a proveer capacidades de respaldo en el caso de una falla de la computadora

La habilidad para introducir no linealidades dentro de las características estáticas del controlador pueden derivar en los siguientes tipos de mejoras:

- las mallas (lazos) de control pueden ser hechas menos sensitivas a ruido parásito
- los ajustes de tiempo de las mallas de control, siguiendo entradas de referencia o disturbios de carga, pueden ser minimizados
- las mallas pueden ser hechas menos sensitivas a disturbios de carga
- el comportamiento dinámico de las mallas puede ser hecho menos sensitivo a los ajustes de los parámetros de las leyes de control, a los valores de entradas de referencia y a valores de carga
- la compensación puede ser hecha para los efectos que no linealidades ocurran en el elemento de control final, el proceso de la planta, o el transductor de realimentación

- el efecto de la interacción con otras mallas de control puede ser minimizado

La habilidad para hacer constantes de ganancia y constantes de tiempo de las señales depende de proporcionar una simple forma de control adaptivo a ser introducida, por lo cual, la forma de la ley de control puede ser modificada para acomodar cambios sensados en las condiciones de operación de la planta. Esta capacidad también facilita procedimientos de arranque y paro, con lo cual, los ajustes del controlador deben ser idealmente "listados" para seguir una secuencia predeterminada: típicamente, este enlistado sería supervisado mediante una computadora de proceso o, en algunos casos, mediante un controlador lógico programable (PLC).

Más recientemente, un rango de controladores de proceso autosintonizados basados en microprocesador han sido puestos en el mercado. Estos emplean rutinas que envuelven la actualización automática de los parámetros PID, siguiendo ya sea, un análisis en línea de las propiedades dinámicas del proceso de la planta o una comparación de la conducta normal de la malla de control con un modelo matemático idealizado especificado en el tiempo de arranque. En algunos casos, la actualización de un parámetro puede no proceder automáticamente hasta que el operador haya tenido la oportunidad de indicar (usando una tecla) que el nuevo ajuste del valor del parámetro propuesto es de hecho aceptable. Algunos de estos controladores generan electrónicamente disturbios de prueba de formas de onda específicas a ser inyectadas, a la salida del controlador, dentro de la malla para identificar el estado normal de la malla: claramente, un disturbio tal cual, tiene el potencial para actualizar momentáneamente la calidad de un cierto producto en el proceso.

Recapitulando, hasta este momento se han visto los principales sistemas o métodos de control, enfocándonos al control de motores de cd principalmente, existen, no obstante, otros sistemas de control, tales como, sistemas de control óptimo y sistemas de control con aprendizaje, que se salen del tema o no están plenamente enfocados a él, y por lo cual, se han soslayado.

ACCIONAMIENTOS (DRIVES) DE CORRIENTE DIRECTA (CD)

El método corriente y más eficaz en todos sus aspectos para el control de la velocidad de un motor de cd (o de cualquier tipo) hoy en día, es utilizar accionamientos de estado sólido de velocidad variable.

La tecnología de accionamientos de CD es, sin duda, la más antigua forma de control eléctrico de velocidad. El sistema de accionamiento consiste de un motor de CD y un controlador. El motor está construido con devanados de armadura y campo. Ambos devanados requieren una excitación de CD para la operación del motor. Usualmente, el devanado de campo es excitado con un voltaje de nivel constante desde el controlador.

Entonces, aplicando un voltaje de CD desde el controlador hasta la armadura del motor, se hará que opere el motor. Las conexiones a la armadura son hechas a través de un ensamblado de escobilla y conmutador. La velocidad del motor es directamente proporcional al voltaje aplicado.

El controlador es un rectificador en puente de fase controlada con circuitos lógicos para controlar el voltaje de CD entregado a la armadura del motor. El control de velocidad es logrado, regulando el voltaje de armadura al motor. Frecuentemente, un tacogenerador es incluido para lograr una buena regulación de velocidad. El tacogenerador estaría montado sobre el motor y produciría una señal de realimentación de velocidad que sería usada dentro del controlador.

Los controladores electrónicos para motores de CD hacen más que proveer arranque a voltaje reducido, frenado dinámico, y en general control de velocidad. Ellos precisamente controlan la velocidad bajo arranque, funcionamiento, paro y condiciones de inversión de rotación del motor. Adicionalmente, los controladores electrónicos de CD dan mayor protección al motor contra sobrecorrientes y sobrecargas. La figura xxix muestra la apariencia de un accionamiento electrónico de CD, alimentado mediante una línea de entrada de CA trifásica.

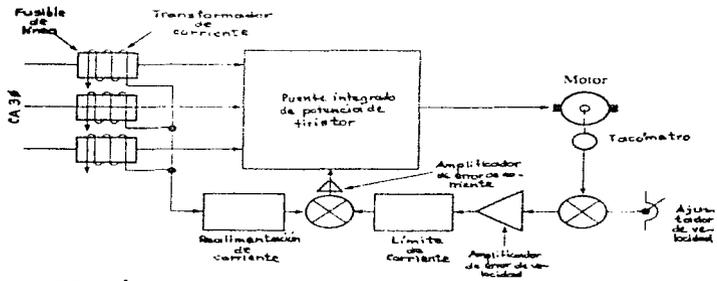
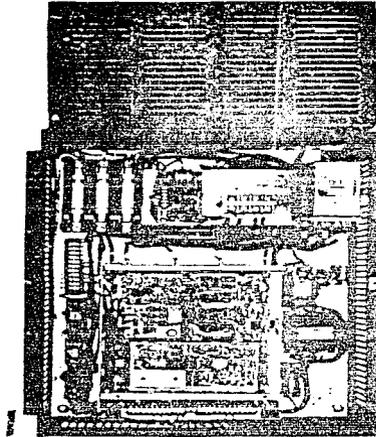


FIGURE XXIX
Control de motor de CD de estado sólido (Cortesía de Magnetek Drives and Systems).

La figura también incluye un diagrama de bloques de la operación del sistema de accionamiento.

Mayores características de aplicación de un accionamiento de CD, incluyen las siguientes:

- Control de aceleración lineal. Las tasas de aceleración y desaceleración son suaves y ajustables.
- Regulación de velocidad. Cuando la carga cambia, la velocidad se mantiene dentro de 1.0%. Mejores regulaciones, con variaciones tan bajas como de 0.1%, están disponibles a un costo mayor.
- Capacidades de avance poco a poco (jog). El motor puede ser avanzado poco a poco a velocidades ajustadas separadamente tanto para rotación directa como inversa.
- Seguidor. La operación es controlable desde tacómetros externos e transductores.
- Ventilación de enfriamiento. Ventilación mediante un ventilador-motor de velocidad controlada está disponible. El motor de CD bajo control electrónico es enfriado mediante un motor y ventilador separado, a bajas velocidades y bajo operación a alta potencia (hp) (y alto calentamiento del motor).
- Rango extendido. El accionamiento provee capacidades operacionales arriba de la velocidad nominal del motor, limitando la potencia (hp) a un valor constante.
- Medición. Indicadores están disponibles para voltajes, corrientes y velocidades. Los medidores e indicadores son útiles para monitoreo, instalación y ajuste del sistema.

Un accionamiento de CD también provee protección eléctrica para el motor y para el drive electrónico en sí mismo, incluyendo las siguientes características de protección:

- Protección térmica del puente de potencia de SCR.
- Protección contra cortocircuito a través del uso de fusibles semiconductores de acción rápida especiales.
- Varios tipos de protección contra sobrecorriente. Estos incluyen, protección contra sobrecorriente instantánea del 300%, né

xima corriente en estado estable (ajustable), y corriente de sobrecarga sostenida.

- Protección de línea de CA de entrada contra monofaseamiento y rotación de fase impropia.
- Baje voltaje del voltaje de la lógica de control.
- Protección contra transitorios en la línea de entrada y protección DV/DT.
- Protección contra el disparo simultáneo en directa e inversa. Esto previene el disparo de los SCR's en un puente hasta que la corriente sea cero en el otro puente.

Otras características adicionales de control y de protección están disponibles, dependiendo del fabricante del control electrónico, así como, de las necesidades de aplicación en particular.

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC'S)

Los sistemas lógicos basados en transistores poseen generalmente las mismas ventajas de los circuitos electrónicos de estado sólido como son: seguridad, confiabilidad, rapidez, pequeño volumen y baratos. Su única falla, desde un punto de vista industrial, es que ellos no son fácilmente modificables o reconfigurables. Si alguna modificación se requiere, es necesario cambiar el alambrado actual o las conexiones de cableado entre los dispositivos lógicos, o cambiar los propios dispositivos. Tales cambios de hardware son indeseables debido a que requieren de mucho tiempo y su complicación puede ser extrema.

En años recientes, ha surgido una nueva y mejor forma de diseñar e implantar físicamente los sistemas electrónicos de tipo industrial, el cual ha cobrado una gran importancia y popularidad. En este nuevo enfoque, se cuenta con dispositivos y sistemas completos totalmente programables y por tanto ciento por ciento reconfigurables, donde las decisiones que debe tomar el sistema son cargadas desde fuera por un código o lista secuencial de instrucciones, las cuales son grabadas en una memoria de tipo electrónico (chips) y ejecutados por un microprocesador o un conjunto de ellos, según la complejidad del sistema.

Ahora si el sistema debe ser modificado, únicamente el código de instrucciones deberá de ser cambiado. Tales cambios son llamados modificaciones en software y son fácilmente realizables de una manera rápida cuando se hacen por medio de un teclado.

EVOLUCION HISTORICA DE LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES

Las especificaciones para diseñar el primer controlador lógico fueron establecidas en 1968 por la División Hydromatic de la General Motors Corporation. El primer punto a considerar era eliminar el alto costo asociado con los sistemas poco flexibles basados en relevadores. Las especificaciones requerían de un sistema de estado sólido con la flexibilidad de los equipos de cómputo, capaz de trabajar en ambientes industriales, que fuera fácilmente programado y mantenido por ingenieros y técnicos de la planta.

Los primeros controladores programables fueron sólo sistemas basados en relevadores con capacidad de control de dos posiciones (encendido/apagado) solamente. De 1970 a 1974, las primeras innovaciones en la tecnología de fabricación de los microprocesadores contribuy^ó grandemente a incrementar la flexibilidad y capacidad para la toma de decisiones de los controladores programables, así como el contar con una interfase con el operador más amigable, funciones aritméticas de mayor sofisticación, manipulación de datos y comunicación con computadoras. El programar apoyado en equipos de cómputo permitió al usuario realizar programas de control utilizando símbolos de relevadores más conocidos por el personal de planta, más que cualquier otro lenguaje de programación.

Los avances obtenidos entre 1975 y 1979, en hardware y software agregan características, tales como gran capacidad de memoria, entradas y salidas remotas, control analógico y de posición, comunicación con el operador y enriquecimiento del software. Estos avances hicieron a los controladores programables apropiados para un rango amplio de aplicaciones y contribuyeron grandemente a la reducción de alumbrado y costo de instalación. Los sistemas de expansión de memoria permitieron almacenar grandes cantidades de datos y programas más extensos.

A principios de la década de los 80's se tuvieron grandes avances en los controladores programables en forma paralela a la tecnología de microprocesadores debido a la competitividad de los fabricantes de estos equipos.

De esa fecha hasta ahora, el avance ha sido continuo y no se sabe hasta donde puede llegar.

Los avances en Hardware en los controladores actuales son: Tiempos de scan muy cortos utilizando tecnología bit-slice. PLC's pequeños y de bajo costo que reemplazan de 4 a 10 relevadores. Sigtemas de entrada/salida de alta densidad que reduce el espacio necesario. Interfases inteligentes de entrada/salida que posibilitan al equipo para el control de procesos distribuidos, así como la comunicación multicanal en ASCII, etc. Interfases especiales que per

miten a ciertos dispositivos ser conectados directamente al controlador. Otro avance significativo fue el desarrollar familias de controladores, estas familias consisten de una línea de controladores desde los de pequeña capacidad de apenas 10 entradas/salidas, hasta los de gran capacidad, capaces de manejar unas 8000 entradas/salidas y 128 K palabras de memoria. Los miembros de cada familia utilizan el mismo sistema de entrada/salida y programación de periféricos. Este concepto ayudó a disminuir el costo de desarrollo por parte del usuario.

Los avances en Software son:

Lenguajes de alto nivel tales como BASIC usados para comunicación con equipos periféricos. Lenguajes híbridos de alto nivel para programas de control. Se extiende en el sistema de diagnóstico (el cual verifica el modo funcionamiento del controlador). Cálculos matemáticos complejos de punto flotante. Instrucciones para manipulación de datos.

Como se puede apreciar el controlador programable ahora es un sistema mucho más completo del especificado en el inicio, ahora es capaz de comunicarse con otros sistemas de control, proveer reportes de producción, diagnosticar sus propias fallas y las máquinas o procesos.

DEFINICION DE CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Un controlador lógico programable (PLC, del inglés Programmable Logic Controller) está definido por la International Electromechanical Commission como:

Un sistema electrónico operado digitalmente, el cual está diseñado para su uso en ambientes industriales, contiene una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones (del usuario), para implantar funciones específicas de lógica, secuenciación, temporización, conteo y aritméticas, para llevar a cabo el control de diversos tipos de máquinas y procesos a través de entradas (analógicas y/o digitales), produciendo las correspondientes salidas (analógicas y/o digitales). El controlador lógico programable y sus periféricos asociados han sido diseñados para su fácil integración y

uso en sistemas de control a nivel industrial, para llevar a cabo las funciones para las que fue programado.

FUNDAMENTOS DE UN CONTROLADOR PROGRAMABLE

Probablemente uno esté familiarizado con los métodos tradicionales de control de máquinas.

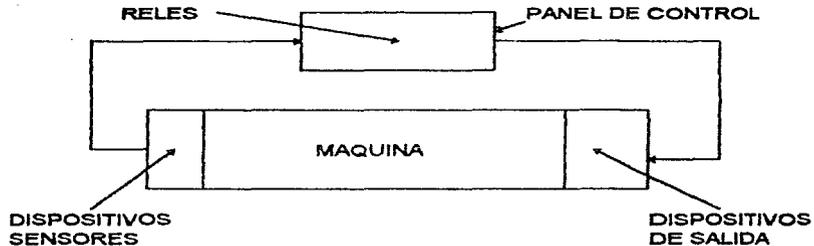


fig. xxx

Los dispositivos sensores localizados en la máquina detectan cambios en la condición de la máquina. Por ejemplo, una pieza llega a los contactos de una estación de trabajo y cierra un switch límite (o limitador), que es el dispositivo sensor. Como resultado, una señal va al panel de control.

En el panel de control, la señal entra a un banco de relés u otros dispositivos, tales como módulos de estado sólido. Los circuitos dentro del panel de control abren o cierran provocando señales adicionales que van a los dispositivos de salida en la máquina. Por ejemplo, un relé puede energizar una mordaza, lo cual asegura la pieza en la estación de trabajo.

Controladores programables.

Los sistemas corren mediante controladores programables que operan de la misma forma. Dispositivos sensores de entrada reportan las condiciones de la máquina; los dispositivos de salida re

ponden a las órdenes (o comandos).

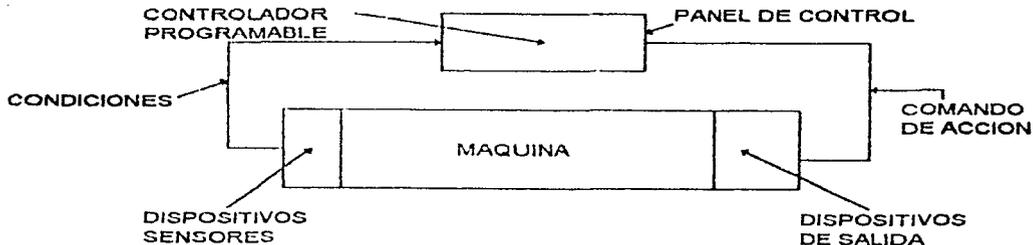


fig. xxxi

El alambrado entre la máquina y el controlador provee el paso eléctrico de los dispositivos sensores al controlador y del controlador a los dispositivos de salida.

Sin embargo, en lugar de hacerse el alambrado con relés para producir una respuesta deseada, simplemente se le dice al controlador programable cómo se quiere que responda.

Un programa le dice al controlador programable que es lo que se quiere que haga. Un programa no es más que un conjunto de instrucciones que le dicen al controlador programable cómo reaccionar a ciertas condiciones dentro de la máquina.

Las cuatro secciones mayores.

Un sistema típico mediante controlador programable; usualmente consiste de cuatro secciones mayores:

- Procesador
- Entrada (Módulos de entrada)
- Salida (Módulos de salida)
- Fuente de poder

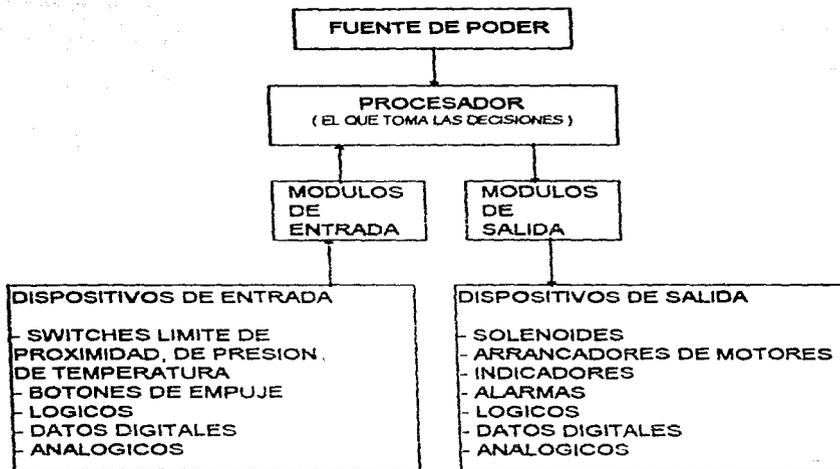


fig. xxxii

Procesador.

El procesador puede ser llamado el "cerebro" del controlador programable. Se divide en dos secciones:

- Unidad Central de Proceso
- Memoria

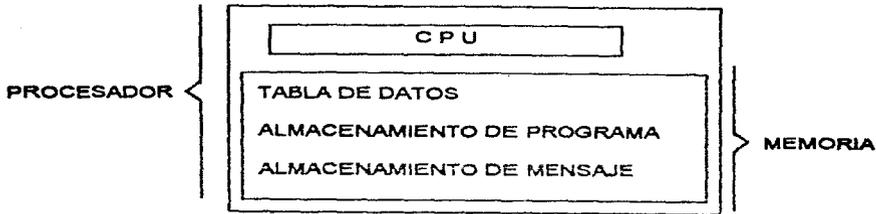


fig xxxiii

Unidad Central de Proceso.

La unidad central de proceso (CPU) toma decisiones acerca de lo que el procesador está haciendo de acuerdo al programa que se escribió.

Memoria.

La memoria realiza tres funciones:

- Almacena información en una tabla de datos que la unidad central de proceso puede necesitar para tomar sus decisiones.
- Almacena programas.
- Almacena mensajes.

Tabla de datos.

Los datos son almacenados y examinados en una área de la memoria llamada la tabla de datos. La tabla de datos se divide en algunas secciones más pequeñas acordes al tipo de información a ser almacenada. Estas secciones más pequeñas son llamadas:

- Tabla de imagen de entrada
- Tabla de imagen de salida
- Almacén de tiempo y de conteo (timer/counter)

Tabla de Datos

Tabla de imagen de salida
 Tabla de imagen de entrada
 Almacén Timer/ Counter

Tablas de imagen.

La tabla de imagen de entrada refleja el estado de las terminales de entrada. La tabla de imagen de salida refleja el estado de los bits controlados por el programa.

Cada tabla de imagen está dividida en un número de unidades más pequeñas llamadas bits. Un bit es la unidad más pequeña de la memoria. Esta es representada por un circuito electrónico muy pequeño que el procesador puede prender o apagar. Los bits en una tabla de imagen están asociados con una terminal particular de entrada o de salida.

Cuando el procesador detecta un voltaje en una terminal de entrada, graba esa información prendiendo el bit correspondiente. Así mismo, cuando el procesador no detecta voltaje en una terminal de entrada, graba esa información apagando el bit correspondiente.

Si el CPU decide que una terminal de salida en particular debe ser prendida o apagada, graba esa decisión prendiendo o apagando el bit correspondiente. En otras palabras, cada bit en una tabla de imagen corresponde a un estado de encendido o apagado de una terminal.

Cuando se habla acerca de prender un bit, se usa el término "poner" (set). Por ejemplo, "El procesador pone el bit", que significa prenderlo. Por otro lado, se usa el término "quitar" o poner en blanco (reset), cuando se habla de apagar un bit, por ejemplo, "El procesador quita el bit".

La memoria es como una página que ha sido dividida en muchos

bloques. Cada bloque representa un bit. Dado que cada bit está encendido o apagado, se puede mostrar el estado de cada bit escribiéndose "encendido" o "apagado" en cada bloque. A la vez, el número uno (1) significa encendido y el número cero (0) significa apagado.

Se puede fácil y rápidamente mostrar el estado de cada bit escribiéndose un 1 ó un 0 dentro del bloque apropiado. La mayoría de la gente que trabaja con PC's muestra el estado de un bit de esta forma.

Se les oirá usar expresiones como, "El CPU respondió escribiendo un uno dentro del bit cuando el switch límite se cerró". Por supuesto que el procesador no escribe realmente un uno en la memoria: él simplemente pone el bit (lo prende).

Cuando el dispositivo
E/S (I/O) está:
encendido (on)
apagado (off)

El estado del bit se
dice que está:
encendido (on) // puesto (set)
apagado (off) /O/ quitado (reset)

Si se oye la expresión, "El procesador escribió un cero dentro de una localidad de bit. ¿Qué fue lo que sucedió?" Si se responde que el procesador meramente "reseteó" el bit, apagándolo, eso es correcto.

Tabla de imagen de salida.

El propósito de la tabla de imagen de salida es controlar el estado de encendido o apagado de los dispositivos de salida alarmados a las terminales del módulo de salida. Si un bit de la tabla de imagen de salida está encendido (1), su correspondiente dispositivo de salida estará encendido (energizado). Si un bit está apagado (0), su correspondiente dispositivo de salida estará apagado (des-energizado).

Los bits de la tabla de imagen de salida son controlados por las instrucciones del programa del usuario.

Tabla de imagen de entrada.

El propósito de la tabla de imagen de entrada es duplicar el estado de encendido o apagado de los dispositivos de entrada. Si un dispositivo de entrada está encendido (cerrado), su correspondiente bit de la tabla de imagen de entrada estará encendido (1). Si un bit de la tabla de imagen de entrada está apagado (abierto), su correspondiente bit de la tabla de imagen de entrada estará apagado (0). Los bits de la tabla de imagen de entrada son monitoreados por las instrucciones del programa del usuario.

Almacén timer-counter.

Las instrucciones de tiempo y de conteo son instrucciones de salida. Proveen la mayoría de las capacidades disponibles mediante relés de tiempo y dispositivos de tiempo y de conteo de estado sólido. Usualmente condicionados a instrucciones de chequeo, mantienen un curso de intervalos de tiempo o eventos de conteo de acuerdo a la lógica de los pasos (del programa de escalera).

Almacenamiento del programa.

El almacenamiento del programa se lleva la mayor parte de la memoria. Esto es, el lugar donde las instrucciones para el controlador programable son almacenadas. Este conjunto de instrucciones o programa está formado de un conjunto de declaraciones. Cada declaración hace dos cosas:

- Describe las condiciones que deben existir para que cualquier acción tenga lugar.
- Describe la acción a ser ejecutada. Por ejemplo, se podría decir, "Energiza el arrancador del motor número uno".



fig. xxxiv

Por ejemplo, se puede desear que la acción se lleve a efecto en cualquier momento en que un cierto switch límite cierre. Por consiguiente su condición podría ser, "Si el switch límite número dos está cerrado, ...". La acción sería, "energiza el arrancador del motor número uno". La declaración completa se leería entonces, "Si el switch límite número dos está cerrado, entonces energiza el arrancador del motor número uno". De esta forma, cuando el switch límite número dos en la máquina cierre, el controlador programable energizará el arrancador del motor. Si el switch límite número dos no cierra, el controlador programable no energizará el arrancador del motor. Entonces, cuando el switch límite número dos abra, el controlador programable desenergizará el arrancador del motor, dado que la acción se implica por la declaración.

Un programa está formado por un número de declaraciones similares. Típicamente, hay una declaración por cada dispositivo de salida en la máquina. Cada declaración alista las condiciones que deben de existir y entonces con base en ello la acción a

ser tomada. Cada condición está representada por una instrucción en específico; por consiguiente, cada acción está representada por una instrucción en específico. Estas instrucciones le dicen al procesador que haga algo con la información almacenada en la tabla de datos. Algunas instrucciones le dicen al procesador que lea lo que está escrito en la tabla de imagen. Cuando el procesador es instruido para que lea de una tabla de imagen, éste examina un bit específico para ver si un cierto dispositivo E/S está prendido o apagado.

Otras instrucciones le dicen al procesador que escriba información en la tabla de imagen. Cuando el procesador es instruido a escribir en una tabla de imagen de salida, éste escribe un uno o un cero dentro de un bit en específico. El correspondiente dispositivo de salida se prende o apaga como resultado.

Almacenamiento del mensaje.

La tercera área de la memoria, la que almacena el mensaje, actúa después de la última declaración del programa del usuario. Dos caracteres alfanuméricos pueden ser almacenados en una palabra. Los mensajes pueden ser accedidos en la memoria ya sea mediante una terminal o mediante un dispositivo periférico.

Los mensajes son desplegados en una terminal o en un dispositivo periférico cada vez que un mensaje es requerido. Los mensajes son activados a través de un programa de control mediante la programación de bits específicos en la tabla de datos en base a un programa en diagrama de escalera.

Entrada.

La sección de entrada de un controlador programable sirve para cuatro funciones:

- terminación
- indicación
- acondicionamiento
- aislamiento

Terminación.

La sección de entrada provee las terminales para el alambrado.

que viene desde los dispositivos sensores en la máquina.

Indicación.

La entrada en la mayoría de los módulos es proveída por una indicación visual del estado de cada terminal de entrada mediante indicadores.

El indicador es prendido cuando un voltaje es aplicado a su terminal. Este estará apagado cuando no haya ningún voltaje aplicado a su terminal. Dado que el indicador revela el estado de su terminal, es usualmente llamado un indicador de estado de entrada.

Los indicadores de entrada están únicamente asociados con las terminales usadas para alambrear o interconectar los dispositivos sensores a la sección de entrada. La terminal que provee la tierra para el circuito sensor no tiene indicador.

Acondicionamiento.

Otra función de la sección de entrada es la del acondicionamiento de la señal. Los niveles de voltaje usados en la máquina no son usualmente compatibles con los niveles de voltaje de la señal usada por el controlador programable. Por consiguiente, la sección de entrada recibe la señal eléctrica de la máquina y la convierte a un voltaje compatible con la circuitería del controlador programable.

Aislamiento.

La sección de entrada aísla la circuitería de la máquina de la circuitería del controlador programable.

El aislamiento ayuda a proteger la circuitería del controlador programable de niveles de voltaje indeseables o peligrosos.

Salida.

La sección de salida de un controlador programable sirve para cuatro funciones:

- terminación
- indicación
- acondicionamiento
- aislamiento

Terminación.

La sección de salida provee las terminales para el alambrado que va hacia los dispositivos de salida en la máquina.

Indicación.

La salida en la mayoría de los módulos es proveída de una indicación visual del estado seleccionado en cada dispositivo de salida por medio de indicadores.

En módulos más antiguos, cuando la potencia está presente en las terminales de salida, los indicadores de estado están prendidos. En módulos de alta densidad, la potencia puede no estar presente en las terminales de salida para que el indicador de estado esté encendido.

Acondicionamiento.

La sección de salida del controlador programable convierte un voltaje a una señal eléctrica utilizable por los dispositivos de salida en la máquina.

Aislamiento.

La sección de salida aísla los circuitos del controlador programable de voltajes indeseables y peligrosos que puedan ocu-rrir en la máquina o sistema de alambrado de la planta.

Algunas situaciones requieren protección externa adicional.
Fuente de poder.

La fuente de poder provee un nivel bajo de voltaje de CD para la circuitería electrónica de las secciones de entrada y salida del procesador. Esta convierte los voltajes de línea a voltajes lógicos más bajos requeridos por las secciones de entrada y salida del procesador.

Secuencia de control por PC.

El siguiente es un simple ejemplo para ver la secuencia de los eventos que tienen lugar en el control de una máquina a través de un controlador programable (figura anexa).

CONTROLADOR

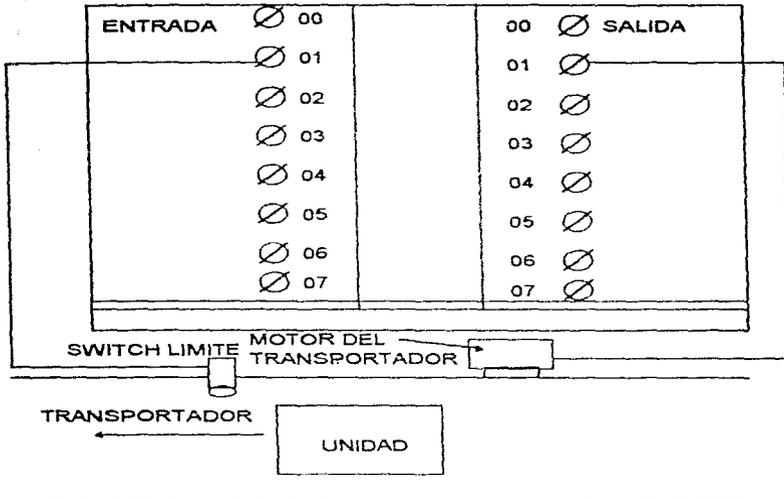


fig. xxxv

Supóngase que se está haciendo una pieza. El transportador, accionado por un motor lleva la pieza al área de trabajo y el switch límite detecta que esa pieza ha llegado. Cuando esto sucede, se procede a que el transportador pare de tal manera que se pueda trabajar sobre la pieza.

Nótese cómo el switch límite y el motor están alambrados al controlador programable. El switch límite, alambrado a la termi -

nal O1, es normalmente cerrado. La pieza que llega abre el switch. Por consiguiente, las declaraciones del programa que controlan al motor del transportador deben leer, "Si hay voltaje en la terminal de entrada O1 (switch límite), entonces energiza la terminal de salida O1 (motor del transportador)". El motor del transportador está alambrado a la terminal de salida O1.

La figura anterior es sólo para propósitos ilustrativos. No se muestra el alambrado asociado, como pudiera ser un arrancador del motor, o un botón de parada de emergencia.

Dado que el switch límite es normalmente cerrado, el motor del transportador funciona hasta que la pieza que llega abra el switch. En ese momento, la condición para energizar el motor no es buscada más. Y por lo tanto, el motor es desenergizado.

Cuando la condición es hallada, decimos que es cierto. Cuando la condición no es hallada, decimos que es falso. Puede haber más de una condición, la cual debe ser encontrada antes que una acción sea ejecutada. Cuando todas las condiciones son encontradas, la acción es ejecutada y entonces decimos que la declaración es verdadera. Cuando una o más de las condiciones son falsas, la acción no es ejecutada y decimos que la declaración es falsa.

Secuencia de exploración.

Cuando se enciende, el procesador empieza la secuencia de exploración con el explorador E/S (figura siguiente).

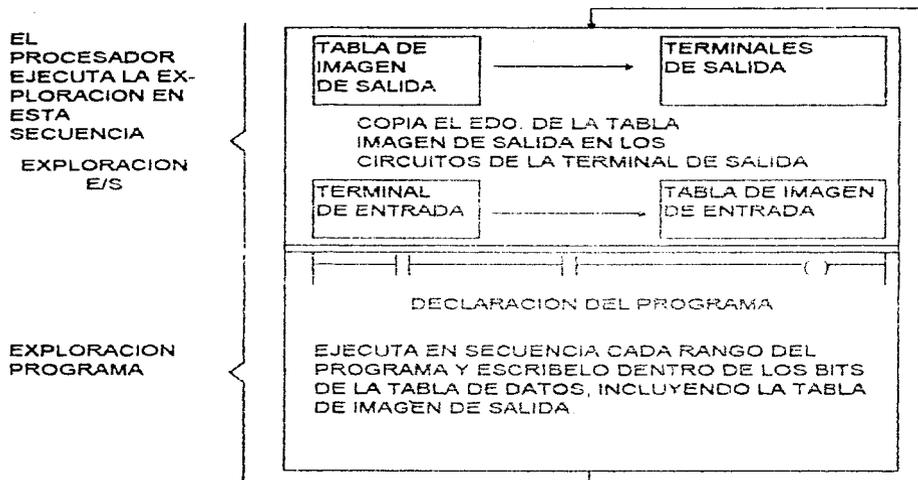


fig. xxxvi

Durante la exploración E/S, los datos de los módulos de entrada son transferidos a la tabla de imagen de entrada y los datos de la tabla de imagen de salida son transferidos a los módulos de salida. Después, el procesador explora el programa. Lo hace declaración por declaración. Cada declaración es explorada (buscada) de esta manera:

1. Para cada condición, el procesador chequea o "lee" la tabla de imagen para ver si la condición ha sido encontrada.
2. Si el conjunto de condiciones ha sido hallado, el CPU escribe un uno dentro de la localidad del bit en la tabla de ima-

gen de salida correspondiente a la terminal de salida a ser energizada. En otras palabras, si el conjunto de instrucciones no ha sido hallado, el procesador escribe un cero en la localidad del bit, indicando que la terminal de salida no debe ser energizada.

He aquí una somera explicación del programa. Si la entrada O1 está encendida, entonces enciende la salida O1. Si la entrada O1 está apagada, entonces apaga la salida O1.

El programa podría escribirse así:

Si
(condición)

El bit de entrada O1
está encendido

Entonces
(acción)

Prende el bit de
salida O2

En el ejemplo, el procesador lee un 1 en la localidad del bit de entrada O1 y sabe que la condición ha sido hallada. El procesador entonces lleva a cabo la instrucción de acción, escribiendo un 1 en la localidad del bit de salida O1.

Si hubieran más declaraciones en el programa, el procesador continuaría de la misma manera, buscando cada declaración y ejecutando cada instrucción, hasta que llegue al fin del programa. Declaración por declaración, el procesador escribe un 0 ó un 1 en un bit de salida como le sea dictado por el programa. Después de leer y ejecutar todas las declaraciones del programa, el procesador busca (o explora) la tabla de imagen de salida y energiza o desenergiza las terminales de salida. El procesador entonces va a los módulos de entrada a actualizar la tabla de imagen de entrada.

Ahora el proceso entero es repetido. De hecho, es repetido

una y otra y otra vez, muchas veces por minuto. Cada vez, el procesador pone o quita bits de salida. Después, el procesador sensa el estado de las terminales de entrada. Finalmente, el procesador explora el programa y ordena a cada terminal de salida se prenda o apague de acuerdo al estado de su correspondiente bit en la tabla de imagen de salida.

Cuando el ejemplo ya mencionado inició, el procesador estaba energizando la terminal de salida O1, dado que el bit de entrada O1 estaba encendido.

Cuando la pieza es transportada a la estación de trabajo, apaga el switch límite. Cuando el switch límite se apaga, no hay voltaje en la terminal de entrada O1. El procesador explora la tabla de imagen de entrada, sensa que no hay voltaje, y responde escribiendo un cero en el bit O1 de la tabla de imagen de entrada.

Cuando el procesador enseguida explora la tabla de imagen de salida, ve el cero en el bit de salida O1 y responde desenergizando la terminal de salida O1. La acción provoca que el transportador se pare.

INTERFASES

La International Electromechanical Commission (IEC) ha especificado estándares en los rangos de voltaje para las fuentes de alimentación, entradas y salidas digitales para los controladores programables. La figura xxxvii (Tabla 1) muestra dichos rangos de operación:

RANGO DE VOLTAJE	FUENTE DE ALIMENTACION	SEÑALES DE E/S	NOTAS
24 Vcd 48 Vcd	SI SI	SI SI	1
24 Vca 48 Vca 120 Vca 230 Vca 400 Vca	NO NO SI SI SI	NO NO SI SI NO	2

Tabla 1

Notas:

(1) La tolerancia permitida en los voltajes de corriente directa es de -15 a +20%.

(2) La tolerancia permitida en los voltajes de corriente alterna es de -15 a +10 %. Los voltajes de corriente alterna están en Vrma.

La IEC también especificó los rangos de voltaje para entradas y salidas analógicas, estos datos se presentan en las figuras xxxviii (Tabla 2) y xxxix (Tabla 3), así como los de impedancia de entrada e impedancia de carga, respectivamente.

RANGO DE LA SEÑAL	IMPEDANCIA DE ENTRADA
-10 V a +10 V	$\geq 10 K \Omega$
0 V a +10 V	$\geq 10 K \Omega$
+1 V a +5 V	$\leq 5 K \Omega$
4 mA a 20 mA	$\leq 300 \Omega$

Tabla 2. Entradas Analógicas

RANGO DE LA SEÑAL	IMPEDANCIA DE CARGA
-10 V a +10 V	$\geq 1 K \Omega$
0 V a +10 V	$\geq 1 K \Omega$
+1 V a +5 V	$\leq 500 \Omega$
4 mA a 20 mA	$\geq 200 \Omega$

Tabla 3. Salidas Analógicas

ESTANDARES PARA CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

La International Electromechanical Commission estableció una serie de estándares, referentes a las funciones estándar que deben contemplarse para el diseño y fabricación de controladores programables. Los rubros que la IEC consideró fueron, los que a continuación se enlistan:

FUNCIONES ESTANDAR DE LA IEC PARA PLC'S

Funciones numéricas

Nombre estándar - Función

ABS - Valor absoluto

SQRT - Raíz cuadrada

LN - Logaritmo natural

LOG - Logaritmo en base 10

EXP - Exponencial natural

SIN - Seno

COS - Coseno

TAN - Tangente

ASIN - Angulo cuyo seno es

ACOS - Angulo cuyo coseno es

ATAN - Angulo cuya tangente es

ADD o + - Adición

SUB o - - Sustracción

MUL o * - Multiplicación

DIV o / - División

MOD - Módulo

EXPT o ** - Exponenciación

Funciones con cadenas binarias

Nombre estándar - Función

SHL - Corrimiento a la izquierda, llenando el espacio con cero

SHR - Corrimiento a la derecha, llenando el espacio con cero

ROL - Rotación circular a la izquierda

ROR - Rotación circular a la derecha

AND o & - And booleana entre cadenas binarias

OR o =1 - Or booleana entre cadenas binarias

XOR o \oplus - Or exclusiva booleana entre cadenas binarias

NOT - Complemento booleano en cadenas binarias

Funciones de comparación y selección

Nombre estándar - Función

SEL - Selección binaria (1 de 2)

MUX - Multiplexor (1 a N)

MIN - El mínimo entre N entradas

MAX - El máximo entre N entradas

LIM - Limitador fuerte alto/bajo

GT o $>$ - Mayor que

GE o \geq - Mayor o igual a

EQ o $=$ - Igual a

LE o \leq - Menor o igual a

LT o $<$ - Menor que

NE o \neq - Diferente

Funciones con cadenas de caracteres

Nombre estándar - Función

CONCAT - Concatenación de N cadenas

INSERT - Insertar una cadena dentro de otra

DELETE - Borrar una porción de una cadena

REPLACE - Reemplazar una porción de una cadena con otra

FIND - Encontrar la primera ocurrencia de una cadena en otra

BLOQUES ESTANDAR DE LA IEC PARA PLC'S

Bloques biestables

Nombre estándar - Bloque

SR - Flip-flop (encendido (SET) dominante)

RS - Flip-flop (apagado (RESET) dominante)

TRIGGER - Detección de flanco

Bloques para contadores

Nombre estándar - Bloque

CTU - Contador hacia arriba

CTD - Contador hacia abajo

Bloques para temporizadores (timers)

Nombre estándar - Bloque

TP - Temporizador de un disparo (pulso)

TON - Temporizador de encendido retardado

TOP - Temporizador de apagado retardado

Bloques para transferencia y sincronización de información

Nombre estándar - Bloque

SEND - Solicitud de mensaje

RCV - Confirmación de mensaje

TIPOS DE DATOS ESTANDAR DE LA IEC PARA PLC'S

Identificador - Tipo - No. de bits

BOOL - Booleano - 1

EDGE - Flanco de disparo (booleano) - -

SINT - Entero de corta longitud - 8

DINT - Entero de doble longitud - 16

LINT - Entero de larga longitud - 32

USINT - Entero de corta longitud sin signo - 64

UINT - Entero de doble longitud sin signo - 8

UDINT - Entero de larga longitud sin signo - 16

REAL - Número real - 32

LREAL - Número real de larga longitud - 64

TIME - Hora - -

DATE - Fecha (únicamente) - -

TIME_OF_DAY - Hora del día - -

DATE_AND_TIME - Fecha y hora - -

STRING - Cadena de caracteres de longitud variable - -

BYTE - Cadena de 8 bits - 8

WORD - Cadena de 16 bits - 16

DWORD - Cadena de 32 bits - 32

LWORD - Cadena de 64 bits - 64

ARQUITECTURA TIPICA DE UN PLC

A continuación haremos un desglose, en lo que a este tema se refiere.

PERIFERICOS

Un equipo periférico es aquel que puede enviar o recibir información del PLC. El primer periférico a considerar es el programador del PLC, que normalmente es específico para cada fabricante. En la actualidad la tendencia es la estandarización de programación por medio de una PC compatible con el software respectivo para cada fabricante. En cuanto a programadores el más utilizado es el CRT que va desde los miniprogramadores hasta los programadores con unidad de almacenamiento integrada. Otros periféricos a considerar son: procesadores de comunicación a través del cual el PLC puede comunicarse con otros periféricos tales como : impresoras, terminal de video, cassetteras, otros PLC's, unidades de despliegue de mensajes, etc. Las características de estos últimos periféricos mencionados son estándares, en cuanto a comunicación (RS-232, RS-422 en lo referente a voltaje y el lazo de corriente 4-20 mA) por lo que normalmente será muy fácil la integración de estos equipos al proceso y equipos de control adicionales, siendo conectados de acuerdo a lo establecido por la EIA (Electronics Industries Association).

CONFIGURACION BASICA DE UN PLC

El proceso involucrado en la configuración de un controlador lógico programable, básicamente depende del tipo de aplicación en cuestión. La configuración está directamente relacionada con el proceso de selección del PLC, como una primera aproximación se deben tomar en cuenta los requerimientos de entradas y salidas, así como la magnitud de la aplicación, para escoger el procesador a utilizar y la capacidad de las tarjetas de entrada-salida. Una vez establecidos los requerimientos primarios se procede entonces a investigar lo que el mercado tanto nacional como internacional tiene disponible comercialmente. A continuación se presentan los criterios a seguir para la selección del controlador, así como los factores de los que dependen.

SELECCION DE CONTROLADORES PROGRAMABLES

Actualmente, los controladores programables cubren una amplia

gama de aplicaciones y los podemos encontrar en diferentes tamaños y capacidades. Decidir sobre cual PLC utilizar para una aplicación específica es más difícil debido a la gran oferta de equipos en el mercado, prácticamente todas las marcas se pueden aplicar, sin embargo, es muy importante que el que esté elaborando el diseño del sistema determine que características son deseables en el sistema de control y que controlador cumple mejor con las necesidades presentes y futuras. Existen muchos factores para seleccionar un PLC, para propósitos prácticos se han definido los siguientes pasos:

1.- Descripción del proceso. Conocer el proceso a controlar. Es de vital importancia el conocer los objetivos presentes y futuros para evitar una rápida obsolescencia del equipo elegido y poder proveer mayor productividad, flexibilidad, seguridad y administración de información.

2.- Determinar el tipo de control. Como:

Control individual: Control sobre un proceso o máquina, sin comunicación con otros sistemas de control.

Control centralizado: Controla algunas máquinas o procesos con el PLC; presenta la siguiente desventaja, si el PLC falla, todos los procesos fallan, por lo que se acostumbra utilizar otro PLC de respaldo, pero esto incrementa el costo.

Control distribuido: Consiste en controlar cada proceso con un PLC diferente y entrelazarlos por medio de una red de comunicación. Este sistema es el más apropiado y efectivo, provee un sistema de control tan grande y complejo como el usuario desea, debido a la interconexión posterior a la red de comunicación. También hay que tener en cuenta la dificultad de comunicación que pueda existir con otros fabricantes.

Control supervisorio: Utiliza como base el control distribuido para desarrollar en forma centralizada, funciones de control complejas y de adquisición y manipulación de datos.

3.- Determinar los requerimientos de entradas/salidas (E/S). Estimar el número de entradas y salidas analógicas y digitales para conocer el tamaño del equipo necesario. Checar las especifici

caciones de E/S que ofrecen los proveedores, poner atención especial en lo siguiente: protección de E/S contra falsas señales, aislamiento óptico o de transformador entre la etapa de potencia y los circuitos de control. Las salidas deben de tener etapa de potencia y los circuitos de control. Las salidas deben de tener fusibles de protección, tener en cuenta las corrientes de salida y que se tenga indicación visual del estado de las entradas/salidas en todo momento.

Determinar la necesidad de E/S especiales, tales como acoplamiento con controladores analógicos, contadores especiales, acoplamiento para termopares, etc. Asegurarse que el sistema permita expansión futura de E/S.

- 4.- Determinar el lenguaje de programación a utilizar y funciones especiales. Diagrama de escalera, Álgebra booleana y/o de alto nivel. Instrucciones básicas (contadores, timers, etc.). Instrucciones avanzadas y funciones especiales (matemáticas, algoritmos PID, entre otras).
- 5.- Determinar los requerimientos de memoria. Dependiendo de que sean necesarios cambios posteriores en línea, requeriremos de una memoria volátil (con batería de respaldo), en caso contrario se recurrirá a una memoria no volátil.

Algunos controladores ofrecen una combinación de los dos tipos de memoria. Estimar el tamaño basado en el número de elementos de control, a partir del número de salidas y teniendo alguna idea del número de contactos del programa que se requerirán.

Elementos de control = # de salidas + (# de contactos x # de salidas). Memoria requerida = elementos de control * 1 palabra/elemento de control.

Permitir memoria extra para programación compleja y futuras expansiones. Normalmente el fabricante puede dar un factor para calcular esta capacidad, que puede consistir en multiplicar el número de entradas por un factor entre 1 y 10, agregando un 25 ó 50 % si tenemos funciones aritméticas y manipulación de

datos. Por ejemplo Gould Electronics recomienda los siguientes factores: (10 x Entradas digitales) + (5 x Salidas digitales) + (100 x Entradas analógicas).

- 6.- Evaluar el tiempo de scan requerido por el procesador. Es importante este tiempo y está en proporción directa al tamaño del sistema, para acercarnos lo más posible a un control en tiempo real.
- 7.- Definir los requerimientos de equipo de programación, almacenamiento y comunicación. CRT. Computadora. Almacenamiento en cinta y/o disco. Programador de PLC. Sistema de comunicación.
- 8.- Definir los requerimientos de periféricos.
 - Capacidad de graficación
 - Interfase con el operador
 - Impresoras de línea y plotters
 - Sistema de documentación
 - Sistema de generación de reportes
- 9.- Determinación de necesidades físicas y ambientales. Espacio disponible para el sistema, y poder distribuirlo de la mejor manera. Tener en cuenta las condiciones ambientales.

Es muy posible que al evaluar los puntos anteriores, encontremos más de un fabricante que nos ofrezca el sistema adecuado a nuestras necesidades, por lo tanto la decisión final estará basada en el siguiente punto.

- 10.-Evaluación de factores intangibles. Soporte del vendedor: se puede evaluar la calidad del soporte técnico desde las pláticas preliminares a la compra, considerando la capacidad de regponder a todas nuestras interrogantes que la literatura y promoción no detallan. Capacitación: capacidad de ofrecer capacitación en las instalaciones del usuario, identificar el límite de asesoramiento sin costo adicional y costos posteriores. Literatura: que tan complejo son para entender los manuales del usuario para programación, operación y mantenimiento. Tiempos de entrega en equipo y refacciones posteriores. Compatibilidad de equipos nuevos con anteriores y con otros fabricantes.

INSTALACION DE PLC'S EL LAYOUT DEL SISTEMA

El diseño del PLC incluye un gran número de características que permite ser instalado en cualquier ambiente industrial. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta algunas consideraciones durante la instalación para asegurar una operación apropiada del sistema. El layout del sistema es una proposición cuidadosa para colocar e interconectar sus componentes y no sólo para satisfacer su aplicación, sino también para asegurar que el controlador pueda operar libre de problemas en el ambiente donde se coloca. Con un diseño cuidadoso del layout, los componentes deben estar accesibles para fácil mantenimiento. También hay que tomar en cuenta los otros componentes que forman parte del sistema completo, éstos incluyen transformadores de aislamiento, control de relevadores y supresores de ruido. El mejor lugar para el PLC es colocarlo lo más cerca no a la máquina o proceso que requieren ser controlados. Los efectos de temperatura, humedad, ruido eléctrico y vibración son factores importantes que pueden tener influencia para seleccionar el sitio de colocación del PLC. El PLC generalmente es colocado en un gabinete, para protegerlo contra contaminantes atmosféricos, tales como polvo conductivo, humedad y de cualquier substancia corrosiva o nociva. Un gabinete metálico puede ayudar a minimizar los efectos de radiación electromagnética.

Las siguientes reglas se dan para asegurar condiciones ambientales favorables para la correcta operación del controlador:

- La temperatura en el interior del gabinete no debe exceder la temperatura máxima de operación del controlador que por lo general es de 60°C (140°F)
- Si el interior del gabinete se calienta, debido al calor generado por la fuente de poder u otro equipo eléctrico presente, se debe colocar un ventilador dentro del mismo, a fin de aminorar dicho problema
- Un controlador puede trabajar hasta con una humedad relativa del

95% sin condensación; si se produce condensación, se debe instalar dentro del gabinete un termostato

- Si el área en la cual el sistema es instalado existe equipo que genera excesiva interferencia electromagnética (EMI) o interferencia de radiofrecuencia (RFI), el gabinete debe ser colocado lejos de estas fuentes

MONTAJE DE LOS OTROS COMPONENTES

En general, la colocación de los otros componentes dentro del gabinete debe ser lo más alejado posible de los componentes que conforman al controlador, para minimizar los efectos de ruido y calor generado por estos dispositivos. A continuación se enlistan algunas sugerencias de donde colocar estos componentes.

- Transformadores de voltaje o de aislamiento, supresores de pico, se colocan cerca de la parte superior del gabinete. Esta colocación asume que la línea de alimentación entra por la parte de arriba del gabinete
- Arrancadores magnéticos, contactores, relevadores y otros componentes electromecánicos deben ser colocados también cerca de la parte de arriba en un área separada de los componentes del controlador. Se recomienda que haya una separación mínima de 6 pulgadas (152.4 mm) de separación entre esta área y el área del controlador
- Si se utilizan ventiladores para enfriar componentes dentro del gabinete, se deben colocar cerca de los dispositivos que generan calor. Se pueden utilizar filtros para prevenir que entren al gabinete partículas conductivas u otros contaminantes nocivos

INSTALACION DE ENTRADAS Y SALIDAS

La instalación de los módulos de entradas y salidas es quizás el trabajo más crítico cuando se instalan en las ranuras del controlador programable.

La colocación e instalación de los módulos de entradas y salidas, simplemente consiste en insertar los módulos correctos en sus respectivos lugares. Este procedimiento involucra verificar el tipo de módulo y de cómo fue direccionado la ranura con ayuda del do

cumento de asignación de direcciones de entradas y salidas, cada terminal debe ser conectada con el equipo de campo que le ha sido asignada en esa dirección. El usuario debe asegurarse que la alimentación de la energía de los módulos esté desconectada antes de instalar y alambrear el módulo.

PROCEDIMIENTOS DE ALAMBREADO

Los siguientes pasos se recomiendan para alambrear los módulos de entradas y salidas:

- Remover y vigilar la alimentación de energía del controlador y módulos antes de cada instalación y alambreado
- Verificar que todos los módulos estén en las ranuras correctas, verificando el tipo del módulo y número de modelo por inspección y diagramas de alambreado de entradas/salidas. Verificar la colocación de los módulos en la ranura correcta de acuerdo al documento de asignación de dirección de entradas y salidas
- Remover todos los tornillos de las terminales de cada módulo
- Colocar los alambres correspondientes a cada módulo y colocándole una identificación (etiqueta o bien utilizando código de color) para cada cable. Por lo general se trata de agrupar cada conjunto de alambres de acuerdo al módulo que corresponda

ARRANQUE DEL SISTEMA

PROCEDIMIENTOS ANTES DEL ARRANQUE

Antes de aplicarle energía al sistema, es recomendable una extensa inspección de los componentes de hardware e interconexiones, esto evidentemente requiere de tiempo, sin embargo, este tiempo invertido asegura y reduce el tiempo de arranque, especialmente en sistemas grandes con muchos dispositivos. A continuación se muestran los procedimientos a seguir antes del arranque:

- Inspección visual para asegurar que todos los componentes de hardware estén presentes; verificando que su número de modelo sea correcto para cada componente
- Inspeccionar el CPU y módulos para asegurar que estén instala-

- dos en la ranura correspondiente
- Checar que estén correctamente conectados los cables de energía (y transformadores)
 - Verificar que cada conexión de los cables en el módulo de entradas y salidas sea correcta. Ese chequeo involucra al documento de asignación de dirección para entradas y salidas
 - Verificar que las conexiones de cables de salidas sean colocadas en las terminales apropiadas en los dispositivos de campo
 - Para mayor seguridad, la memoria puede ser borrada de cualquier programa de control que haya sido previamente almacenada

REVISIÓN DE LAS CONEXIONES DE ENTRADAS

Esta revisión se realiza aplicando energía al controlador y a los dispositivos de entradas, esta revisión verifica que cada dispositivo esté conectado a la terminal de entrada correcta y que el módulo de entradas o puntos estén funcionando apropiadamente, también se verifica que el procesador y el dispositivo de programación (computadora) estén trabajando en buenas condiciones. La conexión apropiada de entradas puede ser verificada usando los siguientes pasos:

- Colocar el controlador en un modo que inhabilite al PLC de cualquier operación automática
- Aplicarle energía a la fuente de alimentación y a los dispositivos de entradas, verificando que los indicadores del sistema de diagnóstico estén indicando operación normal
- Activar manualmente cada dispositivo de entrada y observar su indicador correspondiente en el módulo de entradas y/o monitorear su estado (en la computadora). Si está bien conectado y la salida del dispositivo es activada el LED indicador debe encenderse, de lo contrario se debe de verificar la conexión

REVISIÓN DE LAS CONEXIONES DE SALIDAS

La revisión de conexiones de salidas, se realiza aplicando energía al controlador y dispositivo de salidas, (se recomienda no conectar los dispositivos de salida que puedan involucrar movimiento mecánico, tales como motores, drives, solenoides, etc.) pa

ra verificar que cada dispositivo de salida está funcionando apropiadamente. Las conexiones de salidas pueden verificarse siguiendo los siguientes pasos.

- Desconectar localmente todos los dispositivos que puedan causar movimiento mecánico
- Aplicar energía al controlador y a los dispositivos de salida
- La operación de inspección de salida puede realizarse usando uno de los siguientes métodos:

1.- Asumiendo que el controlador tiene una función de forzamiento (en el software de programación del PLC), cada salida puede ser probada con el uso de equipo de programación (computadora) para forzar las salidas en ON (encendido), seleccionando la correspondiente dirección de la terminal (punto) y escribiendo o seleccionando en on (lógico), si está conectada correctamente, el led correspondiente se prenderá y el dispositivo será energizado.

2.- Otra alternativa, es la de programar un renglón en un programa auxiliar que puede ser usado repetidamente para probar cada salida. El programa es un simple renglón con un contacto normalmente abierto que controla la salida. Para probar, el CPU debe ser colocado en modo RUN. La prueba se realiza simulando el cierre del contacto.

REVISIÓN DEL PROGRAMA DE CONTROL ANTES DEL ARRANQUE

Es simplemente una última revisión del programa de control y se realiza en cualquier momento, pero debe ser antes de cargarlo a la memoria del PLC del sistema a controlar. Requiere de una documentación completa que narre el programa de control. Documentos tales como asignación de direcciones y diagramas de conexiones deben reflejar cualquier modificación que pueda ocurrir durante las revisiones de las conexiones. Esta revisión verificará que esta última versión del programa esté libre de errores. Los pasos a seguir para llevar a cabo esta revisión son los siguientes:

- Usando la documentación de conexiones de entradas/salidas, verificar contra el impreso del programa, que cada dispositivo de sa

lida controlado, en su renglón programado tengan la misma dirección

- Revisar el impreso de cualquier error de entradas que pudo haber ocurrido al escribir el programa; verificar que todos los contactos y salidas internas del programa tengan una asignación de dirección válida
- Verificar que todos los contadores, temporizadores y otros valores preestablecidos sean correctos

REVISION DINAMICA

Es un procedimiento por el cual la lógica del programa de control es verificada para operaciones correctas de las salidas. Esta revisión asume que la revisión de conexiones han sido realizadas, los componentes de hardware están operando correctamente y el software haya sido revisado. A continuación se enlistan los pasos para llevar a cabo esta revisión:

- Cargar el programa de control al PLC
- La lógica de control debe ser probada, usando uno de los siguientes métodos:
 - El modo REMOTE, permite al PLC ser ejecutado sin que se habiliten las salidas. La revisión se hace por renglón, observando el estado del led indicador o monitoreando su correspondiente renglón de salida en el dispositivo de programación (computadora)
 - Si el controlador está en modo RUN, actualiza la salida durante la prueba, las salidas que no han sido probadas (y pueden causar daño), deben ser desconectadas hasta que sean probadas
- Checar cada renglón para que su operación lógica sea correcta y si es necesario modificarla
- Cuando toda la lógica haya sido revisada, se deben remover todos los renglones temporales que se hayan usado. Colocar el PLC en modo RUN y probar la operación total del sistema
- Toda modificación a la lógica de control debe ser documentada y revisada inmediatamente en la documentación original. Una copia del programa (en disco) debe obtenerse por conveniencia

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo del sistema con PLC incluye sólo unos cuantos pasos o revisiones básicas que pueden reducir gran demente el porcentaje de falla de los componentes del sistema. El mantenimiento preventivo para sistemas con PLC puede ser calendarizado con el mantenimiento regular de la máquina de modo que el equipo y el controlador estén parados por un tiempo muy corto. Sin embargo, dependiendo del ambiente en el cual el PLC está localizado el mantenimiento preventivo requerido puede ser más frecuente que en otros ambientes. Las siguientes medidas preventivas pueden tomarse:

- Cualquier filtro que haya sido instalado en el gabinete debe ser limpiado o reemplazado periódicamente. Esta práctica asegurará que la circulación de aire en su interior sea limpia
- No se debe permitir que el polvo se acumule en los componentes del PLC. El polvo puede obstruir la disipación de calor, además que si un polvo conductivo alcanza a las tarjetas electrónicas puede producir un corto circuito y causar daño permanente a la tarjeta
- Las conexiones a los módulos de entrada/salida deben ser revisados periódicamente para asegurarse que todos los plugs, sockets y conexiones estén bien y que el módulo esté fijado firmemente. Esta revisión se hace en situaciones en el que el sistema se coloca en una área que experimenta vibraciones constantes que pueden causar que se desconecten las conexiones
- El personal que realiza el mantenimiento debe asegurarse que objetos innecesarios se mantengan alejados del chasis del PLC. Objetos como diagramas y/o manuales olvidados arriba del chasis o racks pueden causar obstrucción del aire y provocar mal funcionamiento del sistema
- Tener un buen surtido de repuestos minimiza el tiempo que resulta cuando una falla de algún componente se presenta y que se traduce en minutos y no en horas o días buscando el repuesto

BENEFICIOS AL USAR LOS PLC'S

En general la arquitectura de un PLC proporciona modularidad y flexibilidad, permitiendo la expansión tanto del hardware, como del software con base en los requerimientos de la aplicación que se esté considerando. En la medida que la aplicación crece y sobrepasa la capacidad del PLC, la unidad puede ser fácilmente reemplazada por otra que cuente con mayor cantidad de entradas-salidas y memoria, y el equipo reemplazado se pueda utilizar para una aplicación con menores requerimientos. Un sistema basado en un PLC provee muchos beneficios a la solución de un problema de control desde su confiabilidad y repetibilidad hasta su programación.

Enseguida se enumeran algunas características y beneficios que se obtienen al utilizar un PLC.

<u>Características inherentes</u>	<u>Beneficios</u>
Componentes de estado sólido	Alta confiabilidad
Memoria programable	Simplicidad en los cambios
	Flexibilidad en el control
Tamaño reducido	Requerimientos mínimos de espacio
Basado en microprocesador	Capacidad de comunicación
	Alto nivel de desempeño
	Productos de alta calidad
	Capacidad multifuncional
Temporizadores y contadores programables	Reducción del hardware
	Facilidad de cambio de los parámetros iniciales
Control de relevadores programables	Reducción de costo en

Arquitectura modular

Gran variedad de interfases de E/S

Estaciones de E/S remotas

Indicadores de diagnóstico

Interfase E/S modular

Conexión y desconexión rápida de E/S

Todas las variables del sistema están almacenadas en memoria mantenimiento

el alambrado del hardware

Reducción en los requerimientos de espacio

Flexibilidad en la instalación

Facilidad en la instalación

Compra de hardware minimizado

Expansibilidad

Controla una diversidad de dispositivos

Elimina el control personalizado

Simplicidad en el alambrado externo, evitando alambres de gran longitud

Reduce el tiempo en la localización de fallas

Apropiada operación de la señalización

Apariencia clara del panel de control

Facilidad en el mantenimiento

Facilidad de alambrado

Facilidad de servicio de cables dañados

Facilidad de manejo

Las variables pueden ser obtenidas en forma de reporte

APLICACIONES DE PLC'SAREAS TIPICAS DE APLICACION DE LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

Desde su concepción primaria al final de la década de los años 60, los controladores programables han sido utilizados prácticamente en todo tipo de industrias. Esto quizá se deba a la facilidad que brindan en su instalación, manejo y programación. Enseguida se listan algunas de las áreas de aplicación:

INDUSTRIA QUIMICA Y PETROQUIMICA

Procesos en lote

Manejo de materiales

Pesado

Mezclado

Manejo de productos terminados

Tratamiento de aguas residuales

Control de tuberías

Perforación de pozos

Procesamiento de amoníaco y etileno

Colorantes (dyes)

Reactores continuos en lote

Control de ventiladores

Transmisión y distribución de gas

Perforación en campos petroleros

Control de estaciones de tuberías de bombeo

INDUSTRIA MANUFACTURERA Y DE MAQUINADO

Demanda de energía

Maquinado en tornos

Bandas transportadoras

Máquinas de ensamblado

Molinos

Desbastado de materiales

Manejo de grúas viajeras

Galvanoplastia (electrodeposición)

Máquinas soldadoras

Pintado

Moldeo por inyección y soplado

Fundición

Producción de máquinas

Máquinas embobinadoras

Intercambio de herramientas de corte

Pintado con pistolas de aire

INDUSTRIA MINERA

Bandas transportadoras de materiales

Procesamiento de minerales

Carga y descarga

Manejo de aguas residuales

INDUSTRIA DE LA PULPA Y EL PAPEL

Digestores en lote

Manejo de astillas

Recubrimientos

Empacado y sellado

Mezclado de pulpas

Preparación de materias primas para el proceso de fabricación del pa
pel

Digestores de papel

Producción de papel

INDUSTRIA DEL VIDRIO Y PELICULAS

Proceso

Formado

Acabado

Empacado y sellado

Paletizado

Manejo de materiales

Pesado en tolvas

INDUSTRIA ALIMENTICIA Y DE REPRESOS

Manejo de materiales en masa

Industria cervecera

Destilado

Mezclado de fluidos

Manejo de contenedores

Empacado

Llenado

Pesado

Manejo de productos

Bandas ordenadoras

Bandas acumulativas

Carga de formado

Paletizado

Retiro y almacenamiento en bodegas de materia prima

Enlatado

INDUSTRIA METALURGICA

Control de hornos de arco

Formado continuo

Rolado en frío

Cámaras de hidratación (Soaking pit)

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Manejo de carbón

Control de quemadores

Control de combustibles

Separadores de carga

Ordenadores

Procesos de soplado

Desbastado de madera

Cortadores longitudinales

Plantas generadoras

Manejo de energía

Proceso de pulverización de carbón
Control de eficiencia de compresores

INDUSTRIA HULERA Y DEL PLASTICO
Monitoreo de prensas de neumáticos
Fabricación de neumáticos
Producción de caucho
Moldeo por inyección de plástico

INDUSTRIA METALURGICA
Producción de acero
Cargado y descargado de altos hornos
Formado continuo
Rolado en frío
Manufactura de aluminio

INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DEL VIDRIO
Mezclado de materias primas
Pesado del cullet (pedacería de vidrio)

INDUSTRIA AUTOMOTRIZ
Monitoreo de máquinas de combustión interna
Prueba de carburadores

PROGRAMACION DE PLC'S

La programación de un PLC consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones (disponibles en el equipo) que resuelven una determinada tarea de control.

La secuencia, que establece la relación entre las distintas variables lógicas, es lo que constituye el programa del PLC.

Por otro lado, a cada PLC le corresponde un determinado lenguaje máquina de acuerdo con su estructura física (hardware). Igualmente, es posible programar un PLC mediante el establecimiento directo de una secuencia de instrucciones en lenguaje máquina, pero

es indudable que este lenguaje está bastante alejado del utilizado por el técnico especializado para especificar el funcionamiento de un sistema de control. Por ello, los fabricantes de autómatas utilizan para sus equipos diversos lenguajes de programación entre los que cabe citar:

- Lista de instrucciones
- Esquema de contactos
- Diagrama de funciones
- Redes de Petri
- Grafcet
- Alto nivel (BASIC específicamente)

Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación del usuario. La elección de uno u otro depende de la experiencia y conocimientos de aquél (en electrónica digital, informática, realización de sistemas de control con relés, etc.) y de la forma en que se especifica el problema de control a resolver.

No existe una descripción única para cada lenguaje, sino que cada fabricante utiliza una denominación particular para las diferentes instrucciones y una configuración también particular para representar las distintas variables de entrada y de salida (externas e internas).

A continuación se utilizarán un conjunto de instrucciones y una representación de variables correspondientes a un PLC genérico.

LISTA DE INSTRUCCIONES

Este lenguaje consiste en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno de los cuales corresponde a una instrucción en lenguaje máquina.

Dado que los lenguajes máquina de los PLC's de distintos fabricantes son diferentes, también lo son los lenguajes de "lista de instrucciones".

Por ser la programación mediante códigos simbólicos la que más se aproxima al lenguaje máquina, está especialmente indicada para usuarios familiarizados con la electrónica digital y con la infor

mática. Por otra parte, este lenguaje es el único utilizable con las unidades de programación sencillas, que solamente visualizan una o varias líneas de programa simultáneamente.

En sucesivos apartados se analiza la forma de representar las variables y las instrucciones más usuales de un PLC genérico.

IDENTIFICACION DE VARIABLES

En función del tipo de variable se realiza tal como se indica a continuación:

a) Variables de entrada - X_n

El término X representa una variable binaria de entrada y lleva asociado un número n que corresponde a su situación en el regletero o conector de entrada.

b) Variables de salida externas - Y_n

El término Y representa una variable binaria de salida y lleva asociado un número n que corresponde a su situación en el regletero o conector de salida.

c) Variables de salida internas - IR_n

El término IR representa una variable binaria interna (elemento de memoria) y n es el número de orden asociado.

INSTRUCCIONES

Se supone que el PLC dispone de las siguientes instrucciones, clasificadas en tres grupos:

INSTRUCCIONES DE SELECCION, DE ENTRADA Y SALIDA O DE OPERACION

Estas instrucciones realizan alguna de las acciones siguientes:

- Seleccionan una determinada variable para utilizarla como operando o como objeto de una acción de lectura de una entrada, o activación/desactivación de una salida (acción de entrada o de salida)
- Realizan una acción de entrada o de salida
- Realizan una cierta operación con una variable

Se supone que el PLC posee, dentro de este grupo, las siguientes instrucciones:

STR: Se utiliza para seleccionar la primera variable que se va a

utilizar en una secuencia de instrucciones.

STR NOT: Se utiliza para seleccionar la primera variable invertida que se va a utilizar en una secuencia de instrucciones.

OUT: Actúa sobre la variable de salida (externa o interna) asociada a ella.

OUT NOT: Actúa sobre la variable de salida (externa o interna) invertida, asociada a ella.

OR: Realiza la función lógica O entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella.

OR NOT: Realiza la función lógica O entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella invertida.

AND: Realiza la función lógica Y entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella.

AND NOT: Realiza la función lógica Y entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella invertida.

OR STR: Realiza la función O entre las dos secuencias anteriores a ella iniciadas por STR o STR NOT.

AND STR: Realiza la función Y lógica entre las dos secuencias anteriores a ella iniciadas por STR o STR NOT.

INSTRUCCIONES DE TEMPORIZACION Y DE CONTAJE

Como su nombre indica, generan variables cuya activación, duración o desactivación es una función del tiempo o del número de impulsos aplicados a una variable de entrada.

Para que un PLC posea estas instrucciones es necesario que incluya en su sistema físico (hardware) temporizadores y contadores.

Se supone que el PLC posee las siguientes instrucciones de este tipo:

TMR: Realiza la función de temporización. Utiliza para ello dos variables:

X_i =variable de puesta a cero

X_j =variable temporizada

La salida del temporizador se realiza a través de una variable de salida externa o interna.

La programación del temporizador necesita cuatro instrucciones en secuencia:

- Una instrucción de selección de la variable de puesta a cero Xi
- Una instrucción de selección de la variable temporizada Xj
- La instrucción TMR n que elige el temporizador (n). TMR n inicia la temporización si Xi está en uno (no hay puesta a cero) y Xj pasa a uno (se activa la variable cuyo cambio se temporiza)
- Una posición de memoria de programa que almacena el valor del tiempo preseleccionado

Así pues, es posible generar una variable temporizada Y de manera sencilla, o bien, la instrucción TMR puede ser utilizada para generar un retardo a la activación de una variable. Para ello se utiliza la misma variable como variable de puesta a cero y temporizada. Finalmente, TMR puede ser utilizada para generar un retardo a la desactivación de una variable si se la selecciona invertida como puesta a cero y como variable temporizada.

CTR: Realiza la función de contaje. Para ello se pueden utilizar dos o tres variables. En el primer caso funciona como contador ascendente en el que la primera variable es la de puesta a cero y la segunda es la de contaje. En el segundo caso funciona como contador reversible, y en él, la primera y tercera variables actúan igual que en el caso anterior, y la segunda selecciona el modo de contaje ascendente o descendente, según se encuentre en nivel cero o uno respectivamente.

Por lo tanto, la programación de un contador necesita cuatro o cinco instrucciones en secuencia respectivamente que actúan de forma parecida a la instrucción TMR.

INSTRUCCIONES DE CONTROL

Influyen en la ejecución de las demás instrucciones, mediante tomas de decisión. Aunque no son imprescindibles en un PLC, su existencia facilita la programación.

Admiten múltiples variantes alternativas, de las que el diseñador

del PLC elige las que le parecen más interesantes.

Se supone que el PLC que se esté estudiando posee las siguientes instrucciones de control asociadas entre sí:

JMP-JME: Hacen que las instrucciones del programa situadas entre ellas se ejecuten o no en función del resultado de la operación lógica inmediatamente anterior a JMP. Si el resultado de dicha operación lógica es 1, las citadas instrucciones se ejecutan normalmente y, por lo tanto, se actualizan las salidas (externas o internas) seleccionadas entre las instrucciones JMP y JME. Si el resultado de la operación lógica es 0, la porción de programa comprendido entre JMP y JME no se ejecuta y, por lo tanto, no se modifica el estado de ninguna de las salidas (externas o internas) seleccionadas entre JMP y JME.

IL-ILC: Este par de instrucciones hacen que todas las salidas (externas o internas) seleccionadas entre ellas se actualicen normalmente o sean puestas a cero, dependiendo de que el resultado de la operación lógica inmediatamente anterior a IL sea uno o cero respectivamente.

ESQUEMA DE CONTACTOS

En este lenguaje, la tarea que debe realizar el PLC se representa gráficamente mediante un esquema de contactos. Este lenguaje de programación está especialmente indicado para:

- Facilitar el cambio de un sistema de control de una instalación realizada con relés por un PLC
- Hacer más fácil el diseño de sistemas de control con PLC's a los técnicos que están habituados a diseñar sistemas de control con relés

Para programar en este lenguaje se necesita una unidad de programación que posea una terminal con una pantalla semigráfica que permita visualizar el esquema de contactos.

En sucesivos apartados se estudia la representación de variables lógicas y de instrucciones en este lenguaje.

IDENTIFICACION DE VARIABLES

Las variables binarias se representan mediante contactos, a cada uno de los cuales se asigna una identificación igual a la de la lista de instrucciones.

El símbolo utilizado puede responder a diferentes normas tal como se indica en la figura xl.

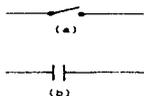


FIGURA xl Variable de entrada, salida externa o salida interna en un esquema de contactos normalizado a) Norma DIN 40713.6. b) Norma NEMA

Por ejemplo, la variable de entrada X3 se representa tal como se indica en la figura xlia en la norma DIN 40713-16 y tal como se indica en la figura xlib en la norma NEMA.

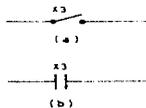


FIGURA xli Variable de entrada X3

Los contactos de las figuras xlia y xlib son normalmente abiertos y representan variables directas. Las variables inversas se representan mediante contactos normalmente cerrados tal como se indica en la figura xlii para la variable de salida interna o de estado interno $\overline{IR2}$.

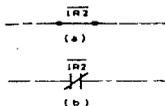


FIGURA xlii Variable de estado interno IR2

La función de salida externa o interna generada mediante una combinación de variables de entrada (X), salida interna (IR) o salida externa Y , se representa en ambas normas mediante el símbolo de la figura xliii.

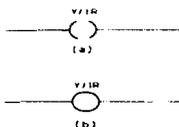


FIGURA xliii Símbolo de función de salida interna o externa

SECUENCIAS LÓGICAS

Las distintas funciones lógicas se pueden representar en este lenguaje. A continuación se analiza cada una de ellas, representando el esquema de contactos y la secuencia de instrucciones, para que se observe la equivalencia entre ambas. FUNCION O INSTRUCCION DE UNA VARIABLE DE ENTRADA DIRECTA

Esta función se representa mediante un contacto normalmente abierto que, en general, activa una variable de salida, tal como se indica en la figura xliiv.

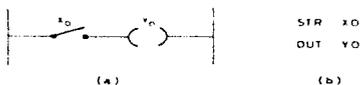


FIGURA xliiv Funcion de seleccion de un contacto normalmente abierto (STR XO): a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones

**FUNCION O INSTRUCCION DE SELECCION DE UNA VARIABLE DE ENTRADA IN -
VERTIDA**

Esta función se representa mediante un contacto normalmente cerrado que, en general, activa una variable de salida tal como se indica en la figura xlv.

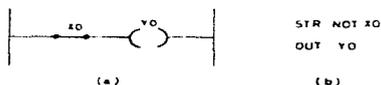


FIGURA xlv Función de selección de un contacto normalmente cerrado (STR NOT): a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones.

FUNCION O INSTRUCCION "O" LOGICA

Esta función se representa mediante un montaje en paralelo de contactos que pueden ser normalmente abiertos (figura xlvi), normalmente cerrados o combinaciones de ambos.

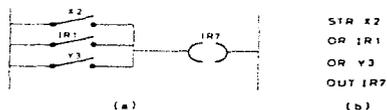


FIGURA xlvi Función O lógica: a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones.

FUNCION O INSTRUCCION "Y" LOGICA

Esta función se representa mediante un montaje en serie de contactos que pueden ser normalmente abiertos, normalmente cerrados (figura xlvii) o combinaciones de ambos.



FIGURA ~~xlvi~~ *Función Y lógica: a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones.*

FUNCION O INSTRUCCION "O" LOGICA DE FUNCIONES "Y"

Esta función se representa mediante la combinación en paralelo de contactos conectados en serie tal como se indica en la figura ~~xlvi~~ *xlvi*.

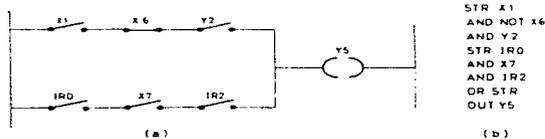


FIGURA ~~xlvi~~ *Función O lógica de funciones Y: a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones.*

FUNCION "Y" LOGICA DE FUNCIONES "O"

Esta función se representa mediante la conexión en serie de contactos conectados en paralelo, tal como se indica en la figura ~~xlvi~~ *xlvi*.

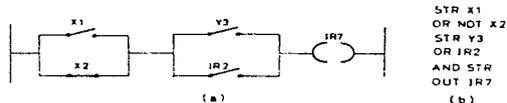


FIGURA ~~xlvi~~ *Función Y lógica de funciones O: a) Esquema de contactos; b) Lista de instrucciones.*

FUNCION DE TEMPORIZACION (TMR)

Se representa mediante un bloque funcional como el indicado en la

figura 1; X1 es la variable que se temporiza, X0 realiza la inicialización (puesta a cero) del temporizador e Y0 es la variable temporizada.

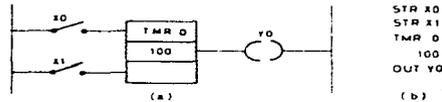


FIGURA 1 Funcion de temporizacion

FUNCION DE CONTAJE (CTR)

Presenta dos variantes, correspondientes a un contador ascendente y un contador reversible, a cada una de las cuales se asigna un bloque funcional.

En la figura 1i se representa un contador ascendente en el que X1 constituye la entrada de contaje y X0 la entrada de inicialización (puesta a cero).

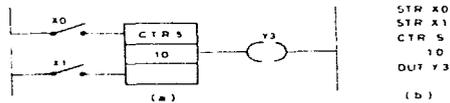


FIGURA 1i Funcion de conate ascendente.

En la figura 1ii se representa un contador reversible en el que X2 constituye la entrada de impulsos, X0 la de inicialización y X1 la de selección del sentido de contaje (el nivel cero selecciona el contaje ascendente y el uno el descendente).

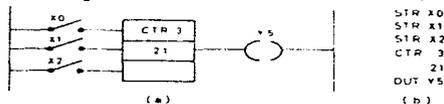


FIGURA 1ii Funcion de conate reversible.

DIAGRAMA DE FUNCIONES

Constituye un lenguaje simbólico en el que las distintas combinaciones entre variables se representan mediante símbolos lógicos normalizados.

Este lenguaje de programación está especialmente indicado para los usuarios familiarizados con la electrónica digital y al igual que el esquema de contactos, necesita una unidad de programación dotada de pantalla para visualización del diagrama.

En sucesivos apartados se estudia la representación de variables y de instrucciones en este lenguaje.

IDENTIFICACION DE VARIABLES

Se utiliza la misma nomenclatura que en el caso de lista de instrucciones ya citado.

OPERACIONES LOGICAS

FUNCION DE SELECCION DE UNA VARIABLE DE ENTRADA DIRECTA

Esta función se representa mediante el símbolo normalizado de la figura 1111a, que corresponde a la secuencia de instrucciones de la figura 1111b.

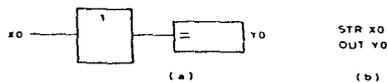


FIGURA 1111 Funcion de selección de una variable de entrada directa

FUNCION DE SELECCION DE UNA VARIABLE DE ENTRADA INVERTIDA

Esta función se representa mediante el símbolo normalizado de la figura 1111a, que coincide con el de la figura 1111a a la que se ha añadido el símbolo de la inversión.

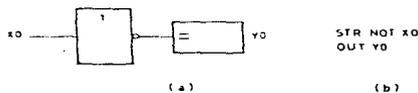


FIGURA 1111 Funcion de selección de una variable de entrada invertida

FUNCIÓN "O" LÓGICA

Esta función se puede realizar tanto con variables directas (figura lv) como invertidas o combinación de ambas.

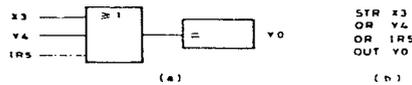


FIGURA lv Función O lógica.

FUNCIÓN "Y" LÓGICA

Esta función se puede realizar tanto con variables directas como invertidas o combinación de ambas (figura lvi).

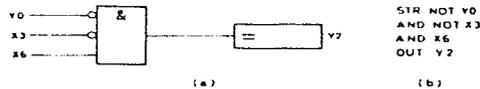


FIGURA lvi Función Y lógica.

FUNCIÓN "O" LÓGICA DE FUNCIONES "Y"

Esta función se representa mediante la combinación de símbolos de puertas "Y" y "O" indicadas en la figura lvii.

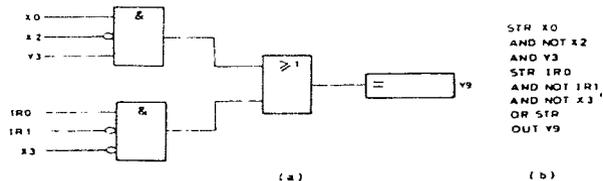


FIGURA lvii Función O lógica de funciones Y.

FUNCION "Y" LOGICA DE FUNCIONES "O"

Esta función se representa mediante la combinación de símbolos de puertas "O" e "Y" indicados en la figura lviii.

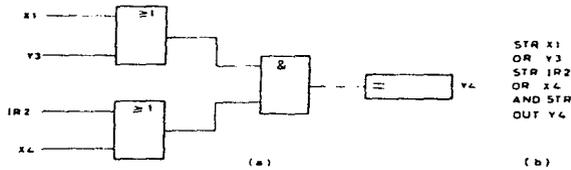


FIGURA lviii Funcion Y logica de funciones O.

FUNCION DE TEMPORIZACION

Se representa mediante un bloque funcional (figura lix) al que se conectan las variables de entrada X1, que es la que se temporiza, y X0 que realiza la inicialización (puesta a cero del temporizador) y la variable de salida Y0; la forma de operación es idéntica a la descrita en el caso homónimo de lista de instrucciones.

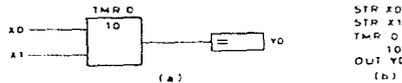


FIGURA lix Función temporización.

FUNCION DE CONTAJE

Se representa también mediante un bloque funcional al que se conectan las variables de entrada y de salida. Tal como se indicó en los dos lenguajes ya vistos anteriormente, presenta dos variantes

que se indican en las figuras lx y lxi; la forma de operación ya se describió para el caso homónimo de lista de instrucciones.



FIGURA 1x Función de conteo ascendente.

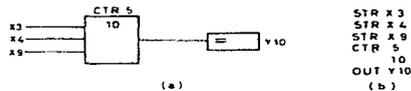


FIGURA 2xi Función de conteo reversible.

REDES DE PETRI

Las Redes de Petri (PNs) son formalismos bien conocidos, que se ajustan razonablemente bien a las características necesarias para la especificación de sistemas concurrentes. De hecho, bajo el nombre de Redes de Petri, una familia de formalismos compatibles permite describir sistemas a diferentes niveles de abstracción. La manera de identificar las PNs es con el clásico forma - lismo lugar/transición.

Las Redes de Petri de Alto Nivel (HLPNs) son modelos de red en los cuales la gráfica y el estado tienen inscripciones y atributos, respectivamente. Las HLPNs permiten modelos más compactos usando formalismos más sofisticados.

Para diseñar un modelo PN, se asigna un significado o sentido al comportamiento del sistema para cierto tipo de aplicaciones. Provistas de un diseño adecuado, las PNs pueden modelar automa - tismos lógicos concurrentes, el control de flujo de un software concurrente, protocolos de comunicación, etc.

Los Grafocets - a verse posteriormente - son gráficas deriva -

das de las PNs, que comparten muchas de sus características ya señaladas, pero algunas ambigüedades en su comportamiento, hacen difícil (casi imposible), el verificar algunas propiedades. El grafo es especialmente usado para el modelado y la implementación de automatismos lógicos concurrentes.

El objetivo de lo tratado a continuación no es introducir formalmente a las Redes de Petri, sino aclarar alguna terminología básica.

Una PN es un formalismo matemático que permite la especificación de un sistema discreto de eventos concurrentes, usando una parte estática (la estructura) a la cual le es añadida una propiedad dinámica (la marcación). La estructura de una PN puede ser representada como una gráfica bipartida valuada y orientada. Los nodos son lugares (representados como círculos) y transiciones (representadas como barras o cuadros). Los arcos van de lugares a transiciones y viceversa, y pueden ser o estar enteramente valuados. Un lugar p es una entrada (resp. salida) de un lugar de transición t , si existe un arco que va de p a t (resp. t a p). Si los valores de arco son sólo 0 (p.ej. no hay arco) ó 1 (p.ej. el arco está presente), se dice que el modelo de red es ordinario. La marcación de un modelo de red es una función que asigna a un número no negativo de entidades simples llamadas marcas o fichas (tokens) a cada lugar. La marcación de un modelo de red es una representación distribuida (a través de los lugares) del estado total. La Figura lxii representa una PN.

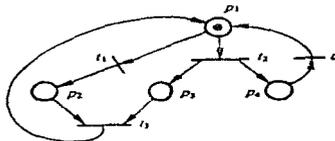


Fig. lxii Marca de una Red de Petri (PN)

La dinámica de los modelos de red es definida a través de una regla de disparo, informalmente llamada "juego de fichas", dado que las estructuras de red pueden ser vistas como un tipo especial de "juego de damas" y la regla de disparo como la "regla de juego". Se dice que una transición va a ser habilitada si todos sus lugares de entrada tienen al menos tantas marcas o fichas como el valor asignado al arco que los une. El disparo de una transición quita de (añade a) cada lugar de entrada (salida) un número de marcas o fichas igual al peso del arco que une el lugar (la transición) a la transición (al lugar).

Un simple diseño de un modelo de automatismos lógicos concurrentes asocia salidas a los lugares (una salida es emitida si el lugar es marcado; p.ej. tiene al menos una marca o ficha) y entradas (eventos externos) a las transiciones. El modelo de red diseñado se desarrolla de acuerdo al juego de disparo de la red y al estado del medio ambiente: Una transición debe ser habilitada y el evento asociado verdadero para hacer que sea disparada. La dependencia del modelo de red diseñado al estado del medio ambiente, permite hablar acerca de un comportamiento no autónomo.

A continuación se hablará acerca del grafcet con más detalle, pero antes hagamos ciertas consideraciones en lo que respecta a la relación entre ambos lenguajes de programación y su innegable semejanza.

Estructuralmente hablando, el Grafcet (Graphe de commande étape-transición), es análogo a la PN: simplemente sustituye "etapas" por lugares. El Grafcet es una gráfica lógica en la cual las "etapas" trabajan como "flip-flops" (en las PNs los lugares trabajan como contadores). Así, esto es lo que sucede:

- i) Las "Etapas" son por definición ON-OFF: activas o inactivas. El disparo de la transición de entrada de una "etapa" activa es posible pero no cambia su estado.
- ii) Si existe un conflicto efectivo, ambas transiciones pueden ser simultáneamente disparadas.

Claramente, aunque no se va a mostrar o demostrar aquí, los he

chos i) y ii) destruyen ciertas leyes de conservación de marcas o fichas y ciertas técnicas de prueba comunes a las PN, las cuales no tienen sentido para Grafsets. Adicionalmente, el Grafset autoriza la asignación de marcas, dependiendo de las funciones al disparo de las transiciones. Por lo cual, una información importante fluye de la estructura a la interpretación, haciendo la validación más difícil.

No obstante, aun si el Grafset puede presentar algunos problemas para el análisis formal de modelos, es fácil de usar en la mayoría de las aplicaciones de automatismos lógicos simples. Su importante difusión (existe una norma internacional CEI que lo concierne) es una "prueba" de su demanda.

GRAF CET

Introduzcámonos un poco más en este lenguaje de programación, haciendo énfasis en su simbología y manera de programar.

La mejor manera de especificar un sistema de control secuencial es utilizando un diagrama de flujo o grafo de evolución. Al mismo tiempo se puede convertir de forma sistemática el diagrama de flujo o grafo de evolución en un programa de PLC en lenguaje máquina, lista de instrucciones, esquema de contactos, diagrama de funciones, redes de Petri o lenguaje de alto nivel.

Todo lo expuesto impulsó el interés por la normalización de la representación gráfica del comportamiento de los sistemas secuenciales de control, de tal manera que un técnico que conozca profundamente el proceso a controlar pueda diseñar sus propios programas de control, sin necesidad de tener conocimientos sobre PLC's y su forma de operación.

La utilización de un método gráfico normalizado de especificación del comportamiento de un sistema de control secuencial, ha promovido el diseño por parte de los fabricantes de programas traductores que obtienen, a partir de aquél, la secuencia de instrucciones que hay que colocar en la memoria del PLC.

DEFINICIONES Y SÍMBOLOS FUNDAMENTALES DEL GRAF CET

El GRAF CET fue desarrollado por una comisión para la normalización de la especificación de los automatismos lógicos creada por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (APCET).

Se basa también en conceptos de etapa y receptividad creados por P. Girard que se han utilizado para la especificación de los automatismos lógicos mediante niveles, y los conceptos de estado y capacidad de transición utilizados en la caracterización por flancos.

A continuación se describen los símbolos normalizados y su combinación para representar el diagrama de flujo de un PLC.

El estado interno representado por un círculo (figura Ixiii) se convierte en un cuadrado con un número correspondiente al es-

tado (figura lxiii b).



FIGURA lxiii Representación gráfica de un estado interno.

En el caso de que se trate del estado inicial se representa mediante un doble cuadrado (figura lxiv) al que se suele asignar el dígito 0.



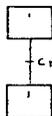
FIGURA lxiv Representación gráfica del estado inicial

A cada estado se asignan las acciones que debe realizar el sistema cuando se encuentra en él, mediante un rectángulo en cuyo interior se especifican aquéllas (figura lxv).



FIGURA lxv Representación gráfica de las acciones que se deben realizar en un estado interno.

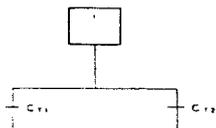
Las transiciones entre estados se representan mediante el enlace de los mismos por un segmento atravesado por una barra a cuyo lado se indica la expresión de la capacidad de transición C_T , que debe valer uno para que se produzca el paso de un estado a otro (figura lxvi).

FIGURA *lxvi* Transición entre estados internos.

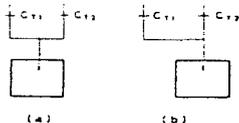
Normalmente los estados se colocan verticalmente y cuando la transición se realiza de arriba abajo no se coloca ninguna flecha (figura *lxvi*).

Por el contrario, si se coloca en el caso de que la transición se realice de abajo arriba.

Además, si de un estado se puede ir a otro entre varios según la C_T que pasa a uno, se utiliza la representación de la figura *lxvii*.

FIGURA *lxvii* Representación de la transición de un estado a otros dos.

Y en el caso de que a un estado se pueda llegar desde varios estados (unos en cada instante) se utiliza una de las representaciones de la figura *lxviii*.

FIGURA *lxviii* Representación de la transición de dos estados a otro.

ALTO NIVEL

Estos lenguajes varían en extensión y diversidad de un controlador a otro, así como sus opciones y facilidades para desarrollo. En este último rubro se cuenta desde los programadores portátiles de mano hasta las sofisticadas interfases a través de computadoras personales, mediante el uso de compiladores cruzados (cross-compilers) en los que el desarrollo y la programación de aplicaciones se lleva a cabo en lenguajes algorítmicos de alto nivel, como BASIC, C, C++, PASCAL, etc.

CONCLUSIONES

Los controladores programables son un tipo de computadora de control en tiempo real de propósito especial que, aun si inicialmente fueron pensados para reemplazar a los relés, la continua adición de "nuevas funcionalidades" hace que se aproximen a las funcionalidades de las computadoras de propósito general, con la ventaja de que son sencillos de usar en los sistemas. Otra característica o tendencia mayor es la "descentralización", en base a la creación de módulos E/S inteligentes controlados a distancia y el suministro de mecanismos de intercomunicación sofisticados para incluirlos en redes de área local (LAN). El incremento de la "confiabilidad del sistema" es también una característica o tendencia importante, dado que cada vez más y más sistemas complejos están bajo el control de PLC's. Esto conlleva en sí mismo el incremento de mecanismos de "autodiagnosia" y "tolerancia contra falla". Por encima de esto, los usuarios por medio de técnicas convencionales de programación pueden incrementar a su vez la confiabilidad del software. Pero la confiabilidad del sistema necesita también de "invalidación de fallas". A fin de producir e implementar diseños de sistemas de control libres de fallas, los modelados gráficos formales son necesarios. Desde esta perspectiva, las Redes de Petri y sus derivados los Grafcets, juegan un papel importantísimo, siendo las primeras de uso primordial para aplicaciones complejas de producción.

EQUIPO CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE CON REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA

Este equipo forma parte del acervo del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de nuestra facultad y es uno de los equipos, que, como ya se mencionó en un principio, es necesario "echar a andar" para incorporarlo a la brevedad en algún o alguno de los programas de los diferentes laboratorios que ahí se imparten.

Así pues, introduzcámonos en él, mencionando cómo está conformado en términos generales, para dar paso al estudio un poco más profundo de cada una de sus componentes principales, como son: el regulador (drive) electrónico de velocidad y los PLC's. (Ver figura lxix, a y b).

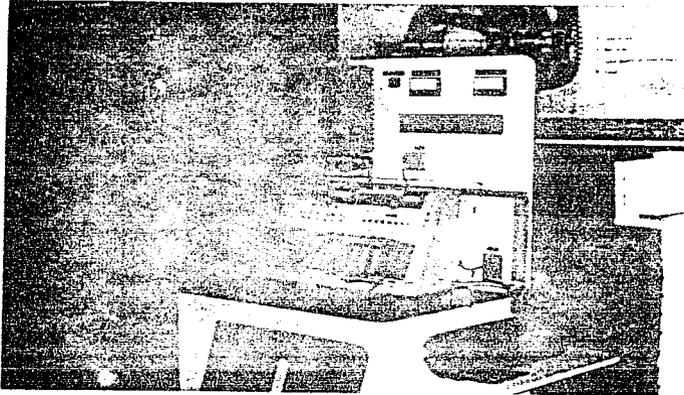
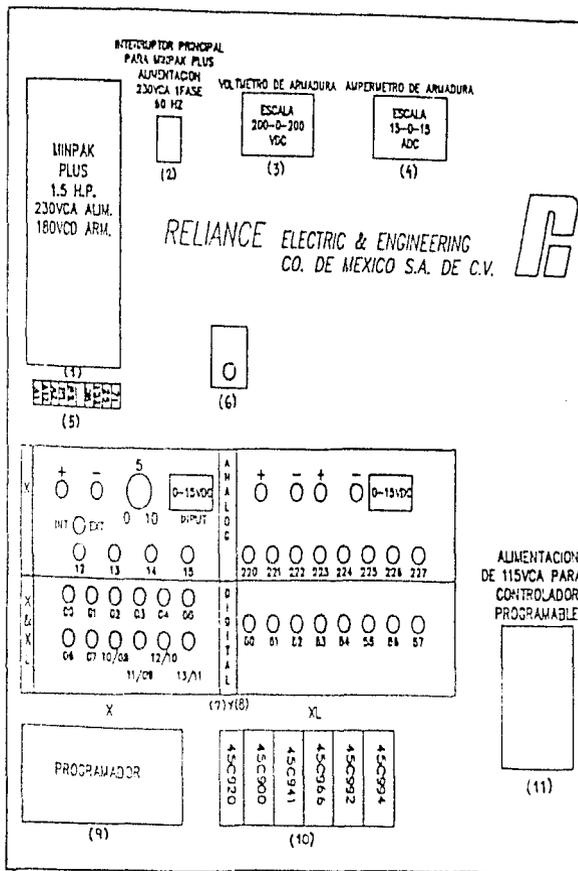
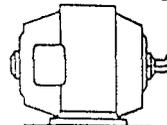


fig. lxix

EQUIPO CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE
 CON REGULADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD
 PARA MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.



MOTOR DE C. D.
 1.5 H.P.
 1725 RPM
 7.2 ACD
 CAMPO IMAN PERMANENTE



ESTE MOTOR ES
 CONTROLADO POR
 EL REGULADOR
 MINPAK PLUS

Este equipo consta (como se puede apreciar en la figura anterior de:

- un regulador electrónico de velocidad (drive) para motor de C.D., de 1.5 H.P., 230 VCA de alimentación y 180 VCD de armadura (#1 en la figura)
- un interruptor principal para MinPak Plus (drive), de 230 VCA, 1 fase y 60 Hz (#2)
- un voltmetro de armadura con escala de 200-0-200 VCD (#3)
- un ampermetro de armadura con escala de 15-0-15 ACD (#4)
- una culca de conexiones (#5)
- una base (hembra) para relé de arranque (#6)
- un panel de control (analógico y digital) y monitoreo para PLC Shark XL (#7), que consta a su vez de:
 - bornes de entrada de fuente externa + y -
 - switch para control interno o externo
 - reóstato para control analógico de velocidad del motor de CD
 - voltmetro para monitoreo del voltaje de control de entrada de 0-15 VCD
 - switches para programación (o simulación de un proceso) de entradas de la 00 a la 15
 - focos piloto o leds para monitoreo de las salidas de los programas o procesos simulados vía los switches mencionados (220-227)
- un panel de control (digital) y monitoreo para PLC Shark X (#8), que consta a su vez de:
 - switches para programación (o simulación de un proceso) de entradas de la 00 a la 13 (en sistema octal)
 - focos piloto o leds para monitoreo de las salidas de los programas o procesos simulados vía los switches mencionados (50-57)
- un controlador lógico programable (PLC) Shark X integral (de una sola pieza) (M/N 45C904) (#9), que se alimenta con 115 VCA y tiene 12 entradas y 8 salidas tipo relé
- un controlador lógico programable (PLC) Shark XL modular (con -

formado en base a módulos, montados en un rack de 6 slots (M/N 45C913)) (#10)

NOTA IMPORTANTE: Dependiendo de la colocación de estos módulos es que tenemos configuradas las entradas y salidas (direcciones) ya especificadas anteriormente, por lo cual nunca se debe de cambiar el orden de estos slots (Shark XL). Shark X invariable.

que a su vez consta de:

- módulo de fuente de poder (45C920) - voltaje de línea seleccionable de 115 y 230 VCA
- módulo de CPU (45C900)
- módulo de entradas (45C941) - 16 puntos - 115 VCA de entrada
- módulo de salidas (45C966) - 8 puntos - salidas tipo relé
- módulo de entradas analógicas (voltaje) (45C992) - entradas analógicas de voltaje, 8 puntos - 0 - 10 V
- módulo de salidas analógicas (voltaje) (45C994) - salidas analógicas de voltaje, 2 puntos - 0 - 10 V
- Un tomacorriente para alimentación de línea de 115 VCA para los controladores programables (X y XL) (#11)
- un motor de CD de campo de imán permanente, de 1.5 H.P., 1725 RPM y 7.2 ACD, el cual será controlado por el regulador (drive) MinPak Plus y el PLC Shark XL. (#12)
- Además, el equipo consta de 4 elementos que no aparecen en el diagrama (ver figura lxx):

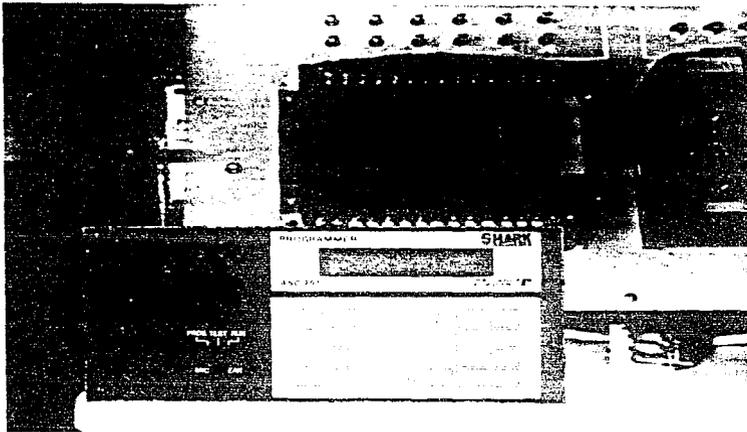


fig. 1xx

- programador universal para PLC Shark Series X y XL
- relé de arranque (conector macho)
- cable de conexión (extensión) para conectar los PLC a la línea (tomacorriente)
- switch de encendido de los PLC (a un lado, en el extremo izquierdo del PLC Shark X)

Habiendo descrito someramente sus componentes, mencionaremos también, de manera general, su funcionamiento.

El funcionamiento es muy simple (aunque de manera teórica no lo sea tanto):

- 1) El regulador electrónico de velocidad (drive) es energizado (con la alimentación adecuada de 220 VCA, monofásica y 60 Hz), vía su propio interruptor (en la carátula del drive) y vía el interruptor principal (a un lado); habiendo conectado en su lugar el relé de arranque
- 2) A su vez, los PLC (X y XL) son energizados, haciendo uso del cable de conexión al tomacorriente de 115 VCA, monofásica y 60 Hz, y accionando el switch de encendido de los PLC
- 3) El motor arrancará siempre y cuando se haya hecho lo anterior y:
 - se programe en uno de los PLC, preferentemente el XL, el programa adecuado para ello
 - se accionen los switches de entrada, convenidos en el programa
 - se le dé vuelta en sentido horario al potenciómetro de velocidad ubicado en el panel de control ya descrito
- 4) Mediante los indicadores (medidores) de voltaje de control (0-15 VCD) y los de armadura (voltaje y corriente) se podrá monitorear su accionamiento (motor)

También se pueden utilizar los PLC's para controlar, simular o visualizar otros tipos de procesos, mediante programas controladores parecidos, pero muy independientes del que se utiliza para el accionamiento del motor. Aún más, es posible reconfigurar y /o

realambrar las entradas y las salidas a él o los PLC's, de manera que con estos mismos se puedan controlar físicamente (ya no simular) uno o varios procesos. Esto, no obstante, lo debe hacer gente conocedora del sistema.

Posteriormente, se realizarán algunas prácticas que incluyen programas muy básicos de control y el programa en sí para el accionamiento del motor, por ahora, haremos un estudio no muy extenso del regulador de velocidad y de los PLC's.

NOTA: En ambos casos, se soslayarán secciones tales como: instalación, mantenimiento, etc. de los equipos, ya que ambos ya están instalados y para el caso es irrelevante, ya que lo primordial es saber de que constan y cómo funcionan. Si se desea meterse en estos aspectos, existen los manuales y se puede hacer uso de ellos. Finalmente, dado lo extenso de estos manuales, sólo se verán los referentes al regulador de velocidad MinPak Plus, al PLC Shark XL y al programador universal (para programar los PLC's). Dejando a un lado al PLC Shark X y al programador estándar. Consideramos que los primeros son más completos y conociéndolos bien no hay problema para hacer uso de los otros. Si así se desea, la información de estos últimos también está disponible. (Coordinación del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica).

INTRODUCCION GENERAL

El drive/controlador MinPak Plus C-D VAS[®] no es otra cosa más que un regulador electrónico de velocidad para motores de c-d, que puede ser usado en aplicaciones donde se requiera un drive de c-d monofásico, en capacidades bajo los siguientes rangos:

- De 1/4 a 3/4 hp con voltaje de entrada de 115 VCA, 50/60 Hz
- De 1/2 a 5 hp con voltaje de entrada de 230 VCA, 50/60 Hz⁺

Los motores de c-d Reliance (compañía manufacturadora) que pueden ser usados con el controlador, pueden ser ya sea, motores de imán permanente⁺ de hasta 1-1/2 hp o bien motores de campo devanado de hasta 5 hp.

El controlador provee circuitos de control y conversión de potencia que convierten el voltaje de línea de c-a en un voltaje ajustable de c-d para controlar efectivamente el motor del drive.

El controlador MinPak Plus es uno de los tres componentes básicos que conforman el paquete completo. Los otros dos son:

- la estación de control de operador y
- el motor de c-d de velocidad ajustable

Kits de modificación opcionales, expanden convenientemente la capacidad del controlador básico.

El controlador MinPak Plus es proveído, de manera estándar, en un encapsulado NEMA tipo 4/12, ya sea para pared o montaje en panel. A su vez, es completado por un chasis y una cubierta fija. (El tipo 4 puede ser generalmente definido como de diseño "wash-down" (separable y lavable). Una definición más específica es dada más adelante en el párrafo referente a "Definiciones NEMA".) El encapsulado puede ser fácilmente convertido a una configuración tipo solo-chasis para montaje en panel dentro de un encapsulado eléctrico mayor. La estación de control remoto opcional puede entonces ser colocada en la carátula del encapsulado mayor o a alguna distancia alejada.

Un interruptor automático unipolar de potencia ON/OFF (ENCENDIDO/APAGADO) es estándar con cada chasis y es independiente de

la cubierta y de la carátula.

El controlador MinPak Plus está en ambos casos, ya sea de la clase NEMA tipo 4/12⁺ de configuraciones de chasis, catalogado por los Laboratorios Aseguradores (Underwriters Laboratories (U.L.)) y aprobado por la Asociación Canadiense de Estándares (Canadian Standards Association (C.S.A.)).

Algunas aplicaciones típicas del controlador, incluyen: transportadores, equipo de manejo de material, líneas de procesamiento, corrugadoras y laminadoras, prensas para impresión, líneas de alambre y cable, y finalmente, aplicaciones para minería y molienda.

Las características del controlador son resumidas a continuación.

RESUMEN DE CARACTERISTICAS DEL MINPAK PLUS

CATEGORIA: FUNCIONES DEL CONTROLADOR

CARACTERISTICAS:

- ARRANQUE/PARO (START/STOP)
- MARCHA/AVANCE POCO A POCO (RUN/JOG)
- ROTACION NORMAL/ROTACION INVERTIDA (FORWARD/REVERSE)
- Selección de velocidad
- Selección de par (10-150%)
- Operación unidireccional con marcha por inercia hasta el descenso, en orden de paro estándar. (El frenado dinámico y la inversión están disponibles como opciones)
- Rango de velocidad controlada de 20:1, por medio del control del voltaje de armadura del motor del drive
- Realimentaciones de voltaje y corriente de armadura aisladas que desacoplan la potencia de armadura de los dispositivos de operar y proveen inmunidad adicional contra ruido
- Regulación de velocidad de 0.5% ó 1.0% con un cambio en la carga de 95%, para tacómetros especificados
- Opera y entrega velocidad de salida nominal con límites de tolerancia de regulación especificados, aun con variaciones en la línea de c-a de $\pm 10\%$ de la tasa de voltaje de entrada nominal
- Opera sin daño en las componentes, aun con caídas momentáneas en

la línea de c-a del 25% del voltaje de entrada nominal

CATEGORIA: REGULACION DE VELOCIDAD

CARACTERISTICAS:

- Puente reconectable para los circuitos de regulación que permitan regulación por armadura (A), por centador EMP (C) o por realimentación por tacómetro (T)
- Con regulación de voltaje, con una regulación de velocidad del 3-5% y con cambio en la carga del 95%
- Con regulación mediante centador EMP (CEMP), con una regulación de velocidad del 2-3% y con cambio en la carga del 95%
- Con tacómetros especificados, con una regulación de velocidad de 1% y un cambio en la carga del 95%. (Los tacómetros son: tacómetro de c-a RE-045; también 5PY o tacómetro de c-d RE-020)
- Con tacómetro especificado, con una regulación de velocidad de 0.5% y un cambio en la carga del 95%. (El tacómetro es: tacómetro BC42.)

CATEGORIA: AJUSTES DEL USUARIO

CARACTERISTICAS:

- Compensación de caída RI ajustable (0-12% de la carga nominal)
- Velocidad máxima ajustable (50-100% de la velocidad base del motor)
- Velocidad mínima ajustable (arriba del 50% de la velocidad base del motor)
- Límite de corriente ajustable (10-150% de la corriente a plena carga)
- Tasas de aceleración y desaceleración lineal ajustadas separadamente, ajustables (0.5-30seg.)

CATEGORIA: SEGURIDAD

CARACTERISTICAS:

- Circuitería de control que guarda contra el re arranque automático del equipo después del recobro de la potencia de entrada de c-a interrumpida
- Regulador y controles de operador aislados desde la línea de c-a para protección personal

- Realimentación aislada de voltaje y corriente de armadura para asegurar la separación de potencia y circuitos reguladores

CATEGORIA: HARDWARE

CARACTERISTICAS:

- Conexión a bornes de tornillo, convenientemente localizados, para la potencia de entrada de c-a y la potencia de salida de c-d, que permiten una fácil entrada de cables y conexiones
- Interruptor automático que provoca una apertura positiva del circuito de línea de c-a para proteger el cubo de potencia des de un corte circuite en la armadura
- Protección contra ondas momentáneas sobre la línea de c-a y transitorios de carga de c-d

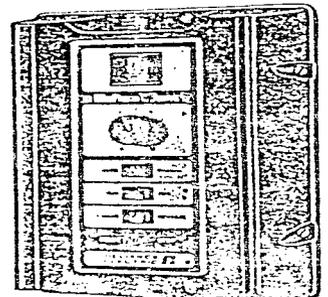
ESTACION DE CONTROL DE OPERADOR

Para una operación adecuada del controlador MinPak Plus, es necesario usar una estación de control de operador (refiérase a la figura 2.1)



Estación de control de operador remota

Estación de control de operador local



Placa de fabricante

Saliente para bloqueo de seguridad

Figura 2.1 - Estaciones de control de operador local y remota

Las estaciones de operador permiten el ajuste de las funciones de control a una aplicación en particular. Estas estaciones pueden incluir:

- Potenciómetro para control de VELOCIDAD
- Potenciómetro para control de PAR
- Switch selector AUTOMATICO/MANUAL
- Switch selector MARCHA/AVANCE POCO A POCO
- Switch selector ROTACION NORMAL/ROTACION INVERTIDA
- Switch selector ARRANQUE/PARO

Existen dos configuraciones básicas que pueden ser seleccionadas:

- Estación montada sobre la cubierta del chasis del controlador
- Estación montada remotamente como una unidad separada

ESTACION LOCAL

Cuando la estación es montada localmente sobre la cubierta, los usuarios pueden seleccionar una de 8 carátulas estándar (del Modelo No. 14C201 al Modelo No. 14C208) para configurar su controlador a una aplicación de drive específica.

NOTA: En nuestro caso, el equipo que tenemos tiene una carátula de control de operador local muy especial ya que no cae dentro de las 8 mencionadas, ya que ésta posee un switch de ARRANQUE/PARO en la carátula de control de operador local y un potenciómetro de ajuste de VELOCIDAD, el cual se encuentra en un panel especial que contiene a todo el sistema (incluye al controlador MinPak Plus). Véase figura 1xixb. Para corroborar esto o para ver cualquier información adicional referente, refiérase a la tabla 6.B del manual.

La tabla 6.B del manual es un listado inclusive de los tipos de carátula, número de modelos y funciones, de los controles de operador locales. Asumiendo que la cubierta está propiamente instalada, el diseño de la carátula mantiene la clasificación NEMA tipo 4/12.

ESTACIONES REMOTAS

Algunas aplicaciones pueden requerir que la estación de con-

trol de operador esté localizada remotamente. De manera breve, los siguientes tres pasos describen lo que debe hacerse en este caso:

- Seleccione la carátula lisa (austera) de la cubierta de la estación de operador remota (Modelo 14C200)
- Ordene un kit adaptador de operador remoto, Modelo 14C220. (Esta unidad provee un punto de conexión para la estación remota.)
- Especifique una estación de control de operador remota. Conéctela al controlador.

Reliance ofrece una variedad de estaciones de operador remotas que son compatibles con el controlador MinPak Plus. (Si se desea mayor información al respecto, refiérase a la tabla 2.B del manual).

MOTORES DEL ACCIONAMIENTO (DRIVE) DE C-D

La tercer componente del sistema de accionamiento MinPak Plus de C-D VAS[®] es el motor de c-d. Reliance ofrece un sistema de accionamiento de potencia equilibrada completo para el controlador y la aplicación. Así, la variedad de motores Reliance asegura un óptimo funcionamiento y la responsabilidad sin par de una sola fuente.

KITS DE MODIFICACION

La capacidad básica del controlador puede ser fácil y convenientemente extendida con el uso de una variedad de kits de modificación opcionales. (Refiérase a la figura 2.2)

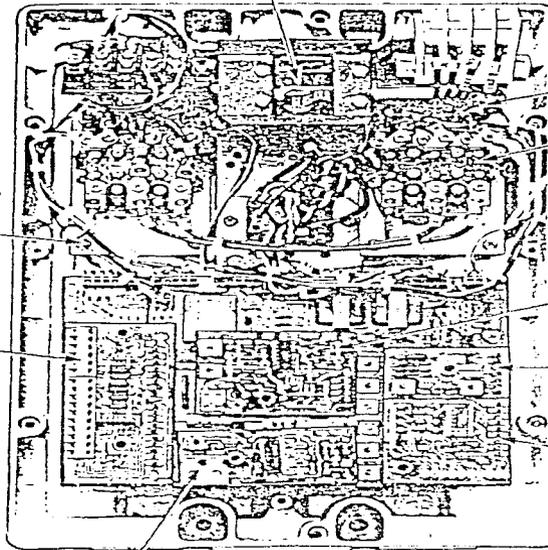
Interruptor automático de doble polo
(Modelo 14C210 - 14C213)

Módulo de montaje auxiliar con fuente de campo
(Modelo 14C228),
Contacto auxiliar M
(Modelo 14C219),

y/o
Inversión automática
(Modelo 14C226)
se monta aquí

Módulo adaptador
de operador remoto
(Modelo 14C220)

y/o
Módulo receptor
de referencia de
maestro (Modelo 14C229)



Frenado dinámico
(Modelo 14C214 - 14C216)

Contactor inversor
(Modelo 14C217 - 14C218)

Seguidor voltaje /
tacómetro (Modelo 14C223)

Interfase para instrumento/
velocidad preajustada
(Modelo 14C222)

Módulo receptor de
referencia de maestro
(Modelo 14C229)

Módulo seguidor danzador
(Modelo 14C230)

Modificador de par
(Modelo 14C224)

Adaptador de medidor de par
(Modelo 14C225)

Realimentación por tacómetro
(Modelo 14C221)

Figura 2.2 - Chasis del controlador con kits de modificación

Estos kits de modificación son:

- Receptor de referencia de un maestro aislado
- Seguidor danzador
- Interruptor automático de doble polo
- Frenado dinámico
- Contactador inversor
- Inversión automática
- Realimentación por tacómetro
- Seguidor voltaje/tacómetro
- Ménsula de montaje auxiliar
- Interfase para instrumento/velocidad preajustada
- Puente de campo (Estándar en controladores de 2, 3 y 5 hp)
- Modificador de par
- Contacto auxiliar M
- Adaptador de medidor de prueba

Descripciones senceras de cada kit son dadas más adelante. Para mayores detalles, referirse a la sección 6 del manual y a la tabla 6.A del mismo.

ESPECIFICACIONES

Las más importantes especificaciones para el controlador Min - Pak Plus son listadas a continuación.

Voltaje de línea de C-A de entrada: 115/230 VCA (nominal)
sólo monofásico

Variación del voltaje de línea: $\pm 10\%$ del nominal

Frecuencia de la línea de C-A: Monofásica, 50/60 Hz
(Puente seleccionable)¹

Rango de la frecuencia de línea: 48-62 Hz

Voltajes de salida (armadura y campo): Ver tabla 2.D (manual)

Rango de potencia (hp) del drive/controlador: 1/4-3/4 hp
(con entrada de
115 VCA)
1/2-5 hp
(con entrada de
230 VCA)

Control de dirección - Estándar: Unidireccional

Opcional: Rotación normal/Rotación invertida

Ajuste de velocidad máxima: 50-100% de la velocidad base del motor
(ajustable por el usuario)

Ajuste de velocidad mínima: Arriba del 50% de la velocidad base del motor

(ajustable por el usuario)

Ajuste de velocidad del operador: Infinitamente ajustable con rango de 20:1

Ajuste de par del operador: Infinitamente ajustable con un potenciómetro de control opcional
(10-150% de la carga nominal)

Compensación de caída RI: 0-12% de la carga nominal
(ajustable por el usuario)

Range de velocidad controlable: 20:1

Límite de corriente: Ajustado de fábrica: 150% a plena carga
Ajustable por el usuario: 10-150% a plena carga

Regulación (con cambio en la carga del 95%): 3-5% con realimentación de voltaje
2-3% con realimentación por CEMF
1.0% con realimentación con tacómetro especificado
0.5% con realimentación con tacómetro especificado

Carga mínima para operación estable: 5%

Tasas de aceleración/desaceleración: lineal de 0.5-30 seg. de tiempo
(ajustada por el usuario separadamente)

Capacidad de sobrecarga del circuito de armadura: 150% de la corriente

rriente de arma-
dura de placa du
rante 1 minuto
(máx.)

Eficiencia (velocidad nominal/carga nominal): Del controlador solo:
97%

Del drive completo,
incluyendo el motor:
85% (típica)²

Desplazamiento del factor de potencia: 68% (típica)²

Capacidad de interrupción del interruptor automático: 1000 amps a 1
hp
5000 amps de
1-1/2 - 5 hp

Protección contra transitorios: MOV y circuito RC de salida

Factor de servicio del controlador: 1.0

Trabajo: Continuo

Temperatura ambiente de almacenamiento: 0°-55°C (32°-131°F)

Temperatura ambiente operacional: Chasis: 0°-55°C (32°-131°F)

Gabinete: 0°-40°C (32°-104°F)

Humedad relativa (de almacenamiento y operacional): 5-95% (sin con-
densación)

Altitud operacional: A 3300 pies (1000m) arriba del nivel del mar,
sin reducimiento de la capacidad normal

Clasificación del encapsulado del controlador: NEMA tipo 4 y 12³
(resistente al agua,
como los definidos)

Peso del controlador (aprox.): 3/4, 1-1/2, 3 hp = 12.6 lb (5.72 kg)
5 hp = 13.2 lb (6 kg)

Peso de la caja de embarque: 3/4, 1-1/2, 3 hp = 14.6 lb (6.6 kg)
5 hp = 15.2 lb (7 kg)

(Las cifras incluyen todos los kits
opcionales)

Dimensiones del controlador (LWD): 14-15/16x9-7/8x7-3/8 pulg
(370x247x184 mm)

NOTAS: 1 - Ver párrafo 3.9 (manual)

2 - Porcentaje típico mostrado. La cifra exacta depende de la velocidad base del motor y del tamaño de la carcasa

3 - Se asumen procedimientos de instalación apropiados
Refirámonos ahora a una tabla del manual (2.D) en donde son indicadas ciertas especificaciones en relación a los motores de c-d, dependiendo de su potencia (hp) específica.

Tabla 2.D
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR C-D / CONTROLADOR / TRANSFORMADOR

CONTROLADOR NUMERO DE MODELO		HP	VCA	C-A AMPS (RMS)	C-D ARM. (VOLTS)	C-D ARM. AMPS (prom.)	OPCIONAL		CAPACIDAD DE FUENTE DE PODER E ²	TRANSFORMADOR	
ENCAPSULADO	CHASIS						C-D CAMPO VOLTS	AMP. MAX. (opcional)		MAXIMUM kVA Por Fase	CARGA PLENA kVA
14C10	14C20	1/4	115	3.5	90	2.5	100	3.0	1000	40	0.75
		1/3	115	5.2	90	3.7	100	3.0	1000	40	0.75
		1/2	115	7.0	90	5.0	100	3.0	1000	40	1.0
		3/4	115	10.5	90	7.5	100	3.0	1000	40	1.5
14C11	14C21	1/2	230	3.5	180	2.5	200	3.0	1000	40	1.0
		3/4	230	5.2	180	3.7	200	3.0	1000	40	1.5
		1	230	7.0	180	5.0	200	3.0	1000	40	2.0
		1 1/2	230	10.5	180	7.5	200	3.0	5000	40	3.0
14C12	14C22	2	230	14.0	180	10.0	200	3.0 <input checked="" type="checkbox"/>	5000	40	5.0
		3	230	21.0	180	15.0	200	3.0 <input checked="" type="checkbox"/>	5000	40	5.0
14C13	14C23	5	230	35.0	180	25.0	200	3.0 <input checked="" type="checkbox"/>	5000	40	10.0

Estándar.
 Corriente de falla RMS simétrica máxima permisible disponible.
 No incluye corriente requerida para fuente de campo (si es usada).

FRECUENCIA DE LA LINEA

El controlador MinPak Plus es capaz de operar sin modificación alguna desde una fuente de potencia monofásica que tenga un rango de frecuencia de 48 a 62 Hz. Sin embargo, para una operación óptima a 50 Hz, es recomendable que 2 resistores sean quitados del módulo regulador. (Detalles completos son dados en el párrafo 3.9 del manual.) Si los resistores no son removidos, habrá una ligera variación en el funcionamiento.

TOLERANCIA DE VOLTAJE

El controlador MinPak Plus entrega una corriente y un voltaje de salida, como los listados en la Tabla 2.D. El controlador también es capaz de operar dentro de estas especificaciones de regulación aun cuando el voltaje de línea de entrada esté en un $\pm 10\%$ del nominal. Además, el controlador podrá operar sin daño alguno en sus componentes durante caídas momentáneas del voltaje de entrada aun cuando bajen del 25 % nominal.

REQUERIMIENTOS DE IMPEDANCIA DE LÍNEA

El controlador estándar MinPak Plus contiene un sistema de protección contra cortocircuito diseñado para operar sobre fuentes de poder de planta con corrientes de falla RMS simétricas máximas permisibles disponibles ya sea de 1000 ó 5000 amperes, dependiendo de la potencia indicada (hp). (Refiérase a la tabla 2.D.)

DEFINICIONES NEMA

El NEMA tipo 4 es generalmente definido como un encapsulado interior/exterior que es resistente al agua y al polvo. Está diseñado para proteger contra salpicaduras y agua directa dentro de las limitaciones específicas de prueba. El NEMA tipo 12 es generalmente definido como un encapsulado interior que es resistente al polvo y al aceite. Está diseñado para resistir pues, contra fibras flotantes, polvo, suciedad y salpicaduras ligeras de aceite.

TEORÍA DE OPERACIÓN DEL CONTROLADOR

GENERAL

Esta sección da una teoría generalizada de operación del controlador MinPak Plus. Cubre componentes internos y sus funciones. También explica la relación entre el motor del drive y el controlador.

MOTOR

Un motor de c-d de campo devanado Reliance Super RPMTM es compatible para su uso con el controlador MinPak Plus. (Un ejemplo típico es mostrado en la figura 5.1)

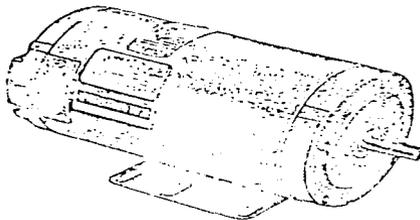


Figura 5.1 - Motor Super RPM™ (típico)

El Super RPM™ permite un servicio de velocidad ajustable como una máquina shunt verdadera. Da una capacidad de par de flecha constante desde un 50 % de la velocidad base a la velocidad base cuando es proveído con un arreglo de corriente de excitación de campo shunt y una fuente de voltaje ajustable de c-d - tal como el Min - Pak Plus - para potencia en la armadura. (El motor de c-d Super RPM™ de imán permanente no requiere de una excitación de campo por separado).

El arreglo de campo shunt provee un campo magnético de fuerza constante contra el cual el campo inducido en la armadura puede reaccionar. La velocidad de la armadura (y flecha) es entonces controlada mediante la variación del voltaje terminal a la armadura. La velocidad del motor es cercanamente proporcional al voltaje en las terminales de la armadura.

La corriente de armadura está presente por necesidad, para proveer el par del motor. Es aproximadamente proporcional al par de carga en la flecha del motor más una pequeña cantidad requerida para soportar las pérdidas del motor.

Con las necesidades de operación del motor, ya descritas, el controlador del motor, aquí el MinPak Plus, debe contemplar: una

fuentes de voltaje de armadura ajustable, un arreglo potencial de excitación de campo shunt (sólo para motores de campo devanado) y un regulador para controlar y ajustar el voltaje de armadura bajo requerimientos de velocidad y variación de par.

RECTIFICADOR DE ARMADURA

El rectificador de armadura, aquí, el cubo de potencia interno en el controlador ManPak Plus, es un puente convencional monofásico de onda completa y totalmente controlado. (Refiérase a la figura 5.2, donde es mostrada en forma esquemática).

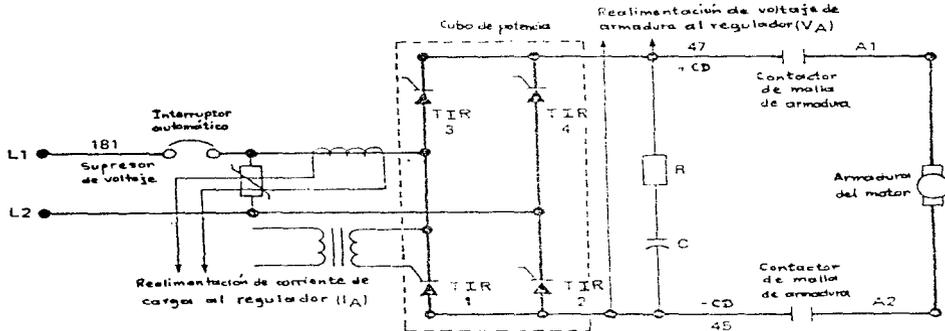


Figura 5.2 - Configuración puente de onda completa

Usando 4 tiristores, el cubo de potencia provee voltaje ajustable de c-d para el circuito de armadura del motor, mediante rectificación de fase controlada de una planta de potencia monofásica de c-a. Cada uno de los tiristores es "prendido" mediante el "pulsos" de su compuerta en un punto en el ciclo de potencia de entrada de c-a, cuando su potencial en el ánodo es positivo con respecto a su cátodo.

Bajo estas condiciones, la aplicación de un pulso de compuerta

de baja potencia, con duración aproximada de $350\mu s$, hará que el tirister conduzca tanto como su ánodo se mantenga positivo con res-
pecto a su cátodo. La polaridad inversa ánodo-cátodo se proveerá
mediante la naturaleza senoidal de la línea de entrada de la plan-
ta, conmutando o "apagando" el tiristero.

El tiempo relativo del pulso de compuerta con respecto a la
fuente de c-a de la planta, determinará el ángulo de conducción.
- este es, el tiempo de conducción relativo - del tirister y del
puente. Por consiguiente, el voltaje promedio de salida de c-d del
puente a la armadura del motor es controlado.

Disparar temprano las compuertas de tirister en el medio ciclo
positivo de la senoidal de entrada, permitirá que éste conduzca du-
rante un tiempo relativamente largo hasta que se apague - o se con-
mute a apagado (off) - por medio de la línea. Esto produce un vol-
taje promedio relativamente alto a la armadura del motor.

Disparar tarde las compuertas de tirister en el medio ciclo po-
sitivo, permitirá sólo, cortos periodos de conducción antes de la
conmutación. Esto produce bajos valores de voltaje promedio de sa-
lida de c-d a la armadura del motor.

Los módulos de potencia que van de 1/4 a 3 hp, usan un solo cu-
bo de potencia discreto que contiene 4 SCR's. Los módulos de poten-
cia de 5 hp, usan 2 cubos de potencia, cada uno conteniendo 2
SCR's. (Refiérase a la figura 5.3, donde un cubo de potencia típi-
co es mostrado).



Figura 5.3 - cubo de potencia

El diseño mecánico del cubo de potencia MinPak Plus provee excelentes características de transferencia de calor. Dado su diseño modular, la pequeña unidad es fácilmente reemplazable.

SECUENCIA DE DISPARO, FLUJO DE CORRIENTE

El puente rectificador de onda completa totalmente controlable es mostrado en la figura 5.2. Cuando L1 (181) es positivo con respecto a L2 (182), la corriente fluye a través del tiristor No. 3, y a través de la armadura del motor, y cuando las compuertas a los tiristores No. 3 y 2 son conmutadas a ENCENDIDO (ON), a través del tiristor No.2.

Recíprocamente, cuando L2 (182) es positivo con respecto a L1 (181), la corriente fluye a través del tiristor No. 4, y a través de la armadura del motor, y al tiristor No. 1 cuando las compuertas a los tiristores No. 4 y 1 son conmutadas a ENCENDIDO (ON).

Un único circuito Reliance previene que ambos conjuntos de tiristores - No. 3 y 2, y No. 4 y 1 - sean puestas en ENCENDIDO (ON) al mismo tiempo. Este previene contra el cortocircuito.

MALEFICIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia está protegido contra maleficionamiento. Las condiciones de sobrecarga pico, las cuales pueden ser causadas por un aterramiento mecánico de la flecha del motor son protegidas mediante una función limitadora de corriente y el interruptor automático de potencia ENCENDIDO/APAGADO (ON/OFF).

Sobrecargas por operación pico, tales como aquellas debidas a aceleración, carga shock, etc. son protegidas mediante un circuito limitador de corriente de actuación rápida en el regulador.

PROTECCION CONTRA TRANSITORIOS

Los tiristores del cubo de potencia interno del controlador son protegidos de ondas de voltaje de c-a de línea mediante un varistor de óxido de metal (MOV) supresor de ondas, conectado directamente a través de la línea de c-a. (Refiérase a la figura 5.2) El MOV está disponible como un módulo reemplazable en caso de que su absorción de energía sea excedida. Una red R-C está conectada a través de la salida de c-d del cubo de potencia. (Refiérase a la

figura 5.2). Esta red previene la "oscilación" en el circuito de armadura causado por varios motores y "enclavamientos" de voltaje de línea de c-d.

FUENTE DE CAMPO

El kit opcional fuente de campo está disponible para su uso con controladores MinPak Plus usados con motores que van de 1/4 a 5 hp. El kit es estándar en aplicaciones de controladores de 2 a 5 hp.

La fuente de campo es un rectificador de potencial constante, consistente de 4 diodos. Esta fuente provee de 50 a 100 VCD desde una fuente de poder de 115 VCA. También provee de 100 a 200 VCD desde una fuente de poder de 230 VCA.

La fuente de campo es protegida mediante el supresor de ondas MOV.

MODULO REGULADOR

El módulo regulador, una componente estándar de cada controlador MinPak Plus, es discutido con respecto a funciones y descripciones.

FUNCIONES

El módulo regulador provee una mayor y/o menor regulación de malla, el disparo de la compuerta del tiristor y la secuenciación. También provee funciones de protección para los módulos de potencia de 4 tiristores.

El módulo regulador provee las siguientes funciones básicas:

- Mayor regulación de malla de voltaje de armadura, e regulación de velocidad (tacómetro), e regulación mediante contador EMP
- Tiempo de referencia lineal para aceleración y desaceleración controlada
- Regulador de malla de menor corriente
- Circuitos de control de compuerta de tiristor
- Realimentación de voltaje de armadura aislada
- Rectificador y resistores a escala para entradas aisladas a transformadores de corriente, para proveer realimentación de corriente
- Arranque, paro, avance poco a poco (jog) secuencial

- Prendido y apagado secuencial

Además el módulo regulador permite el uso de una variedad de opciones que extienden la capacidad del controlador básico. (Refiérase al párrafo 6.0 del manual).

DESCRIPCION

El módulo regulador es una tarjeta de circuito impreso la cual ocupa aproximadamente la mitad del chasis del controlador MinPak Plus. Directamente detrás hay un transformador de aislamiento el cual aísla, a una potencia de c-a de bajo voltaje para las fuentes de poder del módulo regulador.

Todas las conexiones eléctricas al módulo regulador están hechas con conectores de alfiler (pins) de hoja lata plateada. Los arreglos de entrada/salida de estos pins están hechos para aislar físicamente los diferentes circuitos, por consiguiente minimizan el acoplamiento de ruido eléctrico.

Todas las señales de voltaje externo opcionales, las cuales pueden contener ruido eléctrico, son alimentadas a través de filtrado y circuitos de aislamiento prioritariamente para entrar al módulo regulador. Entoces una operación confiable es asegurada aun en un medio ambiente industrial contaminado con ruido.

Un circuito de alta escala de integración (LSI) es incorporado dentro del módulo regulador. Este reduce drásticamente el número de dispositivos activos, por consiguiente produce excelentes características de respuesta y un excepcionalmente alto factor de confiabilidad.

Físicamente el módulo tiene identificaciones y localizaciones impresas en pintura blanca altamente visible. Estas señas ayudan a los usuarios a identificar potenciómetros, resistencias, y áreas donde los kits opcionales son instalados.

El módulo y todos los kits opcionales tienen una cubierta especial para proteger a los circuitos impresos de elementos conductivos, tales como humedad y polvo.

KITS DE MODIFICACION DEL MINPAK PLUS

Un número de características opcionales - pero importantes - son proveídas en forma de kits de modificación del controlador MinPak Plus. Cada uno de estos kits extiende el control de la unidad y acondiciona su operación a necesidades de aplicación específicas. Estos kits son:

1) KIT DE REALIMENTACION POR TACOMETRO

Mediante la adición de este kit el MinPak Plus puede operar como una unidad de velocidad regulada, mejorando la regulación tanto como un 0.5 %

2) KIT CONTACTOR INVERSOR

Mediante este kit es posible una operación bidireccional. La dirección del motor es manualmente seleccionada.

3) KIT DE INVERSION AUTOMATICA

Mediante este kit se provee una capacidad de inversión automática. Este es, que es posible que el controlador entre en una secuencia de apagado, y entonces inmediatamente en una secuencia de encendido; provee un rápido y automático cambio de dirección.

4) MENSULA DE MONTAJE AUXILIAR

Tres kits requieren una superficie de montaje auxiliar, a saber:

- K. fuente de campo (izq.)
- K. de contacto auxiliar M (centro)
- K. inversor automático (der.)

5) KIT DE INTERFASE PARA INSTRUMENTO/VELOCIDAD PREAJUSTADA

Mediante este kit el MinPak Plus puede seguir automáticamente a una señal en miliamperes que provenga desde un instrumento de control de proceso. Alternativamente, el kit también permite controlar el funcionamiento continuo a una velocidad preseleccionada. Aplicaciones típicas incluyen casos en donde el controlador de velocidad del motor debe controlar y variar ésta en función de una o varias variables, tales como temperatura, flujo y presión.

6) KIT DE FRENADO DINAMICO

Mediante este kit se provee un rápido frenado, sin que ocurra un

shock en el motor controlado por el drive.

7) KIT SEGUIDOR VOLTAJE/TACOMETRO

Este kit permite al MinPak Plus ser controlado automáticamente en respuesta a una referencia de velocidad generada mediante un tacómetro conectada a una unidad (máquina) completamente separada. Aplicaciones ideales incluyen sistemas de control automático donde un segundo "drive" esclavo debe seguir de cerca y fielmente la velocidad de un drive maestro.

8) KIT MODIFICADOR DE PAR

La adición de este kit permite el ajuste fino de la curva y punto de rompimiento de la curva par-velocidad. Es útil en aplicaciones donde se requiere una relación par-velocidad recíproca para mantener una tensión constante en la construcción de un material.

9) KIT SEGUIDOR DANZADOR

Este kit permite que el MinPak Plus sea controlado automáticamente en respuesta a una referencia de velocidad generada mediante una señal de velocidad que es disparada mediante un potenciómetro danzador. Aplicaciones incluyen líneas de proceso de "tejido" donde el drive debe seguir muy cercanamente al proceso e mantener la posición de un danzador. En la posición MANUAL, el drive responde al ajuste mediante un potenciómetro SPEED (velocidad). En AUTO, sigue sólo las señales externas y no responde a comandos de cambio de velocidad accésados manualmente.

10) KIT INTERRUPTOR AUTOMATICO DE DOBLE POLO

Este kit permite una mayor protección (que el breaker de un solo polo) dado que ambos conductores a la entrada de potencia de c-a (L1-L2) se abren. Por consiguiente, toda la potencia es removida desde los circuitos de control.

11) KIT DE FUENTE DE CAMPO

Este kit provee excitación de campo para motores de c-d de devanado shunt.

12) KIT DE CONTACTO AUXILIAR M

Mediante este kit, un estado de encendido (ON) u apagado (OFF) del MinPak Plus es posible, mediante dispositivos externos suplidos por el usuario. P.ej. alarmas, etc.

13)KIT ADAPTADOR DE MEDIDOR DE PRUEBA

Mediante este kit es posible la medición y el monitoreo de diferentes voltajes en el regulador MinPak Plus. Esto es, que puede actuar como una interfase entre el regulador y un vóltaje suplido por el usuario.

14)KIT RECEPTOR DE REFERENCIA DE UN MAESTRO AISLADO

Mediante este kit es posible que el regulador reciba y decodifique una señal de referencia de velocidad en PWM desde el transmisor de referencia de un maestro aislado.

15)ESTACION DE CONTROL DE OPERADOR LOCAL Y/O REMOTO

Para estación local:

Estas estaciones pueden contemplar los siguientes dispositivos:

- Potenciómetro de control de velocidad
- Potenciómetro de control de par
- Switch selector AUTO/MANUAL
- Switch selector RUN/JOG
- Switch selector FORWARD/REVERSE
- Switch selector START/STOP

Para estación remota:

- Se selecciona la estación que se adapta a las necesidades
- Se ordena un:

16)KIT ADAPTADOR DE OPERADOR REMOTO

Este provee un punto de conexión para la estación remota.

- Se conectan ambos al controlador

17)PROGRAMA SHARK FUENTE

Este es un ejecutivo del sistema. Permite el control por computadora y por ende la visualización de los diagramas de escalera, entre otros.

LOCALIZACION DE ERRORES (TROUBLESHOOTING)

A continuación detallamos cierta información sobre localización de errores para el controlador MinPak Plus. En términos generales su organización es como sigue:

- Conceptos generales sobre localización de errores:

En este caso se mencionan errores o problemas tales como:

- Errores de alambrado
- Problemas en la línea de C-A
- Problemas de meter
- Problemas mecánicos
- Malfuncionamiento del controlador
- etc.

- Síntomas específicos/causa probable/procedimientos recomendados

En este caso, como se puede ver claramente, se mencionan los síntomas específicos al presentarse una falla, se ve la causa probable de ésta y se detallan los procedimientos recomendados para atacarla.

- Esquemas de referencia del controlador

En este caso se muestran los diagramas más importantes del controlador de manera que estén a la mano para cualquier contingencia. Por ejemplo, mencionaremos uno y sólo uno de éstos, que consideramos de extraordinaria relevancia: el diagrama esquemático del controlador (figura 7.4).

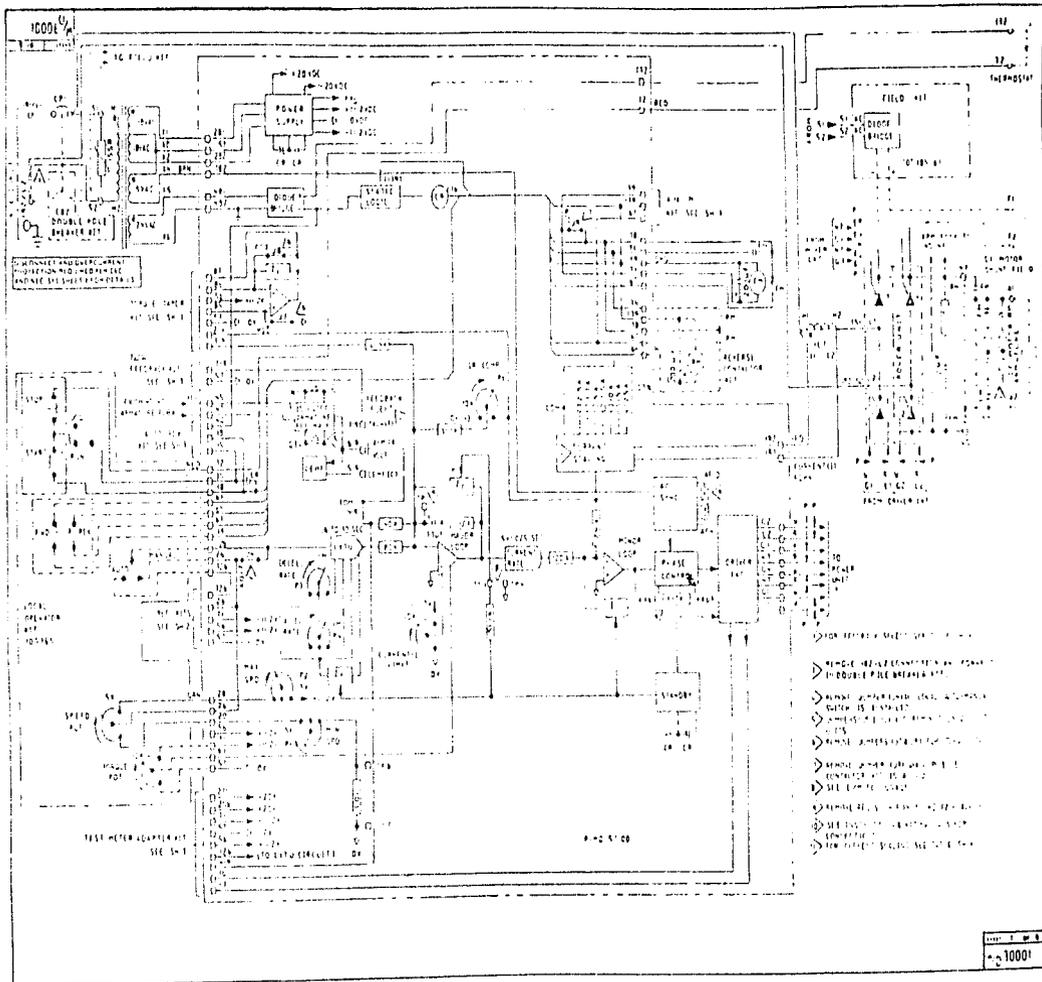


Figura 7.4 — Diagrama esquemático del controlador

Para mayor información sobre los tópicos ya descritos, favor de referirse al manual.

CONTROLADOR PROGRAMABLE SHARK. SERIE XL

1.0 USANDO EL MANUAL

1.1 Introducción

El manual describe al Controlador Programable Shark Serie XL. A la vez que menciona cómo instalarlo, programarlo, operarlo y mantenerlo.

1.2 Contenido del manual

- Capítulo 1 - Usando el manual - Introducción
- Capítulo 2 - Configuración Shark - Vistazo del sistema
- Capítulo 3 - Instalación - Dimensiones de montaje y alambra
do
- Capítulo 4 - Programación - Programas E/S y PC
- Capítulo 5 - Resumen de conjunto de instrucciones/comandos
- Capítulo 6 - Procedimientos de operación - Creación, edi-
ción y borrado de programas
- Capítulo 7 - Mantenimiento - Prueba de autodiagnóstico y
mensajes de error
- Apéndice A - Especificaciones
- Apéndice B - Resumen de conjunto de instrucciones/comandos
- Apéndice C - Tiempos de ejecución

1.3 Información adicional

Para más información sobre la línea de productos Shark se puede referir a cualesquiera de las siguientes publicaciones:

- Manual de instrucción del Programador Universal, J-3800
- Manual de instrucción del Controlador Programable Shark Serie X, J-3801
- Manual de instrucción del Programador Estándar, J-3803

2.0 CONFIGURACION SHARK XL

2.1 Introducción

Este capítulo provee un vistazo del sistema Shark XL, desde los bastidores (racks) y la fuente de poder hasta el procesador y los módulos E/S.

2.2 Sistema

La figura 2.1 muestra el sistema de un controlador programable Shark XL.

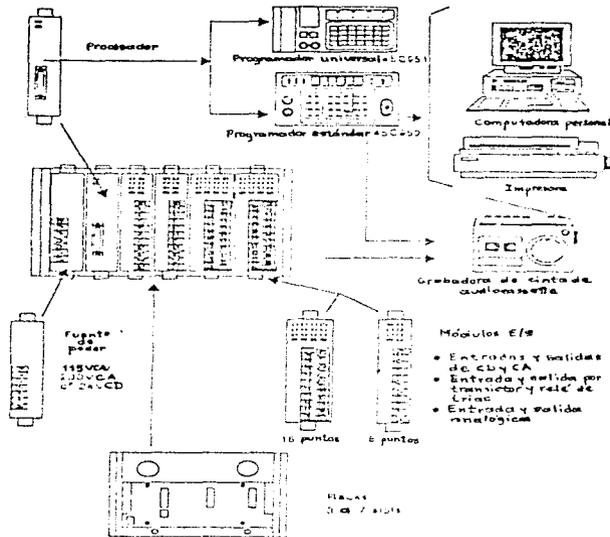


Figura 2.1 - Configuración del sistema

2.3 Racks

Cinco racks están disponibles. Un rack de cinco aberturas (slots) es mostrado en la figura 2.2.

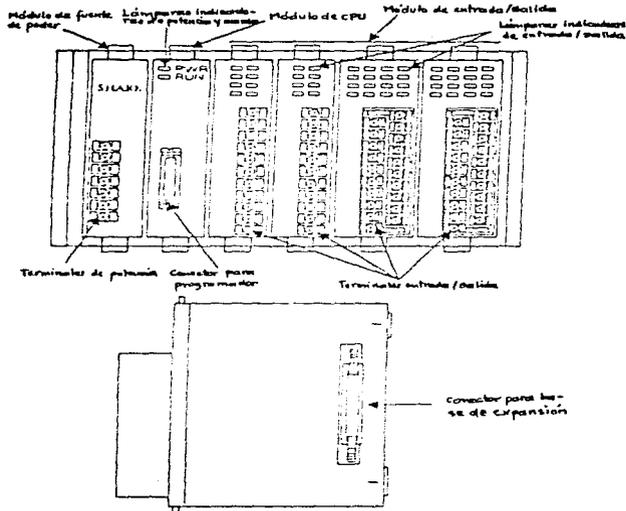


Figura 2.2 - Rack típico

Se pueden usar cualquiera de los racks, ya sea el rack principal o el rack de expansión.

Los racks son:

- De 3 slots - M/N 45C910
- De 4 slots - M/N 45C911
- De 5 slots - M/N 45C912
- De 6 slots - M/N 45C913
- De 7 slots - M/N 45C914

2.4 Programadores

Dos programadores portátiles están disponibles.

Ellos son:

- Programador estándar con interfase de cassette - M/N 45C950
- Programador universal con interfase de cassette, grabador PROM e interfase RS-232 - M/N 45C951

Los dos programadores son mostrados en las figuras 2.3 y 2.4.

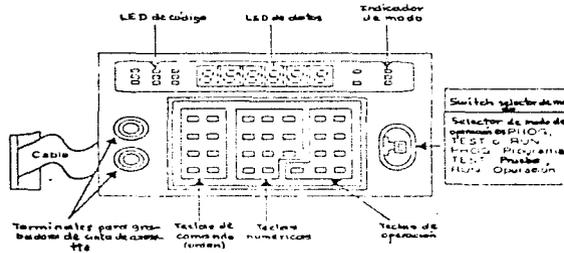


Figura 2.3 - Programador estándar (M/N 45C950)

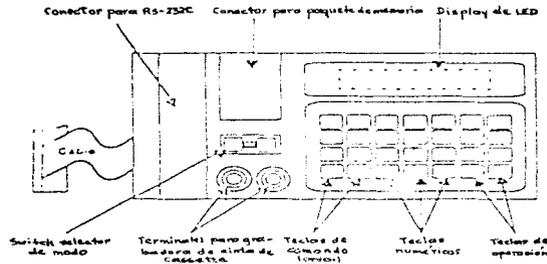


Figura 2.4 - Programador universal (M/N 45C951)

Las especificaciones de cada programador están en el Apéndice A.

2.5 Módulo del procesador

La figura 2.5 muestra el módulo del procesador.

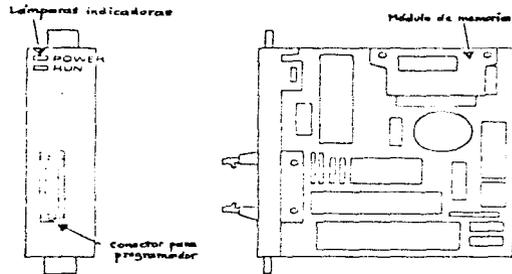


Figura 2.5 - Módulo del procesador

2.6 Módulo de la fuente de poder

La figura 2.6 muestra el módulo de la fuente de poder de 115/230 VCA.

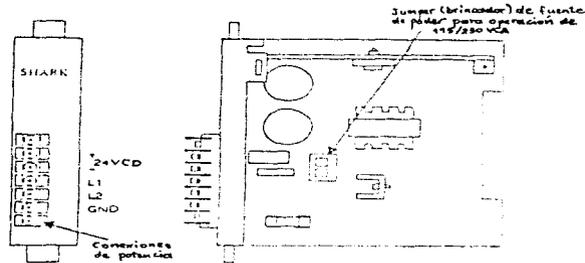


Figura 2.5 - Módulo de la fuente de poder de 115/230 VCA

Las especificaciones de la fuente de poder son proveídas en el Apéndice A.

2.7 Módulos de entrada

La figura 2.7 muestra módulos de entrada típicos.

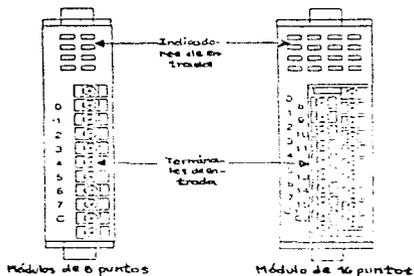


Figura 2.7 - Módulos de entrada típicos

Los módulos difieren sólo en el número de puntos de E/S y en el número de modelo. Las especificaciones están en el Apéndice A.

2.8 Módulos de salida

La figura 2.8 muestra módulos de salida típicos.

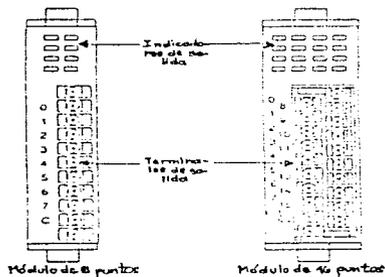


Figura 2.8 - Módulos de salida típicos

Los módulos difieren sólo en el número de puntos de E/S y en el número de modelo. Las especificaciones están en el Apéndice A.

ce A.

2.9 Módulo de entrada analógica

La figura 2.9 muestra un módulo de entrada analógica típico.

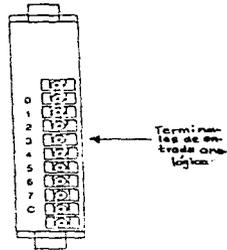


Figura 2.9 - Módulo de entrada analógica típico

Las especificaciones están en el Apéndice A.

2.10 Módulos de salida analógica

La figura 2.10 muestra un módulo de salida analógica típico.

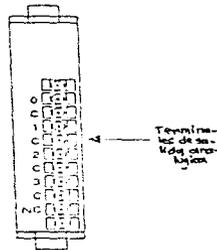


Figura 2.10 - Módulo de salida analógica típico

Las especificaciones están en el Apéndice A.

4.0 PROGRAMACION

4.1 Introducción

Este capítulo cubre: procesamiento E/S, lógica de escalera, asignación de E/S y guía de programación.

4.2 Lógica de escalera

La figura 4.1 muestra una secuencia convencional de lógica de escalera junto con un diagrama de escalera equivalente de controlador programable (programa).

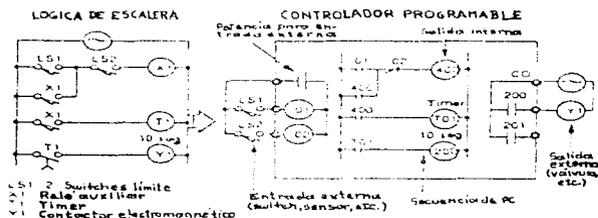


Figura 4.1 - Secuencia lógica de escalera y diagrama de escalera de PC

4.2.1 Entradas externas

Las entradas externas de un controlador programable pueden ser: botones (pushbuttons), switches límite, switches de proximidad, o switches fotoeléctricos. El programa del Controlador Programable (PC) usa las direcciones del número de terminal a la cual estas entradas están conectadas. Por ejemplo, en la figura 4.1, el switch límite LS1 es conectado a la terminal O1, mientras que el switch límite LS2 es alambrado a la terminal O2.

4.2.2 Salidas externas

Las salidas externas pueden ser válvulas solenoides, luces piloto, o contactores electromagnéticos. El programa PC usa las direcciones del número de terminal a la cual las salidas son conectadas. Por ejemplo, en la figura

4.1, el contactor X1 está alambrado a la terminal 200.

4.2.3 Salidas internas

Las salidas internas sirven como relés auxiliares. En la figura 4.1, la salida interna 400 sirve como el relé auxiliar X1.

Dos tipos de salidas internas son usados: retentivas y no retentivas.

Cuando se usan estas salidas en un circuito, la salida no retentiva es reseteada a 0 cuando se va la potencia. La salida retentiva, por el contrario, mantendrá su estado previo cuando esto ocurra.

4.2.4 Salidas internas de funciones especiales

Las salidas internas de la 960 a la 991 están reservadas para propósitos especiales:

- Dirección 960 - cuando la dirección 960 es energizada, todas las salidas son automáticamente desenergizadas. Use esta dirección para generar una secuencia de lógica que detecte un mal funcionamiento y pare la ejecución del programa. (Refiérase a la figura 4.2).

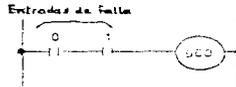


Figura 4.2 - Ejemplo de programación de la dirección 960

El display del programador identifica la dirección con: 960 E. Se necesita corregir la falla y la potencia ciclica.

- Dirección 961 - esta dirección resetea los registros de datos (salidas retentivas, contadores, registros de corriente). Use esta dirección en conjunción con la dirección 967. En la figura 4.3, los contadores C50 y C51 son reseteados inmediatamente una vez que el programa comienza a ejecutarse.

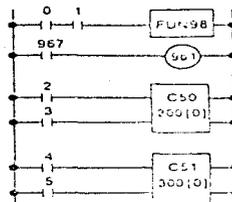


Figura 4.3 - Ejemplo de programación de la dirección 961

Note que los datos retentivos no son reseteados si la dirección 961 es energizada después del primer barrido (scan) del programa.

- Dirección 962 - esta dirección es prendida y apagada, cada vez que un scan del programa es completado. (Refiérase a la figura 4.4).



Figura 4.4 - Ejemplo de temporización de la dirección 962

- Dirección 963 - esta dirección provee un reloj de 100 milisegundos. (Refiérase a la figura 4.5).



Figura 4.5 - Ejemplo de temporización de la dirección 963

- Dirección 964 - esta dirección provee un reloj de 1 se - gundo. (Refiérase a la figura 4.6).

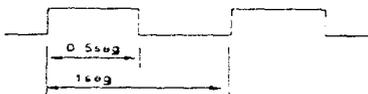


Figura 4.6 - Ejemplo de temporización de la dirección 964

- Dirección 965 - esta dirección provee un reloj de 10 segundos. (Refiérase a la figura 4.7).



Figura 4.7 - Ejemplo de temporización de la dirección 965

- Dirección 966 - esta dirección provee un reloj de 1 minuto. (Refiérase a la figura 4.8).

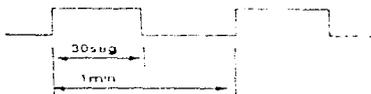


Figura 4.8 - Ejemplo de temporización de la dirección 966

- Dirección 967 - esta dirección es prendida para un scan, después del arranque del programa. (Refiérase a la figura 4.9).

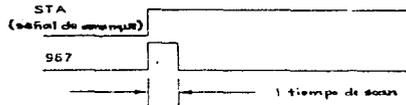


Figura 4.9 - Ejemplo de temporización de la dirección 967

Se puede usar esta señal para resetear bobinas, timers y contadores. Para borrar datos retentivos use la dirección 961.

- Dirección 968 - esta dirección es prendida y apagada, una vez cada 1000 scaneos de programa. (Refírase a la figura 4.10).

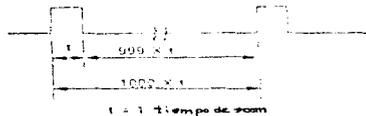


Figura 4.10 - Ejemplo de temporización de la dirección 968

- Dirección 970-973 - son reservadas para el procesador.
- Dirección 980-987 - cuando están encendidas, estas direcciones indican una condición de error de sintaxis.

- Dirección 990 - esta dirección está siempre encendida.
- Dirección 991 - esta dirección es encendida cuando el procesador está en funcionamiento.
- Direcciones 969, 974-979, 988-989 - estas direcciones no son usadas.

4.2.5 Timers

Timers de retardo (en delay) son proveídos. Cuando el valor actual del timer alcanza el valor preajustado, los contactos del timer son energizados.

4.2.6 Contadores

Dos tipos de contadores son proveídos.

El contador ascendente (CO-C95) se energiza cuando su valor actual alcanza a su valor preajustado.

El contador ascendente/descendente (PUN40) usa una bobina interna y cuenta hacia arriba e hacia abajo en BCD de 4 digitos.

4.3 Procesamiento E/S

Circuitos de relé convencionales procesan lógica en paralelo como es mostrado en la figura 4.11.

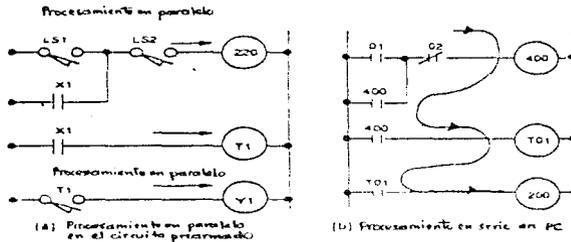


Figura 4.11 - Procesamiento E/S

Los controladores programables procesan la lógica de los programas en serie, un rung a la vez. Refiérase a la figura 4.11. Una vez que el controlador programable procesa el último rung, regresa al primer rung y comienza el proceso otra vez. El tiempo que le toma completar un ciclo de programa es mostrado como tiempo de scan.

El procesador evalúa datos en el siguiente orden:

4.3.1 Procesamiento de entradas

El procesador lee los estados de encendido/apagado (on/off) de las entradas externas y almacena esta información. Los estados almacenados de las entradas no serán cambiados hasta el comienzo del siguiente scan de E/S.

4.3.2 Procesamiento de lógica

El procesador ejecuta secuencialmente el programa comenzando con el primer rung. Las salidas internas y externas cambian conforme el programa es procesado y son almacenadas en el buffer de salida. Al final del scan del programa el buffer de salida es transferido a las salidas externas.

4.3.3 Forzando salidas

El procesador fuerza las salidas al final de un scan de programa. El procesador puede entonces ajustar o resetear timers retentivos, contadores, o salidas internas.

4.3.4 Procesamiento periférico

Se puede monitorear el estado de las E/S o el valor actual de timers/contadores a través de los programadores estándar/universal.

4.3.5 Procesando salidas

El procesador actualiza el estado de encendido/apagado de las salidas externas.

4.4 Direcciones E/S

La tabla 4.1 muestra la asignación de direcciones de memoria dentro del procesador.

Tabla 4.1 - Direcciones E/A

Clasificación		Dirección		Observaciones
Slot		Módulo de entrada	Módulo de salida	
Entrada carteras (160 puntos)	1	0-15	200-215	
	2	20-35	220-235	
	3	40-55	240-255	
	4	60-75	260-275	
	5	80-95	280-295	
Salida carteras (160 puntos)	6	100-115	320-335	
	7	120-135	340-355	
	8	140-155	360-375	
	9	160-175	380-395	
	10	180-195	400-495	
S i s t e m a	Mémoire ho- restante (256 puntos)	400-655		
	Mémoire restante (256 puntos)	700-955		
	Función especial (32 puntos)	660-691		
Timer y contador (16 puntos en total)	Contacto de bobina	T/C 0-T/C 95		<ul style="list-style-type: none"> • Los timers y contadores funcionan en el mismo rango de direcciones. • Los direcciones son contadores hasta arriba los timers son del tipo en "horario". • El número de timer / contador es el que está en el correspondiente al valor de "conteo en curso". El número de timer / contador es 200 respectivamente el valor de "cuenta" (detenido). • Los valores en "CUID" y en "C" están son predefinidos en el formato de 8 bits (valor
	Valor de curso	T/C 100-T/C 195		
	Valor de cuenta (detenido)	T/C 200-T/C 295		

El procesador usa el sistema de numeración octal para direccionar elementos internos, externos, timers y contadores.

- 4.5 Creando un programa usando los programadores portátiles
 Se puede crear un programa de PC, combinando instrucciones y comandos (órdenes) con direcciones de entrada/salida. Cada instrucción o comando usualmente ocupa una palabra de memoria. Algunas requieren dos palabras.

Se puede empezar cada programa con la secuencia mostrada en la figura 4.12.

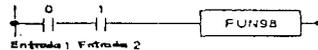


Figura 4.12 - Secuencia de arranque requerida

Se pueden asignar los dos contactos, ya sea a direcciones de entradas o direcciones internas. Cuando ambos contactos son energizados, FUN98 es energizada y el procesador se pone en MARCHA (RUN).

5.0 RESUMEN DEL CONJUNTO DE INSTRUCCIONES/COMANDOS

5.1 Introducción

En este capítulo se explican las instrucciones y comandos que se usan para programar el controlador programable Shark XL. El apéndice B contiene un resumen de las instrucciones y comandos.

5.2 Instrucciones ORG, ORG NOT, AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT y OUT NOT

- Se usa una instrucción ORG al comienzo de un rung, con un contacto normalmente abierto. Se usa una instrucción ORG NOT al comienzo de un rung, con un contacto normalmente cerrado. Refiérase a la figura 5.1.

Comandos ORG, ORG NOT, AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT, OUT NOT

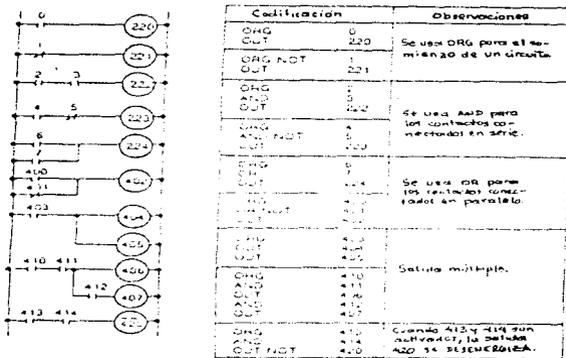


Figura 5.1 - Ejemplo de instrucciones ORG, ORG NOT, AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT y OUT NOT.

- Se usa una instrucción AND para un contacto normalmente abierto en serie. Se usa una instrucción AND NOT para un contacto normalmente cerrado en serie. No existe límite en el número de contactos que se pueden programar en serie. Refiérase a la figura 5.1.
- Se usa una instrucción OR para un contacto normalmente abierto en paralelo. Se usa una instrucción OR NOT para un contacto normalmente cerrado en paralelo. No existe límite en el número de contactos que se pueden programar en paralelo. Refiérase a la figura 5.1.
- Se usa la instrucción OUT para salidas externas e internas, timers y contadores. Se usa la instrucción OUT NOT para negar las instrucciones OUT. Se pueden usar múltiples instrucciones OUT para contactos en paralelo. Refiérase a la figura 5.1. Se puede introducir una instrucción de contacto después de una instrucción OUT, como se muestra en la figura 5.2.

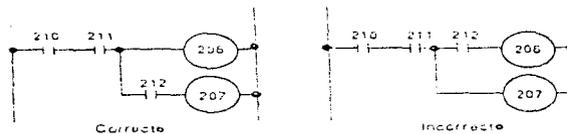


Figura 5.2 - Programación de una instrucción de contacto después de una instrucción de salida.

5.3 Instrucciones STR, STR NOT, AND STR y OR STR

- Un circuito en el cual se conectan dos o más contactos en paralelo es un bloque de circuito en paralelo. Se usa la instrucción STR NOT para comenzar una rama (bifurcación) y la instrucción AND STR para finalizar una, cuando se conectan bloques de circuito en paralelo, en serie. Refiérase a la figura 5.3.

Comandos STR, STR NOT, AND STR y OR STR

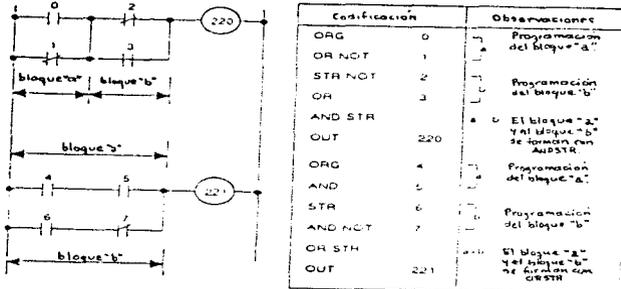


Figura 5.3 - Ejemplo de instrucciones STR, STR NOT, AND STR y OR STR.

- Un circuito en el cual se conectan dos o más contactos en serie, es un bloque de circuito en serie. Se usan las instrucciones STR o STR NOT para comenzar una rama, y la instrucción OR STR para finalizar una rama, cuando se conectan bloques de circuito en serie, en paralelo. Refiérase a la figura 5.3.
- No existe límite en el número de bloques de circuito que se pueden conectar juntos con las instrucciones AND STR y OR STR.
- Existe un límite de siete instrucciones STR o STR NOT, cuando se conectan bloques de circuito juntos.
- El número de instrucciones STR/STR NOT debe ser igual al número de instrucciones AND STR/OR NOT. Si ello no ocurre, un error de sintaxis resultará. Este requerimiento no aplica pa

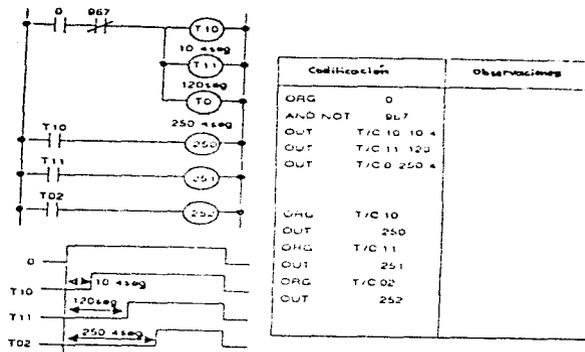


Figura 5.5 - Ejemplo de una instrucción T (Timer)

- Exactitud del timer:

$$\text{Error del timer} = \pm 0.005 \times \text{valor deseado (ajustado)} + 1 \text{ tiempo de scan.}$$

- El valor en curso es retentivo. Se resetea el valor, usando la salida interna 967 cuando se encienda primera el procesador.

5.5 Instrucción C (Contador)

- Se introduce un contador, tecleando el número de contador (1 ó 2 dígitos), presionando la tecla de punto decimal ['.'], e introduciendo el valor deseado (3 ó 4 dígitos). Ver figura 5.6.

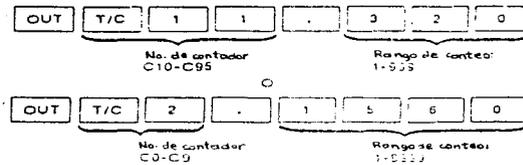


Figura 5.6 - Introduciendo valores al contador

Los contadores C0 - C9 pueden contar hasta 9999, mientras que los contadores C10 - C95 pueden sólo contar hasta 999.

Los contadores pueden ser numerados desde C0 hasta C95. Se puede notar que los contadores y los timers comparten el mismo rango de direcciones. No se puede usar la misma dirección para ambos contadores y timers.

- Los contadores son del tipo de conteo hacia arriba (up-counter). El contador cuenta el flanco de subida de la señal de entrada. Cuando el valor deseado (ajustado) es alcanzado, la salida es energizada. Cuando la señal de entrada de reset es energizada, el contador es reseteado a 000. Ver figura 5.7.

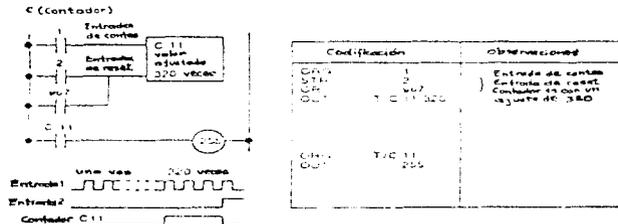


Figura 5.7 - Ejemplo de una instrucción C (contador)

- Los valores del contador son retentivos. Se resetea el contador, usando la salida interna 967.

5.6 Algunas funciones especiales

Comando FUN10

- FUN10 = WLOAD (carga de palabra).
- Este comando carga datos dentro del registro aritmético. El bit de acarree (Carry bit) (C) no cambia. Ver figura 5.25.

Dato a ser cargado	Ejemplo	Resultado
Entrada externa o salida interna	FUN10 400	Los bytes de salida interna 400 y 401 son cargados en el registro aritmético
Valor en curso o ajuste de timer o contador	FUN10 T/C 110	El valor en curso de T/C se carga en el registro aritmético

Figura 5.25 - Ejemplo de FUN10

Comando FUN21

- FUN21 = WOUT (palabra fuera).
- Este comando toma datos del registro aritmético y los transfiere a una salida o a un timer/contador. El bit de acarree (C) no cambia. Ver figura 5.36.

Dato a ser transferido	Ejemplo	Resultado
Salida externa o interna	FUN21 400	Los contenidos del registro aritmético son transferidos a los bytes de salida interna 400 y 401
Valor en curso o ajuste de timer o contador	FUN21 T/C 210	Los contenidos del registro aritmético son transferidos al ajustador de T/C 210

Figura 5.36 - Ejemplo de FUN21

Se puede notar que cuando se transfieren datos a un valor deseado de timer/contador, el valor deseado programado es almacenado con un rearranque del sistema.

Comando FUN98

- FUN98 = SFA (comienzo)

- Dos contactos son requeridos en el rung de comienzo del programa para proveer la señal de entrada para FUN98. Ver figura 5.47.

Comandos FUN98 (START) y FUN99 (END)

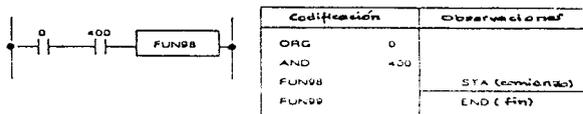


Figura 5.47 - Ejemplo de FUN98 y FUN99

Si sólo se tiene un contacto, se programa el segundo como la dirección de salida interna 990.

6.0 PROCEDIMIENTOS DE OPERACION

6.1 Introducción

Este capítulo menciona cómo operar el controlador programable; cómo crear, introducir y editar un programa; cómo monitorear y forzar salidas; y finalmente, cómo salvar y cargar programas en cinta de cassette (esto último, sin incluir aquí).

6.2 Guías de operación

Se usan las siguientes guías para preparar un programa en el procesador:

1. Borrado de la memoria
 - Se borra la memoria antes de comenzarse un nuevo programa.
2. Escritura/introducción del programa
3. Chequeo del programa
 - Se debe estar seguro de que cada rung es programado correctamente.
4. Búsqueda de las direcciones (si se edita)
5. Edición del rung
 - Se altera el rung tanto como sea necesario.

6. Chequeo de la sintaxis del programa
 - Se corrige el error si es necesario.
 7. Se corre el programa en ejecución de prueba (test run)
 - Se usan la ejecución de prueba y el forzado de las salidas para verificar la operación.
 8. Ejecución del programa
 - Se ejecuta el programa una vez que todo el alambreado y los errores de programación son corregidos.
- La tabla 6.1 - a continuación - provee un resumen de las guías.

No	Función	Procedimiento de prueba	Contenedores del display							Número				
			Número paso	Fecha	Valor variable	Valor número	Conductividad	DATA	STEP		PROG	TEST	RUN	Operación
1	Borrar programa	CLR ENT DEL		0				0	0	0	X	X	X	0
2	Escribir Introducir una nueva secuencia Insertar una secuencia	CLR ENT DEL → Generación del programa por pasos → ENT Escritura continua	0	0			0	0	0	X	X	X	X	0
		CLR STEP → Generación del programa por pasos → ENT Escritura continua	0	0			0	0	0	X	X	X	X	0
3	Leer Empesar desde el paso 000 Empesar desde un paso especificado Empesar desde comandos de I/O Primer paso de una dirección programada	CLR STEP	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
		CLR No. de paso STEP	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
		CLR No. de entrada en línea del comando SRQ	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
		CLR STEP	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0
Continuación sobre el mismo número de datos al escribir el paso		Leitura STEP (El display de un estado paso puede ser forzado con la tecla STEP)	0	0			0	0	0	0	0	0	0	

6.3 Borrando memoria/borrando un programa

Se debe estar seguro de borrar la memoria, antes de comenzar a introducir un nuevo programa. Se usa el procedimiento en la figura 6.1 para aclarar la memoria, el cual borra el programa actualmente almacenado ahí.

Función		Modo		Estado operacional
Borrar memoria				Paro
• Procedimiento de teclado y display				
Teclado	Display			Observaciones
	Comando	Display numérico	Modo en display	
			• PRCG	
		E	• DATA	
		=		Memoria borrada

Figura 6.1 - Borrando memoria

Lleva cuatro segundos el borrar la memoria estándar de 926 palabras. Lleva 8 segundos el borrar la memoria opcional de 1926 palabras.

Borrado de memoria:

- se borran timers/contadores
- se resetean los registros de corriente
- se resetean los contactos retentivos

6.4 Creando un programa

Se usa el procedimiento en la figura 6.3 para empezar un nuevo programa.

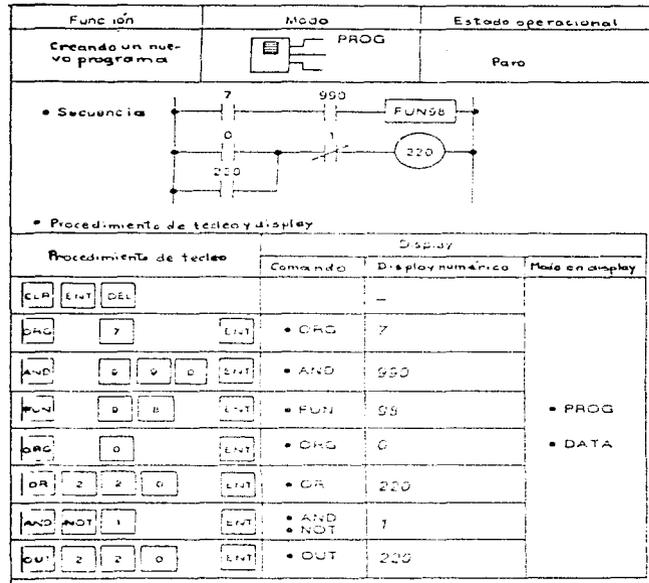


Figura 6.3 - Introduciendo un nuevo programa

Cuando se presiona la tecla [ENT], los datos desplegados (en el display) son almacenados en memoria. El display del programador entonces muestra el contenido de la siguiente posición • localidad de memoria.

Nota: El contenido del display en la figura 6.3 es el valor presente antes de presionar la tecla [ENT].

6.4.1 Añadiendo rungs

Use el procedimiento en la figura 6.4 para añadir rungs adicionales al programa.

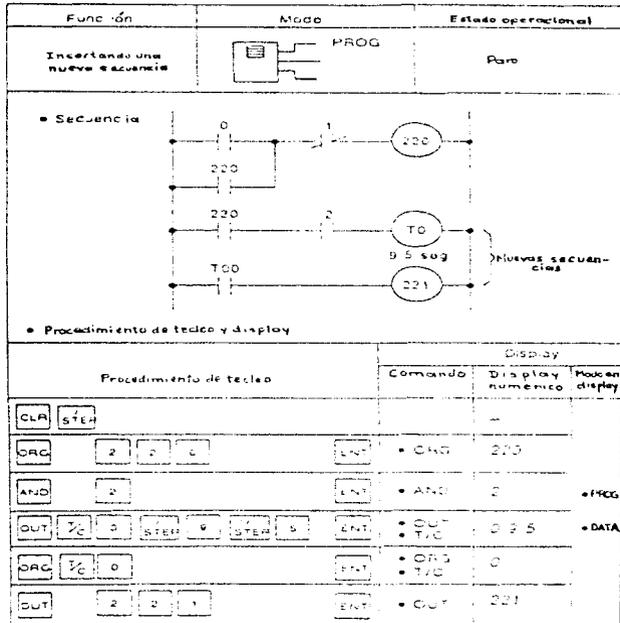


Figura 6.4 - Introduciendo rungs adicionales

Cuando se presionan las teclas [CLR] y [./STEP], el programador despliega la primera localidad de memoria no usada disponible.

6.4.2 Borrando rungs

Para borrar elementos de un rung, se usa el procedimiento de la figura 6.5.

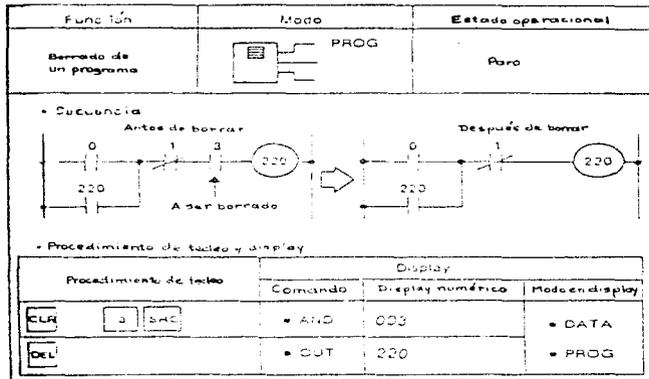


Figura 6.5 - Borrado un rung

Cuando se presiona la tecla [DEL], la localidad de memoria actual es borrada. El programador entonces despliega la siguiente localidad de memoria. El programador borrará secuencialmente las localidades de memoria cada vez que se presione la tecla [DEL].

Se debe estar seguro de checar la sintaxis del programa, cuando se borre un rung. Para identificar posibles errores de programación.

6.5 Desplegando un programa

Se usa el procedimiento en la figura 6.6 para desplegar un programa almacenado en memoria.

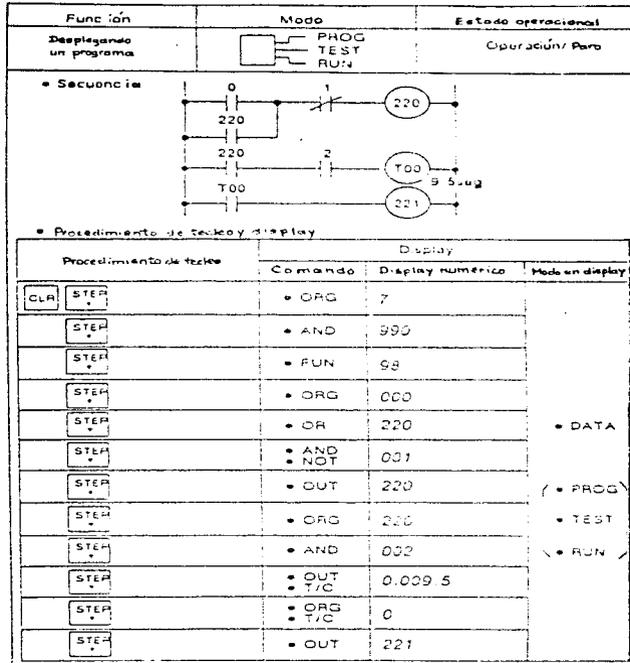


Figura 6.5 - Desplegado un programa

Se puede desplegar un programa desde una dirección específica:

- un número de E/S. (Refiérase a la figura 6.7).

Desde el programa	Procedimiento de teclado			
Desde el paso no. 000	CLR		STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -
Desde un paso dentro del área programada	CLR		STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -
Desde un no. de paso especificado	CLR	Número de paso	STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -
Desde un contador especificado	CLR	Número de contador	STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -
Desde una bobina especificada	CLR	Bobina	STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -
Desde un comando especificado	CLR	Comando	STEP +	STEP + → STEP + ← STEP -

Figura 6.7 - Desplazando un programa desde una localidad de memoria específica.

6.6 Buscando un programa

Se puede buscar un programa desde una dirección de E/S específica, una dirección de bobina interna, un timer, un contador, o una instrucción. Sólo se introduce el número y se presiona la tecla [SCR]. (Refiérase a la figura 6.8).

Figura 6 - Búsqueda

Función		Modo			Estado operacional			
Buscando un programa					Operación/para			
Clasificación	Procedimiento de teclas			Comando	Display numérico	Modo en display	Observaciones	
	Entradas/Salidas externas e internas (contacto)	CLR	No de entrada/salida	SRC	• AND	001		• DATA • PROG
Salidas externas e internas (bobina)	CLR	OUT	No de bobina	SRC	• OUT	200	Salida interna 200	
Timer/contador (contacto)	CLR	T/C	no	SRC	• AND • T/C	4	Timer 4	
Timer/contador (bobina)	CLR	OUT	T/C	no	SRC	• OUT • T/C	10 300 Timer 10 Reloj de tiempo 300 seg	
Entrada/salidas externas, timer/contador	CLR	no	SRC	• ORG	002	Entrada externa 2		
				• AND	002		Entrada externa 2	
				• OR	002		Entrada externa 2	
Búsqueda desde un no. de paso	CLR	No de paso	SRC	• AND	003	Comando de un no. de paso en el FICHA de programación		
Búsqueda desde un comando (orden)	CLR	F	C	SRC	• FUN	02		
	CLR	F	A	T	CRG	• FUN	47402	

El número es desplegado en el programador. Cada vez que se presiona la tecla [SCR], el procesador busca el programa para la siguiente ocurrencia de la instrucción. Cuando el procesador localiza la instrucción e dirección, el contenido es desplegado en el display del programador.

Si el procesador no encuentra la instrucción o dirección, el display mostrará la instrucción subrayada con una localidad de memoria no usada.

Se usan las teclas [STEP+] y [STEP-] para avanzar hacia adelante y hacia atrás desde la localidad de memoria, una vez que la operación de búsqueda ha finalizado. Se presiona la tecla [SRC] para continuar la búsqueda.

Nota: No se puede buscar una dirección arriba del paso 926, a menos que el sistema tenga un módulo de expansión de memoria.

Nota: No se puede buscar una dirección de memoria cuando el procesador está en el modo RUN (MARCHA).

6.7 Editando un programa

Use el procedimiento en la figura 6.9 para cambiar un elemento en un rung.

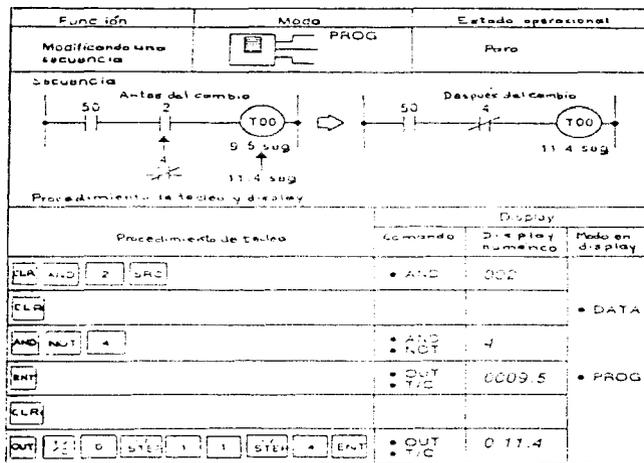


Figura 6.9 - Cambiando un elemento

Con el elemento desplegado, presione la tecla [DCLR] para borrar el elemento. Se introduce el nuevo elemento y se presiona la tecla [ENT]. Esta introduce el cambio dentro de la memoria. Se puede cambiar el valor deseado (ajustado) de un timer o contador, introduciendo un nuevo valor como el mostrado en la figura 6.10.

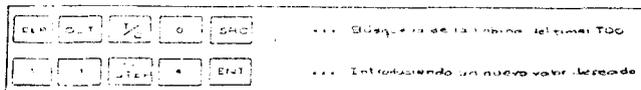


Figura 6.10 - Modificando valores de timer/contador

Se usa el procedimiento en la figura 6.11 para añadir un elemento a una rung existente.

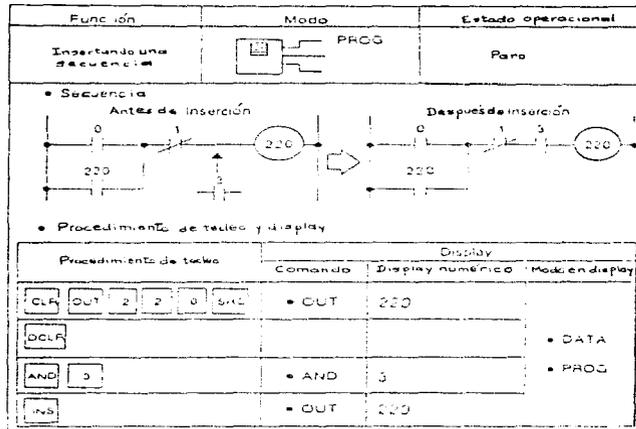


Figura 6.11 - Insertando un elemento

Se despliega el elemento después de la localidad donde se quiere insertar el nuevo elemento. Se presiona la tecla [DCLR] para borrar el elemento. Se teclaa el elemento ha ser insertado. Se presiona la tecla [INS]. Las direcciones automáticamente se incrementan en uno y dejan espacio disponible para el nuevo elemento.

Una vez que se ha insertado el elemento, se presionan las teclas [CLR] y [SRC] para chequear el programa.

Si se trata de añadir otro elemento cuando la memoria está llena, no será posible insertar el elemento. El display mostrará el símbolo de sobreflujo de la figura 6.12.

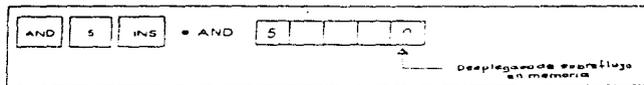


Figura 6.12 - Despliegue de sobrecarga en memoria

6.8 Operación de ejecución de prueba

La ejecución de prueba permite que se lleve a cabo el programa bajo condiciones controladas. (Refiérase a la figura 6.13).

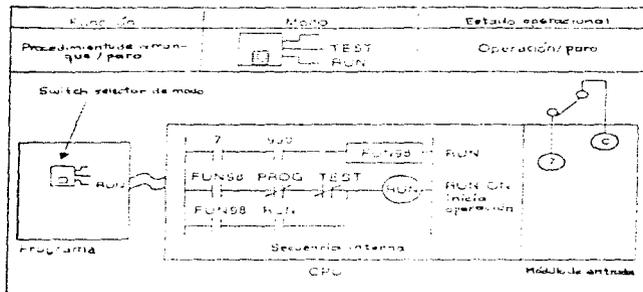


Figura 6.13 - Operación de ejecución de prueba

La ejecución del programa es controlada por FUN98. FUN98 es ha bilitada cuando sus entradas son activadas.

Si el programador está conectado al procesador, se ajusta el switch selector de modo a RUN (MARCHA) o TEST (PRUEBA). No se puede empezar a ejecutar un programa en PROG (PROGRAMA).

Si el programador no está conectado al procesador, no se puede cambiar el modo de operación del procesador. Si el procesador está funcionando y se quita el programador, y entonces se ajusta el switch selector de modo a PROG, el procesador continuará funcionando.

El led RUN se encenderá cuando el procesador sea arrancado. Pa ra parar el procesador, desactive las entradas de FUN98.

Se puede instalar o quitar el programador del procesador cuando la potencia está aplicada.

6.9 Monitores de E/S

Se usa el procedimiento de la figura 6.14 para monitorear pines específicos de E/S.

Función	Modo		Estado operacional			
Monitoreo de número de estado anillo			Paso Configuración			
e Procedimiento de teclado y display						
Clasificación	Procedimiento de teclado			Display		Observaciones
				Comando	Display numérico	
Entrada/salida externa o interna (contacto)	CLR	Numero de entrada/salida	MON	001	000	Entrada interna ON Entrada externa ON Entrada externa OFF
Salida externa o interna (bobina)	CLR	Numero de contacto bobina	MON	• OUT 201	• DATA	Salida interna ON Salida externa ON Salida externa OFF
	STEP			• OUT 200	• PROG	
Timer contador (contacto)	CLR	X	NO	MON	• T/C 30	• TEST • RUN
	STEP				• T/C 2	
Timer contador (contacto)	CLR	OUT	X	NO	MON	• T/C 60 • T/C 50 • T/C 40 • T/C 30 • T/C 20 • T/C 10
	STEP				• OUT 00000 • T/C 01 010	

Figura 6.14 - Monitores de E/S

El programador despliega las direcciones de E/S externas e indica el estado con un punto decimal. Un punto decimal indica que un contacto está encendido. Ningún punto decimal indica que un contacto está apagado.

Quando se monitorea un timer o un contador, los dos dígitos más a la izquierda representan el número del dispositivo. Los dígitos

Las direcciones de E/S y los números de los timer/contadores, se incrementan o decrementan en uno cada vez que se presiona la tecla [MON], y también la tecla [STEP+] o [STEP-].

6.10 Checando continuidad

Se usa el procedimiento en la figura 6.15 para checar continuidad en el contacto.

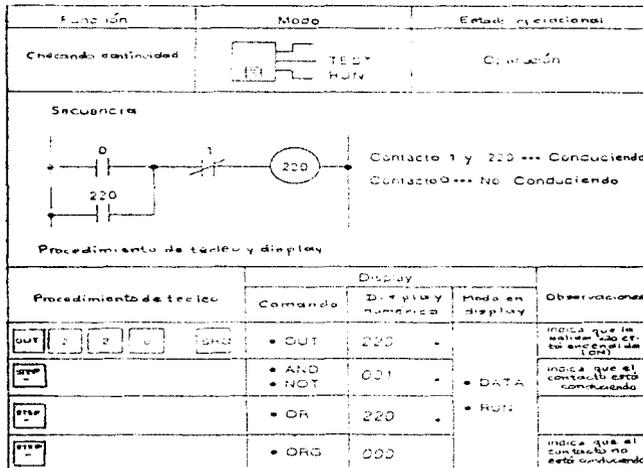


Figura 6.15 - Checando continuidad.

Si un contacto está conduciendo, un punto decimal es desplegado.

6.11 Forzando salidas

Se pueden probar salidas internas, timers y contadores a través de este forzamiento. (Refiérase a la figura 6.16).

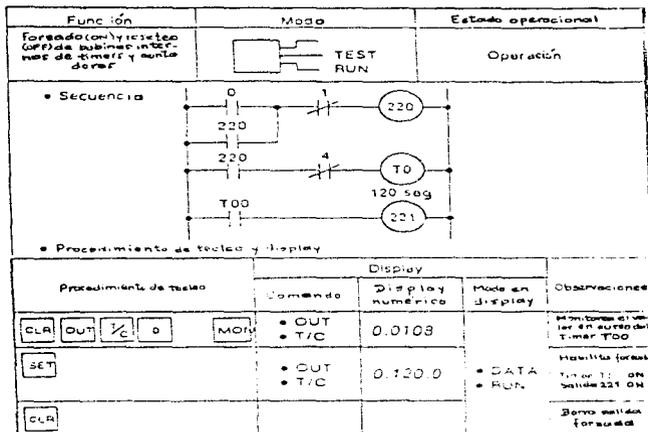


Figura 6.16 - Forzando salidas

Se necesita monitorear el dispositivo y presionar ya sea la tecla [SET] o [CLR]. Presionando la tecla [SET], se energiza la salida interna, el timer e el contador. Presionando la tecla [CLR], se borra la condición de energizado.

Se fuerza un timer sólo cuando su entrada habilitadora está encendida. Se fuerza un contador sólo cuando su entrada de reset está apagada. Un comando de forzado es ejecutado, después de que el procesador ejecuta un scan de programa.

En la figura 6.16, si se trata de forzar la salida con los contactos 220 y 4 desenergizados, el timer será apagado. La salida no será energizada.

6.12 Cambiando los valores ajustados del timer/contador

Se puede buscar un timer o contador en específico y cambiar su

valor ajustado cuando el switch selector de modo esté en la posición TEST. Se reemplaza el valor ajustado, introduciendo el nuevo valor y presionando la tecla [ENT]. (Refiérase a la figura 6.17).

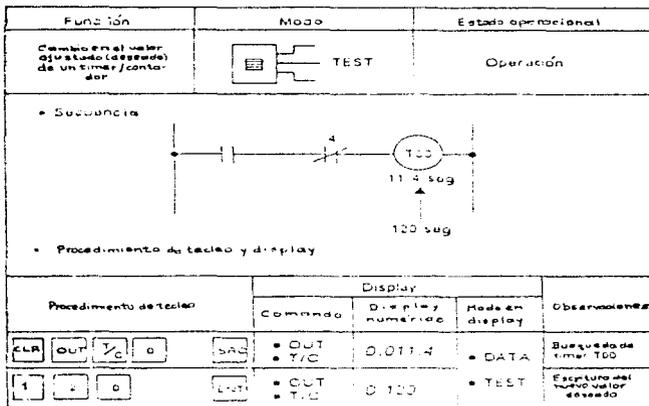


Figura 6.17 - Cambiando valores de timer/contador

Cuando se cambia un valor ajustado de un timer/contador, durante la operación del timer/contador, el nuevo valor se activa inmediatamente.

NOTA: No se puede cambiar un valor ajustado de un timer/contador, cuando el programador está en el modo RUN. Se ajusta el switch selector de modo a TEST, antes de cambiar el valor ajustado. El cambiar los modos puede requerir potencia cíclica para el procesador.

6.15 Asignando direcciones de E/S analógicas

Se pueden colocar módulos analógicos en cualquier otro slot que no sea de aquéllos reservados para los módulos del procesador y la fuente de poder. Ver figura 6.20.

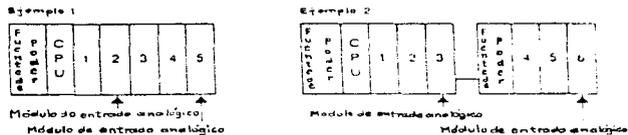


Figura 6.20 - Ejemplos de posicionamiento de módulos analógicos

La tabla 6.2 muestra las asignaciones de E/S analógicas.

Tabla 6.2 - Asignaciones de E/S analógicas

Slot	Canal	Entrada analógica		Salida analógica	
		45C992 / 45C990	45C997	45C994	
1	0	0	200	200	
	1	2	202	202	
	2	4	204	-	
	3	6	206	-	
	4	8	-	-	
	5	10	-	-	
	6	12	-	-	
	7	14	-	-	
2		20, 22, 24, 26, 28, 30	220, 222, 224, 226	220, 222	
3		40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54	240, 242, 244, 246	240, 242	
4		60, 62, 64, 66, 68, 72, 74	260, 262, 264, 266	260, 262	
5		80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94	280, 282, 284, 286	280, 282	
6		100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114	300, 302, 304, 306	300, 302	
7		120, 122, 124, 126, 128, 130, 132, 134	320, 322, 324, 326	320, 322	
8		140, 142, 144, 146, 148, 150, 152, 154	340, 342, 344, 346	340, 342	
9		160, 162, 164, 166, 168, 170, 172, 174	360, 362, 364, 366	360, 362	
10		180, 182, 184, 186, 188, 190, 192, 194	380, 382, 384, 386	380, 382	

6.15.1 Datos analógicos y digitales

Las señales analógicas pueden andar en el orden de 0 a 10 VCD. El módulo analógico convierte la señal analógica en datos digitales binarios (BNR). El procesador hace cálculos sólo en valores decimales de codificación binaria (BCD). Por consiguiente, se debe convertir el dato binario en BCD antes de usarlo. Antes que una señal de salida analógica pueda ser enviada a un módulo de salida analógico, se debe primero convertir el valor BCD de vuelta a un dato digital binario. Ver figura 6.21.

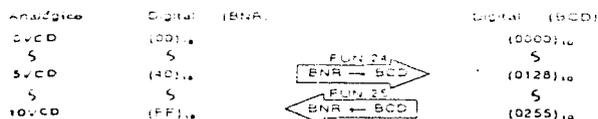
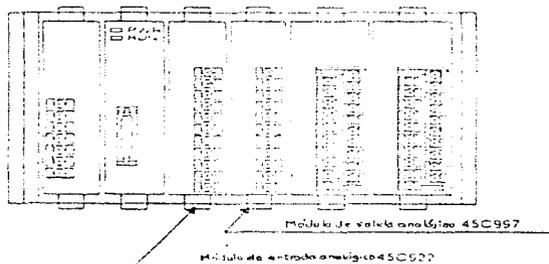


Figura 6.21 - Conversión de una señal analógica

6.15.2 Ejemplo analógico

En este ejemplo, el módulo de entrada analógico (45C992) está en el slot uno, mientras que el módulo de salida analógico (45C997) está en el slot dos. Refiérase a la figura 6.22.



La ecuación a ser programada es: $Y = X \cdot A + B$

Donde: X = entrada analógica desde el canal 0 en el slot 1

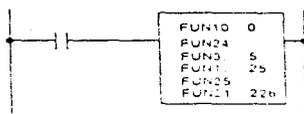
Y = salida analógica al canal 4 en el slot 2

A = 5 (constante)

B = 25 (constante)

La secuencia para esta ecuación es mostrada en la figura 6.23.

6.23.



FUN10: 0	Entrada analógica desde canal 0 (8-bit BINA)	→ RA (8-bit BINA)
FUN24: 5	Conversión de BINA a BCD de un dato del RA	→ RA (16-bit BCD)
FUN3: 5	RA x 5 (constante)	→ RA (16-bit BCD)
FUN1: 25	RA + 25 (constante)	→ RA (16-bit BCD)
FUN25: 5	Conversión de BCD a BINA de un dato del RA	→ RA (8-bit BINA)
FUN21: 226	RA (8-bit BINA)	→ Salida analógica al canal 4 (0-1 V)

Figura 6.23 - Ejemplo de programación de C/C analógico

7.2 Chequeo de la sintaxis en un programa (en 7.0 MANTENIMIENTO)

Se usa el procedimiento en la figura 7.1 para checar la sintaxis de un programa.

Función	Modo	Estado operacional												
Chequeo de sintaxis		Paro												
Prerolamiento de datos	<table border="1"> <tr> <td>Función</td> <td>Modo</td> <td>Estado operacional</td> </tr> <tr> <td>Juicio</td> <td>Comando</td> <td>Observaciones</td> </tr> </table>	Función	Modo	Estado operacional	Juicio	Comando	Observaciones	Observaciones						
Función	Modo	Estado operacional												
Juicio	Comando	Observaciones												
<table border="1"> <tr> <td>Función</td> <td>Modo</td> <td>Estado operacional</td> </tr> <tr> <td>CLAR</td> <td>SIN</td> <td>• PARO</td> </tr> </table>	Función	Modo	Estado operacional	CLAR	SIN	• PARO	<table border="1"> <tr> <td>Función</td> <td>Modo</td> <td>Estado operacional</td> </tr> <tr> <td>No hay error en programa</td> <td>300</td> <td>• PARO</td> </tr> </table>	Función	Modo	Estado operacional	No hay error en programa	300	• PARO	Se ejecuta el primer paso del programa
Función	Modo	Estado operacional												
CLAR	SIN	• PARO												
Función	Modo	Estado operacional												
No hay error en programa	300	• PARO												
<table border="1"> <tr> <td>Función</td> <td>Modo</td> <td>Estado operacional</td> </tr> <tr> <td>Hay un error</td> <td>115 E</td> <td>• STE • TEST • RUN</td> </tr> </table>	Función	Modo	Estado operacional	Hay un error	115 E	• STE • TEST • RUN	<table border="1"> <tr> <td>Función</td> <td>Modo</td> <td>Estado operacional</td> </tr> <tr> <td>Hay un error</td> <td>115 E</td> <td>• STE • TEST • RUN</td> </tr> </table>	Función	Modo	Estado operacional	Hay un error	115 E	• STE • TEST • RUN	Indica que un error fue encontrado en el paso 115
Función	Modo	Estado operacional												
Hay un error	115 E	• STE • TEST • RUN												
Función	Modo	Estado operacional												
Hay un error	115 E	• STE • TEST • RUN												

Figura 7.1 - Checando sintaxis

Se checa el programa a través de FUN99 (fin de programa). Si no son encontrados errores, la primera localidad de memoria disponible (no usada) será desplegada.

La tabla 7.1 lista los códigos de error de sintaxis. Se puede notar que el chequeo de sintaxis no detectará dos bobinas con la misma dirección, localizadas entre PUN02 y PUN03 (ver manual para estas y otras funciones especiales).

Tabla 7.1. Códigos de errores de sintaxis

Error en display	No. de error	Descripción de error
No de paso	E	981 La combinación de comando (Nivel) no conforma una regla de sintaxis.
	E	983 El comando de un número está fuera de especificación.
	E	985 La entrada para la salida no encuentra dirección (columna).
	E	987 PUN02 se encuentra en una especificación.
No de paso	O	982 El límite de PUN02 excede el límite de nivel de comando.
	O	983 El límite del nivel excede el límite de PUN02.
	O	984 PUN02 y PUN03 se localizan una sobre otra.
No de paso	O	982 El límite de PUN03 excede el límite de especificación del comando.
	O	983 NCR no se encuentra en el nivel.
No de paso	E	Una bobina tiene un especificación.
No de paso	E	El programa no se ejecutó debido a una combinación de la del comando o error del dato de dirección.

Para localización de errores (troubleshooting) y mensajes de error, así como, tablas de especificaciones para consulta y/o alambrados (aplicaciones) especiales, entre otras, favor de referirse al manual.

PROGRAMADOR UNIVERSAL SHARK. M/N 45C951**1.0 USANDO EL MANUAL****1.1 Introducción**

El manual describe al Programador Universal Shark (M/N 45C951). Este programador es compatible con los procesadores Shark X y XL. El manual menciona cómo conectar y operar el programador con los procesadores Shark.

1.2 Contenido del manual

- Capítulo 1 - Usando el manual
- Capítulo 2 - El programador universal
- Capítulo 3 - Operación
- Capítulo 4 - Salvando/cargando programas
- Capítulo 5 - Forzando salidas
- Capítulo 6 - Imprimiendo programas
- Apéndice A - Especificaciones
- Apéndice B - Descripción de las teclas del programador

1.3 Información adicional

Para más información sobre la línea de productos Shark se puede uno referir a cualesquiera de las siguientes publicaciones:

- Manual de instrucción del Controlador Programable Shark Serie X, J-3801
- Manual de instrucción del Controlador Programable Shark Serie XL, J-3802

2.0 PROGRAMADOR UNIVERSAL**2.1 Introducción**

Este capítulo provee un vistazo del programador. También menciona cómo conectarlo al procesador.

2.2 Vistazo (Resumen)

El programador es compatible con los procesadores serie X y serie XL. Refiérase a la figura 2.1.

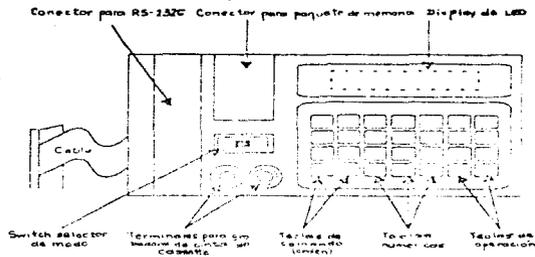


Figura 2.1 - Programador universal (M/N 45C951)

Las dimensiones son mostradas en la figura 2.2.

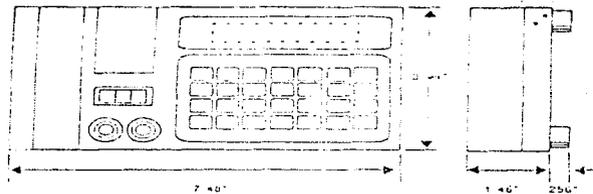


Figura 2.2 - Dimensiones del programador en vertical

Se usa el programador para:

- introducir programas (capítulo 3)
- monitorear el estado de un programa (capítulo 3)
- salvar y cargar programas en EEPROM y EPROM o cassette (capítulo 4)
- formar salidas (capítulo 5)

2.3 Conectando el programador

Se conecta el programador al procesador, enchufando el cable del programador dentro del conector del procesador, como se muestra en las figuras 2.3 y 2.4.

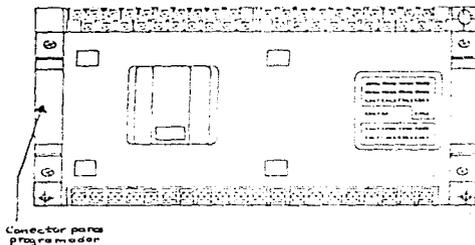


Figura 2.3 - Conectando un programador al procesador serie X

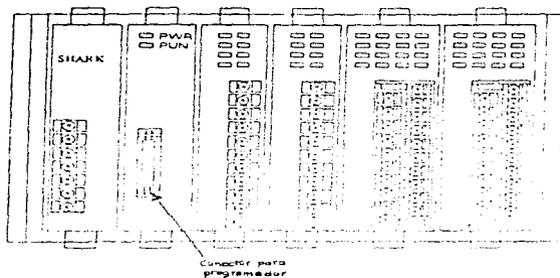


Figura 2.4 - Conectando un programador al procesador serie XL

3.0 OPERACION

3.1 Introducción

Este capítulo muestra los diferentes desplegados del programador en su display y menciona cómo introducir programas.

3.2 Desplegados del programador

Cuando se enciende primero el procesador, el programador despliega la posición del switch selector de modo y el número de revisión del firmware (programa no cambiabile). Ver figura 3.1.

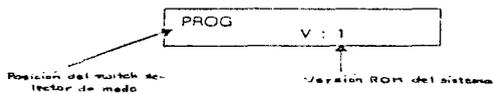


Figura 3.1 - Encendido del display

3.3 Introduciendo programas

Se crea un programa de PC, combinando instrucciones y comandos con direcciones de entrada/salida, estas instrucciones y/o comandos son introducidos vía las teclas del programador, en orden secuencial (o no secuencial, en edición) hasta finalizar el programa. Las teclas del programador son las siguientes:

APENDICE B

DESCRIPCION DE TECLAS DEL PROGRAMADOR

Tipo de tecla	Símbolo de tecla	Nombre	Función
Tecla de comando	ORG	Origin (Origen)	Comienza el funcionamiento de un circuito
	STR	Store (Almacen)	Comienza el almacenamiento de un circuito de memoria
	AND	And (Y)	Especifica que contactos van a ser conectados en serie
	OR	Or (O)	Especifica que contactos van a ser conectados en paralelo
	NOT	NOT (No)	Especifica una negación lógica
	T/C	Timer/Counter (Timer/Contador)	Especifica un timer/contador
	FUN	Function (Función)	Introduce un comando (orden) de función
Dato	OUT	Out (Salida)	Especifica que datos van a ser enviados a una salida (salidas)
	0-9		Introduce un rango numérico (del 0 al 9)
	.		Introduce un punto decimal
Tecla de edición	CLR	Clear (Aclarar)	Inicializa una secuencia
	DCLR	Data Clear (Aclarar los datos)	Borra un dato o comando indicado
	INS	Insert (Insertar)	Inserta una secuencia
	DEL	Delete (Borrar)	Borra una secuencia
	MON	Monitor (Monitorizar)	Monitorea una secuencia
	SRCH	Search (Buscar)	Busca una secuencia
	ENT	Enter (Entrada)	Escribe una secuencia
	STEP	Step (Paso)	Indicación para una o más veces de un paso a un dato o viceversa
	SET	Set (Ajustar)	Resalta varias funciones
	RES	Reset (Reseteo)	Resalta varias funciones
	STEP(+)	Step Plus (Paso más)	Mueve una secuencia hacia adelante paso por paso
STEP(-)	Step Minus (Paso menos)	Mueve una secuencia hacia atrás paso por paso	

Cada instrucción o comando usualmente ocupa una palabra de memoria. Algunas requieren dos palabras. No existen limitaciones en el número de contactos, salidas o contadores que se pueden programar en un rung. (Refiérase a la figura 3.2, ejemplo 1.)

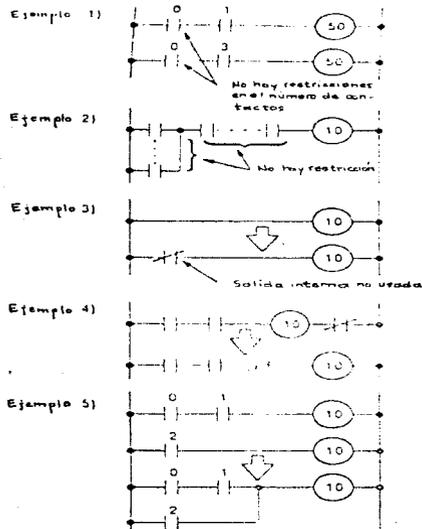


Figura 3.2 - Ejemplos de programación legal e ilegal.

No se puede introducir un programa cuando el procesador esté en el modo RUN (MARCHA).

No existen limitaciones en el número de contactos que se pueden programar en serie o paralelo. (Refiérase a la figura 3.2, ejemplo 2.) Cuando se imprime el programa, el número de contactos en serie está limitado a 8. El máximo número de contactos en paralelo imprimibles es 24.

No se puede programar una bobina de salida (incluyendo salidas de timers) al comienzo de un rung (a mano izquierda). Para programar una bobina, se usa un contacto normalmente cerrado. (Refiérase a la figura 3.2, ejemplo 3.)

No se puede programar un contacto a la derecha de una bobina de salida. (Refiérase a la figura 3.2, ejemplo 4.)

No se usa la misma dirección de bobina de salida más de una vez. Si esto se hace, un error de BOBINA DOBLE (DUAL COIL) ocurrirá. Esta regla no aplica si las salidas están entre FUNO3 y FUNO7. (Refiérase a la figura 3.2, ejemplo 5).

Se introduce un rung de programa o secuencia a la vez. (Refiérase a la figura 3.3).

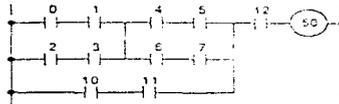


Figura 3.3 - Secuencia de ejemplo

Se empieza introduciendo el lado izquierdo del rung. Hay que asegurarse de presionar la tecla ENTER después de cada contacto, salida, contador o timer. (Refiérase a las figuras 3.4 y 3.5).

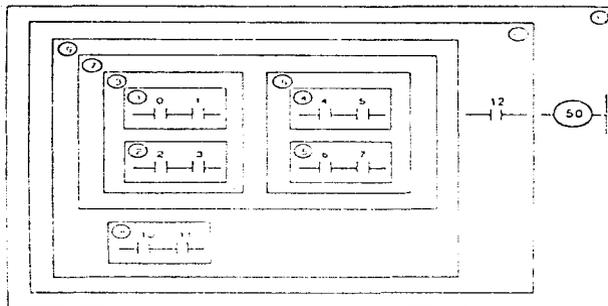


Figura 3.4 - Orden de programación de la secuencia de ejemplo.

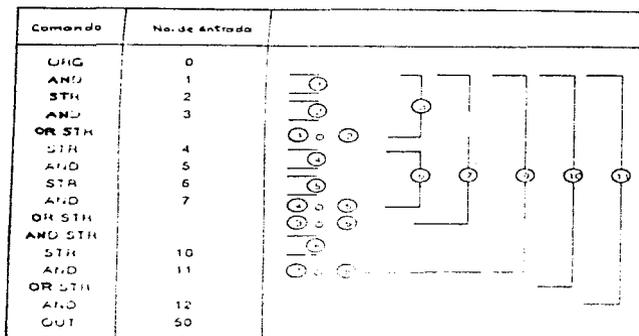
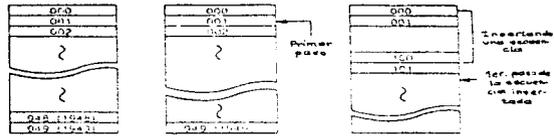


Figura 3.5 - Testeo de la secuencia de ejemplo.

El procesador Shark X tiene una capacidad de memoria estándar de 950 palabras. Una memoria de 1950 palabras está opcionalmente disponible. Se adquiere la memoria del Shark XL separadamente. Dos tamaños de memoria están disponibles, de 926 y 1926 palabras.

El procesador asigna a cada elemento un número decimal comenzando desde 000. Cuando se necesita añadir un elemento, se hace desde la dirección después de la cual se quiere que la adición empiece. Por ejemplo, en la figura 3.6, para insertar la palabra 51 se comienza en la palabra 50. Cuando se añaden o borran elementos de un programa, el resto de éste es automáticamente recorrido hacia arriba o hacia abajo. Se puede notar que los pasos mostrados en la figura 3.6 son para procesadores Shark XL. La numeración de los pasos para el Shark X, sería diferente.



El número entre paréntesis indica el número de pasos a vencer una memoria de 24 pasos sucesivos.

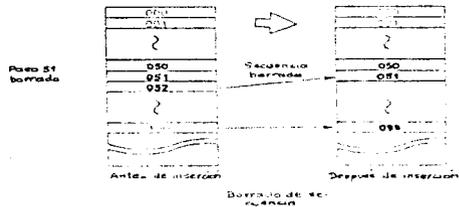
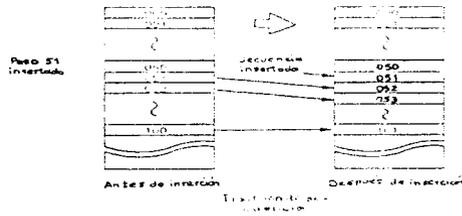


Figura 3 b - Almacenamiento de un programa en memoria

Cada instrucción aritmética, excepto las instrucciones BCD, SFR y JMP, es de 2 palabras. Todas las demás instrucciones usan 1 palabra de memoria.

Se debe notar que el paso 925 (o el 1925avo. paso) está reservado para la instrucción END (FIN). No se puede programar una instrucción de 2 palabras en el paso 924 (o 1924).

5.0 FORZANDO SALIDAS

5.1 Introducción

Este capítulo menciona cómo probar salidas a través del forzado (forzamiento).

5.2 Procedimiento de forzado

Se usa el procedimiento en la tabla 5.1 para probar salidas utilizando el forzamiento.

Tabla 5.1 - Forzando salidas

No	Procedimiento de Teclado	Display	Observaciones
1	CLR [] SET [] EN3 [] FUN 3 []	TEST 0 --- 3 FORCED OUT	Habilita función de salida forzada
2	CLR [] OUT 5 [] 0 [] SET []	TEST 0 --- OUT 3 FORCED OUT 5 0	Salida 50 ON
	CLR [] OUT 5 [] 5 [] SET []	TEST 0 --- OUT 3 FORCED OUT 5 5	Salida 55 ON
	CLR []	TEST 0 --- OUT 3 FORCED OUT 5 5	Salida 55 OFF
	CLR [] OUT 5 [] 0 [] SET []	TEST 0 --- OUT 3 FORCED OUT 5 0	Salida 50 OFF
3	CLR [] END [] FIN []		Retira todas las salidas forzadas

Existen dos capítulos, como se mencionó al principio en el capítulo 1.º, que hablan acerca de el Salvado y cargado de programas (Capítulo 4) y de la Impresión de programas (Capítulo 6); pero dado que estos temas no son verdaderamente relevantes para nuestros fines, que son el saber programar e introducir programas vía el programador, se han soslayado, pudiéndose consultar, si así se desea el manual correspondiente.

Las especificaciones también se pueden consultar en el mismo.

PRACTICA 1 (CUESTIONARIO PREVIO)

- A. Después de analizar y comprender el equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa, responder a las siguientes preguntas:
- A.1 - En pocas palabras, ¿qué tipo de equipo es éste y para qué sirve?
 - A.2 - ¿Cuáles son sus dos grandes componentes principales, en cuanto a que son de estado sólido y de tecnología avanzada?
 - A.3 - El regulador electrónico (drive) de velocidad de un motor de CD, ¿qué función realiza?
 - A.4 - El (Los) PLC(s), ¿qué función realiza(n)?
 - A.5 - Estos últimos, ¿sólo sirven para el control de velocidad del motor de CD en nuestro equipo, o se pueden aplicar para otro tipo de control? Justificar respuesta.
- B. Después de analizar y comprender que es un drive, en este caso de CD, responder a las siguientes preguntas:
- B.1 - El drive/controlador ManPak Plus C-D V*5⁰, ¿qué es y qué función realiza en el equipo visto en el inciso A?
 - B.2 - ¿Cuáles son las tres componentes básicas que lo conforman?
 - B.3 - Mencione algunas aplicaciones típicas de éste (3 mínimo)
 - B.4 - Existen varias funciones del drive que vienen disonantes de fábrica en la carátula del mismo, tales como: switch de arranque/paro, marcha/avance poco a poco (jogging), rotación normal/rotación inversa, etc. De éstas, ¿cuáles vienen de fábrica ya implementadas en nuestro drive?
 - B.5 - ¿Qué son los kits de modificación? Mencionar tres de ellos, así como sus características?
- C. Después de analizar y comprender que es un PLC, responder a las siguientes preguntas:
- C.1 - Describir qué es lo que un controlador programable hace.

- C.2 - Listar y describir las funciones de las cuatro secciones mayores de un controlador programable.
 - C.3 - Describir cómo las cuatro secciones mayores de un controlador programable interactúan.
 - C.4 - Dar un ejemplo de un programa sencillo.
 - C.5 - En nuestro caso, ¿con qué PLC contamos?, mencionar marca y serie y que características principales tienen c/u.
- D. Después de analizar y comprender el capítulo del manual referente al PLC Shark XL, hacer lo mismo con el capítulo referente al PLC Shark X y mencionar sus semejanzas y diferencias más importantes. Hágale tan extenso como quiera, incluso con figuras, para mayor comprensión y explicación.

PRACTICA 2 (CUESTIONARIO PREVIO)

Copie los programas mostrados en el manual del PLC Shark XL, referentes únicamente a las siguientes instrucciones: ORG, ORG NOT, AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT y OUT NOT.

PRACTICA 3 (CUESTIONARIO PREVIO)

Copie los programas mostrados en el manual del PLC Shark XL, referentes únicamente a las siguientes instrucciones: T(TIMER) y C (COUNTER).

PRACTICA 4 (CUESTIONARIO PREVIO)

Copie los programas mostrados en el manual del PLC Shark XL, referentes únicamente a las siguientes instrucciones: FUNCIONES ESPECIALES - FUN 98, FUN 10 y FUN 21.

PRACTICA 5 (QUESTIONARIO PREVIO)

Desarrolle de su propia inventiva algún programa sencillo que de -
sea programar en alguno de los PLC's disponibles (Shark XL o X),
en base a los switches del panel y a los focos piloto del mismo.
Este programa no deberá ser copiado del manual, sino desarrollado
específicamente por el alumno.

PRACTICA 1

Nombre de la práctica: Práctica introductoria al equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar el equipo mencionado, realizando programas con o sin el regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa (incluido éste). Esto es, utilizando solamente, en caso deseado, los controladores lógicos programables (PLC's) disponibles.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en los manuales del fabricante.
- Cuestionario previo.

C. Equipo necesario:

- Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa.

D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

Práctica explicativa del instructor (profesor), en la que se detallan todos los puntos del cuestionario previo, se explica todo el equipo y se resuelven las dudas de los alumnos. El alumno, por su parte, entregará un reporte de lo visto en la siguiente clase.

PRACTICA 2

Nombre de la práctica: Programación de algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark XL.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark XL.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en los manuales del fabricante.
- Cuestionario previo y práctica anterior.

C. Equipo necesario:

- Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa. En específico:
 - Programador universal Shark
 - PLC Shark XL

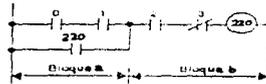
D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

Programar los ejemplos siguientes, conectando el programador universal Shark al PLC Shark XL. Mostrarle al instructor (profesor) que jalen los programas y explicarle a su vez, a grandes rasgos, que sucede en cada uno. Hacer, por parte del alumno, un reporte de la práctica, anexando estos programas y los comentarios o conclusiones pertinentes. Entregarlo la clase siguiente.

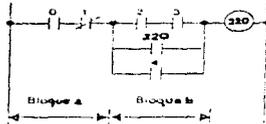
NOTA: En esta práctica se usarán sólo las instrucciones convenidas en el cuestionario previo respectivo, a saber: ORG, ORG NOT, AND, AND NOT, OR, OR NOT, OUT y OUT NOT.

Circuito paralelo/serie



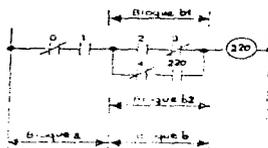
Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	0	} A } B = El bloque A del circuito paralelo es programado primero y luego el bloque B.
AND	1	
OR	220	
AND	2	
AND NOT	3	
OUT	220	

Circuito serie/paralelo



Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	0	} A } B = El circuito es dividido en bloque A y bloque B.
AND NOT	1	
STL	220	
OR	2	
OR STL	3	
OUT	220	= Ambos bloques son terminados con AND STL.

Circuito serie/paralelo



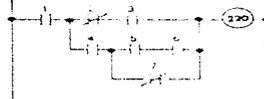
Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG NOT	0	} A } B1 } B2 = Bloque A es programado. = Bloque b1 es programado. = Bloque b2 es programado.
AND	1	
STL	220	
AND NOT	2	
AND STL	3	
OR STL	220	= los bloques b1 y b2 son conectados con OR STL.
AND STL	220	= los bloques b1 y b2 son conectados con AND STL.

Dos circuitos paralelos conectados en serie



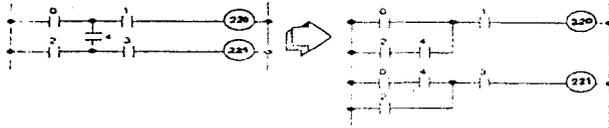
Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	0	<ul style="list-style-type: none"> Los bloques a1 y a2 son programados combinando con OR STR Los bloques b1 y b2 son programados Hay dos combinaciones al programar con AND STR.
AND	1	
STR	2	
AND NOT	3	
OR STR	4	
STR NOT	5	
STR	6	
AND	7	
OR STR		
AND NOT		
OUT	130	

Circuito equivalente de un circuito complejo



Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	1	<ul style="list-style-type: none"> Si un circuito es demasiado complejo para programarse, debe ser reemplazado un circuito equivalente que permita ver la estructura del circuito fácilmente.
STR NOT	2	
AND	3	
STR	4	
STR	5	
AND	6	
OR STR	7	
AND STR		
OR STR		
AND NOT		
AND STR		
OUT	130	
ORG	1	
AND NOT	2	
AND	3	
STR	4	
STR	5	
AND	6	
OR STR	7	
STR		
AND		
AND NOT		
OR STR		
OUT	130	

Circuito equivalente
de un circuito puente.



Programa		Descripción
Código de orden	Oxido	
C110	0	<ul style="list-style-type: none"> El circuito puente mostrado no puede ser programado. Debe reemplazarse como se muestra en la figura a la derecha del circuito puente.
S114	2	
A110	4	
C1114	1	
A110	220	
C110	0	
A110	4	
C111	2	
A111	3	
C111	221	

PRACTICA 3

Nombre de la práctica: Programación de algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark X.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark X.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en los manuales del fabricante.
- Cuestionario previo y prácticas anteriores.

C. Equipo necesario:

- Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa. En específico:
 - Programador universal Shark.
 - PLC Shark X.

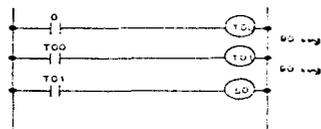
D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

Programar los ejemplos siguientes, conectando el programador universal Shark al PLC Shark X. Mostrarle al instructor (profesor) que jule los programas y explicarle a su vez, a grandes rasgos, que sucede en cada uno. Hacer, por parte del alumno, un reporte de la práctica, anexando estos programas y los comentarios o conclusiones pertinentes. Entregarlo la clase siguiente.

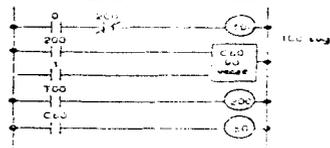
NOTA: En esta práctica se usarán, además de las instrucciones de la práctica anterior (PRACTICA 2), las convenidas en el cuestionario previo respectivo, a saber: T (TIMER) y C (CONT - - TER).

Circuito aplicado timer /contador
Circuito timer + timer



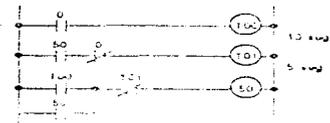
Programa		Descripción	
Código de orden	Dato		
ORG	0		
OUT T	0000	0	60 ms
ORG T	00	T00	60 ms
OUT T	01	T01	60 ms
ORG T	01		
OUT	10	S0	60 ms

Circuito timer & contador



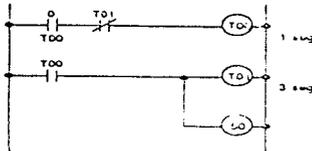
Programa		Descripción	
Código de orden	Dato		
ORG	0		
AND NOT	200		
OUT T	00100	1	100 ms
ORG	200		
STA	1	T00	100 ms
OUT C	00000	T00	50 veces
ORG T	00		
OUT C	200	C00	200
ORG T	00		
OUT C	50	S0	50

Circuito aplicado timer /contador
Circuito de retardo ON /OFF



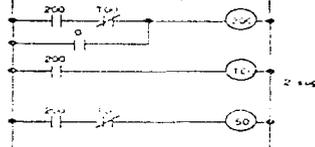
Programa		Descripción	
Código de orden	Dato		
ORG	0		
OUT T	00010	T00	10 ms
ORG	0		
AND NOT	0		
OUT T	00000	T01	5 ms
ORG T	00		
OUT	50	S0	5 ms
AND NOT	01		
T	50		
OUT	50		

Circuito flasher



Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	0	
AND NOT	0	
T	0	
ORG T	0	
ORG T	0	
OUT T	0	

Circuito aplicado timer/contador
circuito de un display



Programa		Descripción
Código de orden	Dato	
ORG	200	
AND NOT	200	
T	0	
ORG	0	
OUT	200	
ORG	200	
OUT T	0	
ORG	200	
AND NOT	200	
T	0	
OUT	0	

PRACTICA 4

Nombre de la práctica: Regulación electrónica de velocidad de un motor de corriente directa mediante el equipo regulador ya visto, en donde se programan algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark XL.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a controlar la velocidad de un motor de corriente directa haciendo uso de un regulador (drive) electrónico y programando a su vez, algunas instrucciones importantes mediante el programador universal Shark en el PLC Shark XL.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en los manuales del fabricante.
- Cuestionario previo y prácticas anteriores.

C. Equipo necesario:

- Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa.

D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

Basándose en la explicación ya expuesta en su momento por el instructor (PRACTICA 1) sobre el funcionamiento del equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa, además de la lectura de los manuales y la entrega de los cuestionarios previos y las prácticas respectivas, echar a andar el mismo y, a su vez, teclear el programa siguiente, conectando el programador universal Shark al PLC Shark XL.

STEP 0
ORG 0
STEP 1
AND 1
STEP 2
FUN 98
STEP 3
ORG 224
STEP 4
FUN 10 040
STEP 5
FUN 21 260
STEP 6
ORG 15
STEP 7
AND 13
STEP 8
AND NOT 14
STEP 9
OUT 224

Habiendo hecho lo anterior, accionar el reóstato del panel lentamente y ver que sucede. Paso seguido, controlar el motor, mediante el reóstato, haciendo uso del voltmetro adjunto y con un tacómetro externo aplicado en la flecha del motor, tomar los siguientes valores:

<u>VOLTAJE</u>	<u>VELOCIDAD</u>
0 VCD - - -	RPM
5 VCD - - -	RPM
10 VCD - - -	RPM

Hacer, finalmente una gráfica VCD - RPM y sacar conclusiones. Mostrarle y explicarle al instructor toda la práctica, incluyendo el programa y entregar un reporte, anexando, el programa, su diagrama de escalera (explicándolo), la tabla, la gráfica y los comentarios o conclusiones pertinentes, además de algún diagrama necesario y lo que se juzgue conveniente a la siguiente clase.

NOTA: En esta práctica se usarán, además de las instrucciones de las prácticas anteriores (PRACTICAS 2 y 3), las convenidas en el cuestionario previo respectivo, a saber: FUNCIONES ESPECIALES - PUN 98, PUN 10 y PUN 21.

PRACTICA 5

Nombre de la práctica: Teclado y puesta en marcha de un programa en PLC, elaborado por el alumno.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Tecleará y pondrá en marcha un programa en PLC, elaborado con anticipación por él mismo (CUESTIONARIO PREVIO - PRACTICA 5), haciendo uso de alguno de los PLC's disponibles (Shark X o XL) y en base a los switches del panel y a los focos piloto del mismo.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en los manuales del fabricante.
- Cuestionario previo y prácticas anteriores.

C. Equipo necesario:

- Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motores de corriente directa. En especial:
 - Programador universal Shark.
 - PLC Shark XL.

D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

Programación, por parte del alumno, del programa de su propia inventiva (CUESTIONARIO PREVIO respectivo). Chequeo y "visto bueno", por parte del instructor, y posible calificación del mismo. En este caso no se entregaría reporte de la práctica.

NOTA GENERAL (DE TODAS LAS PRACTICAS): Como sólo se cuenta con un solo equipo y los grupos son algunas veces numerosos, se pudieran formar varios equipos de alumnos para realizar las prácticas. Sin embargo, esto se deja a criterio del instructor (profesor).

REGULADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CA POR VARIACION DE FRECUENCIA

Antes de definir las prácticas para este equipo - que es uno de los objetivos primordiales de este trabajo -, es necesario e imprescindible conocer primero las bases históricas que generaron su desarrollo a la vez de entender a fondo su descripción y funcionamiento, de manera que se tenga un amplio panorama de referencia y se eficiente su potencialidad y no se caiga en errores que pudieran dañarlo. Así las cosas, primeramente se hace una exposición teórica que va desde los métodos de control y sistemas más rudimentarios para regular la velocidad de un motor de ca hasta llegar a los accionamientos (drives) actuales. Haciéndose mención también, por motivos que se verán más adelante, de un control por realimentación (vía PID) y de un control por PC (vía una interfase serie).

Posteriormente, se sintetiza lo más importante del manual del equipo (el cual, por otro lado, debe leerse completamente antes de arrancarlo), para dar paso, a una descripción más precisa (que la que se ofrece en el manual) de las modificaciones factibles de realizar al equipo original (drive y motor) y que de hecho se hicieron, cubriendo la mayoría de sus posibilidades, de manera que se conozcan y se puedan utilizar en lo que finalmente serán las prácticas del equipo.

Estas prácticas constan de una práctica (1) de conocimiento en general del convertidor, en base, principalmente, al conocimiento de sus parámetros, de sus facilidades, tanto digitales como analógicas, y de monitoreo, incluyendo tipos de control de frecuencia y control de arranque-paro; una práctica (2) que consiste en el desarrollo del concepto de realimentación (lazo cerrado), en base, primordialmente, a un control PID, así como en el uso de una realimentación por tacómetro, usando a éste como elemento de medición para controlar la velocidad del motor, en base a una entrada de referencia deseada. Y finalmente una práctica (3), en la que se ve el control del motor (mediante el drive) pero por vía remo-

ta, deshabilitando el convertidor localmente y habilitándolo de manera que pueda ser controlado desde una PC.

Antes de las prácticas se incluirán unos cuestionarios previos, que no tienen otra finalidad más que se llegue con cierto conocimiento a realizar la práctica en turno y por ende, se logre un mayor aprovechamiento de ella.

Al final en el Apéndice se dan los resultados de ambos: ques
tionarios previos y prácticas.

Esperamos que sea bien comprendido lo que se pretende.

REGULACION DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CA POR VARIACION DE FRECUENCIA.

El motor eléctrico es una máquina que convierte energía eléctrica tomada de la fuente de alimentación en energía mecánica, que entrega a través de la flecha al equipo accionado.

El motor eléctrico básico consiste de un elemento estacionario, y un elemento giratorio, teniendo ambos, campos magnéticos energizados por medio de corriente eléctrica que pasa a través de las bobinas, la interacción de esos campos magnéticos produce un par provocando que el elemento rotatorio gire.

MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

Los motores de corriente alterna funcionan como alternadores elementales y no requieren colector en su mayoría. Los más pequeños son, por lo general, monofásicos y los mayores polifásicos. En el primer caso el motor sí necesita de un colector, además de un devanado suplementario u cualquier otro artificio para el arranque. Los motores polifásicos usados en aplicaciones industriales son prácticamente sin excepción trifásicos, correspondiendo por lo tanto al número de fases en los sistemas de potencia comerciales.

Los motores trifásicos pueden ser sincrónicos o asíncronos. Los primeros giran a una velocidad fija determinada por la frecuencia de la corriente que los alimenta y son generalmente motores de elevada potencia. Los motores asíncronos arrancan solos sin ningún dispositivo auxiliar y su velocidad puede experimentar fluctuaciones. Estos motores son llamados así, porque giran por debajo de la velocidad sincrónica. Entre éstos los más importantes son los motores de inducción.

NOTA: "A lo largo del presente trabajo hablaremos indistintamente tanto de un motor de ca como de un motor de inducción, entendiéndose con esto, que nos esturámos refiriendo siempre a un motor de inducción polifásico (y principalmente trifásico)".

MOTORES DE INDUCCION

Este tipo de motor tiene los devanados del estator conectados a la línea de C.A., se induce una corriente del rotor y ésta produce

un campo magnético que reacciona con el del estator, produciendo el par. La velocidad síncrona n_{sinc} de un motor está dada por la ecuación:

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120f_e}{p}$$

en donde:

n_{sinc} = velocidad síncrona en rpm.

f_e = frecuencia de la red en ciclos por segundo.

p = número de polos.

Por el tipo de rotor estos motores pueden ser jaula de ardilla o de rotor devanado⁺.

MOTOR DE JAULA DE ARDILLA

El par depende principalmente del diseño del rotor. La facilidad para adaptarse a las armazones, su simplicidad y construcción robusta, hacen de este motor el tipo más ampliamente aplicado.

La posibilidad de variar la velocidad se tiene:

- a) modificando la frecuencia, o bien
- b) modificando el número de polos.

MOTOR DE ROTOR DEVANADO

La resistencia eléctrica del rotor juega una parte importante en la determinación de las características velocidad-par del motor de inducción. En los motores de rotor devanado, el rotor tiene un bobinado de conductores aislados, y la conexión a éste se realiza a través de los anillos rozantes. En estas circunstancias, es posible conectar una resistencia externa al circuito del rotor. Generalmente la resistencia externa es ajustable, de tal forma que las características pueden modificarse obteniéndose así un motor de inducción con rotor de resistencia variable, capaz de combinar el alto par de arranque del motor de alta resistencia, con las características de marcha favorables del rotor de baja resistencia.

La posibilidad de variar la velocidad se tiene:

- a) modificando la frecuencia.
- b) variando la resistencia externa del rotor.
- c) modificando el número de polos.

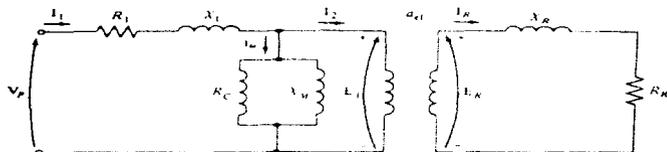
Como puede observarse, existen principalmente dos tipos de motores de inducción, los de jaula de ardilla y los de rotor devanado. En términos generales, para controlar la velocidad de ambos, se utilizan prácticamente los mismos métodos, sin embargo, para poder comprenderlos convenientemente, es necesario conocer primero algunos aspectos fundamentales que engloban a este tipo de motores, como pueden ser sus ecuaciones, diagramas y gráficas básicas, que a la vez sustentan su posible representación y estudio.

+ - También llamado motor de anillos deslizantes.

NOTA: A pesar de que aquí nos enfocamos en mencionar solamente a los motores de inducción más importantes, está claro que existen otros motores de ca no tan conocidos ni tan relevantes, pero ciertamente usados, como pueden ser el motor Schrage y algunos otros ya señalados en las tablas del Capítulo 2.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR DE INDUCCION

Modelo de un motor de inducción como transformador



Modelo de transformador de un motor de inducción, con rotor y estator conectados por medio de un transformador ideal con relación de espiras a .

Modelo del circuito del rotor

$$E_R = sE_{R0}$$

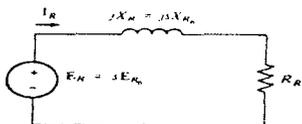
$$X_R = \omega_r L_R = 2\pi f_r L_R$$

$$f_r = sf_e$$

$$X_R = 2\pi sf_e L_R$$

$$= s(2\pi f_e L_R)$$

$$= sX_{R0}$$



Modelo de circuito del rotor de un motor de inducción.

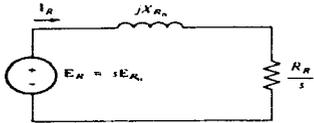
$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R}$$

$$I_R = \frac{sE_{R0}}{R_R + jsX_{R0}}$$

$$I_R = \frac{E_{R0}}{R_R} \frac{s}{s + js \frac{X_{R0}}{R_R}}$$

$$Z_{R,eq} = -\frac{R_R}{s} + jX_{Ro}$$

Circuito equivalente definitivo



Modelo de circuito del rotor con todos los efectos de frecuencia (deslizamiento) concentrados en la resistencia R_R .

Transformador

$$V_P = V^* S = a V_S$$

$$I_P = I^* S = -a I_S$$

$$Z^* S = a^2 Z_S$$

Motor de inducción

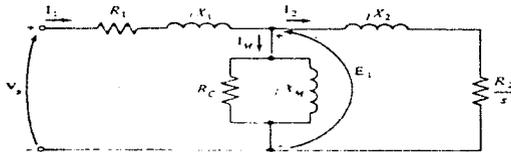
$$E_1 = E^* R = a_{ef} E_{R0}$$

$$I_2 = -\frac{I_R}{a_{ef}}$$

$$Z_2 = a_{ef}^2 \left(-\frac{R_R}{s} + jX_{Ro} \right)$$

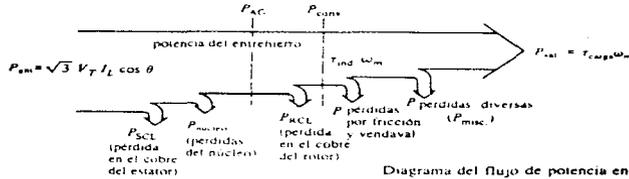
$$R_2 = a_{ef}^2 R_R$$

$$X_2 = a_{ef}^2 X_{Ro}$$



Circuito equivalente por fase de un motor de inducción

Potencia y momento de torsión en los motores de inducción
Pérdidas y diagrama de flujo de potencia



$$I_1 = -\frac{V}{Z_{eq}}$$

$$Z_{eq} = R_1 + jX_1 + \frac{1}{G_C - jB_M} + \frac{1}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

$$P_{núcleo} = 3E_1^2 G_C = -\frac{3E_1^2}{R_C}$$

$$P_{AG} = P_{ent} - P_{SCL} - P_{núcleo}$$

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

$$P_{RCL} = 3I_R^2 R_R$$

$$P_{RCL} = 3I_2^2 R_2$$

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$$

$$= 3I_2^2 \frac{R_2}{s} - 3I_2^2 R_2$$

$$= 3I_2^2 R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

$$P_{conv} = 3I_2^2 R_2 \left(\frac{1}{s} - s \right)$$

$$P_{RCL} = sP_{AG}$$

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$$

$$= P_{AG} - sP_{AG}$$

$$P_{conv} = (1 - s)P_{AG}$$

$$P_{sal} = P_{conv} - P_{F\&W} - P_{misc}$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$$

$$\tau_{ind} = \frac{(1-s)P_{AG}}{(1-s)\omega_{sinc}}$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sinc}}$$

$$R_{conv} = \frac{R_2}{s} = R_2$$

$$= R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

$$R_{conv} = R_2 \left(\frac{1}{s} - \frac{s}{s} \right)$$

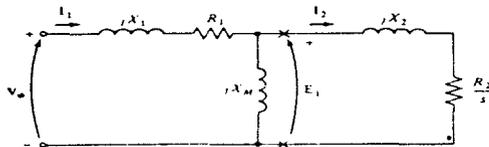
Deducción de la ecuación del momento de torsión inducido en el motor de inducción

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_m}$$

$$= \frac{P_{AG}}{\omega_{sinc}}$$

$$P_{AG, 1\phi} = I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$$



Circuito equivalente por fase de un motor de inducción

$$V_{TH} = V_{\phi} \frac{Z_M}{Z_M + Z_1}$$

$$= V_{\phi} \frac{jX_M}{R_1 + jX_1 + jX_M}$$

$$V_{TH} = V \phi \frac{X_M}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_M)^2}}$$

$$V_{TH} = V \phi \frac{X_M}{\bar{X}_1 + \bar{X}_M}$$

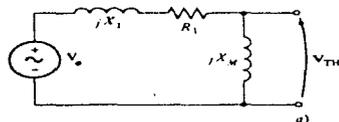
$$Z_{TH} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_M$$

$$Z_{TH} = R_{TH} + jX_{TH} = \frac{jX_M(R_1 + jX_1)}{\bar{R}_1 + j(\bar{X}_1 + \bar{X}_M)}$$

Como $X_M \gg X_1$ y $X_M + X_1 \gg R_1$

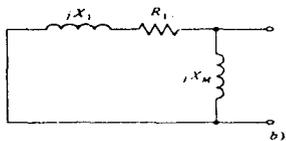
$$R_{TH} = R_1 \left(\frac{X_M}{X_1 + X_M} \right)^2$$

$$X_{TH} = X_1$$

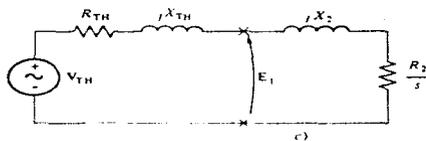


$$V_{TH} = \frac{jX_M}{R_1 + jX_1 + jX_M} V_0$$

$$V_{TH} = \frac{X_M}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_M)^2}} V_0$$



$$Z_{TH} = \frac{jX_M(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_M)}$$



a) Voltaje equivalente de Thevenin de un circuito de alimentación de un motor de inducción b) Impedancia equivalente de Thevenin del circuito de alimentación c) Circuito equivalente simplificado resultante de un motor de inducción.

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_2}$$

$$= \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_2/s + jX_{TH} + jX_2}$$

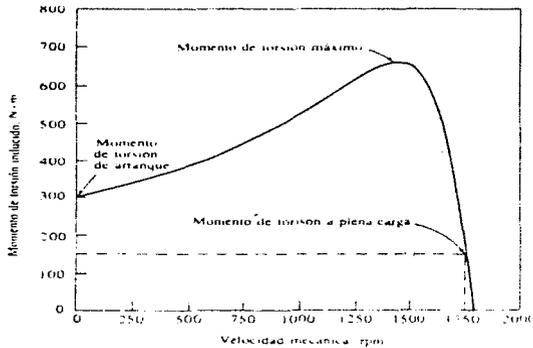
$$I_2 = \frac{V_{TH}}{(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

$$P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

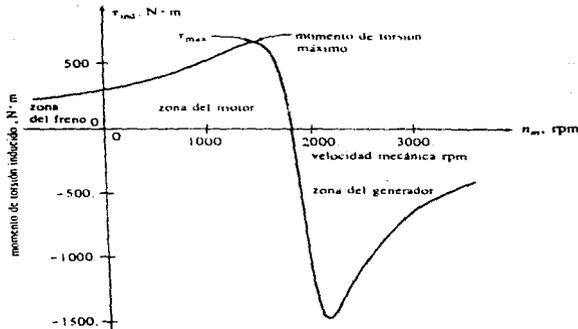
$$= \frac{3V_{TH}^2 R_2/s}{(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sinc}}$$

$$\tau_{ind} = \frac{3V_{TH}^2 R_2/s}{\omega_{sinc} [(R_{TH} + R_2/s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]}$$



Curva característica del momento de torsión-velocidad de un motor de inducción



Curva característica del momento de torsión-velocidad del motor de inducción, que muestra los límites de funcionamiento extendidos (Zona de frenado y zona del generador).

CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCION

Primera mente mencionaremos que existen varias clasificaciones basadas en la variabilidad de la velocidad, a saber:

1. Velocidad constante: La velocidad es constante o prácticamente constante. La mayoría de los motores de inducción, motores sincrónicos y motores de cc. están en esta categoría.
2. Velocidad variable: La velocidad varía con la carga, generalmente disminuyendo al aumentar la carga. Dentro de esta categoría se encuentra el motor de cc. de devanado serie.
3. Velocidad ajustable: La velocidad se puede ajustar para una carga constante, pero una vez ajustada, varía con los cambios de carga. En este grupo están el motor de cc. compuesto con control por campo y el motor de ca. de rotor bobinado con reóstato en el circuito del rotor.
4. Multivelocidad: Se pueden seleccionar una de dos o más velocidades, cada una siendo esencialmente constante frente a variaciones de carga. En esta categoría se encuentran los motores

de inducción con facilidad para cambio en el número de polos del estator.

Hasta el advenimiento de los accionamientos de estado sólido, los motores de inducción, en general, no fueron máquinas buenas para las aplicaciones en donde se requería un considerable control de la velocidad. El límite de funcionamiento normal de un motor de inducción típico se limita a menos del 5% de deslizamiento y la variación de la velocidad sobre tal límite es más o menos directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor. Aún en el caso de que el deslizamiento pudiera hacerse mayor, la eficiencia del motor sería muy deficiente, puesto que las pérdidas en el cobre del rotor son directamente proporcionales al deslizamiento en el motor ($P_{RCL} = sP_{AG}$).

Existen solamente dos técnicas por medio de las cuales puede controlarse la velocidad de un motor de inducción. Una, es variar la velocidad sincrónica, que es la velocidad de los campos magnéticos del estator y del rotor, puesto que la velocidad del rotor siempre permanece cercana a n_{sinc} . La otra técnica es variar el deslizamiento del motor para una carga determinada. Para esto, las únicas formas en que se puede variar la velocidad sincrónica de una máquina son: (1) cambiando el número de polos de la misma y (2) cambiando la frecuencia eléctrica que la alimenta. Por otro lado, el control del deslizamiento puede lograrse variando, bien la resistencia del rotor, bien la tensión de los bornes del motor. Esta última forma, no mencionada hasta ahora.

CONTROL DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE INDUCCION POR MEDIO DEL CAMBIO DEL NUMERO DE POLOS

Como ya se mencionó, la velocidad de un motor de inducción puede variarse cambiando el número de polos. A pesar de que hablamos de manera general, este método se adapta mejor a los motores de jaula de ardilla que a los motores de rotor devanado debido a que la jaula de ardilla automáticamente asume el mismo número de polos que los del estator. Esto es, el número de polos de un motor jaula de ardilla se cambia reconectando el devanado del estator. La veloci -

dad cambia escalonadamente. El método no es práctico para los motores de rotor devanado porque los devanados del rotor deberían también volverse a conectar para tener el mismo número de polos que el estator. Un motor de jaula de ardilla automáticamente desarrolla un número de polos magnéticos igual al del campo del entrehierro.

Existen varias técnicas o sistemas para cambiar el número de polos de un motor de inducción, éstos se verán más adelante.

CONTROL DE LA VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAMBIO EN LA FRECUENCIA DE LA LINEA

Si la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción se cambia, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos n_{sinc} , cambiará en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica; y el punto de vacío en la característica de la curva del momento de torsión-velocidad cambiará con él (véase figura I).

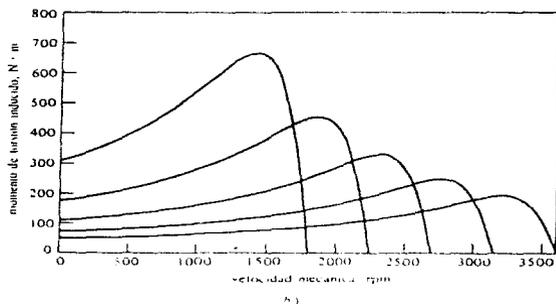
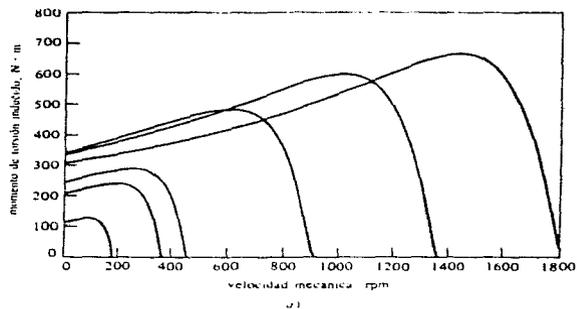
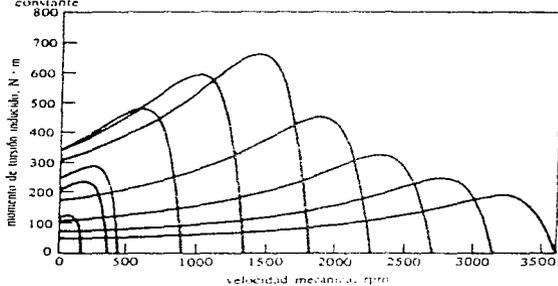


FIGURA I

Control de velocidad de frecuencia variable en un motor de inducción: a) Familia de las curvas características momento de torsión-velocidad, para velocidades por debajo de la velocidad base, suponiendo que el voltaje de línea, se disminuya linealmente con la frecuencia. b) Familia de las curvas características momento de torsión-velocidad, para velocidades por encima de la velocidad base, suponiendo que el voltaje de línea se mantenga constante.



c) Característica momento de torsión-velocidad, para todas las frecuencias.

La velocidad sincrónica del motor en condiciones nominales se conoce como velocidad base. Usando el control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor ya por encima, ya por debajo de la velocidad base. Un control para motor de inducción con frecuencia variable, diseñado apropiadamente, puede ser muy flexible. Puede controlar la velocidad de un motor de inducción en una franja que va desde un 5% hasta cerca del doble de la velocidad base. Sin embargo, es importante mantener ciertos límites de voltaje y momento de torsión en el motor, mientras haya variación en la frecuencia, para garantizar una operación segura.

Cuando se opere a velocidades por debajo de la velocidad base del motor, es necesario reducir la tensión aplicada al estator en los bornes, para una operación apropiada. Esta tensión se debe disminuir linealmente, reduciendo la frecuencia del estator. Este proceso se denomina disminución de la capacidad normal. Si esto no se pone en práctica, el acero del núcleo del motor de inducción se saturará y se producirán corrientes de magnetización excesivas, que circularán por la máquina.

Para entender la necesidad de la disminución de la capacidad normal, recuérdese que un motor de inducción es básicamente un transformador giratorio. Como con cualquier transformador, el flujo en el núcleo de un motor de inducción puede hallarse por medio de la Ley de Faraday:

$$v(t) = N \frac{d\phi}{dt}$$

Despejando el flujo ϕ , nos da

$$\phi = -\frac{1}{N} \int v(t) dt$$

$$\phi = -\frac{1}{N} \int V_M \sin \omega t dt$$

$$\phi = \frac{V_M}{\omega N} \cos \omega t$$

Nótese que la frecuencia eléctrica ω aparece en el denominador de esta expresión. Por tanto, si la frecuencia aplicada al estator se disminuye en un 10%, mientras la magnitud del voltaje aplicado al

estator permanece constante, el flujo en el núcleo del motor se incrementará en cerca de un 10% y la corriente de magnetización del motor aumentará. En la zona no saturada de la curva de magnetización del motor, el aumento de la corriente de magnetización también será de cerca de un 10%. Sin embargo, en la zona saturada de la curva, un 10% de aumento en el flujo necesita un aumento mucho más grande de tal corriente. Los motores de inducción están diseñados normalmente para funcionar cerca del punto de saturación de sus curvas de magnetización, de donde el aumento en el flujo, debido a una disminución de la frecuencia, causará corrientes de magnetización excesiva que circularán por el motor. (Este mismo problema se observa en los transformadores).

Para evitar el exceso de corrientes de magnetización, se acostumbra a disminuir el voltaje utilizado por el estator en proporción a la disminución de frecuencia, cuando ésta cae por debajo de la frecuencia nominal del motor. Puesto que el voltaje utilizado V , aparece en el numerador de la última ecuación, y la frecuencia ω aparece en el denominador de la misma, los dos efectos se contraponen entre sí y la corriente de magnetización no se afecta.

Cuando el voltaje utilizado por un motor de inducción varía linealmente con la frecuencia por debajo de la velocidad base, el flujo en el motor permanecerá aproximadamente constante. Por consiguiente, el momento de torsión máximo que el motor puede suministrar permanece bastante alto. Sin embargo, la potencia nominal máxima del motor se debe disminuir linealmente con disminución de frecuencia, para proteger el circuito del estator de recalentamiento. La potencia suministrada por un motor de inducción trifásico, se halla por medio de

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

Si el voltaje V_L se disminuye, entonces la máxima potencia P también se debe disminuir o de lo contrario la corriente que fluye por el motor se vuelve excesiva y el motor se recalentará.

La figura 1a muestra una familia de curvas de un motor de inducción, con características del momento de torsión-velocidad, para

velocidades por debajo de la velocidad base, en el supuesto de que la magnitud del voltaje del estator varíe linealmente con la frecuencia.

Cuando la frecuencia eléctrica que utiliza el motor sobrepasa su frecuencia nominal, el voltaje del estator mantiene constante su valor nominal. Aunque consideraciones de saturación permitirían que el voltaje se elevara por encima de este valor, en estas circunstancias, para el voltaje nominal sería muy limitada la protección que podría dar el aislamiento del embobinado del motor. Cuando más alta la frecuencia eléctrica sobre la velocidad base, más grande se volverá el denominador de la penúltima ecuación. Puesto que el término del numerador se mantiene constante por encima de la frecuencia nominal, tanto el flujo resultante como el momento de torsión máximo se disminuyen en la máquina. La figura Ib, muestra una familia de curvas de un motor de inducción con características del momento de torsión-velocidad, para velocidades por encima de la velocidad base, suponiendo que el voltaje del estator se mantenga constante.

Si el voltaje del estator se varía linealmente con la frecuencia por debajo de la velocidad base y se mantiene constante en su valor nominal por encima de la velocidad base, entonces la familia resultante con características del momento torsión-velocidad es como se muestra en la figura Ic. La velocidad nominal para el motor que se ve en la figura I es de 1,800 rpm.

Existen varias técnicas o sistemas para cambiar la frecuencia eléctrica de alimentación de un motor de inducción, éstos se verán más adelante.

CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAMBIO DE LA RESISTENCIA DEL ROTOR

En los motores de inducción de rotor embobinado es posible cambiar la forma de la curva del momento de torsión-velocidad, por medio de la inserción de resistencias adicionales en el circuito del rotor. Las curvas características momento de torsión-velocidad resultantes se ilustran en la figura II.

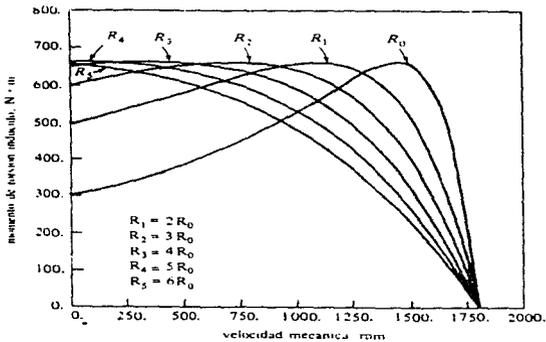


FIGURA II
Control de velocidad de un motor de inducción de rotor devanado, por medio de la variación de la resistencia del rotor.

Si la curva momento de torsión-velocidad de la carga es como la que se ve en la figura, entonces, cambiando la resistencia del rotor, se cambia la velocidad de funcionamiento del motor. Sin embargo, si se insertan resistencias adicionales en el circuito del rotor de un motor de inducción, se reduce seriamente su eficiencia. Tal método de control de la velocidad se usa normalmente sólo por periodos cortos, por razón de este problema de eficiencia. Además, mientras que la velocidad del motor de rotor devanado puede controlarse ajustando las resistencias externas del rotor, este método también tiene la desventaja de una mala regulación de la velocidad a valores altos de deslizamiento. Para grandes motores de inducción, arreglos complejos que alimentan la potencia, que consume normalmente la resistencia externa del rotor, nuevamente en la línea, pueden justificarse.

Existen algunas técnicas o sistemas para cambiar la resistencia del rotor de un motor de inducción, éstos se verán más adelante.

CONTROL DE VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAMBIO DEL VOLTAJE DE LINEA

El momento de torsión que desarrolla un motor de inducción es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado. Si una carga tiene una característica momento de torsión-velocidad, como la que se ilustra en la figura III, entonces la velocidad del motor puede controlarse sobre una franja limitada, variando el voltaje de línea. Este método de control de velocidad se usa en algunas oportunidades en motores pequeños, p.ej. para impulsar ventiladores.

Existen algunas técnicas o sistemas para cambiar el voltaje de alimentación de un motor de inducción, éstos se verán más adelante.

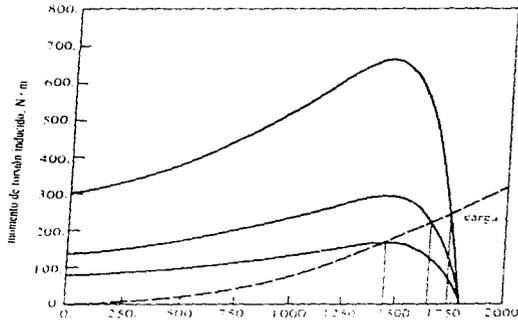


FIGURA III
Control de la velocidad de un motor de inducción por variación del voltaje de la línea de alimentación.

POLOS CONSECUTIVOS

Esta técnica es bastante antigua para el control de la velocidad; se desarrolló originalmente en 1897. Se basa en el hecho de que el número de polos de los embobinados del estator de un motor de inducción pueden cambiarse muy fácilmente por un factor de 2:1, simplemente con cambios en la conexión de las bobinas. La figura IV muestra un estator sencillo, de dos polos, de un motor de

inducción, apropiado para el cambio de polos.

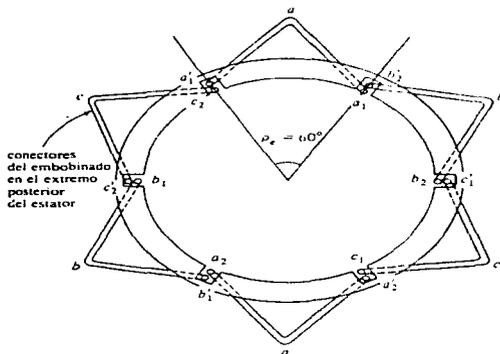


FIGURA IV
 Embobinado de estator de dos polos, apropiado para cambio de polos. Obsérvese el paso tan pequeño del rotor de estos embobinados.

Obsérvese que las bobinas individuales tienen un avance o paso corto (de 60° a 90°). La figura V, muestra la fase a de estos embobinados por separado, para mayor claridad.

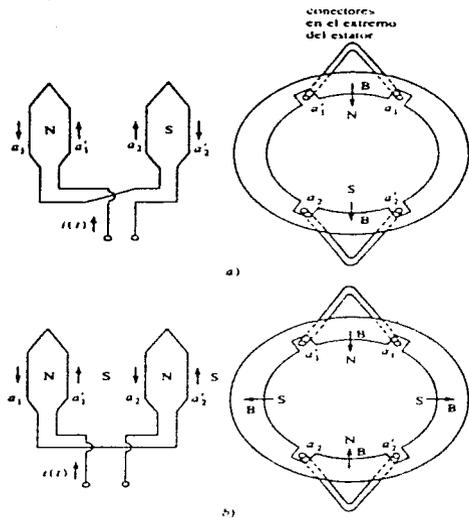


FIGURA 5

Vista interior de una fase de un embobinado en proceso de cambio del número de polos. *a)* En la configuración de dos polos, una bobina es polo norte y la otra es polo sur. *b)* Cuando la conexión en una de las dos bobinas se invierte, ambas son polos norte y el flujo magnético vuelve al estator, a puntos a mitad de camino entre las dos bobinas. Los polos sur se denominan polos consecuentes y el embobinado es ahora de cuatro polos.

La figura Va muestra el flujo de corriente de la fase a de los embobinados del estator en una fracción de tiempo determinada, durante la operación normal. El campo magnético deja el estator en el grupo de la fase superior (polo norte) y entra al estator en el grupo de la fase inferior (polo sur). El embobinado está produciendo en esta forma dos polos magnéticos en el estator.

Ahora, supóngase que la dirección del flujo de corriente en el grupo de la fase inferior del estator se invierte (véase figura Vb). Entonces el campo magnético dejará el estator, tanto en el grupo de la fase superior como en el grupo de la inferior; cada una será un polo magnético norte. El flujo magnético de esta máquina debe regresar al estator por entre los dos grupos de fase, produciendo un par de polos sur magnéticos, consecuentes. Ahora el estator tiene cuatro polos magnéticos, el doble de los que tenía antes.

El rotor de tal motor es de diseño de jaula de ardilla, y como este tipo de rotor tiene tantos polos inducidos en él como los que hay en el estator, puede adaptarse cuando a éste se le cambia el número de polos.

Cuando el motor se reconecta, en una operación para cambiar de dos a cuatro polos, el máximo momento de torsión resultante del motor de inducción puede ser el mismo de antes (conexión de momento de torsión constante), puede ser la mitad de su valor anterior (conexión del momento de torsión, según la ley de los cuadrados, utilizada para ventiladores, etc.) o puede ser el doble de su valor anterior (conexión de potencia de salida constante), que depende de cómo se reordenen los embobinados del estator. La figura VI muestra las posibles conexiones del estator y su efecto sobre la curva del momento torsión-velocidad.

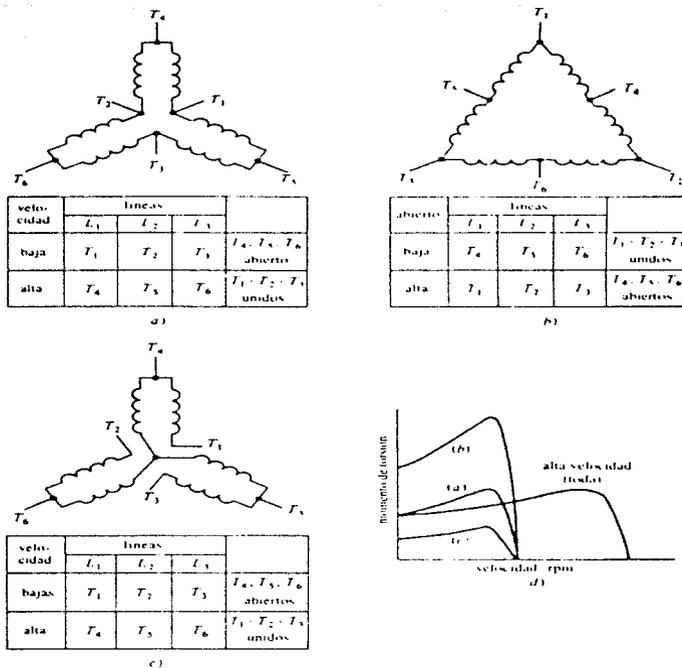


FIGURA VI.

Posibles conexiones de las bobinas del estator en un motor de polos cambiantes, junto con la característica resultante del momento de torsión-velocidad. a) *Conexión de momento de torsión constante*. Las capacidades del momento de torsión del motor permanecen aproximadamente constantes, tanto en la conexión de alta velocidad como en la conexión de baja. b) *Conexión de potencia constante*. Las capacidades de potencia del motor permanecen aproximadamente constantes, tanto en la conexión de alta velocidad, como en la de baja. c) *Conexión de momento de torsión de ventilador*. Las capacidades del momento de torsión del motor cambian con la velocidad en la misma forma que las cargas de tipo ventilador.

ESTADORES CON EMBOBINADOS MÚLTIPLES

La principal desventaja de la técnica del polo consecuente para poder controlar la velocidad consiste en que la velocidad debe estar en relación de 2:1. La técnica tradicional para superar esta limitación fue emplear embobinados múltiples en el estator, con diferente número de polos y energizar solamente un juego a la vez. Por ejemplo, un motor podría estar embobinado con un juego de cuatro o de seis polos y su velocidad sincrónica en un sistema de 60 Hz se podría cambiar de 1800 a 1200 rpm, simplemente mediante la entrega de potencia al otro juego de bobinas. Infortunadamente, los embobinados múltiples en el estator aumentan el costo del motor y por tanto solamente se usan cuando es absolutamente indispensable.

Si se combina la técnica de los polos consecuentes con la de los embobinados múltiples en el estator, es posible construir un motor de inducción de cuatro velocidades. Por ejemplo, con embobinados de cuatro y seis polos independientes puede producirse un motor de 60 Hz, con posibilidad de marchar a 600, 900, 1200 y 1800 rpm.

MODULACION DE LA AMPLITUD POLAR (PAM)

En 1957, F.H. Rowcliffe, de la Universidad de Bristol en Inglaterra, inventó otra técnica para modificar el número de polos. Esta técnica general se conoce como modulación de la amplitud polar. El esquema de PAM es una forma de lograr múltiples juegos de polos en un estator de embobinado sencillo, en donde el número de polos resultante puede estar en relación diferente de 2:1. En la figura VII se muestran diversas relaciones polares típicas, logradas con la técnica PAM.

Relación número de polos	velocidad sincrónica	
	A 60 Hz	A 50 Hz
2 4	1800/900	1600/800
4 6	1500/1000	1400/1200
4 10	1500/600	1400/720
6 8	1000/750	1200/900
6 10	1000/600	1200/720
8 10	720/900	900/720
8 12	750/900	900/600
10 12	600/900	720/600

FIGURA VII.
Relaciones típicas de polos que pueden lograrse por medio de la modulación de amplitud polar y las relaciones de velocidad sincrónica resultante.

El cambio del número de polos en un embobinado se reduce a cosa tan sencilla como cambiar las conexiones en seis terminales, en la misma forma del método de los polos consecuentes. Los embobinados con modulación de amplitud polar se prefieren a los embobinados múltiples en los estatores, por haber logrado un motor de inducción con dos velocidades cercanas y porque solamente cuentan más o menos tres cuartas partes del precio de dos embobinados separados.

La teoría de la modulación de la amplitud polar es muy complicada, pero se puede resumir en forma más bien sencilla. Cuando se combinan dos sinusoides de frecuencias diferentes (múltiplos entre sí) en un aparato llamado mezclador, la energía de salida resultante contiene componentes con frecuencias iguales a la suma y a la diferencia de las dos frecuencias de entrada originales. Así, si una señal de 100 kHz se multiplica (modula) por una señal de 1 kHz, las frecuencias de la corriente de salida del mezclador son 99 y 101 kHz.

En la modulación de la amplitud polar, este mismo principio se aplica a la distribución espacial de las ondas de fuerza magnetomotriz en el estator de la máquina. Si el embobinado de una máquina que tiene normalmente P polos, se modula haciendo N cambios en las conexiones de los grupos fase de una fase determinada, entonces se producirán dos ondas de fuerza magnetomotriz en el embobinado del estator, una con $P + N$ polos y la otra con $P - N$ polos. Si una de estas formas de onda se puede preferir sobre la otra, entonces el motor tendrá ese número de polos en su estator y el mismo número de polos, naturalmente, se inducirá en el rotor de jaula de ardilla.

Como ejemplo de este concepto, considérese un estator convencional de ocho polos. Los embobinados de este estator están modulados por una espacial trifásica de dos polos; esta onda se puede producir invirtiendo las conexiones en la mitad de los grupos fases de una fase determinada, comparada con la otra mitad. En la figura VIII se muestran los campos magnéticos resultantes de cada fase, antes de la modulación y después de ella.

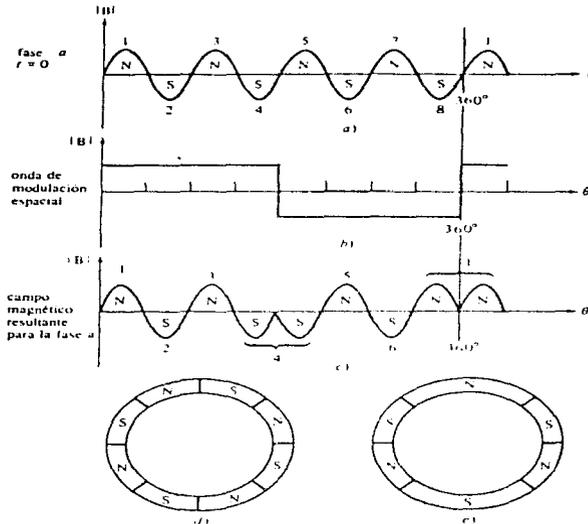


FIGURA VIII

Modulación de la amplitud polar en el estator de un motor de inducción de ocho polos. Estos diagramas muestran solamente la fase α . a) Distribución física del campo magnético original del estator de ocho polos. b) Modulación espacial de la onda lograda por medio del cambio de las conexiones de la mitad de los grupos fase originales. c) Distribución del flujo magnético resultante. Obsérvese que ahora hay seis polos de tamaños diferentes. d) Distribución física de los polos magnéticos a lo largo de la superficie del estator, antes de la modulación. e) Distribución física de los polos magnéticos a lo largo de la superficie del estator, después de la modulación.

Si se examina la figura VIII, se puede observar el efecto de la modulación polar; ahora hay solamente seis polos magnéticos alrededor del estator y ellos son de tamaños variables. Cuando a este patrón se le hace el análisis de Fourier, puede dividirse en dos distribuciones sinusoidales, una de ellas un patrón de seis polos (diferencia) y la otra un patrón de 10 polos (suma). Cómo responde el motor con estos dos patrones de polo diferentes, estando ambos presentes al mismo tiempo, depende de la distribución y el encordado del embobinado del estator. (Véase figura IX).

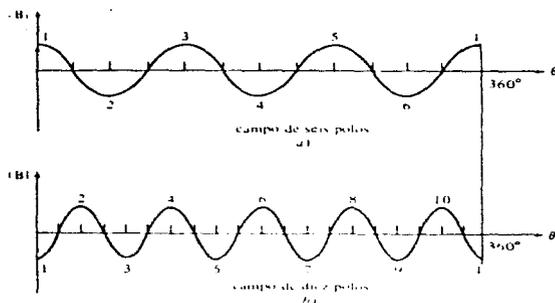


FIGURA IX

El campo modulado espacialmente puede separarse en dos componentes, un campo de 6 polos y otro de 10 polos. Además, hay campos de armónicos superiores, causados por el hecho de que la modulación original era una onda cuadrada. En esta máquina, los campos de seis polos de las tres fases se anulan, dejando la máquina resultante con 10 polos.

Debe tenerse en cuenta que el lugar a donde se han cambiado las conexiones del grupo fase se debe desplazar 120° en las fases b y c para modular espacialmente todo el embobinado del estator trifásico.

El siguiente estudio es un desarrollo matemático simplificado de la modulación de la amplitud polar; la onda de la fuerza magnetomotriz producida por un embobinado convencional de P polos, en función de tiempo y posición, puede expresarse así:

$$F = F_m \sin\left(-\frac{P}{2} \theta - \omega t\right)$$

Si Q es el número final de polos deseado en la máquina, entonces $P - Q$ es la diferencia entre el número original de polos y el número de polos deseado. Ahora, modúlese la onda espacial original, invirtiendo las conexiones en $P - Q$ puntos, espaciados uniformemente en cada fase. La onda de fuerza magnetomotriz resultante es

$$F = F_m \sin\left(-\frac{P}{2} \theta - \omega t\right) \sin\left(-\frac{P}{2} \theta - \frac{Q}{2} \theta\right)$$

Por identidad trigonométrica,

$$\text{sen } \alpha \text{ sen } \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$$

de tal modo que la expresión de la fuerza magnetomotriz, se reduce

$$F = -\frac{F_M}{2} \cos\left(-\frac{Q}{2}\theta + \omega t\right) - \frac{F_M}{2} \cos\left[\left(P - \frac{Q}{2}\right)\theta - \omega t\right]$$

Como $\cos\alpha = \cos(-\alpha)$, esta fuerza magnetomotriz puede expresarse

$$F = -\frac{F_M}{2} \cos\left(\frac{Q}{2}\theta - \omega t\right) - \frac{F_M}{2} \cos\left[\left(P - \frac{Q}{2}\right)\theta - \omega t\right]$$

Obsérvese que hay dos distribuciones espaciales diferentes de polos presentes en la fuerza magnetomotriz resultante. Si Q es el número deseado de polos en el motor, entonces algo se debe hacer para rechazar la otra distribución. Este rechazo se logra mediante una selección apropiada de la distribución y del encordado de los embobinados.

Este análisis es solamente aproximado, puesto que provee que la onda espacial es sinusoidal cuando de hecho es una onda cuadrada. El efecto de la modulación de la onda cuadrada introduce más armónicos en la distribución de la fuerza magnetomotriz, la cual puede reducirse por medio de una apropiada selección del encordado del embobinado.

En un motor real, la selección de la frecuencia modulada espacial, del encordado del embobinado, de la distribución del embobinado y de otros factores indispensables para lograr una determinada relación de velocidades es un arte que se ha venido desarrollando a través de los años de experiencia práctica.

MOTORES DE INDUCCION EN CASCADA

Los motores de inducción pueden conectarse en cascada para dar velocidades intermedias. En esta disposición dos motores se colocan de forma que el rotor de un motor esté conectado en serie con el estator del segundo, Fig. X. Solamente se alimenta un estator de la red.



Fig. X Conexiones trifásicas en cascada.

La velocidad del eje común será igual a la de un motor que tenga un número de polos igual a la suma de los dos motores. La velocidad de una disposición en cascada es, pues, baja; lo que de ordinario es una ventaja para impulsar maquinaria pesada. Para la variación de la velocidad pueden disponerse de manera que cada motor principal pueda usarse separadamente o en cascada. Por ejemplo, una combinación de un motor de 4 polos y una de 6 polos que dan por separado 1500 rev/min ó 1000 rev/min, combinados su velocidad será

$$\frac{50 \times 60}{2 \times 3} = 600 \text{ rev/min}$$

MOTORES 'TANDEM'

El motor 'Tándem' consta de dos motores componentes, formando una unidad completa. Es un tipo de motor muy usado, p.ej. para elevación y accionamiento de grúas, en donde es a veces muy conveniente que el órgano motor sea capaz de dar una velocidad estable muy lenta, además de la velocidad normal de izar o arriar. Es un motor que fue creado para funcionar con corriente alterna. El motor de baja velocidad es un motor de jaula de ardilla y forma la parte principal del conjunto. Un motor de anillos deslizantes forma la unidad de alta velocidad.

Donde la frecuencia de la red sea de 50 Hz, las dos velocidades seleccionadas usualmente son 960 rev/min para la máquina de anillos deslizantes y 150 rev/min para el motor de jaula, pero si se desea, pueden proporcionarse otras velocidades. El cambio de velocidad puede efectuarse mientras el motor está funcionando y puede llevarse a cabo transfiriendo la alimentación del devanado de un estator a otro.

Al pasar de una velocidad a otra inferior, la última se alcanza por enérgico frenado generativo, durante el cual el par total inverso puede valer hasta el 400% del par a plena carga. Bajo condiciones normales la inercia relativamente elevada del rotor absorbe la mayor parte de este par, con lo cual impide la deceleración demasiado rápida y el esfuerzo excesivo en los dispositivos y mecanismos de accionamiento.

Puede efectuarse nuevo ajuste de frenado insertando una bobina o una resistencia amortiguadora en serie con el devanado del estator del motor de baja velocidad en jaula de ardilla.

ACCIONAMIENTO A FRECUENCIA VARIABLE

La velocidad de un motor de inducción puede variarse variando la frecuencia de alimentación. Esta frecuencia variable puede obtenerse de varias maneras.

Hasta la aparición de los tiristores el sistema más común de variar la frecuencia era por un grupo motor generador como se indica en la figura XI.

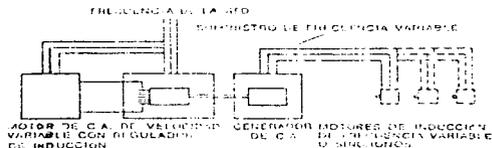


Fig. XI. Grupo motor generador que alimenta los motores de frecuencia variable.

Como tales máquinas son caras es corriente utilizar un grupo para alimentar a cierto número de motores como los indicados. En el uso de un grupo motor generador están implicadas tres conversiones complejas de potencia electromecánica y por esta razón es ventajoso usar sistemas en los cuales la conversión de frecuencias se realice eléctricamente dentro del convertidor. La frecuencia de salida acusa aún las variaciones de la velocidad del convertidor, pero esto tiene lugar solamente si se usan motores de pequeña potencia. El convertidor en sí es un estator no devanado, dentro del cual gira un rotor cuyos devanados están conectados a los anillos deslizantes y al colector. Fig. XII.

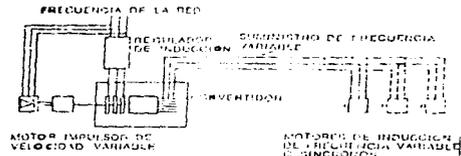


Fig. XII. Convertidor de frecuencia Parry, con motor, para alimentación de motores de frecuencia variable.

Pueden obtenerse también convertidores autoimpulsados que son básicamente motores con colector de estator alimentado, en los cuales la salida no se toma como potencia mecánica en el eje, si no como potencia de frecuencia deslizante de un grupo de anillos deslizantes conectados al devanado del rotor, Fig. XIII.



Fig. XIII. Convertidor de frecuencia autoimpulsado que alimenta motores de frecuencia variable.

El regulador de inducción en tales equipos controla la velocidad del convertidor y, por tanto, la frecuencia, la tensión de salida varía con la frecuencia para mantener una relación constante entre tensión y frecuencia.

Así pues, una aplicación de las máquinas de inducción, que llegó a ser muy popular antes de la aparición de los accionamientos de estado sólido de frecuencia variable, fue la del convertidor de frecuencia de inducción. En términos llanos es, sencilla-

mente, un motor de inducción de rotor embobinado, en el cual se aísla el voltaje del rotor y se toma en las escobillas para suministrarlo a una carga externa.

Recuérdese que la frecuencia del rotor de un motor de inducción se obtiene por medio de

$$f_r = sf_e$$

en donde f_e es la frecuencia eléctrica del estator. Puesto que el deslizamiento se define como

$$s = \frac{n_{\text{sinc}} - n_m}{n_{\text{sinc}}}$$

la frecuencia del rotor puede expresarse así

$$f_r = \frac{n_{\text{sinc}} - n_m}{n_{\text{sinc}}} f_e$$

Puesto que $n_{\text{sinc}} = 120f_e/P$, esta ecuación se reduce a

$$f_r = f_e - \frac{n_m P}{120}$$

Para una frecuencia eléctrica dada del estator, la frecuencia del rotor puede variarse por medio del cambio en la velocidad mecánica de rotación n_m . Si un motor de velocidad variable se conecta al eje de la máquina de inducción de rotor embobinado, entonces resultará una frecuencia de salida variable.

Estos convertidores de frecuencia de inducción, han sido reemplazados hoy en día por los accionamientos de paquete de estado sólido con frecuencia variable, que son sin duda, actualmente, los sistemas preferidos y más utilizados para el control de la velocidad de los motores de inducción.

Sin embargo, para tener una visión general de cómo ha ido evolucionando el control de los motores de c.a., es necesario mencionar las bases que nos han llevado a esto, o sea, el control en base a la electrónica de potencia.

Los componentes y circuitos electrónicos de potencia han causado una revolución inmensa en el área de los controles de motor durante los últimos 30 años o más. Para el caso del control de motores de cc (de inducción), la electrónica de potencia proporciona una forma fácil para transformar potencia de cc en potencia de ca y para cambiar la frecuencia de un sistema de potencia de ca.

La conversión de frecuencia estática es quizás el área que más rápidamente se ha desarrollado en la electrónica de potencia moderna, la conversión de potencia de ca en una frecuencia en potencia de ca en otra frecuencia, por medio de la electrónica de estado sólido. Tradicionalmente han existido dos aproximaciones a la conversión de frecuencia de ca estática: el inversor y el cicloconvertidor. El inversor convierte potencia de cc en potencia de ca y el cicloconvertidor convierte directamente potencia de ca de una frecuencia en potencia de ca de otra frecuencia.

Los inversores son de dos tipos básicos: conmutables externamente y autoconmutables. Los inversores conmutables externamente dependen de la carga suministrada por los voltajes de conmutación; los inversores autoconmutables usan, bien condensadores para proporcionar el voltaje de conmutación necesario o dispositivos autoconmutables, tales como los tiristores GTO. Los inversores autoconmutables incluyen inversores de limitación de corriente, inversores de limitación de voltaje e inversores de regulación por ancho de pulso.

Existen dos tipos básicos de cicloconvertidores: de corriente no circulante y de corriente circulante. Los de corriente no circulante tienen componentes armónicos fuertes y están restringidos a frecuencias relativamente bajas. Además, pueden suceder destellos durante los cambios de dirección de la corriente.

Los cicloconvertidores de corriente circulante tienen componentes armónicos más bajos y pueden funcionar a frecuencias más altas. Necesitan inductores grandes en serie, para limitar la corriente circulante a un nivel de seguridad y son, por tanto, de mayor tamaño que los cicloconvertidores de corriente no circulante de los

mismos valores nominales.

A continuación se mencionan brevemente cada uno de estos tipos.

CONTROL DE POTENCIA DE CC A CA. INVERSORES

Los inversores son circuitos eléctricos que se usan para convertir voltajes continuos en ondas alternas. Los inversores se usan principalmente para proveer una excitación controlada para los motores ca de frecuencia ajustable. El principio fundamental de operación de un inversor es la interrupción periódica de un voltaje continuo para generar una onda cuadrada y se ilustra por medio del circuito de la fig. XIV.

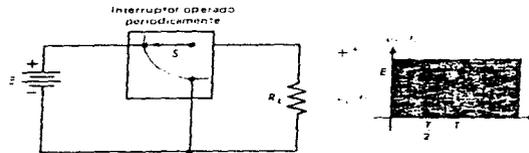


FIGURA XIV. Representación osciloscópica de un inversor.

En la mayoría de las aplicaciones de potencia, los SCR's desempeñan la función del interruptor S operado periódicamente. La frecuencia de la onda cuadrada resultante es función solamente de la tasa de conmutación, de tal forma que pueda variarse la frecuencia en la carga. Si se desea un voltaje sinusoidal puro en la carga, la frecuencia fundamental de la onda cuadrada puede obtenerse mediante un filtro adecuado.

Los inversores se clasifican en dos tipos básicos, según la técnica de conmutación que se use: conmutación externa y autoconmutación.

Los inversores de conmutación externos son aquellos en los cuales la energía que se requiere para apagar los SCR la suministra

un motor o fuente de potencia externas, p.ej. el inversor se puede conectar a un motor sincrónico trifásico, que suministre la contratensión necesaria para apagar en un momento un SCR cuando su homólogo se encienda.

A este inversor también se le llama inversor de conmutación de carga.

Si no es posible garantizar que una carga proporcione siempre la contratensión para la conmutación, entonces, se deberá utilizar un inversor de autoconmutación. Este es un inversor en el cual los SCR activos han sido apagados con energía almacenada en un condensador cuando otro SCR ha sido encendido. También ha sido posible diseñar inversores de autoconmutación utilizando los GTO o transistores de potencia, en cuyo caso no se requieren condensadores de conmutación.

Hay tres tipos principales de inversores de autoconmutación: inversores de alimentación de corriente (IAC), inversores de alimentación de voltaje (IAV) e inversores por modulación de ancho de pulso (MAP). Los inversores de alimentación, tanto de corriente como de voltaje, son más sencillos que los inversores MAP y se han usado por más tiempo. Existen inversores de alimentación tanto monofásicos como trifásicos. Los inversores MAP necesitan un mayor y más complejo control sobre los elementos de los circuitos y más rapidez de conmutación de los componentes que los IAC y los IAV.

La diferencia principal entre ambos inversores de alimentación estriba en las componentes de su diseño, en su diseño mismo y en sus características principales. Mientras que los IAC utilizan una inductancia o inductor grande en serie, entre el rectificador (alimentación de voltaje) y el inversor, los IAV utilizan un inductor en serie y un condensador en paralelo entre ambos. Así también, sus características varían de uno a otro, pues mientras en los IAC es fácil limitar las condiciones de sobrecorriente y por el contrario el voltaje de salida fluctúa ampliamente, como reacción a las variaciones de la carga; en los IAV, las variaciones

de voltaje son pequeñas, pero las corrientes pueden variar ampliamente con los cambios de la carga, y la protección para sobrecorriente es difícil de ejecutar.

Las frecuencias de los inversores de alimentación, tanto de corriente como de voltaje, pueden modificarse fácilmente, cambiando las pulsaciones de encendido en las compuertas de los SCR, de tal modo que ambos inversores pueden usarse para poner en marcha motores de ca, a velocidades variables.

Los inversores por modulación de ancho de pulso, basan su funcionamiento en la modulación por ancho de pulso, que no es otra cosa más que el proceso mediante el cual se modifica la amplitud de una secuencia de pulsaciones, en proporción directa a una señal de control pequeña; y cuanto más grande sea el control de voltaje, más amplias serán las pulsaciones resultantes. Utilizando un senoide de la frecuencia deseada como control de voltaje para un circuito MAP, es posible producir una forma de onda cuyo voltaje promedio varía sinusoidalmente de manera conveniente para el manejo de motores de ca.

CONTROL DE POTENCIA DE CA A CA. CICLOCONVERTIDORES

El cicloconvertidor es un artefacto para transformar, directamente, potencia de ca de una frecuencia en potencia de ca de otra frecuencia. Comparados con los inversores, los cicloconvertidores tienen varios SCR y circuitos de compuerta mucho más complejos. A pesar de estas desventajas, los cicloconvertidores podrían ser menos costosos que los inversores con valores nominales de alta potencia.

Hoy en día, los cicloconvertidores pueden encontrarse de frecuencia constante y en diferentes versiones de frecuencia variable. Un cicloconvertidor de frecuencia constante se usa para suministrar potencia de cierta frecuencia, desde una fuente de alimentación con otra frecuencia (por ejemplo, alimentar cargas de 50 Hz desde una fuente de alimentación de 60 Hz). Los cicloconvertidores de frecuencia variable se usan para proporcionar un voltaje de salida y frecuencia variables, desde fuentes de alimentación

de voltaje y frecuencia constantes. Se utilizan a menudo como accionamientos para motores de inducción de ca.

Aunque los detalles de un cicloconvertidor pueden resultar muy complejos, la idea básica que los respalda es muy sencilla. La alimentación de un cicloconvertidor es una fuente trifásica que consta de tres voltajes de igual magnitud y con desplazamiento de las fases entre sí de 120° . El voltaje de salida deseable es alguna forma de onda especificada, generalmente un senoide de frecuencia diferente. "El cicloconvertidor genera su forma de onda de salida deseada, seleccionando la combinación de las tres fases de alimentación que estén más próximas al voltaje de salida deseado en cada instante de tiempo".

Hay dos categorías principales de cicloconvertidores, los de corriente no circulante y los de corriente circulante. Estos dos tipos se diferencian principalmente en que la corriente les circula internamente o no, y tienen diferentes características, algunas de éstas, ya mencionadas con anterioridad.

Por ser circuitos demasiado complejos, no tiene caso mostrarlos en este trabajo, siendo suficiente con señalar, como ya se hizo, su connotación básica.

Volviendo nuevamente al control por frecuencia, la disponibilidad de tiristores hace posible pasar de una frecuencia fija a una frecuencia variable por medios puramente estáticos. Cuando la frecuencia requerida esté bien por debajo de la frecuencia de la red puede emplearse el sistema ciclo-convertidor. La frecuencia requerida puede sintetizarse por apropiadas conmutaciones secuenciales de los terminales del motor a sucesivas fases de suministro. Son necesarios los grupos de tiristores para suministrar los semiciclos positivos y negativos, respectivamente, de la c.a. de la línea de motor. Es posible el funcionamiento regenerativo del motor, permitiendo devolver energía al suministro a partir de la energía cinética de un accionamiento de inercia elevada durante la rápida desaceleración. La Fig. XV muestra las conexiones de un impulsor ciclo-convertidor.

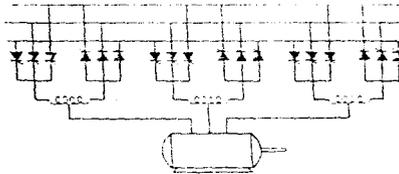


Fig. XV. Disposición de tiristores de un ciclo-convertidor para alimentación de un motor de frecuencia variable.

Antiguamente, otra opción viable para el control de la velocidad por medio de la frecuencia para motores trifásicos, requería de una fuente trifásica, de frecuencia variable, capaz de proveer suficiente potencia para alimentar al motor. Estas fuentes de potencia eran por lo general complicadas y costosas. Un ejemplo se ilustra en la figura XVI.

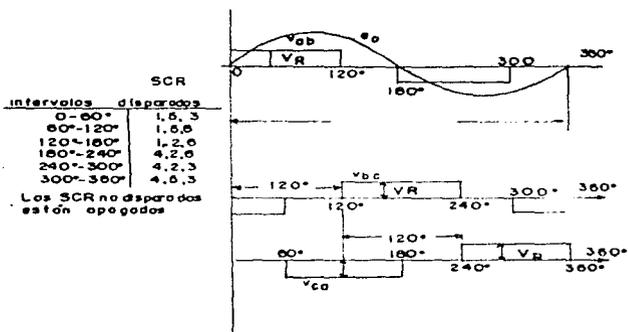
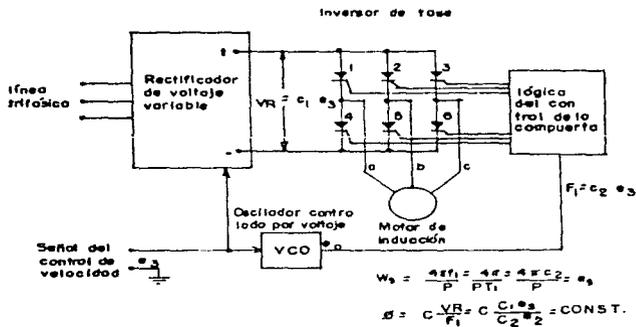


FIGURA 11 Velocidad del motor de inducción controlada por frecuencia.

Un motor normal de jaula de ardilla, de 60 Hz funciona satisfactoriamente en tal sistema hasta alrededor de 180 Hz. El voltaje se controla de modo que sea proporcional a la frecuencia, para mantener un flujo constante por polo en el entrehierro. La solución de la ecuación siguiente para el flujo por polo es:

$$\phi = \left(\frac{1}{\sqrt{2WN}} \right) \frac{|E_1|}{f_1}$$

Para cualquier deslizamiento dado, E_1 es proporcional a V_{lm} , y el flujo es proporcional a los volts por hertz de la fuente. Si el voltaje no varía con la frecuencia, el núcleo se satura a bajas frecuencias y no habrá suficiente par a altas frecuencias. Con una alimentación constante de volts/hertz, el par disponible es el mismo para todas las velocidades y la potencia es proporcional a la velocidad. Tales sistemas de frecuencia regulable eran extremadamente costosos. Sólo se justificaban para aplicaciones en las cuales, las características de resistencia y poco mantenimiento de los motores de inducción eran esenciales. De otra manera, la elección normal era la de un motor c-d con una fuente rectificadora de potencia, de voltaje variable.

Los motores de inducción no son buenos para un control de velocidad continuo, sin escalones. Se ha visto que tienden a sobrecalentarse si se reduce el voltaje. El control de velocidad se obtiene con éxito con los motores de rotor devanado. El motor se desacelera cuando se inserta más resistencia externa. El deslizamiento aumenta, así como también la pérdida en el cobre del circuito del rotor pero la mayor parte de esta pérdida se da en los resistores de control exterior al motor. La eficiencia del sistema es pobre a velocidades reducidas.

Se han hecho muchos esfuerzos para obtener un control de velocidad suave que provee un rotor devanado sin desperdiciar energía en los resistores externos del rotor. Pero estos sistemas son ahora en gran parte obsoletos. Requieren convertir la energía, de otro modo perdida, ya sea en energía mecánica que se entrega al eje del motor o en energía eléctrica, con la frecuencia de línea, para regresarla

a la línea. Un ejemplo es el sistema Kramer, que rectifica la salida de los anillos deslizantes del rotor y entrega esta energía a un motor cd que se conecta al eje del motor de inducción con rotor devanado. La velocidad se controla regulando la corriente de campo del motor cd. Pero veamos esto con más calma.

ESQUEMAS DE RESBALAMIENTO CON RECUPERACION DE ENERGIA

Si en vez de consumir la energía en la resistencia asociada con el control de velocidad de las máquinas de anillos deslizantes, la potencia puede devolverse a la red, se mejora el rendimiento del accionamiento a velocidad reducida. No es posible una conexión directa entre los anillos deslizantes y la red a causa de que la tensión de los anillos deslizantes y la frecuencia varían con la velocidad del motor.

En el modelo simplificado Kramer, ya señalado, se conecta un puente de tiristores en el circuito del rotor, como se muestra en la Fig. XVII.

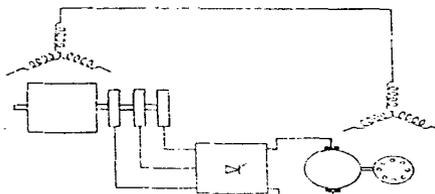


Fig. XVII Sistema Kramer modificado de resbalamiento con recuperación de energía.

Este convierte la potencia de los anillos deslizantes a c.c., que alimenta un motor de c.c. independiente, que acciona un generador síncrono que devuelve a la red la potencia de los anillos deslizantes. Puede lograrse un sistema completamente estático en el cual el motor generador se sustituye por un inversor estático. En otro sistema la c.c. de salida del puente de tiristores puede alimentar un motor de c.c. acoplado al motor principal de anillos deslizantes, de modo que los pares combinados de ambas máquinas proporcionan una

potencia constante de salida para accionar sobre cierto margen de velocidad.

CONTROL ELECTRONICO DE VELOCIDAD VARIABLE DE MOTORES DE CA

Un control electrónico relativamente nuevo ha sido desarrollado para variar la velocidad de motores de CA trifásicos. Este control electrónico no es aplicable a motores de CA monofásicos - só lo trifásicos.

Como ya se vió, hasta finales de los 70's el único sistema disponible para operación de motores de CA de alta potencia (hp) a velocidad variable era el de los conjuntos motor generador. El sistema de velocidad variable consistía de cuatro máquinas rotatorias como se muestra en la Figura XVIII.

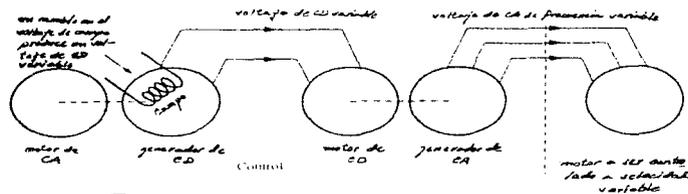


FIGURA XVIII
Control multi-máquina para frecuencia variable

Un motor de CA controla un generador de CD. La salida del generador de CD es entonces usada para controlar un motor de CD. La velocidad del motor de CD puede ser variada, variando su voltaje de entrada. Su voltaje de entrada es el voltaje de salida del generador de CD. El voltaje de CD es variado, variando el control de la corriente de campo al generador de CD. El motor de CD, en turno, controla un generador de CA. La salida del generador de CA es una frecuencia variable, directamente proporcional a la velocidad. Finalmente, la salida del generador de CA puede ser usada para controlar cualquier motor de CA trifásico a diferentes velocidades.

La velocidad de un motor controlado de CA es "controlada" mediante la frecuencia de CA aplicada a él.

Este sistema era oneroso, ya que requería el mantenimiento de cuatro máquinas, además de que tenía el 50% de eficiencia. Otro problema era el arqueo y el mantenimiento de las escobillas de CD. Este sistema de máquinas es mostrado para referencia y para compararlo con las ventajas de los más nuevos sistemas electrónicos, ahora en uso.

A principios de los 80's, los sistemas electrónicos de frecuencia variable fueron desarrollados para su uso en minas, molinos de grano, y otras áreas peligrosas. Los motores y controles de CA a velocidad variable reemplazaron a los motores de CD, los cuales tenían el inconveniente del chisporroteo de las escobillas, que podría provocar en un momento dado, el encendido de gases o polvo de grano en el área. Originalmente el costo de estos sistemas de control electrónico era de miles de dólares. Cada año la electrónica, especialmente los sistemas electrónicos de potencia, fueron mejorando. A finales de los 80's, un drive de frecuencia variable de unos 3/4 hp, podía ser comprado por menos de \$500 USD. Un diagrama de bloques general de un drive de frecuencia variable es mostrado en la Figura XIX.

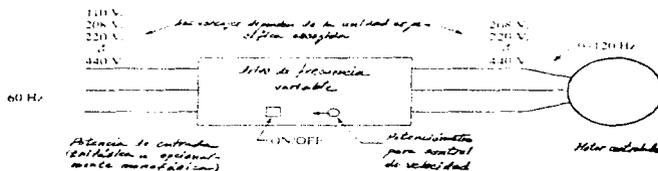


FIGURA XIX
Diagrama de bloques básico de un drive de frecuencia variable

El sistema de control anterior sólo variará la velocidad del motor controlado electrónicamente. Las unidades de control elec-

trónico de velocidad variable realizan no obstante muchas otras funciones de control. Algunas de éstas son estándar y otras más opcionales (costo extra). Las características varían de fabricante a fabricante. Una más completa información sobre este tipo de drives y algunas de sus características se dará más adelante, pero antes se hará un discernimiento en general sobre accionamientos de velocidad variable.

ACCIONAMIENTOS (DRIVES) DE VELOCIDAD VARIABLE

Estos dispositivos de estado sólido no son otra cosa más que, en términos burdos, controladores o reguladores electrónicos de velocidad de motores, que a su vez accionan diferentes máquinas, como pudieran ser bombas, ventiladores (ver figura XX), centrifugadoras, etc.

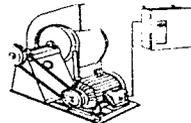


Figura XX-Drives de velocidad variable: Convertidor de frecuencia (VFD) acciona el motor de inducción, el funcionamiento de este depende también de la producción de un diferente flujo de aire.

Estos dispositivos funcionan, obviamente, de manera más simple y eficiente que los antiguos controles de velocidad, vistos anteriormente.

En general, estos accionamientos de velocidad variable permiten una operación óptima de las máquinas que accionan; pudiendo hacer que operen a lo largo de una curva de funcionamiento que iguale cercanamente a los requerimientos deseados; así como, el hacerlas operar de manera que mantengan sus propias eficiencias. Estas características sin más, redundan en una reducción tangible de la potencia requerida para operarlas. Beneficios adicionales son obtenidos, como una mayor vida de los rodamientos y de los sellos de las bombas, como resultado de una operación a velocidad variable. La conversión desde una velocidad constante hasta una velocidad variable, en algunos casos, ha también redundado en una reducción del consumo de energía en

áreas diferentes que solo las de la energía eléctrica. Costos asociados pueden también ser reducidos, mediante el control óptimo disponible con accionamientos de velocidad variable.

Todo lo anteriormente mencionado ha sido intencionalmente general, sin meternos en el tipo de accionamiento de velocidad variable a ser usado para casos específicos. Primeramente, se deben de ver los métodos de operación de cada máquina, para, posteriormente, ver el accionamiento de velocidad variable adecuado. Si se "mira" desde la flecha del drive (motor) hacia la carga, este análisis de operación previo se mantendrá constante. Sin embargo, una vez que un tipo particular de accionamiento de velocidad variable es aplicado, su eficiencia y características de operación, influenciarán las características de operación totales. Dado que estas eficiencias y características de operación son, principalmente, dependientes del tipo de accionamiento usado y no tanto del tipo de carga, parecería mejor centrar el análisis en los diferentes tipos de accionamientos y en sus características más importantes.

Existen varios tipos de accionamientos de velocidad variable que se pueden usar para controlar la velocidad de un motor (de inducción), y por ende de una máquina "X", entre éstos se pueden nombrar: Accionamientos de frecuencia ajustable, Accionamientos de Corrientes de Eddy, Accionamientos de paso o avance variable y Accionamientos de motores de rotor devanado. A continuación se hace un pequeño esbozo de cada uno de ellos.

ACCIONAMIENTOS DE CA DE FRECUENCIA AJUSTABLE (VARIABLE)

Los accionamientos de frecuencia ajustable son también comúnmente llamados inversores (aunque en realidad, como ya se vió, el término se aplica, principalmente, al dispositivo que se encarga de convertir la corriente de CD a CA, sin embargo, así son conocidos y así se deben de tomar, tal cual). Están disponibles en un rango de potencias que van desde potencias fraccionales (HP) hasta los 1,000 HP. Están diseñados para operar motores de inducción estándar. Esto les permite ser fácilmente añadidos a un sistema existente. Los inversores son frecuentemente vendidos de manera separada, ya que el

motor puede ya estar en el lugar. Si es necesario, un motor puede ser incluido con el accionamiento o suministrado separadamente.

El accionamiento de frecuencia ajustable ofrece ventajas particulares para diferentes aplicaciones. El uso de un motor de inducción estándar, permite su fácil instalación y operación confiable. El accionamiento fácilmente acepta señales de un sistema de control disponible y puede controlar al motor sin realimentación de velocidad desde el mismo. A su vez, puede estar localizado lejos del motor, tanto como el espacio disponible dicte, y requiere sólo tres conexiones al motor. Mantiene la eficiencia del sistema, ya que, generalmente opera a alta eficiencia, por sí mismo. Y finalmente, a la larga se paga por sí mismo, en sistemas que requieran de velocidad variable.

El accionamiento básico consiste del mismo inversor, el cual convierte la potencia de entrada a 60 Hz en una de potencia de frecuencia variable y voltaje variable. La frecuencia variable es el medio actual más demandado para el control de la velocidad de un motor.

Hay tres tipos principales de diseños de inversores disponibles hoy en día. Estos son conocidos como Inversores de fuente de corriente (CSI), Inversores de voltaje variable (VVI), e Inversores modulados por ancho de pulso (PWA).

INVERSORES DE FUENTE DE CORRIENTE (CSI)

El inversor CSI controla la salida de corriente al motor. La velocidad actual del motor es sensada mediante el uso de otros circuitos. Esta es entonces comparada con la velocidad de referencia y un error es usado para generar una demanda de más o menos corriente para el motor. Los dispositivos de switcheo o conmutación de salida, usualmente SCR's, son switchados a la frecuencia deseada para "gobernar" la corriente al motor. Los inversores de fuente de corriente están disponibles en un amplio rango de potencias (HP), pero más frecuentemente son encontrados en el rango de 50 HP para arriba.

INVERSORES DE VOLTAJE VARIABLE (VVI)

Los inversores VVI controlan el voltaje y la frecuencia al motor para producir una operación a velocidad variable. La característica distintiva entre este tipo de inversor y el inversor PWM es el esquema usado para el control del voltaje. Los inversores VVI controlan el voltaje en una sección separada de la sección de salida usada para la generación de frecuencia. Usualmente el control de voltaje es hecho usando un circuito rectificador en puente con entrada controlada por fase, a la entrada del inversor. El control de frecuencia es efectuado por un circuito puente de salida, el cual switchea el voltaje variable al motor, a la frecuencia deseada. Estos accionamientos están disponibles desde potencias fraccionales (HP) hasta cerca de los 500 HP.

INVERSORES MODULADOS POR ANCHO DE PULSO

Estos inversores efectúan ambos controles, de voltaje y frecuencia, en la sección de salida del accionamiento. El voltaje de salida es siempre una amplitud constante y mediante supresión, o modulación por ancho de pulso, el voltaje promedio es controlado. Estos accionamientos están disponibles desde 1 hasta 1,000 HP.

ACCIONAMIENTOS DE CORRIENTES DE EDDY

El accionamiento de corrientes de eddy, consiste de dos partes distintas. Una parte, la unidad mecánica consiste de un clutch o embrague de corrientes de eddy y un motor de inducción. El motor funciona a velocidad constante y provee una fuente de energía para el clutch. Mediante el control de la excitación al clutch, la cantidad de deslizamiento entre el motor y la flecha de salida puede ser regulada y la velocidad de salida variada. Si la excitación es alta, la velocidad de salida aumenta con la velocidad del motor. Si la excitación es disminuida, la velocidad decrece hasta velocidad cero. Una velocidad dada es mantenida, balanceando la excitación del clutch al requerimiento de carga.

La excitación al clutch es controlada desde el controlador de

corrientes de eddy. El controlador usa amplificadores de alta ganancia y un circuito de control de velocidad en malla cerrada sensa la necesidad de excitación al clutch. La unidad mecánica tiene un tacogenerador montado sobre la flecha de salida, para proveer realimentación de velocidad al controlador. El accionamiento no puede regular velocidad sin este tipo de realimentación.

Los accionamientos de corrientes de eddy están disponibles como unidades integrales, con el motor de inducción montado, o con el acoplamiento y el accionamiento solo, el cual debe ser conectado a un motor de inducción. Existen también diseños especiales disponibles para aplicaciones específicas, como pudieran ser los que se usan en aplicaciones en bombas verticales. Los accionamientos están disponibles desde potencias integrales (HP) hasta clutches lo suficientemente grandes para manejar algunos miles de HP.

ACCIONAMIENTOS DE PASO O AVANCE VARIABLE

Este método de control de velocidad usa medios mecánicos como bandas y poleas o poleas acanaladas de paso variable, para cambiar la velocidad. La fuente de poder es un motor de inducción estándar. Frecuentemente estas unidades están cerradas y tienen un reductor de engrane empotrado para rangos de velocidad reducida. El rango de potencia está generalmente limitado de 5 a 50 HP, con no mucha disponibilidad fuera de este rango.

ACCIONAMIENTOS DE MOTORES DE CA DE ROTOR DEVANADO

Los accionamientos de motor de rotor devanado usan un motor construido especialmente para efectuar el control de velocidad. El rotor del motor está construido de manera que los devanados están sacados del motor a través de anillos deslizantes sobre la flecha del motor. Estos devanados están conectados a un controlador, que a su vez coloca resistencias variables en serie con los devanados. El funcionamiento del par del motor puede ser controlado usando estas resistencias variables. Los motores de rotor devanado son más comunes en el rango de 300 HP para arriba.

A este tipo de accionamientos también se les conoce como Accionamientos con motor de anillos rozantes (deslizantes). La variación de velocidad, como ya se señaló, se realiza en forma convencional con una resistencia insertada en el circuito del inducido (rotor). El motor guarda sus excelentes características de arranque, y puede cumplir con todos los requisitos técnicos aplicables a este tipo de motor.

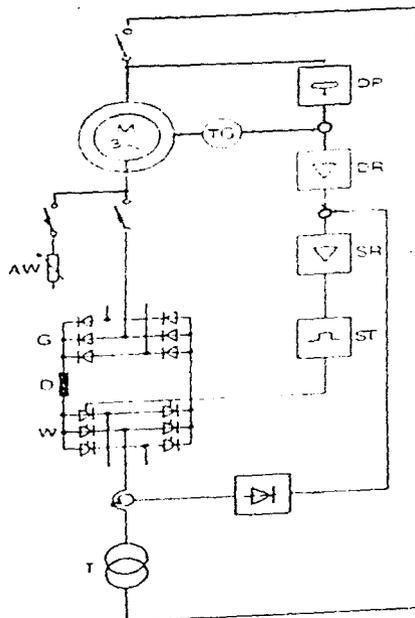
La desventaja de este sistema convencional está en la pérdida de energía convertida en las resistencias de regulación en calor, el cual por su parte muchas veces requiere medios adicionales para extraerlo del local donde está ubicado el regulador.

La pérdida de energía en muchos casos prácticos es tan significativa que resulta más económico realizar la regulación de velocidad por una cascada subsíncrona.

La cascada subsíncrona es un accionamiento trifásico de velocidad variable con motor de anillos rozantes, cuya potencia de deslizamiento se rectifica, y se devuelve a la red trifásica a través de un inversor. La tensión rotórica decrece linealmente desde su valor máximo que aparece para la velocidad cero (tensión a rotor bloqueado), hasta el valor cero que corresponde a la velocidad síncrona. La velocidad adopta automáticamente el valor para el cual la tensión rotórica rectificada coincide con la tensión antagonista del inversor. La variación de la velocidad se realiza, por tanto, progresivamente modificando el control del inversor conmutado por la red. Una inductancia situada en el circuito intermedio de c.c., se encarga de absorber la diferencia entre los valores instantáneos de la tensión rotórica, y de la tensión del inversor.

Las cascadas subsíncronas se utilizan preferentemente para accionar máquinas con un par creciente cuadráticamente con la velocidad (bombas, ventiladores) y que sólo requieren un margen reducido de variación de la velocidad. Su campo de aplicación abarca hasta las mayores potencias. El arranque hasta llegar al límite inferior del margen de variación de la velocidad se realiza usando una resistencia de arranque. (ver figura XXI)

Red Trifásica
baja o media
tensión



- G Rectificador
- W Inversor
- T Transformador
- AW Resistencia de arranque
- D Inductancia de alisamiento
- DP Potenciómetro de ajuste de la velocidad
- DR Regulador de velocidad
- SR Regulador de corriente
- ST Circuito de disparo
- TG Tacogenerador

Cascada subsíncrona

FIGURA XXI

El equipo electrónico de potencia, y el transformador de retroalimentación a la red debe dimensionarse estrictamente en base a los datos técnicos del motor de anillos rozantes y de la red alimentadora; y si es requerido, también a los datos del arrancador/regulador convencional a incorporarse en el diseño. Para la selección del equipo es necesario tener los datos técnicos del accionamiento que es requerido.

ACCIONAMIENTOS DE ESTADO SOLIDO DE FRECUENCIA VARIABLE PARA MOTORES DE INDUCCION

Como ya se vió anteriormente, en años atrás, la desventaja principal del control de la frecuencia eléctrica como método para cambiar la velocidad era que se requería un generador dedicado o cambiador mecánico de frecuencia para hacerla funcionar. Este problema ha desaparecido con el advenimiento de los modernos accionamientos de estado sólido de frecuencia variable para motores de inducción, como el que nos ocupará. De hecho, el cambio de la frecuencia de línea con estos motores modernos ha resultado ser el sistema preferido para el control de la velocidad en los motores de inducción. Teniéndose en cuenta que este método puede usarse con cualquier motor de inducción, a diferencia de la técnica del cambio de polo que necesita un motor con bobinados de estator especiales.

Así mismo, como ya ha sido visto, existen muchos accionamientos electrónicos para el control de la velocidad de un motor de inducción, sin embargo, de entre todos éstos y sin duda alguna, el más utilizado actualmente, es el accionamiento de frecuencia variable, debido a muchas consideraciones como la ya mencionada. Este accionamiento o drive no es otra cosa más que un convertidor de frecuencia, el cual no cambia la naturaleza alterna de la corriente, sino su frecuencia, para con ella controlar la velocidad del motor. Un accionamiento "típico" de esta naturaleza se muestra en la figura XXII.



FIGURA XXII
Accionamiento de estado sólido de frecuencia variable para motor de inducción.

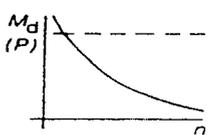
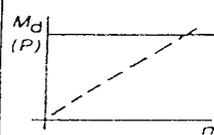
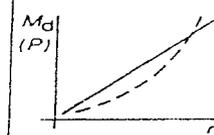
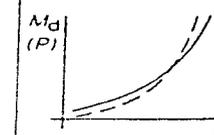
El accionamiento es muy flexible: su potencia de alimentación puede ser tanto monofásica como trifásica, de 50 ó de 60 Hz y de entre 208 y 230 V. La energía de salida es un conjunto de voltajes trifásicos cuya frecuencia se puede variar desde 0 hasta 120 Hz y su voltaje de 0 V hasta el voltaje nominal del motor. Además, tiene muchas características incorporadas, que contribuyen a su adaptabilidad y facilidad de uso. Algunas de estas características se resumen a continuación.

AJUSTE DE FRECUENCIA (VELOCIDAD)

La frecuencia de salida del accionamiento puede controlarse manualmente desde un control montado sobre el gabinete de dicho mecanismo o puede controlarse a distancia, por medio de una señal externa de voltaje o de corriente. La capacidad para ajustar la frecuencia del accionamiento, en respuesta a alguna señal externa, es muy importante, puesto que permite a un computador externo o a un controlador de proceso, regular la velocidad del motor, de acuerdo con las necesidades de la planta en que se instale.

SELECCION DE PATRONES DE VOLTAJE Y DE FRECUENCIA

Los tipos de cargas mecánicas que se le podrían acoplar a un motor de inducción varían significativamente. Algunas cargas, tales como los ventiladores, necesitan muy escaso momento de torsión durante el arranque (o marcha lenta) y tienen momentos de torsión que se incrementan proporcionalmente al cuadrado de la velocidad. Otras cargas podrían ser más difíciles de arrancar, porque necesitan más que el momento de torsión nominal de plena carga del motor sólo para poner la carga en movimiento. Este accionamiento propulsor proporciona una variedad de patrones voltaje versus frecuencia, que pueden seleccionarse para hacer coincidir el momento de torsión del motor de inducción con el momento de torsión requerido por su carga. Estos patrones o curvas se mostrarán más adelante, cuando se vea, específicamente, el accionamiento que nos ocupa (SI MOVFRT P 6SER1). No obstante, a continuación se muestran cuatro características de la carga (par): $M = (f) n$, según el tipo de maquinaria a ser utilizada o a ser accionada (ver figura XXVIII).

$M_d \sim \frac{1}{n}$	$M_d = \text{constante}$	$M_d \sim n$	$M_d \sim n^2$
$P = \text{constante}$	$P \sim n$	$P \sim n^2$	$P \sim n^3$
			
Bobinadoras Tornos de refrentar Descortezadoras giratorias	Aparatos de elevacion Cintas transportadoras Maquinas conformadoras Laminadoras Cepillos	Calandrias con rozamiento viscoso Dinamómetros de corrientes de Foucault	Bombas Ventiladores Centrifugadoras

Características par/velocidad de diferentes máquinas accionadas

FIGURA ~~XXXIII~~

RAMPAS DE ACELERACION Y DESACELERACION AJUSTABLES INDEPENDIENTEMENTE

Cuando la velocidad de funcionamiento del motor se cambia, el accionamiento que la controla cambiará de frecuencia para traer el motor a la nueva velocidad de funcionamiento. Si el cambio de velocidad es repentino (como por ejemplo, un salto instantáneo de 900 a 1,200 rpm), el mecanismo de control no trata de hacer que instantáneamente el motor salte de la antigua velocidad deseada a la nueva. En cambio, la velocidad de aceleración o desaceleración del motor llega a un nivel seguro lo cual se logra por circuitos especiales incorporados dentro de la electrónica del mecanismo de control. Estas velocidades se pueden graduar independientemente, bien para aceleración o bien para desaceleración. Al igual que las curvas anteriores, de voltaje frecuencia, estas rampas se verán cuando se trate, específicamente, el accionamiento que nos ocupa (SLEOVERT P 69E21).

PROTECCION DEL MOTOR

El accionamiento del motor de inducción tiene en su interior una variedad de características diseñadas para proteger el motor que se le acople. Este accionamiento puede detectar corrientes excesivas de condición estable (condición de sobrecarga), corrientes instantáneas excesivas, condiciones de sobrevoltaje o bajo voltaje. En cualquiera de los casos anteriores, el motor se apagará. Este accionamiento también tendrá, ocasionalmente, manera de detectar fallas en el mismo, y no sólo en el motor.

Los accionamientos para motores de inducción son hoy tan flexibles y confiables que los motores de inducción con estos dispositivos están desplazando los motores de cc en muchas aplicaciones, lo cual requiere un rango amplio de variaciones de velocidad.

NOTA: Al final del desarrollo de ambos proyectos: "Regulador de velocidad de un motor de CA por variación de frecuencia" y "Regulador de velocidad de un motor de CD, mediante la variación del voltaje de armadura, haciendo uso de PLC's, se mencionarán las ventajas y desventajas entre diferentes drives de CA y de CD.

ACCIONAMIENTOS DE C.A. CON CONVERTIDOR DE CIRCUITO INTERMEDIO DE TENSION SMOVERT P

El convertidor SMOVERT P, es del tipo indirecto - también denominado convertidor por pulsos - con circuito intermedio de CC, con tensión constante. Sirve para transformar una red trifásica de frecuencia y tensión fijas en un sistema trifásico con frecuencia y tensión variables. La tensión de salida del convertidor sigue y se regula respecto a la frecuencia de salida, según una ley prescrita (característica U/f). El convertidor SMOVERT P puede así variar de forma continua y con pocas pérdidas, la velocidad de motores trifásicos a través de la frecuencia estática.

El convertidor SMOVERT P se adecúa para accionamientos monofásicos o de grupos. Se le pueden conectar, en paralelo o individualmente, motores de diferente potencia, y número de polos, siempre que no se sobrepase su potencia nominal.

Con convertidor SMOVERT P pueden combinarse todos los tipos habituales de motores de campo giratorio, por ejemplo, motores asíncronos trifásicos normalizados, motores de reluctancia, y motores asíncronos con excitación permanente o independiente.

Algunos ejemplos típicos de aplicación:

Extrusores, agitadores, bombas y ventiladores en la industria química, estiradas en la industria de fibras sintéticas, mecanismo de marcha e izado en aparatos de elevación, caminos de rodillos de transporte y posicionado en trenes de laminación, tornos y fresadoras en la industria de máquinas herramienta.

Más adelante se estudiará más a fondo un convertidor de este tipo, por ahora nos introduciremos un poco en lo que a su comportamiento en general se refiere.

ACCIONAMIENTOS DE FRECUENCIA VARIABLE CON CONVERTIDORES SI-MOVERT P
COMPORTAMIENTO DE LOS MOTORES DE JAULA ALIMENTADOS POR CONVERTI
DOR DE FRECUENCIA SI-MOVERT P

La velocidad de un motor trifásico resulta de la relación:

$$n = \frac{f}{p} 60 (1-s)$$

donde:

f = frecuencia

p = número de pares de polos

s = deslizamiento del rotor

n = velocidad en rpm

La relación f/p determina la velocidad síncrona del motor.

Trabajando el motor sin carga, su velocidad real casi alcanza la velocidad síncrona. El deslizamiento es la magnitud relativa de la reducción de la velocidad que causa un par de carga aplicado al motor.

La dependencia entre el par de carga y el deslizamiento se muestra en la siguiente figura (XXIV).

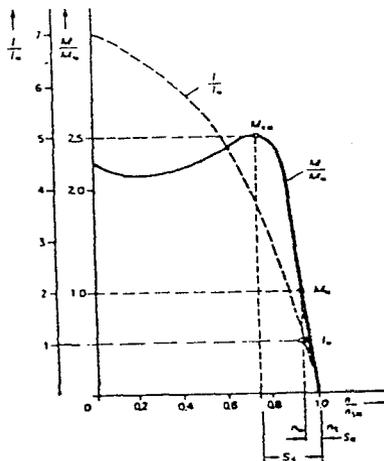


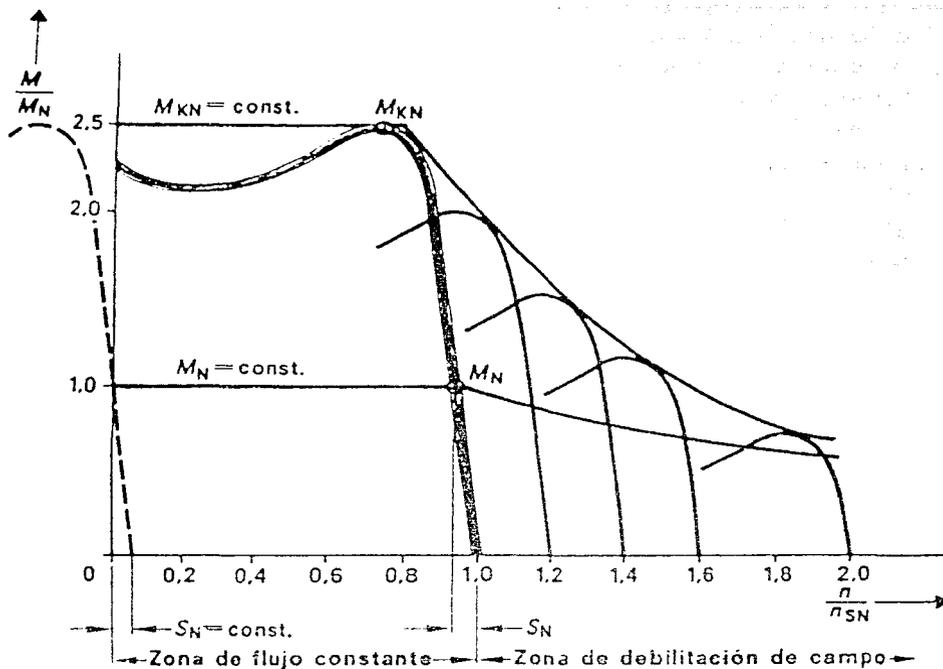
FIGURA ~~XXIV~~

Un motor con su par nominal M_N gira con la velocidad nominal n_N correspondiente a la frecuencia de la red, a su número de pares de polos y su deslizamiento. La diferencia $n_s - n_N$ es la velocidad de deslizamiento del motor.

Dentro del rango $M = 0$ hasta el par máximo M_K el deslizamiento aumenta aproximadamente en forma proporcional con el par de carga. La corriente del motor también aumenta aproximadamente en proporción con el deslizamiento y la carga.

Para un funcionamiento seguro del accionamiento, el par de carga aplicado no debe exceder en ningún momento el par máximo del motor.

Cuando se alimenta un motor de jaula con un convertidor SMO VERT P la velocidad síncrona del motor varía de acuerdo a la frecuencia suministrada por el convertidor.



Accionamientos trifásicos de velocidad variable:

E 31.6126:

Comportamiento del par de giro de un motor con rotor de jaula alimentado por un convertidor SIMOVERT

FIGURA **XXV**

Debido a las caídas de tensión en el motor causadas por sus restancias internas, con frecuencias inferiores a aproximadamente 20 Hz, la tensión debe ser mayor que la correspondiente en forma proporcional. Este efecto es aún más significativo con unidades de motores de potencias reducidas debajo de 5 KW aproximadamente.

Al subir la frecuencia sobre la nominal (60 Hz), sin aumento de la tensión, el flujo magnético se disminuye y el par del motor se reduce según:

$$M = K_R \cdot \omega_N \cdot \frac{f_N}{f}$$

Y el par máximo según:

$$M_K = M_{KN} \cdot \left(\frac{f_N}{f}\right)^2$$

El accionamiento sólo puede trabajar con seguridad cuando el par máximo que puede desarrollar el motor es mayor que el par de carga.

Es recomendable que el par máximo sea por lo menos 1.6 veces superior al par de carga, pero nunca menor que 1.3 veces.

Es decir, la velocidad puede variarse desde $f = 0$ hasta la frecuencia máxima del convertidor.

La característica del motor $M = (f)\omega$ no cambia, sino que la curva característica solamente corre sobre el eje de la velocidad.

El par máximo M_K del motor no varía si el flujo magnético del motor se mantiene constante.

El flujo magnético δ depende de la tensión y la frecuencia según:

$$\delta = \frac{u}{f}$$

De esto resulta entonces que para mantener el flujo constante, debe variarse la tensión en la salida del convertidor proporcionalmente a la variación de la frecuencia.

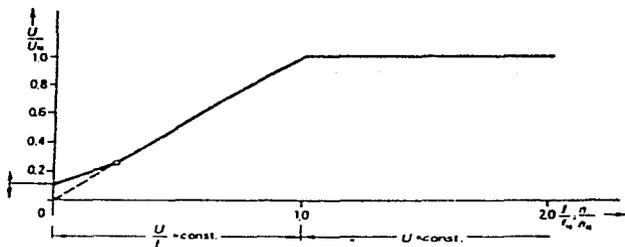


FIGURA XXVI

ACCIONAMIENTOS CON PAR DE CARGA CONSTANTE Y EXPONENCIAL

Como se puede ver en la figura XXIII, existen diferentes características par/velocidad, dependiendo de la máquina o maquinaria a accionarse. Entre éstas, las más usuales o significativas son cuando se tiene un par de carga constante y cuando se tiene un par de carga exponencial ($\propto \omega^2$). Es pues importante hacer ciertas consideraciones sobre estos casos.

ACCIONAMIENTOS CON PAR DE CARGA CONSTANTE

Si un motor normalizado de jaula debe trabajar dentro de un rango de velocidad accionando una carga de par constante, ha de reducir el par nominal del motor con respecto al valor nominal que le corresponde trabajando en conexión directa a la red de 60 Hz. Eso se debe a los siguientes factores:

- 1) En caso de que un motor normalizado trabaje debajo de su velocidad nominal para lo cual ha sido dimensionado en todos aspectos, la ventilación propia resulta insuficiente cuando la carga (el par) aplicada es la nominal y constante sobre el tiempo y/o la velocidad.
- 2) La tensión de salida del convertidor, no exactamente senoidal, causa pérdidas adicionales que deben ser compensadas por reducción de pérdidas en otro lado, para evitar sobrecalentamiento del motor. Esto significa reducción de corriente y con esto reducción del par admisible.

El factor de reducción del par está definido como:

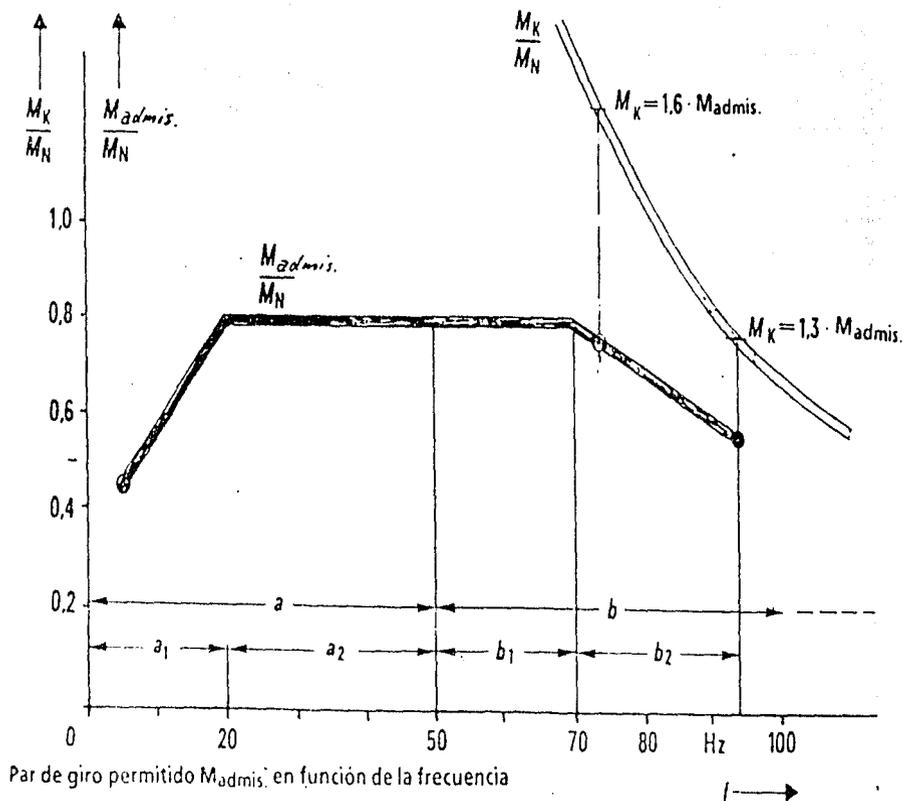
$$K_R = \frac{M_{\text{permitido}}}{M_{\text{nominal}}}$$

Para los motores SIEMENS de la serie ILA5 y ILA6 se realiza los ensayos de laboratorio para determinar el factor de reducción necesario para cada uno de los motores en dependencia de su potencia nominal, el número de polos y sus características de ventilación y reservas térmicas.

Motor	2pol		4pol		6pol		8pol		
	$\frac{n}{\text{min}^{-1}}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{n}{\text{min}^{-1}}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{n}{\text{min}^{-1}}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{n}{\text{min}^{-1}}$	$\frac{f}{\text{Hz}}$	
1LA5 106 107 113 130 133 134 163 164 166	6000	100	3600	120	-	-	-	-	
	6000	100	3600	120	3000	150	-	-	
	5600	90	3600	120	3000	150	2400	160	
	4800	80	3600	120	3000	150	2400	160	
1LA6 183 186 206 207 220 223 253 280 283 310 313	5700	95	5400	180	4200	210	4200	280	
	4800	80	4800	160	4800	240	4800	320	
	4500	75	4500	150	4400	220	4400	293	
	3900	65	3700	123	3700	185	3700	247	
	3600	60	3000	100	3000	150	3000	200	
	3600	60	2600	87	2600	130	2600	173	
316 317 356 357 358 406 407	3600	60	2600	87	2600	130	2600	173	
	3600	60	2200	73	2200	110	2200	147	
	3600	60	2000	67	2000	100	2000	133	

Velocidades máximas permitidas
Motores tipo 1LA5 y 1LA6

FIGURA ~~XXVII~~



Accionamientos trifásicos de velocidad variable:

Motor con rotor de jaula 1LA5 alimentado por un convertidor SIMOVERT - P

E31-6132

Las tablas así elaboradas aseguran una óptima determinación del tipo de motor a base del par requerido, y el rango de velocidad a aplicar.

Los límites inferiores de estas curvas de par admisibles, están prescritos por los puntos mínimos de disipación de calor, y los límites superiores, por la velocidad máxima permitida desde el punto de vista de fuerzas centrífugas máximas permitidas para el rotor.

Estas curvas son especificadas de los motores SIEMENS, Series LLA5 y LLA6, y se mantienen dentro del área ashurada que muestra la siguiente figura (XXIX).

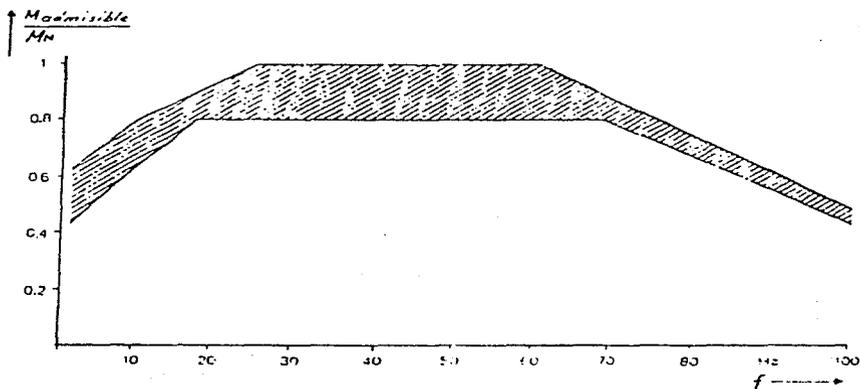


FIGURA ~~XXIX~~

La capacidad del convertidor SIMOVERT P, se determina de acuerdo a la potencia aparente máxima demandada por el motor considerando la eficiencia, y el factor de potencia del mismo.

El convertidor debe ser capaz de suministrar esta potencia en forma permanente, y debe ser sobrecargable 1.5 veces a base de este número durante 60 segundos, para poder abastecer la potencia requerida en caso de sobrecargas hasta el par de desenganche.

ACCIONAMIENTOS CON PAR DE CARGA EXPONENCIAL A LA VELOCIDAD

Si un motor normalizado de jaula, debe trabajar dentro de un rango de velocidad accionando una carga con característica $M\omega^n$ no hace falta reducir el par nominal del motor.

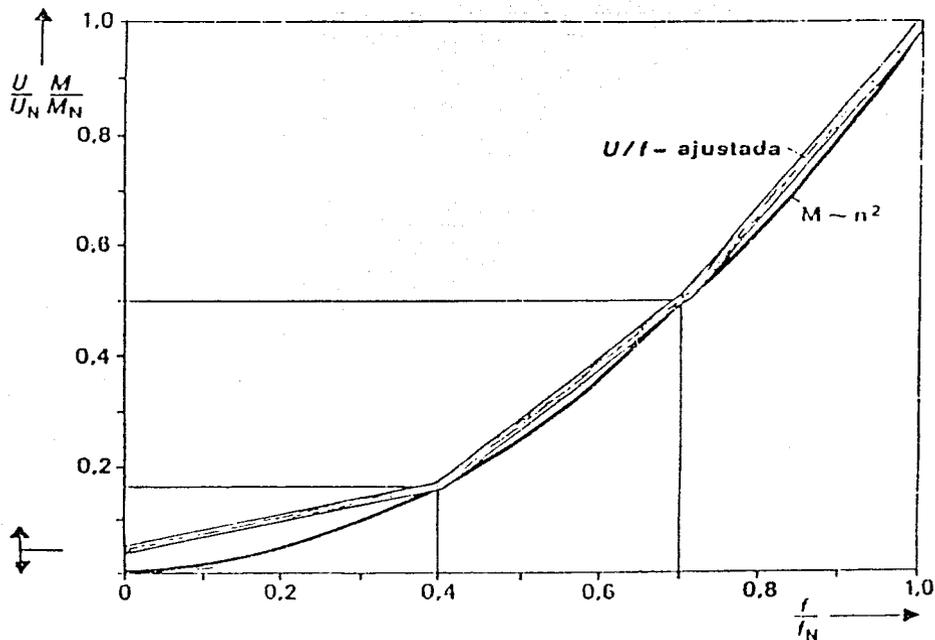
Debido a la característica decreciente del par demandado, la corriente se reduce aproximadamente en la misma proporción, y con ella las pérdidas producidas en el motor.

La potencia necesaria del motor se determina con el par demandado a la máxima velocidad con la fórmula:

$$P = \omega M$$

Considerando que arriba de la frecuencia nominal el motor no desarrolla un par mayor de su valor nominal.

SIEMENS



Curva característica de U/f - ajustada para accionamientos de turbinas y bombas

Accionamientos trifásicos de velocidad variable:
SIMOVERT-P-Convertidor GSC46..
por pulsos con tiristores

E 31 - 6127 sp

FIGURA ~~XXX~~

En los casos de accionamientos típicos de esta aplicación, como bombas centrífugas, ventiladores, etc., no es posible una sobrecarga durante la operación normal del motor.

La potencia máxima permanente del convertidor puede ser aprovechada completamente para la alimentación del motor, siempre y cuando no existan otras restricciones como por ejemplo, temperaturas ambientales muy elevadas.

CONTROL DE MOTORES MEDIANTE RELES

A continuación y en las dos secciones siguientes mencionaremos algo sobre:

- CONTROL DE MOTORES MEDIANTE RELES
- CONTROL MEDIANTE REALIMENTACION
- CONTROL MEDIANTE PC (VIA INTERFASE SERIE)

Hemos considerado que es importante hacer un somero análisis de estos temas, dadas las características que presenta nuestro equipo actual (y otros más de esta tesis), de manera que se comprenda mejor y con mayor celeridad lo tratado en lo subsecuente, sin mayor problema.

Así pues, comencemos por el primero.

El control básico de motores es igual al de cualquier otro dispositivo como solenoides, luces y válvulas. Sin embargo, los motores eléctricos tienen características especiales, las cuales necesitan sistemas especiales de control. Entre estas características podemos mencionar las siguientes:

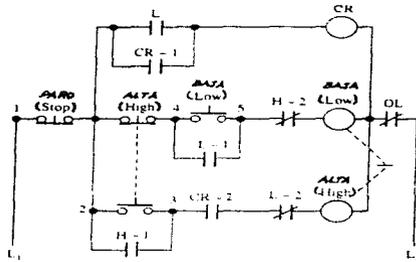
- Los motores requieren una onda momentánea de corriente de arranque de cinco a diez veces la corriente de funcionamiento.
- Para ir de un sentido de giro normal a uno inverso se requieren consideraciones especiales debido a las ondas de corriente y a la inercia del motor y su carga acoplada.
- El tiempo para alcanzar la velocidad de operación y el tiempo para ir de lento a paro debe ser considerado.
- Para variar la velocidad del motor, en muchos casos, el sistema de control debe variar el voltaje de entrada para CD o la frecuencia para CA.

Así pues, existen muchas variantes que se pueden implementar tales como:

- Arranque y paro para operación de un motor unidireccional.
- Control(es) para operación bidireccional, en sentido de giro normal e inverso.
- Control(es) para secuenciación de múltiples motores.
- Paro de un motor.

se dijo, el botón de paro debe ser presionado primero.

CONTROL DE DOS VELOCIDADES QUE REQUIERE UN ARRANQUE A BAJA VELOCIDAD



FIGURA

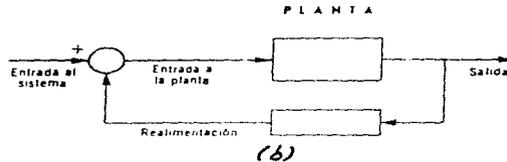
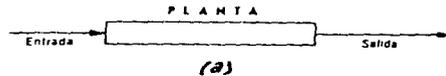
Control de las velocidades que requiere un arranque a baja velocidad.

Otro esquema de control de dos velocidades es mostrado en la figura. Este es usado cuando el motor debe arrancar inicialmente a baja velocidad. Un ejemplo de una aplicación es un motor que controla un gran volante. Arrancar en alta velocidad sobrecargaría el motor y posiblemente el sistema de suministro eléctrico del motor. Este circuito requiere un relé electromecánico extra para control (CR). El relé usado como CR es algunas veces designado como relé base (compelling relay). El presionar el botón de alta no arrancaría el motor inicialmente, dado que el contacto CR-2 está abierto. Sin embargo, si el motor ha estado funcionando a baja velocidad, el relé CR estará energizado y cerrado. En tal situación, al presionarse el botón de alta se apagará el de baja (la sección superior del push-button) y energizará el contactor de alta. Nótese que el motor puede ser arrancado en baja cuando esté en reposo.

CONTROL MEDIANTE REALIMENTACION

ANTECEDENTES

Dado un sistema con sus tres elementos: entrada, planta y salida (ver figuras):



Cuando la entrada y la salida son funciones del tiempo, el problema de control puede resolverse de dos maneras diferentes:

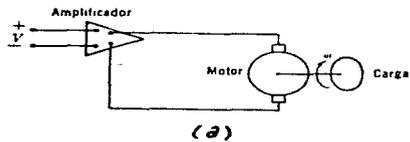
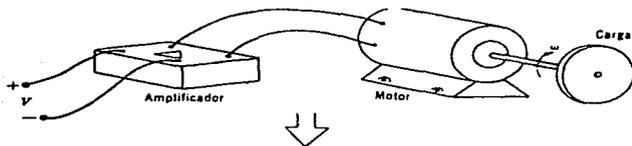
a) Malla abierta

La forma de "malla abierta" consiste en seleccionar de antemano la entrada en función del tiempo, con lo cual se obtendrá la salida deseada; esta entrada se aplica de una manera preprogramada.

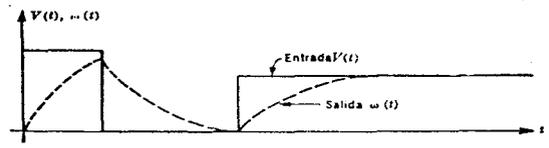
b) Malla cerrada

La forma de "malla cerrada" o de realimentación, consiste en generar la entrada en función de la salida que se vaya produciendo. Este enfoque utiliza el concepto de realimentación (o de retroalimentación) por medio del cual se toman los valores de la salida para modificar la entrada.

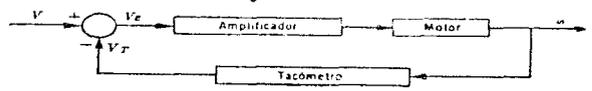
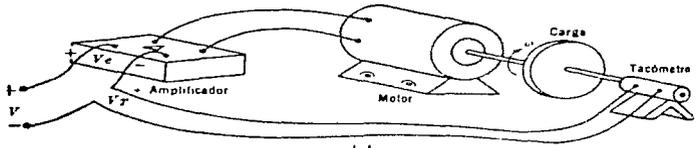
A continuación se muestran en las figuras, ambos conceptos, malla abierta y cerrada, así como sus entradas y salidas, respectivamente, en el caso del control de un motor.



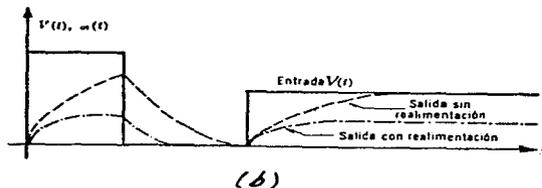
(a)



(b)



(a)



(b)

ACCION DE LOS CONTROLES AUTOMATICOS

Un control automático compara el valor efectivo de salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación produciendo una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. La forma en que el control automático produce la señal de control, recibe el nombre de acción de control.

Clasificación de los controles automáticos.

La manera de cómo el controlador reaccionará a una señal de error es una indicación del modo de control. Existen generalmente cinco maneras básicas de control y son:

- 1) Control de dos posiciones Sí-No, Todo-Nada, On-Off o Bang-Bang
- 2) Control proporcional (P)
- 3) Control proporcional-integral (P.I.)
- 4) Control proporcional-derivativo (P.D.)
- 5) Control proporcional-integral-derivativo (P.I.D.)

La lista anterior está ordenada en orden de complejidad de los mecanismos y la circuitería involucrada. En general, entre más difícil es el problema de control se deberá de encontrar el modo apropiado de control.

- 1) Control de dos posiciones Sí-No, Todo-Nada, On-Off o Bang-Bang
En este modo de control el dispositivo corrector final tiene solamente dos posiciones o estados de operación. Si la señal de error es positiva el control envía al dispositivo corrector final a una de las dos posiciones. Si la señal de error es negativa, el controlador envía al dispositivo corrector final a la otra posición.

Zona de actuación

Todos los controladores Sí-No, tienen una pequeña zona de actuación que está definida como un pequeño rango de valores medidos que debe atravesar para hacer que el dispositivo corrector vaya de una posición a la otra.

2) Control proporcional

El dispositivo corrector final no es forzado a tomar toda o ninguna posición. En lugar de esto, tiene un rango continuo de posiciones posibles. La posición exacta que toma es proporcional a la señal de error, en otras palabras, la salida del bloque controlador es proporcional a su entrada.

Banda proporcional

Entre más grande sea el error, más drástica es la acción de corrección. Esta es la diferencia esencial entre el control proporcional y el control Sí-No. En esta situación la palabra proporcional es aplicada correctamente porque la cantidad de corrección introducida está en proporción con la cantidad de error, usualmente la banda proporcional se expresa como un porcentaje de la totalidad del rango del controlador. Por lo tanto la banda proporcional es el porcentaje del rango total del controlador en el cual el valor medido cambia en orden de producir que el dispositivo de corrección cambie en un 100%.

Efectos del control proporcional

Elimina la oscilación permanente que siempre acompaña al control Sí-No. Sin embargo, si la banda proporcional se escoge muy pequeña, de todos modos pueden ocurrir oscilaciones.

Ventajas

Es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable.

3) Control proporcional-integral (P.I.)

En el control proporcional elimina la oscilación en la variable precedida, y reduce el desgaste del dispositivo de control, pero introduce un desbalance permanente en la variable medida. El control proporcional puede utilizarse solamente cuando los cambios en la carga son pequeños y lentos, y la variación en el valor de

referencia es pequeño. Para las situaciones de proceso más comunes, en las cuales los cambios en la carga son grandes y rápidos, y el valor de referencia puede variar considerablemente, el modo de control proporcional-integral se adapta mejor. El tiempo integral regula la acción del control integral, mientras una modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la proporcional. Al inverso del tiempo integral T_i se le llama frecuencia de reposición, ésta es el número de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control (repeticiones X min). En el control P.I., la posición del dispositivo de control está determinada por dos factores:

- a) La magnitud de la señal de error (parte proporcional)
- b) La integral con respecto al tiempo de la señal de error, en otras palabras la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido (parte integral)

La parte de control P posiciona al dispositivo en proporción al error que exista, entonces la parte de control I se da cuenta que existe un pequeño error (desbalance) a medida que pasa el tiempo, la parte integral mueve el dispositivo un poco más en la misma dirección, por consiguiente ayuda a reducir el desbalance. Eventualmente, el error se reducirá a cero y el dispositivo detendrá su movimiento, debido de que a medida de que pase más tiempo, la integral no aumenta más, debido al hecho de que el error ahora es cero.

Funciones de control para señales análogas

Proporcional $y(t) = K_p \cdot e(t)$

Integral $y(t) = K_i \cdot \int e(t) dt$

donde:

$e(t)$ - Señal de salida en función del tiempo

$e(t)$ - Señal de entrada en función del tiempo

K_p - Representa una constante de sensibilidad proporcional

K_i - $1/T_i$, se le denomina frecuencia de reposición, T_i es el tiempo integral

Control P.I. $- y(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$

4) Control proporcional-derivativo (P.D.)

A este tipo de control se le denomina control de velocidad y es cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante.

El tiempo T_d derivativo es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional. La acción del control derivativo tiene carácter de anticipación, las desventajas de tener esta cualidad es de que amplifica las señales de ruido y puede producir el efecto de saturación en el accionador.

Hay que notar que nunca se puede tener una acción de control derivativo sólo, porque este control es efectivo únicamente durante periodos transitorios. A continuación se muestra la función que representa al control P.D.:

Control P.D. $- y(t) = K_p \cdot e(t) + K_d T_d (de(t)/dt)$

dónde: K_d $- K_p T_d$ es una constante de la acción derivativa

5) Control proporcional-integral-derivativo (P.I.D.)

Aun cuando el control P.I. es adecuado para la mayoría de las situaciones de control, no es adecuado para todas las situaciones. Hay algunos procesos que presentan problemas de control muy difíciles que no pueden manejarse por un control P.I. Específicamente se tienen dos características de proceso que presentan dichos problemas críticos de control para los cuales no es suficiente un control P.I.

- a) cambios muy rápidos en la carga
- b) retardos de tiempo grandes entre la aplicación de la acción correctora y el apareamiento de los resultados de dicha acción en la variable medida

En los casos donde uno (o ambos) de estos dos prevalezcan, la solución puede ser un control P.I.D., el término control derivativo se denomina también razón de control.

En el control P.I.D., la acción correctora es determinada por tres factores:

- 1) La magnitud del error (parte proporcional)
- 2) La integral con respecto al tiempo del error o la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha permanecido
- 3) La razón de tiempo de cambio del error; un rápido cambio en el error produce una acción correctora mayor que un cambio lento en el error

En un sentido intuitivo la parte derivativa del controlador intenta mirar hacia adelante y provee que el proceso sufrirá un gran cambio basándose en las medidas actuales. Es decir, si la variable medida está cambiando muy rápidamente es seguro que tratará de cambiar en una gran cantidad. Siendo este el caso, el controlador trata de anticiparse al proceso aplicando más acción correctora que la que se aplicaría con un control P.I. sólo.

Respuesta del proceso

El controlador es la parte pensante de todo el sistema, es el componente que envía órdenes al dispositivo corrector final, con base en sus informaciones de la dirección y magnitud del error. Los controladores sofisticados pueden también considerar la cantidad de tiempo que ha persistido el error u medida que deciden cómo ajustar el dispositivo corrector final, algunos controladores pueden considerar que tan rápidamente cambia el error, y así decidir que órdenes se enviarán al dispositivo corrector final. El controlador hace todo lo anterior de acuerdo con un plan predeterminado que existe en la mente del diseñador del sistema.

Controladores Proporcional - Integral - Derivativo (P.I.D.)

Como puede ser inferido del nombre, los controladores proporcional - integral - derivativo (PID) hacen uso, como ya se mencionó, de los atributos de los tres controladores. El bloque proporcional provee respuesta rápida a disturbios de sistema, la porción derivativa hace para que disturbios repentinos serán atajados en un intento agresivo para corregir el error, y la sección integral provee un medio de eliminar eventualmente el error enteramente.

Sin embargo, muchas variaciones PID son posibles, una configuración paralela común, mostrada en la figura, será examinada aquí.

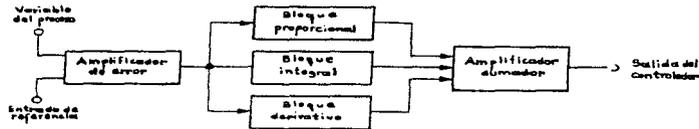


FIGURA
Diagrama de bloques de un controlador típico PID en paralelo

Cada elemento recibe la misma señal de error, y las salidas de todos los elementos son sumados a través de un amplificador sumador. Dado que las características de respuesta de los tres bloques han sido discutidas, debe ser una tarea simple predecir la respuesta de salida a un cambio en la señal de error, mientras el error esté representado por una función relativamente simple.

El proceso de ajuste de cada uno de los tres bloques en un controlador PID es llamado sintonía. La manera en la cual un controlador PID debe ser sintonizado, depende de la configuración del controlador, la característica del proceso que está siendo controlado, y el funcionamiento deseado del controlador. Esto es, si la misma configuración del controlador fuera aplicada a dos diferentes procesos, cada uno requeriría un procedimiento diferente de sintonía. El procedimiento de sintonía no es por ningún medio una tarea fácil. Literatura publicada por el fabricante del controlador es frecuentemente usada como guía, no obstante, programas de simulación en computadora han llegado a ser populares, ya que el resultado puede ser observado rápidamente, sin necesidad de arrancar el proceso. Como cualquiera simulación en software, sin embargo, la exactitud de los resultados depende en que también la respuesta del sistema puede ser modelada.

Las precauciones deben ser observadas cuando se implemente el control PID. Ambas parten del hecho de que la acción del bloque integral o derivativo pueden enmascarar los efectos de los otros bloques en el controlador. Por ejemplo, si hay un cambio (paso) repentino en el error, el bloque derivativo más fácilmente se saturará, provocando que una correspondiente saturación ocurra en el amplificador sumador. Este cambio repentino de error puede ser causado por un disturbio en el proceso o por un cambio en la entrada de referencia (set - point). El resultado puede ser una sobrecompensación, provocando que el proceso oscile. Como otro ejemplo, si un error grande está presente durante un periodo substancial de tiempo, la salida del bloque integral puede ser forzada dentro de la saturación. Aun si el error es vuelto a cero, la salida integral se mantendrá en saturación. Esta salida, también, provocará que el proceso se sobredispare, hasta que el error negativo resultante saque al bloque integral fuera de la saturación.

CONTROL MEDIANTE PC (VIA INTERFASE SERIE)

Un drive, generalmente, está equipado con un puerto de comunicaciones (p.ej. RS-485) para desplegar datos en un dispositivo supervisorio remoto. Ejemplos de este dispositivo incluyen una unidad de despliegado y monitoreo (una computadora personal estándar corriendo el software supervisorio y de comunicaciones del drive) y software de trabajo como el sistema operativo MS-DOS. Estos dispositivos supervisorios y programas se pueden comunicar con el drive, permitiendo operarlo.

El drive usualmente provee un documento de protocolo que da una descripción comprensiva del protocolo de comunicaciones del drive. Este protocolo habilita a otros sistemas a tener acceso al drive (o a comunicarse con el drive vía el puerto de comunicaciones (p.ej. RS-485) del drive. Las compañías manufactureras del drive continuamente desarrollan programas que proveen mayor compatibilidad con la mayoría de los protocolos de comunicación.

El drive se comunica con dispositivos supervisorios usando un estándar de comunicaciones (p.ej. RS-485). Un ejemplo de un diagrama de alambrado para comunicaciones RS-485 es ilustrado a continuación.

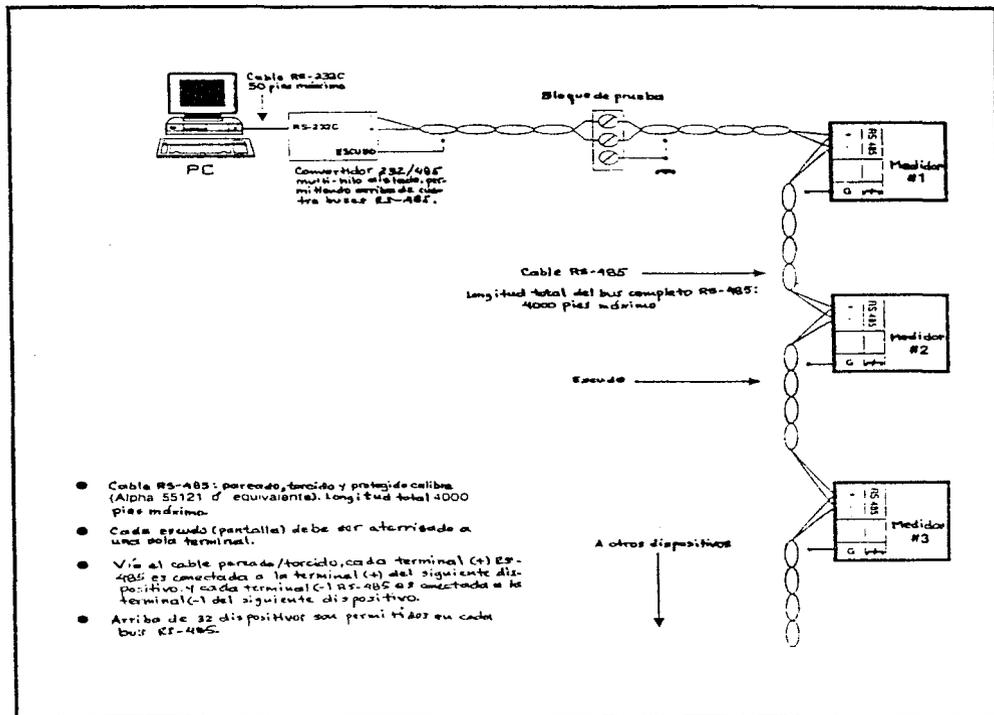


Figura Conexiones en comunicación RS-485

Para conectar una computadora a una red de drives o a uno solo, es necesario utilizar un convertidor o interfase, p.ej. RS-232/RS-485, esto es, el convertidor permite que el puerto de comunicaciones RS-232 de una computadora se comunique con el (los) drive(s), vía el puerto RS-485 del drive.

Como nota precautoria, se debe tener mucho cuidado, ya que cualquier falla en el uso de un convertidor apropiado puede provocar daño en el equipo.

Para instalar el convertidor, se conecta un extremo de un cable RS-232 al puerto serie RS-232 de la computadora, y el otro extremo al puerto RS-232 del convertidor. Paso seguido, se conecta el convertidor al drive. Se utiliza un mismo tipo de cable para conectar drives adicionales (u otros dispositivos RS-485) en red.

El drive está equipado, generalmente, con un puerto de comunicaciones RS-485, lo cual lo habilita para intercambiar datos sobre largas distancias con una estación de control/despliegue maestra, que corra software compatible. Esta característica permite monitorear y/o controlar (o ambas dependiendo del software) el drive o un número de drives conectados en red común. También se puede usar el puerto de comunicaciones RS-485 para actualizar el software del drive.

Al conectar el drive a un dispositivo supervisorio, se ajusta o se seleccionan diferentes características, tales como la disyuntiva de control local o remota del drive, el número de dispositivo (drive), la tasa de baud y paridad (o velocidad de transmisión), entre otras.

La primera característica permite controlar al drive, ya sea de manera local o remota. La segunda provee que cada drive tenga un único número de dispositivo, de manera que se pueda usar el estándar de comunicación (p.ej. RS-485) para conectar muchos drives remotos a un dispositivo que corra un software supervisorio. Este software despliega todos los datos normalmente desplegados en el display de cada drive. Usando el estándar de comunicaciones RS-485 permite monitorear todos los drives desde un solo dispositivo maes

tro. La distancia para comunicaciones RS-485 está limitada dependiendo del tipo de cable, e.ej. digamos pudiera ser de 4000 pies. La tercera característica está muy clara, permite ajustar la velocidad de transmisión entre el drive y el dispositivo supervisorio.

Como ya se mencionó, una cuestión muy importante para comunicarse con otros sistemas es tener y usar un protocolo de comunicaciones del drive, para poder en determinado caso habilitar la comunicación necesaria, así como la actualización viable del software, vía el puerto de comunicaciones, pudiéndose actualizar el software desde el dispositivo de supervisión y monitoreo directamente.

La mayoría de lo expuesto aquí se tratará de nuevo posteriormente cuando se analice el tipo de control y comunicaciones que tenemos específicamente.

1. DESCRIPCION

1.1 Introducción

El SIMOVERT es un variador (convertidor) controlado por microprocesador de alto desempeño, de frecuencia ajustable, diseñado para controlar motores de inducción trifásicos en condiciones industriales críticas.

El variador produce una frecuencia de salida ajustable trifásica, mediante la tecnología de modulación por ancho de pulsos (PWM), que permite una velocidad ajustable del motor.

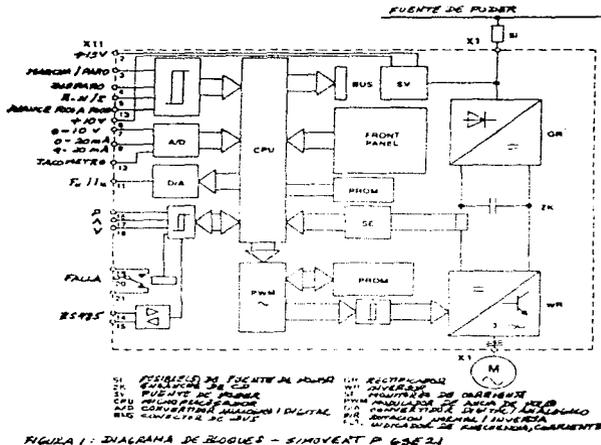
El voltaje de salida del variador está en función de la frecuencia de salida y se puede ajustar para satisfacer los parámetros del motor y así obtener su más alto desempeño. Con el objeto de alcanzar una calibración, operación y control preciso y constante, el variador (convertidor) se puede programar digitalmente de manera local, mediante un panel de control montado en el frente, o a través de un puerto serie utilizando dispositivos adicionales.

Dependiendo de la configuración que se tenga, se presentarán diferentes estados y condiciones de falla, ya sea a través del indicador local o de comunicación serie. Al encender el variador, todos los diagnósticos de falla, incluyendo los estados de carga y autorevisión se pondrán en marcha.

Parámetros tales como la corriente de salida y las condiciones de control, pueden monitorearse cuando el variador esté funcionando, esto es con el objeto de permitir un mantenimiento preventivo. En caso de que ocurriera una falla, el problema se aislará para identificar su condición por medio de detallados códigos de diagnóstico, lo que permite una rápida acción correctiva para restablecer el proceso de control.

El variador está diseñado como un control de velocidad de arranque suave y par constante, con capacidad de sobrecarga; su lógica microprocesada con acceso a modos de programación, proporciona la adaptabilidad requerida para manipular una gran variedad de aplicaciones.

Específicamente, los convertidores SIMOVERT P de la serie 6SE21 (como el que tenemos) están diseñados para controlar la velocidad con bajas pérdidas en motores trifásicos. Esto es logrado rectificando el voltaje principal hasta establecer un voltaje de enganche de cd, y modulando este voltaje de enganche con un voltaje de tra - sistores trifásico para producir un voltaje de salida trifásico modulado en ancho de pulso (PWM) (ver Figura 1⁺). La inductancia de los devanados del motor convierten este voltaje PWM en una co - rriente senoidal del motor. Variando la frecuencia de esta corrie - te senoidal, la velocidad rotacional del motor es controlada sin afectar significativamente las pérdidas en el motor. La frecuencia de salida puede ser ajustada entre 0 y 400 Hz.



+ - Todas las FIGURAS tienen el número que aparece en el manual.

1.2 Facilidades de control

1.2.1 Unidades IP20

El convertidor puede ser arrancado/parado por cualquiera de los siguientes medios (ver parámetro PO5 en la sección 5.3.2 y también la Figura 9):

- (1) Conexión de un interruptor (switch) sujetador a la entrada marcha/parado (run/stop) (terminales X11.2/3).
- (2) Conexión de botones (push-buttons) de acción momentánea a las entradas Marcha/Paro y Disparo (Trip) (X11.2/3/4).
- (3) Conexión de un nivel de voltaje de 7 - 33 V a la entrada Marcha/Paro (terminales X11.3/1)[†].
- (4) Arranque automático sobre la aplicación de la potencia principal (terminales de enlace en corto X11.2/3).
- (5) Conexión de un nivel de voltaje de 7 - 33 V a la entrada de avance poco a poco (jog) (terminal X11.13/1)[†].
- (6) Aplicación de un flanco de subida (p.ej. botón momentáneo) a la entrada Marcha/Paro (terminales X11.2/3) y un flanco de bajada a la terminal de entrada de disparo X11.2/4.
- (7) Control vía las conexiones E/S (I/O) serie (ver sección 7).

La frecuencia de salida del convertidor, y por consiguiente la velocidad del motor, puede ser controlada por cualquiera de los siguientes medios (ver 5.3.2, parámetro PO4 y también Figura 9):

- (1) Conexión de un voltaje de control de 0 - 10 V (terminales X11.7/8).
- (2) Conexión de una entrada de control de lazo de corriente de 0 - 20 mA (terminales X11.8/9).
- (3) Conexión de una entrada de control de lazo de corriente de 4 - 20 mA (terminales X11.8/9).
- (4) Conexión de un potenciómetro de control de 5 k Ω (terminales X11.6/7/8).
- (5) Mediante parametrización digital vía los botones adaptados al convertidor, o vía los botones externos equivalentes conectados a las terminales X11.17 y X11.18.
- (6) Vía la conexión E/S serie (ver sección 7).

1.3 Facilidades de monitoreo

Las siguientes facilidades de monitoreo están disponibles:

- (1) Un display de siete segmentos para frecuencia de salida, corriente de salida, indicación de falla o parametrización. Este es visto a través de una ventana en la cubierta.
- (2) Una señal analógica de 0 - 10 V, proporcional a la frecuencia de salida o a la corriente de salida[†].
- (3) Un relé conmutador, normalmente energizado cuando el accionamiento (drive) está conectado a la fuente principal proporcionada. El relé está desenergizado cuando una falla (ver sección 5) es indicada.
- (4) El accionamiento puede ser interrogado vía la conexión E/S serie (ver sección 7).

1.4 Características del motor

El convertidor puede ser ajustado para adecuarlo a características de motor individuales en las formas descritas a continuación.

1.4.1 Característica Voltaje/Frecuencia

Seis curvas características de voltaje/frecuencia están disponibles, más una curva programable (ver Figura 2) y están destinadas para las siguientes aplicaciones:

Curva 0: $V_N/50$ Hz (par constante)[†]

Para motores de inducción estándar a 50 Hz, con características de par/velocidad, lineal.

Curva 1: $V_N/60$ Hz (par constante)

Para motores de inducción estándar a 60 Hz, con características de par/velocidad, lineal.

Curva 2: $V_N/87$ Hz (par constante)[†]

Para conexión-delta de motores de inducción estándar, diseñados para conexión-estrella del voltaje principal a 50 Hz. Esto aumenta el rango de velocidad sobre el cual el par motor constante puede ser alcanzado.

Curva 3: $V_N/120$ Hz (par constante)

Para aplicaciones donde un par constante es requerido sobre un rango completo de velocidad de operación de 0.1 a 120 Hz.

Curva 4: $V_N/50$ Hz (par proporcional a la velocidad^{1.5})⁺

Para operación de motores a 50 Hz que manejen cargas donde el par deba ser proporcional a la (velocidad)^{1.5}. Típicos ejemplos de tales cargas son ventiladores y bombas.

Curva 5: $V_N/60$ Hz (par proporcional a la velocidad^{1.5})

Para operación de motores a 60 Hz que manejen cargas donde el par deba ser proporcional a la (velocidad)^{1.5}.

Curva 6: Programable (no mostrado en la Figura 2)

El tipo de curva y la frecuencia del vértice pueden ser seleccionadas por el usuario.

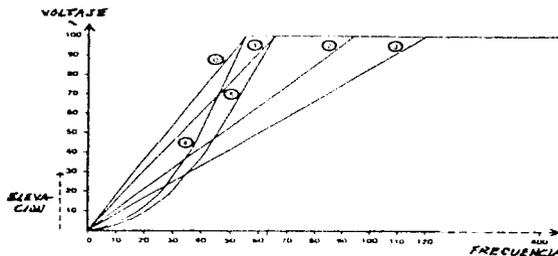


FIGURA 2: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE VOLTAJE/FRECUENCIA

1.4.2 Elevación de voltaje a baja frecuencia (Ku)

El voltaje de salida puede ser elevado en pasos hacia arriba de 0.1% a 30% para frecuencias bajas desde 0 Hz. Esto puede ser requerido para dar un par de arranque adicional en algunas aplicaciones. La cantidad de elevación de voltaje decrece linealmente hasta que el 100% de voltaje es alcanzado.

Si es requerido, la elevación automática puede ser usada (ver sección 5.3.2, Parámetro P19). Esta mide las características del motor y selecciona un voltaje de elevación adecuado desde el pri -

mer encendido.

1.4.3 Límite de corriente

La corriente de salida máxima disponible desde el convertidor puede ser ajustada para proveer protección térmica del motor y/o limitar el par motor máximo (ver sección 5.3.2, parámetros P17 y P18).

2. DATOS TECNICOS (SIMOVERT P)

Voltaje nominal de la fuente (Modelo 6SE2102 - 13A00), entrada:
LAC 50/60 Hz \pm 3 Hz 47-63 Hz ; 220/240 V \pm 10%

Voltaje de salida:

0 - Voltaje nominal de la fuente = 0 - 220/240 ; 3AC 3.9 A

Frecuencia de salida:

0.0 - 400 Hz

Potencia aparente:

1.5 kVA

Eficiencia:

\geq 0.94

Factor de potencia:

\leq 0.9 atrasado/inductivo

Temperatura ambiente (operación) (la unidad no debe ser expuesta a la luz directa del sol):

0 - 40 °C

Temperatura de almacenamiento/transporte:

-30 a 85 °C

Grado de protección:

IEC 536/VDE 0106 CLASE 1

IEC 529 IP20

Humedad:

0 - 95% a 25 °C

Estabilidad de frecuencia a $\Delta T_{\max} 10$ °C, referida a la f_{\max} :

1% de la entrada de referencia (set-point) analógica

0.01% de la entrada de referencia (set-point) digital

Resolución de frecuencia:

0.1 Hz

Capacidad de sobrecarga:

1.5 x corriente nominal, desde 0 hasta 60 segundos

No. de serie:

XA92446BE017

Origen:

E Hecho en CE

2.1 Características del equipo

No. de modelo:

6SE2102 - 13A00

Rango de voltaje de entrada:

198-264 V 1 fase

Corriente de entrada máxima:

11 A

Fusible dist./Interruptor automático

16 A

Corriente de salida máxima:

3.9 A

Capacidad típica del motor (Motor de 4 polos Siemens, Serie 1LA5):

1 hp / 0.75 kW

Cable de entrada de la potencia principal; medida al cuadrado:

3 x 1.5 (mm)²

Cable de entrada de la potencia principal; diámetro exterior máximo:

14.1 (mm)

Cable de salida al motor; medida al cuadrado:

4 x 1.5 (mm)²

Cable de salida al motor; diámetro exterior máximo:

13.5 (mm)

4. CONEXIONES

4.1 Unidades IP20

Las conexiones de potencia (4.1.1) y control (4.1.2) están hechas en la tarjeta (X11) (ver Figura 8).

CONEXION	TERMINAL	FUNCION, DATOS, NOTAS
TERMINALES DE POTENCIA: BLOQUE DE TERMINALES XI		
UNIDADES DE ENTRADA MONOFASICA:		
	X1 L1 X1 N X1 W	POTENCIA PRINCIPAL 1CA 230V±15% 50/60Hz TIERRA
	X1 W X1 U X1 V X1 W	TIERRA CONEXION DEL MOTOR 3CA 0V... VOLTAGE PRINCIPAL 0.0... 400 Hz
UNIDADES DE ENTRADA TRIFASICA		
	X1 L1 X1 L2 X1 L3 X1 W	CONEXION PRINCIPAL 3CA 400/480V±15% 50/60Hz TIERRA
	X1 W X1 U X1 V X1 W	TIERRA CONEXION DEL MOTOR 3CA 0V... VOLTAGE PRINCIPAL 0.0... 400 Hz
CD = SALIDA CD + SALIDA	X1 - X1 +	CONEXIONES PARA MODULO DE FRENADO
TERMINALES DE CONTROL: BLOQUE DE TERMINALES XII		
	X11 1	0V CONEXION DE 100 KΩ A TIERRA
	X11 2	+15V
	X11 3	MARCHA / PARO DESPACHADO POR FLANCO O POR NIVEL (POS)
	X11 4	INSPARO PUEDE SER USADO JUNTO CON MARCHA / PARO Y CON POS
	X11 5	ROTACION INCRONIZACION, CERRADO E INVERSA
	X11 6	+4A
	X11 7	0... 10V VOLTAGE DE REFERENCIA PARA PRE-ENTRADA DE REFERENCIA DE PRE-CUBIERTA (VOLTAGE) (POS)
	X11 8	0V
	X11 9	0(V)... 20 mA ENTRADA DE REFERENCIA DE PRE-CUBIERTA (CONCEPTO LOGIC)
	X11 10	0V
	X11 11	0... 10V/5mA INDICACION DE PRECUBIERTA INDEFINIDA DE SALIDA
	X11 12	0... 5V ENTRADA DE TACONETRO
	X11 13	MARKER POCO A POCO (POS) VEL. DEL 30% AJUSTADA POR POS
	X11 14	A CONEXION EN SERIE RS 485
	X11 15	B
	X11 16	CONEXION DE RITMO "P"
	X11 17	CONEXION DE RITMO "A"
	X11 18	CONEXION DE RITMO "V"
	X11 19	NA INDICACION DE FALLA
	X11 20	COM (CENTRADA DURANTE OPERACION NORMAL)
	X11 21	NC
	X11 22	0V

FIGURA 8: DIAGRAMA DE CONEXION

La Figura 9 muestra el ejemplo de un convertidor con las conexiones de control típicas. Otras configuraciones de control son descritas en la sección 5.

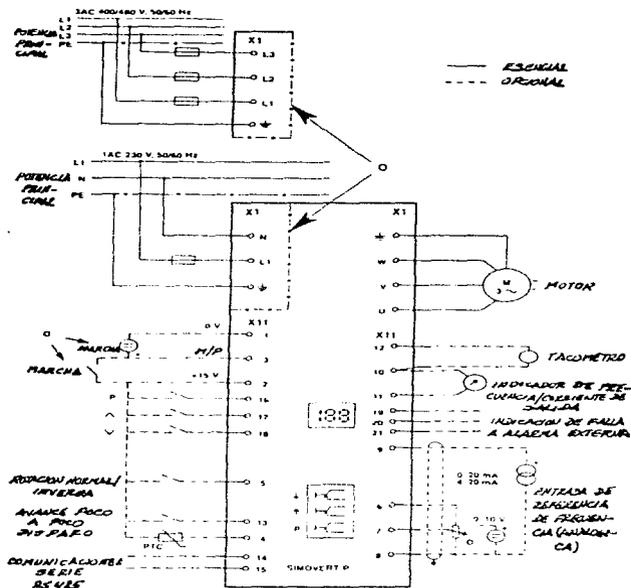


FIGURA 9: EJEMPLO DE CONEXION

5. FUNCIONAMIENTO

El ajuste de fábrica de los convertidores de la serie 6SE21 les permite ser usados inmediatamente en muchas aplicaciones. Sin embargo, la adaptación a aplicaciones específicas puede ser fácilmente hecha, usando el amplio rango de ajuste de los parámetros digitales proveído (ver sección 5.3).

5.1 Preparación para encendido

5.1.1 Arranque y paro del convertidor

El método de arranque y paro del convertidor depende del ajuste del parámetro P05. Uno de los tres diferentes métodos de control puede ser usado junto con uno de los dos diferentes modos de paro. Un modo de paro adicional, el cual usa frenado por inyección de cd, puede ser habilitado mediante el ajuste del parámetro P11.

MODO DE PARO CONTROL DE FRECUENCIA	AJUSTE DE P05 CAMBIA MANEJA DE FRECUENCIA AL ARRANQUE O AL PARO	MANEJA AL ARRANQUE O AL PARO	CONFIGURACION TIPICA	COMENTARIOS
DISPARADO POR RAMPAS, TEM- PERAL MIN. DIS- PARADO MANE- JA	000 (CALLE CALLE)	002		CONTROL SIMPLE. NO RE-ARRANCA DESPUES DE INTI- MACION DE FRECUENCIA.
DISPARADO POR NIVEL, TEM- PERAL MIN. DIS- PARADO MANE- JA	001	003		CONTROL SIMPLE. RE-ARRANCA DES- PUES DE AUTOMATI- ZACION DE FRECUENCIA.
DISPARADO POR PLANCO, TEM- PERAL MIN. DIS- PARADO AC- TIVO	002	005		CONTROL SIMPLE DE MANEJA / PARO COMO ARRANCA POR UNA AC- TION DE FRECUENCIA. SE ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz. ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz.
DISPARADO POR NIVEL, TEM- PERAL MIN. DIS- PARADO AC- TIVO	003	007		CONTROL SIMPLE DE MANEJA / PARO COMO ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz. ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz.
CONTROL POR BOTONES	004	007		CONTROL SIMPLE DE MANEJA / PARO COMO ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz. ARRANCA DESPUES DE NIVEL DE FRECUENCIA MINIMA DE 50 Hz.

Los tres modos de paro operan como sigue:

Rampa descendente (P05 = 000, 004, 006 & 008)

La frecuencia de salida del convertidor disminuirá en una rampa descendente a la tasa ajustada por el parámetro P03 hasta que la frecuencia de salida mínima (ajustada por P07) sea alcanzada. En este punto el convertidor para sin salida.

Paro libre (P05 = 002, 003, 005, 007 ó 009)

La salida del convertidor cesa inmediatamente, permitiéndole al motor "rodar libre" hasta pararse o ser parado por otros medios.

Frenado por inyección de CD

El frenado por inyección de CD es seleccionado mediante el ajuste del parámetro P11 a un valor mayor que cero. El convertidor inyectora cd dentro del motor por un periodo equivalente al tiempo de rampa descendente, ajustado mediante P03, más un segundo.

5.1.2 Dirección de rotación

La dirección de rotación del motor puede ser invertida, aplicando un nivel de voltaje mayor a +7 V a la terminal 5 de la tarjeta de control. Esto puede ser logrado, cortocircuitando las terminales 2 y 5 en la tarjeta de control o aplicando un voltaje de control externo de 7 - 33 V⁺. Si ninguna conexión es hecha, la rotación de fase de salida será en dirección de las manecillas del reloj.

5.1.3 Característica de avance poco a poco (jog)

El convertidor puede ser arrancado a una frecuencia predeterminada (ajustada vía el parámetro P12), mediante la aplicación de un voltaje de control externo de 7 - 33 V a la terminal 13 en la tarjeta de control⁺, o mediante la conexión de un botón (push-button) entre las terminales 2 y 13 en la tarjeta de control. El motor sólo funcionará mientras este voltaje esté aplicado, y la entrada sólo se activará cuando el accionamiento esté parado.

La característica de avance poco a poco (jog) puede ser usada para ajuste fino o "avance por pulgadas" ("inching") del equipo.

5.1.4 Control de velocidad

La velocidad del motor es ajustada mediante la entrada de referencia (set-point) de frecuencia. Esta puede ser ajustada mediante medios analógicos (0 - 10 V en la terminal X11.7 ó 0 - 20 mA/4 - 20 mA en la terminal X11.9) o digitalmente mediante los botones (push-buttons) localizados detrás del sujetador de acceso en el panel frontal. Estos botones pueden ser duplicados - y de hecho lo son - conectando botones a las terminales X11.16, X11.17 y X11.18

(ver Figura 9). Una salida de referencia de 10 V es proveída en la terminal X11.6, tal que un potenciómetro puede ser usado. Ciertos modos de frecuencia fija pueden también ser seleccionados (ver sección 5.3.2).

5.2 Primer encendido

NOTA

Si el convertidor va a ser usado con realimentación por tacómetro o va a ser controlado vía interfase serie, refiérase a las secciones 6 y 7, respectivamente.

- (1) Cheque la potencia principal y las conexiones (ver sección 4).
- (2) Encienda la potencia principal (breaker). El display debe iluminarse y aparecer 00.0. Entonces se alternará entre 00.0 y la frecuencia a la cual el accionamiento (drive) tenderá cuando arranque.
- (3) Ajuste los parámetros requeridos (ver 5.3).
- (4) Ajuste la entrada de referencia (set-point) de frecuencia. Ajuste la entrada de referencia analógica a 0, o la digital mediante P09. (También vea sección 5.3.2 para frecuencia fija y operación en modo de salto).
- (5) Seleccione el parámetro P00, y entonces presione "P". En el display deberá aparecer 00.0. El display entonces se alternará entre 00.0 y la frecuencia a la cual el accionamiento (drive) tenderá cuando arranque.
- (6) Encienda el convertidor en la entrada marcha/paro (run/stop) (ver sección 5.1.1). El convertidor funcionará a la frecuencia mínima ajustada por P07, o a la entrada de referencia (set-point) de frecuencia digital (P09).
 Note que si la operación de elevación automática ha sido seleccionada (ver sección 5.3.2), el convertidor medirá las características del motor y el arranque será retrasado por algunos segundos. Esto sólo ocurre al primer arranque seguido a un cambio (diferente a cero) del parámetro P19.
- (7) Ajuste la elevación de voltaje a baja frecuencia (P01) para acondicionar el motor. Si es requerido, la elevación automáti-

ca puede ser usada en su lugar (ver sección 5.3.2). Regrese a la indicación de frecuencia, seleccionando PO0 y presionando "p".

- (8) Ajuste la velocidad del motor al valor requerido como se muestra en el indicador del panel frontal.
- (9) Para invertir la dirección de rotación del motor, aplique un voltaje a la entrada ROTACION NORMAL/INVERSA (FORWARD/INVERSE) vía un interruptor (switch) externo. El display del panel frontal y el motor desacelerarán hasta 0 Hz y reaccelerarán hasta la frecuencia ajustada, usando los valores de rampa dados mediante PO2 y PO3.
- (10) Para parar el motor, aplique una señal de paro (ver sección 5.1.1) o apague el voltaje principal. El motor parará como sea definido mediante el parámetro PO5 (o P11) hasta que en el display aparezca 00.0.

5.3 Parametrización

5.3.1 Ajuste de parámetros

Para acondicionar el convertidor a un motor/instalación, en particular, varios parámetros digitales del convertidor pueden ser ajustados. El procedimiento de ajuste es descrito a continuación:

Identifique los siguientes botones (push-buttons) de parametrización en la consola:

- P Botón de parámetro
- ^ Botón de subida
- v Botón de bajada

En nuestro caso, tenemos, como ya se dijo, duplicados estos botones. Si se deseara en un momento dado - justificado - hacer uso de ellos, remueva la pequeña cubierta directamente debajo de la ventana que da vista al LED (display), insertando un pequeño desarmador plano dentro del slot proveído y palanqueando la cubierta hacia arriba. Esto descubrirá los botones de parametrización.

Lleve a cabo la parametrización con la potencia principal apli

cada al convertidor. Algunos parámetros pueden ser ajustados mientras el accionamiento (drive) esté funcionando (ver 5.3.2). Si el ajuste de un parámetro no es permitido, el display destellará cuando los botones sean presionados.

El número de parámetro es obtenido, presionando el botón (push button) de parámetro (P) una vez. Esto provocará que en el display aparezca POO. El parámetro deseado puede entonces ser seleccionado usando los botones de subida y bajada.

Cuando el botón de parámetro es presionado otra vez, el contenido de la memoria del parámetro seleccionado es desplegado. El valor puede entonces ser ajustado usando los botones de subida y bajada. Cuando el valor deseado ha sido seleccionado, presionando el botón de parámetro otra vez, se carga el nuevo valor dentro de la memoria no volátil y el display muestra una vez más el número de parámetro.

Cuando todos los ajustes a los parámetros requeridos han sido cargados, regrese al modo de operación normal, seleccionando POO y entonces presionando P. El display entonces volverá a su indicación normal de frecuencia/corriente de salida, o código de falla.

5.3.2 Descripción de los parámetros

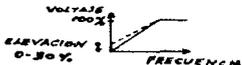
Nota: Los parámetros marcados con un (+), pueden ser ajustados durante la operación.

PO0+

Frecuencia, corriente de salida o código de falla

PO1+

Elevación de voltaje a baja frecuencia



Ajuste del display: 00.0-30.0%

Ajuste de fábrica: (00.0)

El voltaje de salida del inversor puede ser aumentado para mejorar el par del motor a bajas velocidades.

Si el convertidor se dispara y despliega PO0 cuando el interruptor MARCHA (RUN) es operado, la elevación de voltaje a baja frecuencia debe ser ajustada hacia arriba en incrementos de 0.1% hasta que el motor arranque sin dispararse. Note que una elevación excesiva puede también causar disparo o sobrecalentamiento del motor debido a que la corriente del motor está siendo demasiado alta. (Ajustable mientras el motor esté en marcha).

La elevación puede también ser ajustada usando la característica de elevación automática, ajustada mediante P19.

Note que PO1 no puede ser ajustado manualmente cuando la elevación automática es habilitada.

PO2

Tiempo de rampa ascendente hasta una frecuencia máxima (segundos)

Ajuste del display: 00.0-400 seg.

Ajuste de fábrica: (10.0)

Tiempos cortos de rampa ascendente resultarán en que corrientes de motor altas están siendo entregadas durante el arranque lo cual puede causar que el convertidor se dispare (PO0).

PO3

Tiempo de rampa descendente desde una frecuencia máxima (segundos)

Ajuste del display: 00.0-400 seg.

Ajuste de fábrica: (10.0)

Tiempos cortos de rampa descendente resultarán en una regeneración de voltaje de energía mecánica almacenada en el motor lo cual puede causar que el convertidor se dispare (PO0).

PO4

Selección del modo de control de la frecuencia:

Entradas analógicas

Entrada de 0 a 10 V (X11.7)

Ajuste del display: 000

0 V = 0 Hz, 10 V = máxima frecuencia ajustada mediante PO8.

Entrada de 0 a 20 mA (X11.9)

Ajuste del display: 001

0 mA = 0 Hz, 20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8.

Entrada de 4 a 20 mA (X11.9)

Ajuste del display: 002

4 mA = 0 Hz, 20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8.

Ajuste digital

Ajuste del display: 003

La frecuencia del convertidor puede ser ajustada hacia arriba o hacia abajo usando las teclas Δ V \uparrow \downarrow . Sin embargo, cuando el convertidor es parado y reanunciado, siempre marchará a la frecuencia almacenada en el parámetro PO9.

Ajuste del display: 004

Como en 003 pero la razón de cambio de la frecuencia es fija (p.ej. no aumenta después de unos cuantos segundos). La característica puede ser útil en algunas funciones de control automatizado.

Ajuste del display: 005

Como en 003 pero el parámetro PO9 es actualizado (después de

un retardo de cerca de 3 seg.) al nuevo valor ajustado. En este caso, cuando el convertidor es parado y rearrancado, marchará a la nueva frecuencia almacenada en el parámetro P09.

Ajuste del display: 006

Como 004 pero incorpora la característica de actualización de P09 de 005.

Entradas analógicas

Entrada de 0 a 10 V (X11.7)

Ajuste del display: 007

0 V = mínima frecuencia ajustada mediante P07.

10 V = máxima frecuencia ajustada mediante P08.

Entrada de 0 a 20 mA (X11.9)

Ajuste del display: 008

0 mA = mínima frecuencia ajustada mediante P07.

20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante P08.

Entrada de 4 a 20 mA (X11.9)

Ajuste del display: 009

4 mA = mínima frecuencia ajustada mediante P07.

20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante P08.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P04): (000)

Nota: Frecuencias fijas adicionales son programables usando el parámetro P24, el cual anula este modo de operación.

P05

Modo de MARCHA/PARO (ver sección posterior para explicación de tallada)

Ajuste del display: 000

Rampa descendente; disparado por flanco; disparo inactivo.

Ajuste del display: 001

Rampa descendente; disparado por nivel; disparo inactivo.

Ajuste del display: 002

Paro libre; disparado por flanco; disparo inactivo.

Ajuste del display: 003

Paro libre; disparado por nivel; disparo inactivo.

Ajuste del display: 004

Rampa descendente; disparado por flanco; disparo activo.

Ajuste del display: 005

Paro libre; disparado por flanco; disparo activo.

Ajuste del display: 006

Rampa descendente; disparado por nivel; disparo activo.

Ajuste del display: 007

Paro libre; disparado por nivel; disparo activo.

Ajuste del display: 008

Rampa descendente; control por push-button.

Ajuste del display: 009

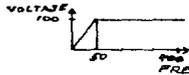
Paro libre; control por push-button.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P05): (000)

Nota: En unidades IP54 - no es el caso -, los ajustes 001, 003, 006 y 007 no deben ser usados con los controles del panel frontal.

P06

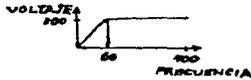
Selección de curva voltaje - frecuencia



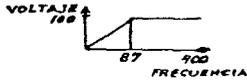
Ajuste del display: 000

Lineal de 0 a 50 Hz

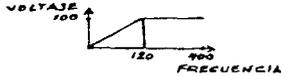
100% de 50 a 400 Hz



Ajuste del display: 001
 Lineal de 0 a 60 Hz
 100% de 60 a 400 Hz



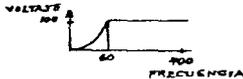
Ajuste del display: 002
 Lineal de 0 a 87 Hz
 100% de 87 a 400 Hz



Ajuste del display: 003
 Lineal de 0 a 120 Hz
 100% de 120 a 400 Hz



Ajuste del display: 004
 Voltaje (frecuencia)^{1.5} de 0 a 50 Hz
 100% de 50 a 400 Hz
 Conveniente para uso con bombas y ventiladores.



Ajuste del display: 005
 Voltaje (frecuencia)^{1.5} de 0 a 60 Hz
 100% de 60 a 400 Hz
 Conveniente para uso con bombas y ventiladores.



Ajuste del display: 006

Curva definida por el usuario.

Cuando este valor es seleccionado, el punto de quiebre y el tipo de curva debe ser seleccionado usando los parámetros P15 y P16.

Ajuste de fábrica de este parámetro: (000)

[001]

P07

Frecuencia mínima

Ajuste del display: 00.0-399 Hz

Ajusta la mínima frecuencia de operación seleccionable. Esta es temporalmente anulada cuando se arranca o se para el motor. La frecuencia de avance poco a poco puede también ser ajustada bajo P07.

P08

Frecuencia máxima

Ajuste del display: 00.1-400 Hz

Ajuste de fábrica: (50.0)

[60.0]

Ajusta el límite de frecuencia máximo requerido. Note que el ajuste de este parámetro afectará la escala de la entrada de control analógica (P04) y las razones de rampa P02 y P03.

P09

Ajuste de la entrada de referencia (set-point) de frecuencia digital

Ajuste del display: 00.0-400 Hz

Ajuste de fábrica: (50.0)

[60.0]

Este parámetro ajusta la frecuencia a la cual el convertidor

funcionará en el arranque cuando el parámetro P04 haya sido puesto en 003 ó más alto. Este valor puede ser actualizado automáticamente durante la operación en ciertos modos de operación seleccionados vía P04.

P10

Ajuste de la entrada de referencia (set-point) de frecuencia analógica

Ajuste del display: 080-240%

Ajuste de fábrica: (100)

Este parámetro permite la frecuencia de salida a una entrada de voltaje/corriente de control dada y por compensar. (Ajustable mientras el convertidor esté funcionando.).

Cuando este parámetro es ajustado desde 100(%) hasta 080(%), la frecuencia correspondiente a un voltaje de entrada analógico de 10 V (ó 20 mA) es reducida por el factor 0.8. Si el parámetro es ajustado hasta 240%, la frecuencia es aumentada por el factor 2.4.

P11

Frenado por inyección de CD

Ajuste del display: 00.0-20.0%

Ajuste de fábrica: (00.0)

Ajusta el voltaje de inyección de cd como un porcentaje del voltaje principal. El ajuste óptimo depende del tipo de motor e inercia. Un nivel demasiado alto resultará en sobrecorriente y disparo del accionador (drive) (POO). Un nivel demasiado bajo resultará en más de las necesarias ocasiones de paro. El frenado por inyección de CD es habilitado automáticamente cuando P11 es puesto en un valor diferente de cero.

P12

Avance poco a poco (jog)

Ajuste del display: 00.1-400 Hz

Ajuste de fábrica: (05.0)

Ajusta la frecuencia del convertidor alcanzada cuando la entrada de control de avance poco a poco está activa. Anula el ajuste de

frecuencia mínima.

Pl3+

Compensación de deslizamiento

Ajuste del display: 00.0-20.0

Ajuste de fábrica: (00.0)

Ajusta la cantidad de compensación de deslizamiento (Hz) sumada a la frecuencia de salida cuando una corriente igual al límite de corriente (ajustado vía Pl7) es suministrada al motor. Note que una excesiva compensación de deslizamiento provocará que el motor ausente la velocidad arriba de la que es equiva - lente al ajuste original de frecuencia de salida y una sobre - carga puede resultar.

p.ej.

$$f_{\text{salida}} = f_{\text{ajustada}} + (Pl3 \times \text{corriente de carga medida} / Pl7)$$

Pl4+

Estado del display/salida analógica

Ajuste del display: 000

Display

Salida analógica

Frecuencia de salida

X11.11 indica frecuencia

Ajuste del display: 001

Display

Salida analógica

Frecuencia de salida

X11.11 indica corriente

Ajuste del display: 002

Display

Salida analógica

Corriente de salida

X11.11 indica frecuencia

Ajuste del display: 003

Display

Salida analógica

Corriente de salida

X11.11 indica corriente

(Excepto durante parametrización o condiciones de falla)

Ajuste de fábrica de este parámetro Pl4: (000)

P15

Relación voltaje - frecuencia: "punto de quiebre"

Ajuste del display: 00.1-400 Hz

Ajuste de fábrica: (50.0)

[60.0]

Ajusta la frecuencia de quiebre sobre una curva definida por el usuario. Usada cuando PO6 es puesto en 006.

P16

Relación voltaje - frecuencia: tipo de curva

Ajuste del display: 000

Lineal desde 0 Hz hasta la frecuencia de quiebre cuando PO6 es ajustado a 006.

Ajuste del display: 001

Voltaje proporcional a la (frecuencia)^{1.5} cuando PO6 es ajustado a 006.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P16): (000)

P17+

Límite de corriente

Ajuste del display: 00.1-salida nominal del convertidor

Ajuste de fábrica: (1.1xcapacidad del convertidor)

Este parámetro ajusta el límite de corriente del convertidor en amperes. Este límite de corriente opera después de 60 s (P18 ajusta el límite de sobrecarga), reduciendo la frecuencia de salida hasta que la corriente de salida cae abajo del valor ajustado. El punto decimal del display flashea cuando la corriente ajustada por P17 es excedida o cuando el límite de corriente está activo.

Este parámetro puede ser ajustado entre 0.1 y 1.1 x la corriente nominal del inversor en Amps.

P18

Límite de sobrecarga

Ajuste del display: 01.0-03.0

Ajuste de fábrica: (01.5)

Este parámetro ajusta el límite de sobrecarga usado durante la operación de elevación automática y de límite de corriente en la sobrecarga. El límite de corriente (ajustado en P17) puede ser excedido por arriba de los 60 seg., cuidando que la corriente no exceda P17 x P18. Si esto ocurre, o en cualquier caso después de los 60 seg., la frecuencia de salida se reduce hasta que la corriente cae abajo del valor de P17.

El límite de sobrecarga es también usado durante la operación de elevación automática.

P19

Elevación automática

Ajuste del display: 000-003

Operación de elevación automática

La elevación automática es habilitada cuando P19 es ajustada a un valor diferente de cero. Para una operación correcta, ajuste P17 a la corriente nominal del motor como está establecido en los datos de placa. La siguiente vez que el convertidor es puesto en marcha después de que P19 ha sido puesta o ajustada a cualquier valor diferente de cero, el convertidor mide la resistencia del motor y usa este valor para calcular la elevación requerida. Este valor es escrito en el parámetro PO1, donde puede ser leído pero no cambiado. Durante el periodo de cálculo (tarda unos cuantos segundos), "CAL" es indicada en el display. El convertidor entonces arranca y funciona normalmente.

El convertidor puede proveer elevación adicional durante una rampa ascendente mediante el ajuste de P19 a 002 ó 003. En estos casos la elevación opera como normal (p.ej. manual o automáticamente derivada) cuando el convertidor está funcionando, pero durante una rampa ascendente el porcentaje de elevación es aumentado por el factor P18 para proveer par adicional durante la rampa ascendente. La elevación regresa a lo definido en PO1 cuando la entrada de referencia (set-point) es alcanzada.

Ajuste del display: 000
Ajuste de elevación manual, no hay elevación adicional.
Ajuste del display: 001
Ajuste de elevación automática
Ajuste del display: 002
Ajuste de elevación manual, hay elevación adicional en rampas ascendentes.
Ajuste del display: 003
Ajuste de elevación automática, hay elevación adicional en rampas ascendentes.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P19): (000)

P20+

Selección de la interfase serie
Ajuste del display: 000
Operación local - interfase serie sin operar
Ajuste del display: 001
Operación remota. Controles locales deshabilitados excepto para P20, el cual puede ser seleccionado y ajustado. Si P20 es cambiado mientras el convertidor está operando entonces se parará. (ver sección 7 para mayores detalles).

Ajuste de fábrica de este parámetro: (000)

P21

Dirección de la interfase serie
Ajuste del display: 000-030
Ajusta la dirección del convertidor cuando la interfase serie es usada. (Ver sección 7 para mayores detalles).

P22

Paridad y tasa de baud de la interfase serie
Ajusta la paridad y la tasa de baud de la dirección serie:

Ajuste del display: 000

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Par	2400

Ajuste del display: 001

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Par	4800

Ajuste del display: 002

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Par	9600

Ajuste del display: 003

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Impar	2400

Ajuste del display: 004

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Impar	4800

Ajuste del display: 005

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Impar	9600

Ajuste del display: 006

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Ignorada	2400

Ajuste del display: 007

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Ignorada	4800

Ajuste del display: 008

<u>Paridad</u>	<u>Tasa de baud</u>
Ignorada	9600

Ajuste de fábrica de este parámetro (P22): (000)

P24

Modo de frecuencia fija

Ajuste del display: 000

Operación normal - frecuencia fija deshabilitada.

Ajuste del display: 001

Selecciona frecuencias fijas.

En este modo el convertidor sólo usa frecuencias fijas de salida en rampas entre las frecuencias fijas a las tasas ajustadas mediante PO2 y PO3.

Las frecuencias fijas son seleccionadas usando las terminales A y V (X11.17 y X11.18) en conformidad con la siguiente tabla:

		Frec.1	Frec.2	Frec.3	Frec.4
(1=7-33V)	A	0	0	1	1
(0=<7V)	V	0	1	0	1

Ajuste del display: 002

Este parámetro puede ser puesto en 002. Esto habilita tres frecuencias fijas (almacenadas en los parámetros P26, P27, P28), y una entrada de referencia (set-point) analógica en conformidad con la tabla:

		Frec.A	Frec.2	Frec.3	Frec.4
	A	0	0	1	1
	V	0	1	0	1

Este modo de operación es sólo válido si PO4 es ajustado en 000, 001, 002, 007, 008, 009.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P24): (000)

P25

Primera frecuencia fija

Ajuste del display: 00.0-400

Ajuste de fábrica: (00.0)

La frecuencia fija es ignorada si está puesta en 00.0.

P26

Segunda frecuencia fija

Ajuste del display: 00.0-400

Ajuste de fábrica: (00.0)

La frecuencia fija es ignorada si está puesta en 00.0.

P27

Tercera frecuencia fija

Ajuste del display: 00.0-400

Ajuste de fábrica: (00.0)

La frecuencia fija es ignorada si está puesta en 00.0.

P28

Cuarta frecuencia fija

Ajuste del display: 00.0-400

Ajuste de fábrica: (00.0)

La frecuencia fija es ignorada si está puesta en 00.0.

P29

Frecuencia de salto

Ajuste del display: 00.0-400

Ajuste de fábrica: (00.0)

Este parámetro permite una frecuencia de salto a ser seleccionada. La operación del convertidor será inhibida sobre el rango (frecuencia de salto -2 Hz) a (frecuencia de salto +2 Hz). Si una frecuencia en este rango es seleccionada, la frecuencia más baja o más alta será seleccionada y desplegada. Note que durante la rampa, la salida de frecuencia aumentará continuamente y no 'parará' en el rango de salto.

P30

Modo de tacómetro

Este parámetro habilita la entrada de tacómetro y selecciona la tasa de cálculo del tacómetro. Ver sección 6 para mayores detalles de aplicaciones del tacómetro.

Ajuste del display: 000

Entrada del tacómetro deshabilitada.

Ajuste del display: 001

Realimentación normal.

Ajuste del display: 002

Control por realimentación suspendido durante la rampa.

Ajuste del display: 003

Como 001, excepto que la salida es deshabilitada cuando la frecuencia cae a P07 (frecuencia mínima).

Ajuste del display: 004

Como 002, excepto que la salida es deshabilitada cuando la frecuencia cae a P07 (frecuencia mínima).

Ajuste de fábrica de este parámetro (P30): (000)

P31+

Factor de escala de tacómetro

Ajuste del display: 00.1-999

Ajuste de fábrica: (50.0)

Frecuencia a una entrada de tacómetro de 50 V.

Ver sección 6 para mayores detalles.

P32+

Compensación de realimentación: Término proporcional (%)

Ajuste del display: 000-999

Ajuste de fábrica: (050)

Ver sección 6 para mayores detalles.

P33+

Compensación de realimentación: Término integral (%)

Ajuste del display: 000-250

Ajuste de fábrica: (000)

Ver sección 6 para mayores detalles.

P34+

Compensación de realimentación: Término derivativo (%)

Ajuste del display: 000-250

Ajuste de fábrica: (000)

Ver sección 6 para mayores detalles.

P35+

Límite de deslizamiento con tacómetro (Hz)

Ajuste del display: 00.0-20.0

Ajuste de fábrica: (05.0)

Ver sección 6 para mayores detalles.

P36+

Tasa de muestreo con tacómetro

Ajuste del display: 001-200

Ajuste de fábrica: (001)

n x 30 ms

Ver sección 6 para mayores detalles.

P37

Lectura de frecuencia del tacómetro en display

Ajuste del display: 000-400

Sólo lectura.

P40

Selección de la frecuencia de conmutación

Ajuste del display: 000

Frecuencia de switcheo de 19.2 kHz en unidades de 220/240 V.

Frecuencia de switcheo de 9.6 kHz en unidades de 380/500 V.

Ajuste del display: 001

Frecuencia de switcheo de 19.2 kHz en todos los tipos.

Para mayor claridad, este parámetro puede ser ajustado a los siguientes valores:

<u>P40</u>	<u>Unidades de entrada 1Ø</u>	<u>Unidades de entrada 3Ø</u>
000(1)	19.2 kHz	9.6 kHz ⁺
001	19.2 kHz	19.2 kHz ⁺⁺
002(2)	19.2 kHz	4.8 kHz

(1) Ajuste de fábrica en unidades de entrada monofásica

(2) Ajuste de fábrica en unidades de entrada trifásica

+ Máxima corriente de carga para modelo 6SE2108-3A00 reducida a 10 A

++ Máxima corriente de carga para modelo 6SE2108-3A00 reducida a 8 A

Frecuencias de conmutación arriba de los ajustes de fábrica sólo deben ser usadas cuando la generación de ruido acústico es crítica. Cuando largos cables de motor (>30m) están sien-

de usados, la frecuencia de conmutación debe ser usada al valor mínimo.

P41

Valores alternos en parámetro

Ajuste del display: 000

Selecciona valores alternos europeos - mostrados entre paréntesis ().

Ajuste del display: 001

Selecciona valores alternos americanos - mostrados entre paréntesis cuadrados [] donde sea diferente.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P41): (000)
[001]

P42

Modo de auto reset

Ajuste del display: 000-001

001 habilita el auto reset en indicaciones de falla. La unidad intentará resetear las condiciones de falla arriba de cinco veces dentro de un minuto. Si la condición de falla persiste después de un minuto el display mostrará el último código de falla.

Ajuste de fábrica de este parámetro (P42): (000)

P48

Código de falla

Ajuste del display: 000-011

Almacena el último código de falla grabado.

P49

Tipe de hardware

Ajuste de fábrica - no puede ser cambiado.

P50

Versión de software

Ajuste de fábrica - no puede ser cambiado.

5.6 Indicaciones de falla

En el caso de que una condición de falla aparezca, el convertidor parará y el display indicará **F**, seguido por un código de dos dígitos.

Código de falla: FOO

Causa: Corriente de carga excesiva

Asegúrese que la placa de datos del motor corresponda con la del convertidor (ver Tabla de datos del equipo).

Una elevación de voltaje a baja frecuencia puede ser requerida para arrancar el motor (refiérase a la sección 5.3, PO1).

La curva característica de voltaje/frecuencia del convertidor puede no corresponder con aquella requerida por el motor (refiérase a la sección 5.3, PO6).

El tiempo de aceleración del motor puede ser demasiado corto (refiérase a la sección 5.3, PO2).

Cheque ya sea que el motor esté atascado o sobrecargado.

Cheque cortocircuitos o fallas a tierra de los conductores de salida.

Causa: Voltaje de enganche excesivo

Asegúrese que el voltaje principal esté dentro de los límites especificados en la placa de datos del convertidor.

El tiempo de desaceleración del motor puede ser demasiado corto (refiérase a la sección 5.3, PO3 y P11).

Código de falla: FO1

Causa: Temperatura excesiva en el sitio

Cheque que la unidad haya sido instalada con al menos 100 mm de claro encima de ella para que el aire de salida y la entrada de aire en la parte de abajo de la unidad no sea obstruido.

Cheque que la temperatura ambiente esté abajo de los 40°C.

Cheque que la corriente del motor en estado estable no esté arriba del límite especificado en la placa de datos.

Código de falla: FO2

Causa: Corrupción de los datos de parametrización en la memoria no volátil

Resetée todos los parámetros (ver sección 5.3). Recalibre el monitor de corriente quitando la potencia del convertidor y presionando los tres botones de parametrización simultáneamente mientras se aplica potencia al convertidor. El display indicará "CAL" durante algunos segundos mientras recalibra el circuito monitor.

Código de falla: FO3

Causa: Operación defectuosa del convertidor analógico-digital

Cheque que el voltaje de entrada analógico en la terminal X11.7 sea menor que +12 V y mayor que -0.5 V.

Si opera en control por lazo de corriente, cheque que la corriente que entra a la terminal de control X11.9 es menor que 25 mA y mayor que -1 mA.

Causa: Voltaje excesivo en realimentación por tacómetro

Asegúrese que la salida del tacómetro no exceda de 50 V en la terminal X11.12.

Código de falla: FO4

Causa: El parámetro de frecuencia mínima (PO7) ha sido puesto a un valor mayor que el parámetro de frecuencia máxima (PO8).

Resetée el parámetro PO7 ó PO8.

Código de falla: FO5

Causa: El parámetro de frecuencia fija (PO9) ha sido puesto fuera de los límites de frecuencia mínima/máxima ajustados por los parámetros PO7 y PO8. Note que esta indicación de falla sólo será habilitada si FO4 es puesto en O3

Resetée los parámetros PO7, PO8 ó PO9.

Código de falla: FO6

Causa: Falla en la tarjeta de control

Desconecte el convertidor de la fuente principal y reconecte.

Código de falla: FO7

Causa: Parámetro P25 ajustado arriba de la frecuencia máxima

PO8 ó abajo de la frecuencia mínima PO7

Cambie parámetro P25, PO8 ó PO7.

Código de falla: FO8

Causa: Parámetro P26 ajustado arriba de la frecuencia máxima PO8 ó abajo de la frecuencia mínima PO7

Cambie parámetro P26, PO8 ó PO7.

Código de falla: FO9

Causa: Parámetro P27 ajustado arriba de la frecuencia máxima PO8 ó abajo de la frecuencia mínima PO7

Cambie parámetro P27, PO8 ó PO7.

Código de falla: F10

Causa: Parámetro P28 ajustado arriba de la frecuencia máxima PO8 ó abajo de la frecuencia mínima PO7

Cambie parámetro P28, PO8 ó PO7.

Código de falla: F11

Causa: Convertidor externamente disparado vía la entrada X11.4

Aclare dispare externo en X11.4 y rearranque el convertidor.

Si una indicación de falla ha sido observada y la acción correctiva implementada, el convertidor puede ser reseteado, aplicando una señal de PARO (STOP) (baja) a la entrada marcha/paro (run/stop) (terminal X11.3) seguida por una señal de MARCHA (RUN) (alta) a la misma entrada. Alternativamente, el voltaje principal de entrada puede ser apagado y entonces prendido otra vez.

5.7 Relé de falla

Un relé conmutado de un polo es proveído para indicar una falla. Es normalmente energizado cuando el convertidor es prendido y operado o parado. Si una condición de falla ocurre, el relé será desenergizado. Los contactos del relé son conectados a las terminales X11.19 (normalmente abierto, desenergizado), X11.20 (común) y X11.21 (normalmente cerrado, desenergizado) en la tarjeta de control.

6. USANDO LA ENTRADA DE CONTROL POR TACOMETRO

6.1 Introducción

El propósito de la entrada de control por tacómetro es proveer un control de lazo cerrado de la velocidad del motor, basada en una señal de realimentación desde un dispositivo de control analógico, tal como un tacómetro. El software incluye un algoritmo de control Proporcional-Integral-Derivativo (PID), como se muestra en la figura siguiente:

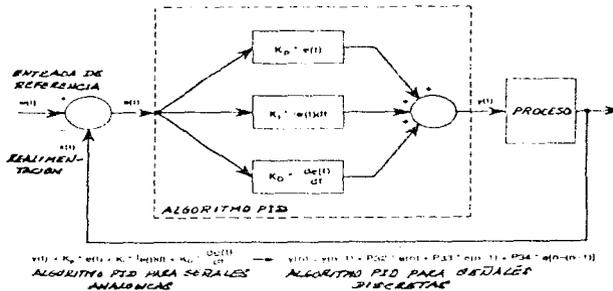


FIGURA 13. ALGORITMO PROPORCIONAL- INTEGRAL- DERIVATIVO (PID)

Este permite al convertidor actualizar su frecuencia de salida continuamente en un intento por mantener la señal de realimentación a un nivel que sea igual al de la entrada de referencia (set-point). La tasa de muestreo (p.ej. el tiempo entre n y $n-1$) puede ser ajustada desde 30 mseg. hasta 6 seg., usando P36.

6.2 Ajuste del lazo de control

Los ajustes del lazo de control son altamente dependientes del tipo de carga y de la naturaleza del dispositivo de realimentación analógico. La información dada a continuación está destinada sólo como una guía general. Para información más detallada sobre optimización de controladores PID, favor de consultar con su oficina de ventas Siemens.

6.2.1 Ajuste de la señal de realimentación analógica

El parámetro P31 (Factor de escala de tacómetro) permite que

la frecuencia de salida del convertidor correspondiente a 50 V a la entrada del tacómetro (X11.12) sea ajustada.

Por ejemplo, suponga que un tacómetro analógico está siendo usado con un factor de escala de 10 V/1000 rpm en un motor de 1500 rpm/50 Hz. A plena velocidad (1500 rpm) el voltaje del tacómetro será de 15 V. Ignorando el deslizamiento, la velocidad corresponderá a 50 Hz a la salida del convertidor. Por consiguiente, el factor de escala debe ser puesto a $(15 \text{ V}/50 \text{ V}) \times 50 \text{ Hz} = 15$.

Si un tipo diferente de sensor analógico fuese a ser usado, tal como un transductor de presión o temperatura, entonces un cálculo similar sería requerido.

6.2.2 Ajuste de los términos de ganancia P32, P33 y P34

El ajuste óptimo de los términos proporcional, integral y derivativo es altamente dependiente de las características del motor, su carga y el dispositivo de realimentación. Al ser arrancado, es aconsejable colocar los tres parámetros en cero, ajustar la frecuencia deseada manualmente a un punto de operación típico y entonces checar que la realimentación analógica corresponda al valor esperado. Aumente el término proporcional (P32) hasta que la frecuencia de salida empiece a oscilar. En este punto, intente amortiguar las oscilaciones, incrementando los términos integral y/o proporcional, P33 y P34. Esto puede permitir una ganancia proporcional mayor (lo cual da un control más exacto) a ser seleccionada.

6.2.3 Ajuste del límite de deslizamiento P35

Este parámetro ajusta la desviación permisible entre la frecuencia de ajuste de lazo abierto y la frecuencia de lazo cerrado, la cual es ajustada mediante el controlador PID a ser limitado. Esto puede ayudar a prevenir "ataque de calor" del motor bajo condiciones de carga transitoria.

6.2.4 Ajuste de la tasa de muestreo P36

Este parámetro permite la tasa a la cual el controlador PID actualiza la frecuencia de salida a ser ajustada en incrementos

de 30 mseg. (P36=001 corresponde a actualizar cada 30 mseg., P36=002 corresponde a actualizar cada 60 mseg., etc.). Tiempos de muestreo más largos pueden ser requeridos en ambientes donde el ruido eléctrico sobre la señal de realimentación analógica podría romper o interrumpir la operación del sistema de control o donde la señal de realimentación analógica sólo responda lentamente a cambios en la frecuencia del convertidor.

7. USANDO LA INTERFASE SERIE

7.1 Introducción

La interfase serie consiste de un enlace de comunicaciones RS485 bidireccional de dos hilos con tasa de baud, paridad, dirección, etc., el cual puede ser cambiado por parametrización. La interfase puede ser adaptada fácilmente con un mínimo de hardware adicional para acondicionar enlaces RS485 de cuatro hilos, así como también enlaces RS232 a las PC's.

7.2 Conexión del hardware

El arreglo de interfase básico es mostrado en la siguiente figura. Para detalles sobre cómo conectar enlaces de cuatro hilos RS485 y enlaces RS232, favor de consultar al agente local Siemens.

Más de un convertidor puede ser conectado a un dispositivo de control y los accionamientos (drives) son direccionados individualmente.

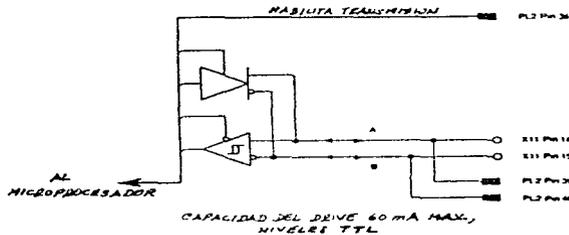


FIGURA IV: CIRCUITO DE INTERFASE SERIE

7.3 Preparando el convertidor para operación a control remoto

El convertidor debe ser manualmente puesto en modo de control remoto antes de que la facilidad de control remoto pueda ser usada. Esto es logrado mediante la programación de los parámetros de configuración P20, P21 y P22 (ver sección 5.3.2).

El parámetro P20 selecciona el control manual/remoto

Cuando esté bajo control manual, el convertidor replicará a mensajes de consulta recibidos sobre el enlace serie, pero ignorará órdenes para cambiar su estado operacional. En el modo de control remoto, todo el control es vía el enlace serie. Todos los controles manuales son ignorados, excepto para habilitar el interruptor de regreso al modo manual, cambiando P20. P20 = 000 para operación manual; 001 para operación remota.

El parámetro P21 selecciona el número de dispositivo (0 a 30)

A cada convertidor conectado a la línea serie debe serle dado un número de dispositivo único. Este es usado para identificar a que convertidor el dispositivo remoto desea hablarle. Cada convertidor sólo responderá a órdenes destinadas para ese convertidor.

P21 = dirección apropiada (000 a 030)

El parámetro P22 selecciona la tasa de baud y paridad, serie

El convertidor operará a 2400, 4800 ó 9600 baud, con paridad par o non, o sin paridad.

P22 = 000 2400 baud paridad par
 = 001 4800 baud paridad par
 = 002 9600 baud paridad par
 = 003 2400 baud paridad non
 = 004 4800 baud paridad non
 = 005 9600 baud paridad non
 = 006 2400 baud ignorar
 = 007 4800 baud ignorar
 = 008 9600 baud ignorar

7.4 Protocolo de comunicaciones serie

El convertidor es un dispositivo esclavo, por consiguiente siempre escucha y sólo transmite cuando replica a un "mensaje" recibido desde el dispositivo maestro.

El convertidor sólo responde a mensajes conteniendo su número de dispositivo o a mensajes de estación (broadcast messages). El convertidor siempre envía una réplica a sus propios mensajes pero

nunca replica a un mensaje de estación.

Un mensaje consiste de 11 bytes, con cada byte transmitido como 11 bits. Cada byte transmitido tiene la siguiente estructura:

1 bit de arranque

8 bits de datos

1 bit de paridad

1 bit de paro

El mensaje está compuesto de 11 bytes, de la siguiente manera:

STX Número de Byte de Byte de Byte de Byte de Byte
dispositivo datos 1 datos 2 datos 3 datos 8 BCC

STX es el carácter ASCII de valor 02.

El número de dispositivo es del 0 al 30. El número de dispositivo 31 indica un mensaje de estación.

Los bytes de datos son descritos en detalle más adelante y son diferentes para mensajes recibidos y transmitidos.

La adición de prueba BCC es un solo byte de adición de prueba y es calculado mediante una operación OR-exclusiva de todos los 10 bytes previos en el mensaje.

Si el convertidor recibe un mensaje invalidado, éste es descartado y el convertidor espera para que el dispositivo a control remoto, retransmita el mensaje.

Si el convertidor recibe un mensaje válido direccionado a él, entonces actuará sobre los datos contenidos en el mensaje y enviará un mensaje de réplica de regreso al dispositivo a control remoto.

7.5 Usando el protocolo

El convertidor 6SE21 puede estar en uno de los siguientes estados cuando sea controlado vía el enlace a control remoto:

APAGADO (OFF)	- el convertidor está inactivo
ENCENDIDO (ON)	- el convertidor está activo
BLOQUEADO (LOCKED)	- el convertidor está bloqueado e inactivo
DESBLOQUEADO (UNLOCKED)	- el convertidor no está bloqueado
PARADO (STOPPED)	- el convertidor está activo pero parado
FUNCIONANDO (RUNNING)	- el convertidor está activo y funcionando

DISPARADO (TRIPPED) - el convertidor está inactivo y esperando un reconocimiento de disparo

7.5.1 Habilitando el enlace serie

Cuando el control serie es habilitado (parámetro P20 puesto en 1) el convertidor está BLOQUEADO y APAGADO. Antes de que el convertidor pueda ser controlado, debe ser desbloqueado y encendido.

Para desbloquear el convertidor ajuste el bit BLOQUEADO en el mensaje de transmisión.

Para encender el convertidor, envíe un mensaje con el bit ENCENDIDO/APAGADO (ON/OFF) puesto en cero, seguido por un mensaje con el bit ENCENDIDO/APAGADO puesto en uno.

El convertidor está ahora listo para funcionar.

7.5.2 Funcionando el convertidor

Ajuste la frecuencia deseada del convertidor en los bytes de datos 3 y 4. Ponga el bit MARCHA/PARO (RUN/STOP) en 1 y transmita el mensaje. La frecuencia en los bytes de datos 3 y 4 tiene una resolución de 0.1, por consiguiente, el valor "400" representa 40.0 Hz.

La frecuencia deseada puede ser ya sea un valor absoluto o un porcentaje de la frecuencia máxima. Esta es determinada por el bit ABSOLUTA/PORCENTAJE (ABSOLUTE/PERCENTAGE), p. ej. en modo porcentaje "400" representa 40.0% de la frecuencia máxima.

La frecuencia a la cual el convertidor está comúnmente funcionando es indicada en los bytes de datos 3 y 4 del mensaje de réplica.

7.5.3 Lectura de parámetros

Para leer un parámetro, ponga el número de parámetro en los bytes de datos 1 y 2 y ponga los tres bits más altos del byte de datos 2 en cero. Transmita este mensaje y la réplica contendrá el estado actual de este parámetro.

7.5.4 Escritura de parámetros

Ponga el número de parámetro en los bytes de datos 1 y 2 y el valor del parámetro en los bytes de datos 7 y 8. Ponga los tres bits más altos del byte de datos 2 en "1 0 0" y transmita el mensa

je.

El mensaje de réplica indicará el valor al cual el parámetro ha sido puesto. Si un error ha ocurrido, entonces éste será indicado en los tres bits más altos del byte de datos 2.

7.5.5 Eliminando un disparo

Cuando un disparo ocurre, debe ser reconocido antes de que el convertidor pueda estar en marcha otra vez. Para reconocer el disparo, envíe un mensaje con el bit RECONOCIMIENTO DE DISPARO (TRIP ACKNOWLEDGE) puesto en cero, seguido por un mensaje con el bit RECONOCIMIENTO DE DISPARO puesto en 1.

El convertidor entrará en el estado BLOQUEADO una vez que el disparo haya sido reconocido. El procedimiento descrito en "Habilitando el enlace serie", sección 7.5.1, debe entonces ser seguido antes de que el convertidor pueda estar en marcha otra vez.

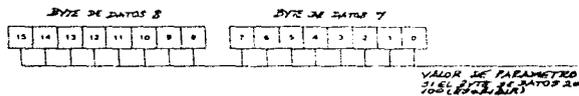
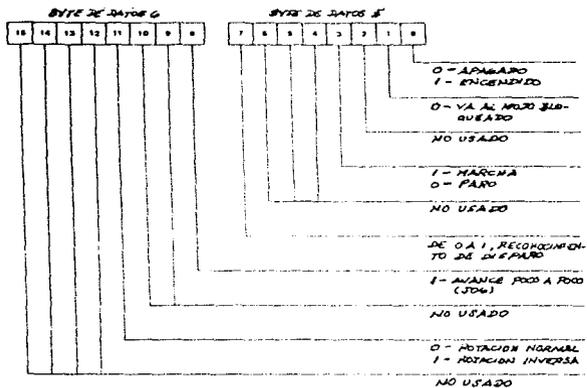
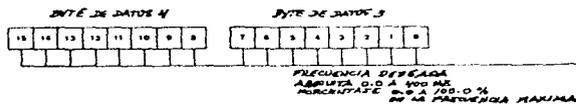
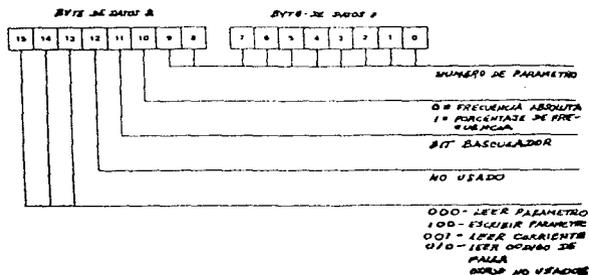
7.5.6 Lectura de códigos de falla

Ponga los tres bits más altos en el byte de datos 2 en "0 1 0" y transmita el mensaje. El mensaje de réplica indicará el código de falla en los bytes de datos 7 y 8.

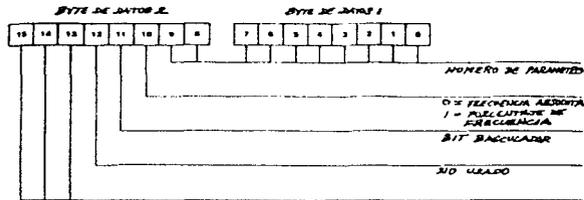
7.5.7 Lectura de corriente

Ponga los tres bits más altos en el byte de datos 2 en "0 0 1" y transmita el mensaje. El mensaje de réplica indicará la corriente en los bytes de datos 7 y 8. La corriente en los bytes de datos 7 y 8 tiene una resolución de 0.1, por consiguiente, el valor "56" representa 5.6 A.

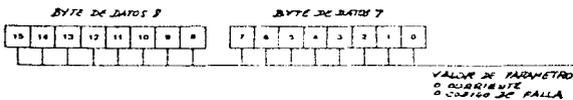
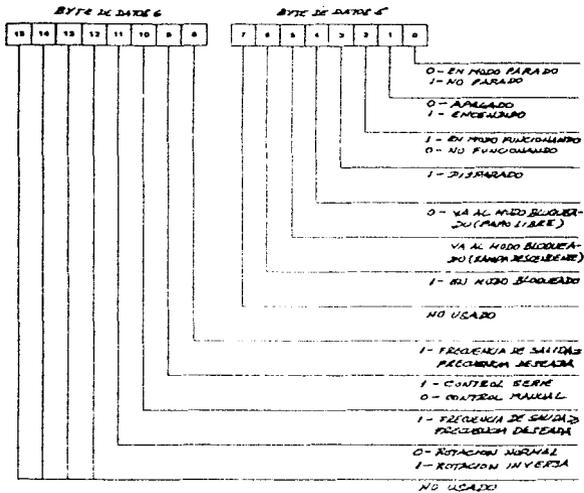
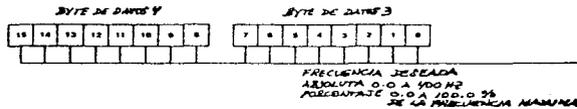
7.6 ESTRUCTURA DE MUESTRAJE - DEL SUBSISTEMA DE CONTROL AL CONVERTIDOR



7.7 ESTRUCTURA DE MENSAJE - DEL CONVERTIDOR AL DISPOSITIVO DE CONTROL



000 PARAMETRO EN BYTES 7 Y 8
101 PARAMETRO LIMITADO
110 EL PARAMETRO NO PUEDE SER NEGATIVO
111 PARAMETRO NO VALIDO
001 CORRIENTE EN BYTES 7 Y 8
010 CORRIENTE DE FALLA EN BYTES 7 Y 8



MODIFICACIONES HECHAS AL EQUIPO ORIGINAL

Como ya se señaló en un principio, antes de hacer referencia a las prácticas del equipo, es necesario conocer de manera clara y sin confusión, las modificaciones que se hicieron al equipo original (drive y motor), cubriendo la mayoría de las posibilidades de control de frecuencia, y con ello, control de la velocidad del motor; control de arranque y paro del mismo; y facilidades de monitoreo recomendados por el fabricante.

Así mismo, es necesario establecer que modificaciones se hicieron para habilitar el control del motor mediante realimentación y para posibilitar el control del motor mediante una PC.

No habiendo, en términos generales, más que añadir, pasemos a enunciar a continuación dichos cambios.

NOTA: La explicación de estos cambios o modificaciones y para lo que sirven se hará tomando como referencia ciertas fotografías tomadas del equipo y algunos diagramas tomados a su vez del manual o hechos, prácticamente, ex-profeso. A continuación se muestran algunos de ellos.

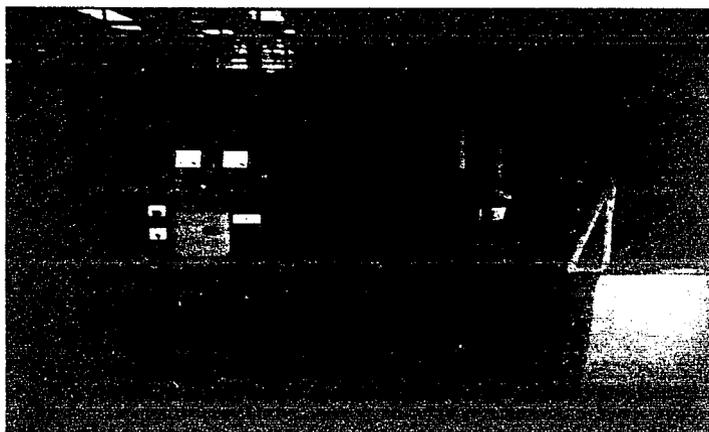


figura 1

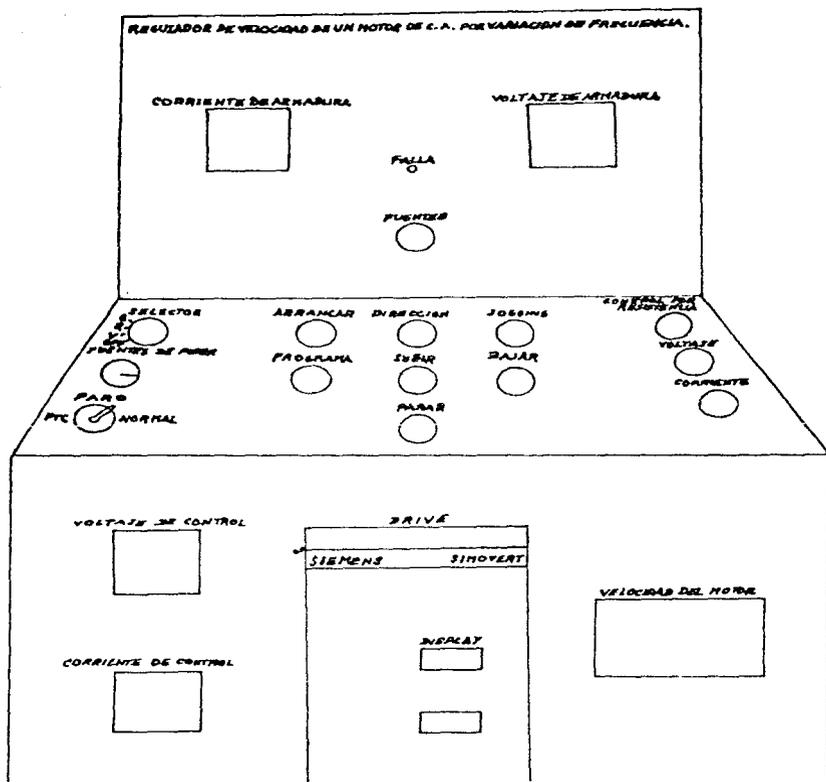


figura 2

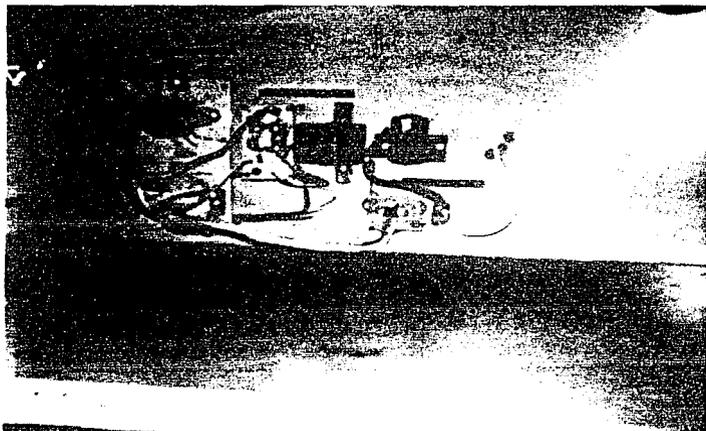


figura 3

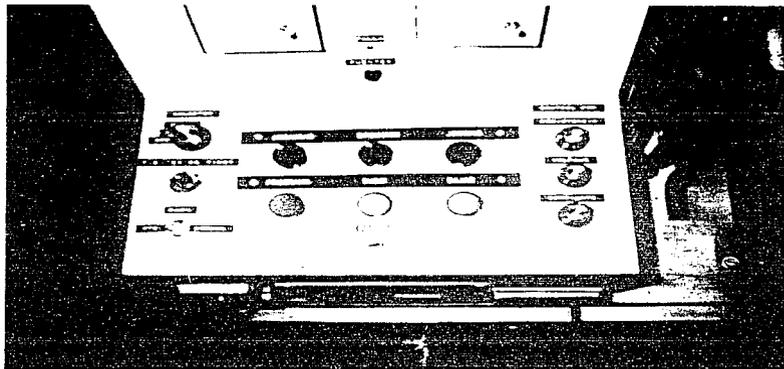


figura 4

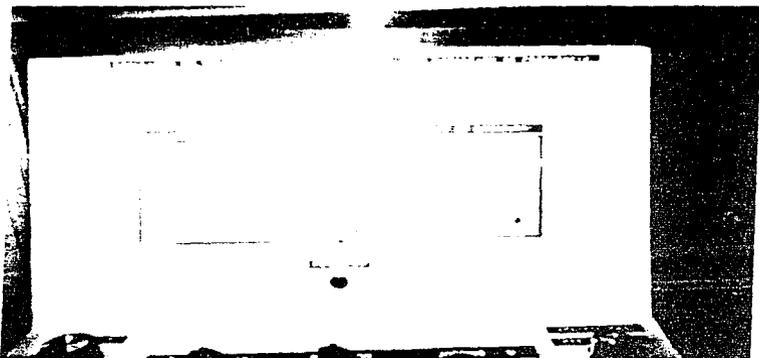


figura 5
(a)

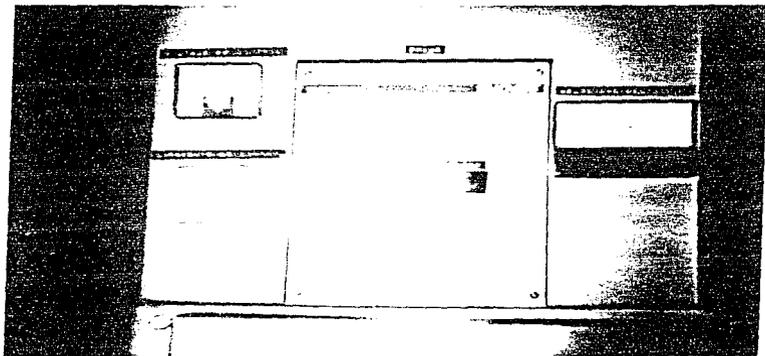


figura 5
(b)

CONTROL DE FRECUENCIA (VELOCIDAD)

Como ya se vió en el desglose del manual (y como se puede ver en el mismo), existen las siguientes opciones de control de frecuencia.

(1) Conexión de un voltaje de control de 0 - 10 V (terminales X11.7/8).

Para ello se conectó una FUENTE DE VOLTAJE de 0 - 10 VCD a estas terminales (ver figura 3, tarjeta de la izquierda). Este control se puede habilitar, primeramente mediante su se lección vía parametrización, de la siguiente manera:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 0 - 10 V (X11.7)

AJUSTE DEL DISPLAY: 000

OBSERVACIONES: 0 V = 0 Hz, 10 V = máxima frecuencia ajustada mediante PO8

o también mediante:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 0 - 10 V (X11.7)

AJUSTE DEL DISPLAY: 007

OBSERVACIONES: 0 V = mínima frecuencia ajustada mediante PO7

10 V = máxima frecuencia ajustada mediante

PO8

La manera de accionar los botones para ajustar los parámetros y sus contenidos, ya se vió en el desglose del manual, pero a grandes rasgos es la siguiente:

Para poder ubicarse en el parámetro que se desea, se tendrán que oprimir los botones de incremento (SUBIR) y/o decremento (BAJAR) (ver figuras 2 y 4, botones centrales verdes), dependiendo del parámetro en que nos encontremos y hacia el cual queremos llegar; una vez posicionados en éste, se deberá oprimir el botón P (PROGRAMA) (ver figuras 2 y 4, botón central rojo) para almacenar el valor requerido; haciendo uso nuevamente de los botones de incremento (SUBIR) y/o decremen

to (BAJAR); habiendo ajustado el valor deseado, se deberá oprimir otra vez el botón P (PROGRAMA), y se deberá regresar, por regla general (aunque no necesariamente), al parámetro POO - apretando el botón de decremento (BAJAR) - para una vez en él, poder monitorear la frecuencia (o la corriente de salida o algún código de falla) en el DISPLAY del accionamiento (DRIVE) (ver figuras 2 y 5b, panel frontal inferior, al centro), dependiendo de su programación y/o eventual disparo de la unidad - deberá accionarse nuevamente P (PROGRAMA), al estar en POO para poder visualizar cualquiera de éstas -.

Ejemplo:

Suponiendo que queremos ajustar el parámetro PO4 en OO7 y nos encontramos en POO.

Oprimimos el botón de incremento (SUBIR) hasta llegar a PO4.

DISPLAY: POO...PO1...PO2...PO3...PO4

Una vez posicionados en el mismo, se oprime el botón P (PROGRAMA).

DISPLAY: PO4 → contenido de programación (puede haber sido ajustado previamente o contendrá el ajuste de fábrica 000)

Haciendo uso del botón de incremento (SUBIR) se ajusta a OO7.

DISPLAY: 000...001...002...003...004...005...006...007

Se presiona nuevamente el botón P (PROGRAMA).

DISPLAY: PO7

Haciendo uso del botón de decremento (BAJAR) se posiciona uno en POO.

DISPLAY: PO7...PO6...PO5...PO4...PO3...PO2...PO1...POO

Y finalmente se presiona el botón P (PROGRAMA) para monitorear la frecuencia (ajuste de fábrica y situación normal), la corriente (vía el parámetro P14 (en OO2 ó OO3)) o algún eventual código de falla. El DISPLAY no variará hasta que no se arranque el motor, vía el DRIVE y sus facilidades de control.

DISPLAY: 000.0...frecuencia deseada al arranque

Sin embargo, para habilitar la facilidad de control de la frecuencia (velocidad) por medio del voltaje, no es suficiente con ajustar los parámetros necesarios (digitalmente), sino que también hay que habilitar dicho voltaje a las terminales requeridas (X11.7/8). Para ello, accionamos, primeramente, el switch de llave llamado "PUENTES DE PODER" (ver figuras 2 y 4, al centro en el extremo izquierdo) mediante la llave adecuada, metiendo ésta y dándole vuelta en sentido de las manecillas del reloj (para apagar sería en sentido inverso al de las manecillas del reloj), un foco piloto (PUENTES) (ver figuras 2 y 5a, foco rojo al centro, panel frontal) se iluminará indicando que el interruptor de llave ha sido accionado.

NOTA: Para habilitar la PUENTE DE VOLTAJE (y la PUENTE DE CORRIENTE, además del CONTROL POR RESISTENCIA) es obviamente necesario energizarla y esto se logra mediante un cable, suministrado aparte, que se conecta al tomacorriente (127 VCA), desde la parte posterior de la unidad.

Paso seguido se acciona un switch rotatorio llamado "SELECTOR" (ver figuras 2 y 4, en la parte superior del extremo izquierdo), colocándolo en la posición V.

En este momento, el CONTROL POR VOLTAJE es posible, girando el potenciómetro de velocidad adecuado (ver figuras 2 y 4, segundo de arriba a abajo, en el extremo derecho), una vez arrancado el motor, éste variará su velocidad desde cero hasta el valor deseado, dependiendo del ajuste mediante este potenciómetro. Es posible a su vez, monitorear el voltaje suministrado, por medio de un indicador disponible para tal efecto (VOLTAJE DE CONTROL) (ver figuras 2 y 5b, primer indicador del lado izquierdo, en la parte frontal inferior de la unidad, junto al DRIVE).

La frecuencia es posible visualizarla en el DISPLAY, mediante el parámetro POC, al igual que la corriente de salida y alguna posible falla. Al igual que esto, es posible visualizar la CORRIENTE DE ARRANQUE del motor (ver figuras 2 y 5a, panel fron-

tal superior del lado izquierdo) y/o el VOLTAJE DE ARMADURA del motor (ver figuras 2 y 5a, panel frontal superior del lado derecho).

- (2) Conexión de una entrada de control de lazo de corriente de 0 - 20 mA (terminales X11.9/10).

Para ello se conectó una FUENTE DE CORRIENTE de 0 - 20 mA a las mismas terminales (ver figura 3, tarjeta central). Este control se puede habilitar, primeramente mediante su selección vía para metrización, de la siguiente manera:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 0 - 20 mA (X11.9)

AJUSTE DEL DISPLAY: OOL

OBSERVACIONES: 0 mA = 0 Hz, 20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8

o también mediante:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 0 - 20 mA (X11.9)

AJUSTE DEL DISPLAY: OOB

OBSERVACIONES: 0 mA = mínima frecuencia ajustada mediante PO7
20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8

Para habilitar la facilidad de control de la frecuencia (velocidad) por medio de la corriente, no es suficiente con ajustar los parámetros necesarios (digitalmente), sino que también hay que habilitar dicha corriente a las terminales requeridas (X11.9/10). Para ello se prenden las fuentes como se explicó en el inciso anterior y paso seguido se acciona el switch rotatorio llamado "SELECTOR", colocándolo en la posición I.

En este momento, el CONTROL POR CORRIENTE es posible, girando el potenciómetro adecuado (ver figuras 2 y 4, tercero de arriba a abajo, en el extremo derecho); una vez arrancado el motor, éste variará su velocidad desde cero hasta el valor deseado, dependiendo del ajuste mediante este potenciómetro. Es posible a su vez, monitorear la corriente suministrada, disponible para tal efecto (CORRIENTE DE CONTROL) (ver figuras 2 y 5b, segundo

indicador del lado izquierdo, en la parte frontal inferior de la unidad, junto al DRIVE).

- (3) Conexión de una entrada de control de lazo de corriente de 4 - 20 mA (terminales X11.9/10).

Para ello se conectó una FUENTE DE CORRIENTE de 4 - 20 mA a las terminales señaladas (misma FUENTE DE CORRIENTE que en el inciso anterior). Este control se puede habilitar, primeramente mediante su selección vía parametrización, de la siguiente manera:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 4 - 20 mA (X11.9)

AJUSTE DEL DISPLAY: 002

OBSERVACIONES: 4 mA = 0 Hz, 20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8

o también mediante:

PARAMETRO: PO4

ENTRADA ANALOGICA: 4 - 20 mA (X11.9)

AJUSTE DEL DISPLAY: 009

OBSERVACIONES: 4 mA = mínima frecuencia ajustada mediante PO7
20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8

El procedimiento es exactamente igual que el inciso anterior, ya que se trata prácticamente de la misma fuente, sin embargo, hay que tener sumo CUIDADO de no bajar de los 4 mA mínimos, a los cuales ha sido ajustado el DRIVE, ya que esto podría perjudicar a la unidad. Es pues necesario llevar a cabo este control de manera muy fina y adecuada.

- (4) Conexión de un potenciómetro de control de 5 k Ω (terminales X11.6/7/8).

Para ello se conectó una FUENTE DE VOLTAJE de 0 - 10 VCD a las terminales señaladas (misma FUENTE DE VOLTAJE que en el inciso (1)). Este control se puede habilitar de la misma forma que en ese caso, salvo que ahora se hace uso de un control en base a resistencia, utilizando para ello el potenciómetro respectivo del panel de control llamado "CONTROL POR RESISTENCIA" (ver figuras 2 y 4, primero de arriba a abajo, en el extremo derecho), habien

do seleccionado primeramente la letra "R" en el switch "SELEC- - TOR".

Las otras dos opciones de control de frecuencia que aparecen en el manual son las siguientes:

- (5) Mediante parametrización digital vía los botones adaptados al convertidor (DRIVE), o vía los botones externos equivalentes conectados a las terminales X11.17 y X11.18.
- (6) Vía la conexión E/S serie.

De ellas, podemos hacer las siguientes observaciones:

- (5) Es la opción DIGITAL que viene de manera estándar con el equipo y, diríase, la más usada y la más práctica.
- (6) Esta opción está disponible también, siendo realizada de manera especial por nosotros; más adelante se mencionará.

FACILIDADES DE MONITOREO

Como ya se vió en el desglose del manual (y como se puede ver en el mismo), existen varias facilidades de monitoreo, a saber:

- (1) Un display de siete segmentos para frecuencia de salida, corriente de salida, indicación de falla o parametrización. Este es visto a través de una ventana en la cubierta.
- (2) Una señal analógica de 0 - 10 V, proporcional a la frecuencia de salida o a la corriente de salida.
- (3) Un relé conmutador, normalmente energizado cuando el accionamiento está conectado a la fuente principal proporcionada. El relé está desenergizado cuando una falla es indicada.
- (4) El accionamiento puede ser interrogado vía la conexión E/S serie.

De éstas, las dos últimas se implementaron de manera especial por parte nuestra.

La facilidad (3) se utilizó para visualizar posibles fallas, vía un led pequeño de color rojo, indicado como "FALLA", sobre el panel frontal superior de la unidad, al centro (figuras 2 y 5a).

A la vez, para lograr esto, fue necesario conectarle un circuito destellador (ubicado en el interior del gabinete de la unidad, extremo derecho (figura 3)), de manera que produjese el efecto de destello o flasheo en el led, siempre y cuando no ocurra una falla. Además, este circuito cuenta con la posibilidad de desactivarse, si así se desea.

La facilidad (4) por ahora no se tratará, dejándose para más adelante.

De las otras dos facilidades, no implementadas, podemos mencionar el porqué no se hizo:

- (1) Facilidad estándar con el equipo.
- (2) Facilidad por ahora innecesaria, ya que mediante parametrización se puede ver en el DISPLAY del drive.

De manera independiente a las facilidades de monitoreo expresadas, por cuenta propia, se instalaron otras adicionales, a saber:

- (a) ampérmetro para medir la corriente de armadura (A), llamado "CO

CORRIENTE DE ARMADURA".

- (b) vóltmetro para medir voltaje de armadura (V), llamado "VOLTAJE DE ARMADURA".
- (c) led indicador de accionamiento de fuentes de poder, llamado "FUENTES".
- (d) vóltmetro para medir voltaje de control (V), llamado "VOLTAJE DE CONTROL".
- (e) ampérmetro para medir corriente de control (mA), llamado "CORRIENTE DE CONTROL".
- (f) velocímetro para medir la velocidad del motor (RPM), llamado "VELOCIDAD DEL MOTOR" (ver figuras 2 y 5b, indicador en el panel frontal inferior, al centro, del lado derecho).

La facilidad del inciso a, como está bien claro, sirve para medir la corriente de armadura del motor en cuestión.

La facilidad del inciso b, sirve a su vez para medir el voltaje de armadura del motor.

La facilidad del inciso c, es simplemente un led indicador que nos sirve para visualizar si las fuentes de poder para el control analógico del motor están o no, activadas.

La facilidad del inciso d, sirve para medir el voltaje de control, o el voltaje que se suministra o inyecta al drive para poderse realizar un control analógico del motor en base a este voltaje inyectado.

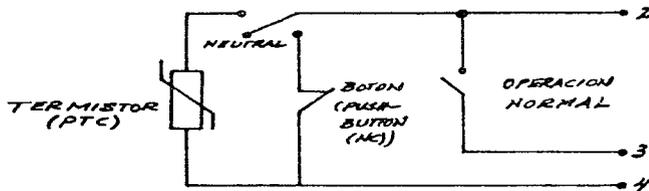
La facilidad del inciso e, es la misma que la del caso anterior, pero, en este caso, se trata de corriente en lugar de voltaje, como medio de control.

Finalmente, la facilidad del inciso f, es un indicador de velocidad (RPM) que nos sirve para sensar a que velocidad está funcionando el motor, mediante un tacogenerador acoplado a él.

Todos estos medios de monitoreo, ya fueron (o serán) tratados al detalle al analizarse el drive y su funcionamiento en específico.

CONTROL DE ARRANQUE/PARO

Como ya se vió en el desglose del manual (y como se puede ver en el mismo), existen diversas opciones de control de arranque/paro. Antes de mencionarlas es preciso señalar que para este caso en específico se realizó un diseño o modificación especial que involucra todas estas alternativas. Así pues, para que se vea con más precisión de que se trata esta modificación, mostraremos su circuito en cuestión:



Es fácilmente detectable que aquí se involucran todos los controles de arranque/paro vistos y disponibles en la tabla del inciso 5.1.1 del manual, que se refiere a los "métodos de arranque y paro del convertidor".

Habiendo planteado lo anterior, pasemos a mencionar las distintas opciones de control en un principio señaladas:

- (1) Conexión de un interruptor (switch) sujetador a la entrada marcha/paro (run/stop) (terminales X11.2/3).
- (2) Conexión de botones (push-buttons) de acción momentánea a las entradas Marcha/Paro y Disparo (Trip) (X11.2/3/4).
- (3) Conexión de un nivel de voltaje de 7 - 33 V a la entrada Marcha/Paro (terminales X11.3/1).
- (4) Arranque automático sobre la aplicación de la potencia principal (terminales de enlace en corto X11.2/3).
- (5) Conexión de un nivel de voltaje de 7 - 33 V a la entrada de avance poco a poco (jog) (terminal X11.13/1).
- (6) Aplicación de un flanco de subida (p.ej. botón momentáneo) a la entrada Marcha/Paro (terminales X11.2/3) y un flanco de bajada

a la terminal de entrada de disparo X11.2/4.

(7) Control vía las conexiones E/S (I/O) serie.

De entre todos los señalados, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- (1) Conexión ya estándar con el equipo (hecha de fábrica).
- (2) Conexión hecha por nosotros (con cierta variación, a detallar - se).
- (3) Conexión no realizada, pero sí la equivalente (ver tabla).
- (4) Conexión ya estándar con el equipo, disponible vía la parametrización indicada en la tabla.
- (5) Conexión no realizada, pero sí la equivalente (ver tabla).
- (6) Conexión hecha por nosotros (con cierta variación, a detallar - se).
- (7) Control hecho por nosotros (a detallarse en su momento).

Primeramente mencionaremos a grandes rasgos que es lo que hace el circuito anterior, para dar paso posteriormente a una explicación más al detalle.

Por medio del switch "ARRANCAR", el cual se acciona de manera momentánea (utilizándose como botón o push-button) el motor arranca. Para detenerlo es necesario accionar el botón chico de color rojo, al centro del panel de control, con lo cual se cerrará el circuito PARO de la tabla mencionada, contactos X11.2 - X11.4, entonces el motor empezará a detenerse, dependiendo del ajuste clasificado vía PO5, ya sea de rampa en descenso (a la tasa de PO3) o paro libre.

Otra forma de control arranque/paro es utilizando para el paro un dispositivo de protección recomendado por el fabricante, el cual es un PTC (termistor). Para seleccionar uno de los dos tipos de control antes mencionados, se dispone de un switch "PARO", para elegir entre un paro "NOMINAL" o un paro mediante "PTC" (en caso necesario), en este último caso, el motor estará requiriendo más corriente que la nominal, y para protección del motor, después de una temperatura crítica el PTC se comportará como circuito abierto. El paro será de rampa en descenso o paro libre, dependiendo del ajuste de PO5. A través

del switch ARRANCAR" (o del botón "JOGGING"), se acciona el motor, cortocircuitándose las terminales X11.2 y X11.3. De manera contra - ria se desactiva el motor (desconectándose el switch "ARRANCAR" o soltándose el botón "JOGGING"). El motor rearrancará o no, automáti camente, después de restablecerse la potencia, dependiendo del ajus te del parámetro PO5.

Así pues, como puede verse en el circuito ya mencionado, en la tabla correspondiente del manual y principalmente en lo ya explica do, se hicieron algunas modificaciones importantes, que quedarán más claras con lo expresado a continuación.

- a) Es posible ajustar PO5 en 000, 001, 002 y 003, vía la conexión estándar ya disponible.
- b) Es posible ajustar PO5 en 004, 005, 006, 007, 008 y 009, vía las conexiones hechas por nosotros, a saber:
Para poder tener las facilidades mencionadas, se hizo una conjun ción de todos los circuitos que aparecen en la tabla ya menciona da, de manera que:

- Si se quiere utilizar el parámetro PO5 en 004 y 005, se coloca el switch "PARO" en "PTC" y se acciona el switch "ARRANCAR" o el botón "JOGGING", con una dirección determinada (normal o in versa) vía el switch "DIRECCION" (izquierda - normal, dere - - cha - inversa), y con un control de velocidad (frecuencia) ana lógico (vía el "CONTROL POR RESISTENCIA", el "CONTROL POR VOLTAJE" o el "CONTROL POR CORRIENTE"), activados vía el switch "SELECTOR" y "FUENTES DE PODER", o digital (vía parametriza - ción (botones de "PROGRAMA", "SUBIR" y "BAJAR")). Al mismo tiempo, se ajustará el modo de paro, en base a una rampa des centente o paro libre, vía el parámetro PO3. Para parar el motor, simplemente se desactiva el switch "ARRANCAR" (o "JO - - GGING").
- Si se quiere utilizar el parámetro PO5 en 006 y 007, se hace exactamente lo mismo señalado ya, pero con la diferencia de que en un momento dado se puede ir la alimentación principal, botándose el BREAKER, y al conectarse éste de nuevo, el motor

re-arrancará automáticamente.

- Finalmente, si se quiere utilizar el parámetro PO5 en O08 y O09, se hace lo siguiente:

Se coloca el switch "PARO" en "NORMAL" y se acciona el switch "ARRANCAR", pero en este caso, se activa el switch e inmediatamente se desactiva. Antes, habrá de seleccionar una dirección deseada (normal o inversa), vía el switch "DIRECCION" y un control de velocidad (frecuencia) analógico, vía los potenciómetros de "CONTROL POR RESISTENCIA", "CONTROL POR VOLTAJE" y "CONTROL POR CORRIENTE, activados vía el switch "SELECTOR" y "PUENTES DE PODER", o digital, vía parametrización (botones "PROGRAMA" o "P", "SUBIR" y "BAJAR"). Al mismo tiempo, se ajustará el modo de paro, en base a una rampa descendente (a la tasa de PO3), o paro libre, vía el parámetro PO5.

En este caso, para parar el motor, se presiona el botón "PARAR" y se suelta inmediatamente.

Todos estos controles se pueden habilitar, vía parametrización de la siguiente manera:

Incisos (2) y (6):

- PARAMETRO: PO5 (y PO3)

MODO DE PARO: Rampa descendente a una tasa ajustada por PO3

AJUSTE DEL DISPLAY: PO5 - 000

PO3 - x seg (00.0 - 400 seg)

CONFIGURACION TIPICA:



- OBSERVACIONES:
- Disparado por flanco, terminal X1.3. Disparo inactivo
 - Control simple. No re-arranca después de interrupción de potencia
 - Arranque: activación switch "ARRANCAR" (o "JOGGING")

Paro: desactivación switch "ARRANCAR" (o "JO --
GGING")

- PARAMETRO: P05

MODO DE PARO: Marcha libre hasta paro

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 002

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: Anteriores

- PARAMETRO: P05 (y P03)

MODO DE PARO: Rampa descendente a una tasa ajustada por P03

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 001

P03 - x seg (00.0 - 400 seg)

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: - Disparado por nivel, terminal X11.3. Disparo inac-
tivo

- Control simple. Re-arranca después de interrup-
ción de potencia

- Arranque: activación switch "ARRANCAR" (o "JO --
GGING")

Paro: desactivación switch "ARRANCAR" (o "JO --
GGING")

- PARAMETRO: P05

MODO DE PARO: Marcha libre hasta paro

AJUSTE DE DISPLAY: P05 - 003

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: Anteriores

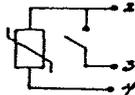
- PARAMETRO: P05 (y P03)

MODO DE PARO: Rampa descendente a una tasa ajustada por P03

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 004

P03 - x seg (00.0 - 400 seg)

CONFIGURACION TIPICA:



OBSERVACIONES: - Disparado por flanco, terminal Xl1.3. Disparo activo

- Control simple de marcha/paro como en los casos anteriores, pero una alta impedancia $> 2 \text{ K}\Omega$ entre Xl1.2 y Xl1.4, dispara el drive, indicándose Fl1
- Arranque: activación switch "ARRANCAR" y switch "PARO" en PTC

Paro: desactivación switch "ARRANCAR"

- PARAMETRO: P05

MODO DE PARO: Marcha libre hasta paro

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 005

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: Anteriores

- PARAMETRO: P05 (y P03)

MODO DE PARO: Rampa descendente a una tasa ajustada por P03

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 006

P03 - x seg (00.0 - 400 seg)

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: - Disparado por nivel, terminal Xl1.3. Disparo activo

- Control simple de marcha/paro. Re-arranca después de interrupción de potencia, debido a alta impedancia $> 2 \text{ K}\Omega$ entre Xl1.2 y Xl1.4, disparándose el drive e indicando Fl1

- Arranque: activación switch "ARRANCAR" y switch "PARO" en PTC

Paro: desactivación switch "ARRANCAR"

- PARAMETRO: P05

MODO DE PARO: Marcha libre hasta paro

AJUSTE DEL DISPLAY: P05 - 007

CONFIGURACION TIPICA: Anterior

OBSERVACIONES: Anteriores

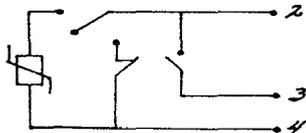
- PARAMETRO: P05 (y P03)

MODO DE PARO: Rampa descendente a una tasa ajustada por PO3

AJUSTE DEL DISPLAY: PO5 - 008

PO3 - x seg (90.0 - 400 seg)

CONFIGURACION TIPICA:



- OBSERVACIONES:
- Control por botones
 - El convertidor arranca cuando el botón de marcha es presionado (acción momentánea). El convertidor para cuando el botón de paro es presionado (acción momentánea, normalmente cerrado). El PTC puede también ser usado, pero ninguna falla será indicada
 - Arranque: activación momentánea (como botón o push-button) del switch "ARRANCAR" y switch "PARO" en "NORMAL"
 - Paro: accionamiento momentáneo del botón o push-button "PARAR"

NOTA: Es posible en algunos casos usar también la facilidad de "frenado por inyección de cd".

CONTROL POR REALIMENTACION

Como ya se vió en el desglose del manual (y como se puede ver en el mismo), existen varios ajustes mediante los cuales este control puede ser habilitado. En este aspecto, lo importante es señalar que modificaciones se hicieron al equipo original para adecuarlo a esta facilidad.

A grandes rasgos de lo que se trata es de la conexión de un taco generador como instrumento de medición para el control de la velocidad por medio de una realimentación a través de él. El taco generador se ubica de manera tal al motor, y se fuerza a girar mediante un freno de prony.



Primeramente, como puede verse en la figura, se instaló una bancada en la cual se montó el freno de prony. En sí, el freno de prony consiste de dos ruedas que rodean una bola del motor por probar, una de ellas tiene un brazo (en este caso de 0.50 m), en cuyo extremo libre se coloca una balanza. Una vez corregida la lectura en la balanza de acuerdo con la parte de la rueda, se tiene una fuerza F para cada potencia, que multiplicada por el brazo de palanca existente nos da el par.

Así pues, se instaló la bancada, con el freno de prony, al motor existente (ya conectado al drive) y se dispuso para su funcionamiento

to de un tacogenerador que entrega un voltaje (bornes A11.10/12) para su control por medio del drive.

Para habilitar este control, se selecciona el tipo de control de velocidad (digital o analógico), así como el tipo de arranque/paro, y el monitoreo deseado, como ya se ha explicado. Este control de programa en base a los botones pertinentes, con la única salvedad de que para habilitarlo, la dirección de rotación del motor será inversa (switch "DIRECCION" del panel de control, colocado del lado derecho).

Los parámetros que hacen posible este control se mencionan a continuación:

- PARAMETRO: P30

AJUSTE DEL DISPLAY: 001 (ó 002, 003, 004)

OBSERVACIONES: En este parámetro se puede optar por una realimentación normal (001), control por realimentación, suspendido durante la rumpa (002), o como 001, excepto que la salida es deshabilitada cuando la frecuencia cae a P07 (frecuencia mínima) (003) o como 002, excepto que la salida es deshabilitada cuando la frecuencia cae a P07 (frecuencia mínima)

- PARAMETRO: P31

AJUSTE DEL DISPLAY: A calcularse

OBSERVACIONES: En la siguiente tabla se muestra la respuesta del tacogenerador, o la relación del voltaje generado por éste, de acuerdo a su velocidad

<u>RPM</u>	<u>VOLTS (GD)*</u>
0 - - - - -	0.0
100 - - - - -	0.4
1000 - - - - -	3.6
1700 - - - - -	6.1
1800 - - - - -	6.4
2000 - - - - -	7.1

+ Tolerancia: 20%

De acuerdo a los datos de placa del motor, se tienen 1720 RPM, por lo cual el tacómetro generará un voltaje comprendido en el rango de 5.1 a 5.4 de cd, de acuerdo a la tabla. Este voltaje deberá calcularse en base a lo ya mencionado y a la fórmula que aparece en el parámetro P31 del manual (y en el desglose de éste, hecho en el presente trabajo)

- PARAMETRO: P32

AJUSTE DEL DISPLAY: A ajustarse sobre la marcha

OBSERVACIONES: Durante el desarrollo de la práctica respectiva, se ajustará este parámetro (Compensación de realimentación: Término proporcional)

- PARAMETRO: P33

AJUSTE DEL DISPLAY: A ajustarse sobre la marcha

OBSERVACIONES: Durante el desarrollo de la práctica respectiva, se ajustará este parámetro (Compensación de realimentación: Término integral)

- PARAMETRO: P34

AJUSTE DEL DISPLAY: A ajustarse sobre la marcha

OBSERVACIONES: Durante el desarrollo de la práctica respectiva, se ajustará este parámetro (Compensación de realimentación: Término derivativo)

- PARAMETRO: P35

AJUSTE DEL DISPLAY: A ajustarse

OBSERVACIONES: El límite de deslizamiento con tacómetro se hará antes de llevar a cabo el control por realimentación y de preferencia se puede usar el ajuste de fábrica (05.0)

- PARAMETRO: P36

AJUSTE DEL DISPLAY: A ajustarse

OBSERVACIONES: La tasa de muestreo con tacómetro (tiempo de muestreo) se hará antes de llevar a cabo el control por realimentación

- PARAMETRO: P37

AJUSTE DEL DISPLAY: No es posible

OBSERVACIONES: Este parámetro (lectura de frecuencia del tacómetro en display) sólo sirve para leerse, en base al display del drive.

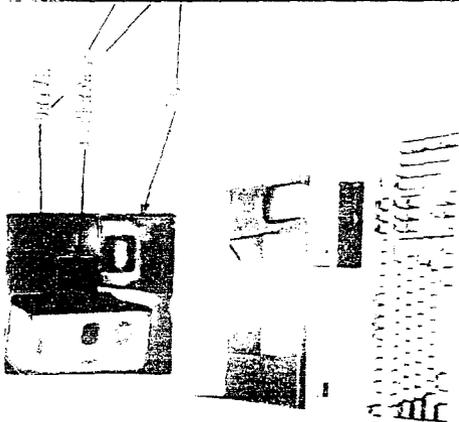
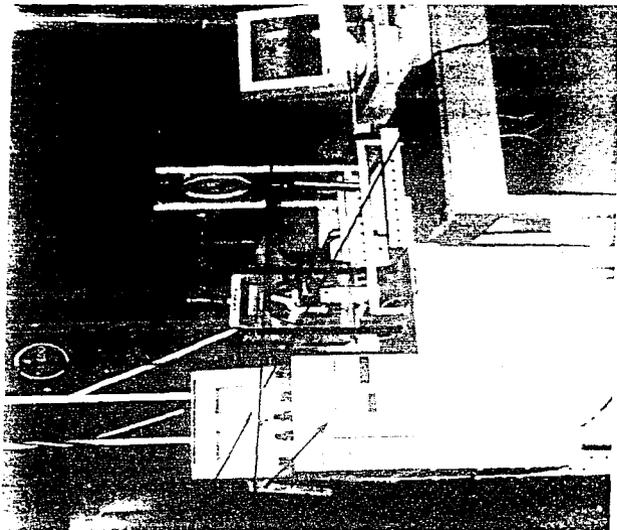
Como medio de monitoreo adicional a éste, se dispone, como ya se mencionó, de un medidor analógico de RPM's para sensar la velocidad a la cual gira el motor y por ende el tacómetro

CONTROL POR PC

Como ya se trató en el desglose del manual (y como se puede corroborar en este último), existen varios ajustes mediante los cuales este control puede ser habilitado. A continuación señalamos que modificaciones o ajustes se hicieron en sí para lograrlo.

A grandes rasgos, de lo que se trataba era de efectuar las conexiones físicas o hardware necesario para habilitar la comunicación entre el drive en cuestión y una PC, que a su vez nos posibilite a controlar, vía remota, al primero con la segunda, en base a un programa dedicado o software. Decimos las "conexiones" por decir así, pero no es tan simple como parece, se trataba más bien de conectar entre ambos (drive y PC) una interfase, o sea un dispositivo que enlaza dos unidades incompatibles, provenientes de diferentes fabricantes, y que acondiciona por ende las señales eléctricas de los diferentes estándares de comunicación que manejan cada uno de ellos, ya que si esto no se hiciese, los puertos de acceso de ambos equipos (drive y PC) se podrían quemar y jamás se podría habilitar la comunicación.

A continuación, en la siguiente figura se muestran los tres componentes a las que nos hemos referido: drive, interfase y PC.



Existían para llevar a cabo este control por PC, varias alternativas a analizar:

1	PC	INT	DRIVE
	Crear software en base a protocolo	Crear interfase RS-485/232	Mantener misma tarjeta de drive
2	PC	INT	DRIVE
	Crear software en base a protocolo	Crear interfase RS-232/TTL	Modificar tarjeta de drive
3	PC	INT	DRIVE
	Comprar software con compañía facturadora de drive	Comprar interfase RS-485/232	Mantener misma tarjeta de drive

La segunda opción, aunque, ciertamente factible, presentaba mayor problema que las otras dos, ya que, aunque la interfase RS-232/TTL era más fácil de crear, (y que de hecho se hizo, en base al chip MAX232 de Texas Instruments, pero que resultó muy rudimentaria y presentaba mucho "ruido"), por otro lado, a la vez, se complicó la modificación de la tarjeta del drive - por falta de información sobre esta tarjeta - para aceptar señales TTL, por lo cual esta opción (2) se tuvo que descartar.

La primera opción se intentó realizar a la vez que la segunda.

En ambas opciones la clave también era crear el software en base al protocolo que viene en el manual del drive. En términos llanos, el protocolo no es más que un conjunto de reglas que gobiernan el formateo y la temporización relativa de la comunicación entre dos sistemas.

Esto se podía hacer de varias formas y en varios lenguajes, como C, ensamblador, etc. Así pues, una de ellas consistía en utilizar las comunicaciones y los servicios del DOS y del BIOS en el lenguaje C. Para ello, C dispone de un conjunto de funciones que permiten acceder a las rutinas básicas de entrada-salida almacenadas en la ROM (ROM-BIOS) y otras más, que nos posibilitan para crear un programa con mayor facilidad, que involucre algún protocolo de comunicación como el que se tiene.

Así pues, se comenzó a trabajar sobre este punto, aunque era arduo y muy lento. Pronto, sin embargo, se tuvieron los recursos por parte de la facultad, para adquirir el software y la interfase señalados en la opción 3 - a un buen precio - y por ende, la opción 2 se descartó, quedando sólo la tercera.

Para poder hacer efectiva la comunicación, era necesario "acondicionar" los tres elementos ya mencionados, drive, interfase y PC, de manera que ésta se efectuase adecuadamente y sin contratiempos. Para ello, primero, fue necesario programar el drive, deshabilitándolo de manera local y habilitándolo remotamente (ya habiendo ajustado los parámetros requeridos o deseados, de preferencia), ajustando, a su vez, la dirección del drive y la velocidad de transmisión del mismo (como ya se vió en el desglose del manual). Después, era necesario configurar la interfase de manera que se ajustase ésta al tipo de comunicación a entablarse en el sistema (esto se hace mediante unos jumpers o puentes en la tarjeta misma de la interfase). Finalmente, era necesario accesar el software que incluyese el protocolo de comunicación.

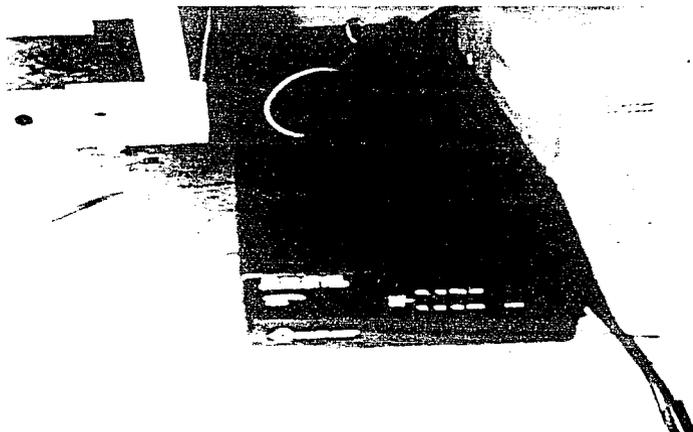
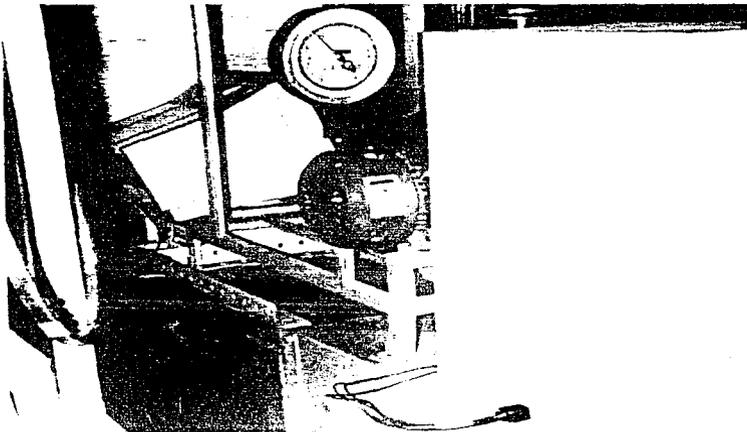
A la vez, fue necesario acondicionar el sistema con los conectores adecuados. Así las cosas, se puso un conector macho DB9 (9 pins) en la parte trasera de la unidad en donde está montado el dri

ve, al cual se le enchufa un conector hembra DB9 (9 pins), que de -
semboca en sólo dos hilos que llegan a la interfase desde el drive.

NOTA: Estos dos conectores no son necesarios, ya que sólo son dos
simples hilos de conexión, sin embargo, esto se hizo así, por
mero sentido práctico.

De la interfase a la PC se hace la conexión, vía un conector ma-
cho DB25 (25 pins) (que entra a uno DB25 hembra en la interfase) y
un conector DB9 hembra que entra al puerto serie COM1 de la PC (DB9
macho). Este cable con sus conectores viene de fábrica con la inter-
fase.

A continuación, en las siguientes figuras, se muestra cómo sale
el cable del drive y entra a la PC, pasando por la interfase.



Esta interfase adquirida no es otra cosa más que un convertidor/ interfase RS-232 \leftrightarrow RS-485, que empalma o acondiciona ambos estándares de comunicación, dado que la PC trabaja bajo un estándar RS - 232, mientras que el drive lo hace bajo un estándar RS-485.

El estándar RS-232 fue el primer estándar que se introdujo allá por 1962 por EIA (Electronic Industries Association). Denominado RS-232, se ha utilizado ampliamente en la industria. Se trata de una norma de transmisión en serie, con un solo conductor para cada dato y retorno común, con transmisión punto a punto, para cortas distancias y bajas velocidades.

En la actualidad se utiliza este estándar para periféricos de ordenador (impresoras, ratones, digitalizadores, etc.), para transductores industriales, para comunicación local entre equipos, etc.

Por otro lado, el estándar RS-485 fue creado para velocidades mayores y distancias largas, pero que a su vez hacían necesario utilizar diferentes modos de transmisión, como en sí el que se usó que es un modo de transmisión diferencial. En éste, se usan dos líneas, y los receptores aplican sólo las diferencias entre ambas. Las tensiones en modo común debidas a las interferencias en las masas o a transitorios son así rechazadas.

Sus principales ventajas son este rechazo a las interferencias en modo común y la posibilidad de conseguir mayores velocidades de transmisión a mayores distancias. Deben utilizarse líneas equilibradas, tales como pares trenzados de conductores.

Para superar los inconvenientes de un estándar previo, el RS - 422, se definió un nuevo estándar, el RS-485, que permite 32 emisores y 32 receptores sobre la misma línea, satisfaciendo, en todo lo demás, el estándar RS-422.

En el RS-485, el emisor tiene protección para el caso eventual de un intento de transmisión simultánea. Además de salida en tres estados y limitación de corriente en ambos estados activos, alto y bajo, tienen incorporada una protección térmica que los desconecta sin daños en caso de una elevación anómala de la temperatura de la unión.

A continuación, en la tabla siguiente, se resumen las características eléctricas del RS-232 y del RS-485, comparativamente con otras normas.

	RS232	RS423	RS422	RS485
Modo de operación	Una línea	Una línea	Diferencial	Diferencial
Número de emisores y receptores permitidos simultáneamente	1 emisor 1 receptor	1 emisor 10 receptores	1 emisor 10 receptores	32 emisores 32 receptores
Velocidad máxima/ (longitud correspondiente)	20 kB/(15 m)	100 kB/(10 m) 10 kB/(100 m) 1 kB/(1200 m)	10 MB/(12 m) 1 MB/(120 m) 100 kB/(1200 m)	10 MB/(12 m) 1 MB/(120 m) 100 kB/(1200 m)
Tensión de salida de los emisores	$\pm 5 V_{\min}$ $\pm 15 V_{\max}$	$\pm 3.6 V_{\min}$ $\pm 6 V_{\max}$	$\pm 2 V_{\min}$	$\pm 1.5 V_{\min}$
Carga para el emisor	3-7 k Ω	450 Ω min	100 Ω min	60 Ω min
Resistencia de entrada del receptor	3-7 k Ω	>4k Ω	>4k Ω	>12k Ω
Sensibilidad del receptor	$\pm 3 V$	$\pm 200 mV$	$\pm 200 mV$	$\pm 300 mV$

Como ya se mencionó anteriormente, existen otra serie de normas de transmisión que son los protocolos de comunicación, que se refieren más bien al contenido de la información presente en las líneas, y no a sus características eléctricas. Están desarrolladas para hacer posible el intercambio de información entre distintos equipos, e incluyen, generalmente, líneas de datos y líneas de control de las interfases, junto con los protocolos de "handshake" necesarios.

Entre las más populares están la RS-232, las interfases CENTRO - NICS, la IEEE-488 y la RS-449.

El estándar RS-232 es conocido como el exponente más difundido de comunicación serie.

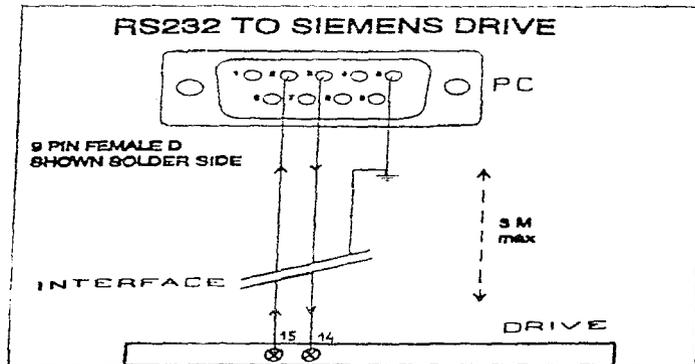
El estándar define nueve "circuitos de intercambio" (para un co-

ector de 9 pins), y se asignan números de patilla dentro del conector. Estas asignaciones se representan en la siguiente tabla.

PATILLA	ABREVIATURA	NOMBRE
1	DCD	Data Carrier Detect
2	RXD	Received Data
3	TXD	Transmitted Data
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	Signal Common
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request to Send
8	CTS	Clear to Send
9	READY	-

Las funciones RS-232 están divididas en dos grupos: funciones de datos y funciones de control. Las primeras corresponden a la transmisión y recepción de información a través de las patillas 2 y 3, respectivamente, mientras que las demás controlan la conexión de los terminales a la línea común, los protocolos de intercambio, etc.

A continuación mostramos un simple bosquejo de cómo está nuestro sistema.



Habiendo señalado lo anterior, y para que se comprenda mejor cómo está conformado este sistema, pasemos a desglosar, a grandes rasgos, cada una de sus componentes, haciendo mención, en lo que cabe, de sus manuales o de la información recabada al respecto.

SIEMENS

SIMOVIS PARA 6SE21 - Notas de Instalación de Software

INTRODUCCION

SIMOVIS para 6SE21 es un paquete completo para configuración de drive múltiple y puesta en servicio. Provee al usuario de una interfase intuitiva al conjunto de parámetros del 6SE21, usando el concepto de formas, o pantallas, como un "libro electrónico".

Las configuraciones del drive pueden ser almacenadas en una PC, transferidas entre drives, e impresas.

La configuración del sistema puede también ser hecha fuera de línea y en carga descendente un tiempo después. Un control de drive simple vía un enlace serie RS485, permite el probado, durante el proceso de puesta en servicio.

REQUERIMIENTOS

Los siguientes requerimientos de hardware y de software deben ser satisfechos, para instalar SIMOVIS.

- PC compatible con IBM, con un procesador 386 ó mayor.
- Drive de disco movable (floppy disk) de 3 1/2" y 1.44 MB.
- MS-DOS versión 3.3 ó mayor.
- 5 MB de espacio libre en disco duro.
- El programa requiere 552 K Bytes de memoria base libre para correr.+
- Driver de ratón (mouse) apropiado compatible con Microsoft instalado en COM2 (si éste está perdido, el programa simulará la operación del ratón usando las teclas del cursor - ver 'CURSOR_E.TXT' en el directorio 'SIMO_E')¹.
- Para uso EN LINEA (ON LINE) con un inversor 6SE21, un enlace serie RS 485, configurado como COM puerto 1, debe estar presente. SIMOVIS 6SE21 requiere que el software del drive sea versión 12.5 ó mayor, para operación correcta.
- + Esto algunas veces significará que programas tales como windows, drivers de redes u otros programas residentes en memoria no pueden ser corridos al mismo tiempo que SIMOVIS. Teclée 'MEM' o 'CHKDSK' para asegurarse de la cantidad de memoria libre. Si no hay sufi-

cientos modificaciones, pueden ser necesitados los archivos COM- -
FIG.SYS y AUTOEXEC.BAT.

NOTA: Para activar la respuesta de velocidad de SIMOVIS, es recomendado que el programa cache en el disco DOS SMARTDRV.EXE esté instalado, si memoria extendida o expandida está disponible. Un cache de 500-2000K Bytes debe ser suficiente. Ver el manual DOS para detalles.

INSTALACION

El software puede ser instalado simplemente tecleando 'a:\install'. Esto instalará el software del simovis a C:\6SE21 desde el disco movable en el drive A:. Este directorio será creado, si no existe. Para instalarlo a un drive o directorio diferente, o usar un drive fuente diferente, teclée: 'A:\INSTALL %1 %2 %3'.

p.ej. 'A:\INSTALL b: d: copy'

Donde %1 = Drive fuente para disco de instalación (Por default es el drive A:)

%2 = Un drive destino diferente (Por default es el drive C:)

%3 = Un directorio destino diferente (Por default es '6SE21')

(El ejemplo instalará al directorio D:\COPY. Nota: DEBE haber un espacio entre 'd:' y 'copy').

El programa es arrancado tecleando: 'CD\6SE21' <cr.>

'START' <cr.>

Entonces le será preguntado si quiere introducir la velocidad de transmisión (bauds) del enlace serie y las direcciones de los drives de enlace. Teclée 'N' para retener los valores presentes y 'Y' para cambiarlos. Entonces se le introducirá a la pantalla introductoria. La navegación por las pantallas es por medio del ratón y/o las teclas de función.

Por favor véase la ayuda 'getting started' en el archivo 'READ - - - ME.TXT' en el disco de instalación, o el directorio raíz SIMOVIS (p.ej. C: 6SE21), para información IMPORTANTE para correr el software, y conectar los drives a la PC. Este archivo puede también ser visto mientras se ejecuta el programa de instalación.

RATON (MOUSE)¹

Si en un momento dado el ratón no funciona, es posible habilitar lo mediante las siguientes instrucciones:

edit config.sys

dos = high,uwb

Si aún así no funciona o si ningún driver de ratón está instalado, Simovis automáticamente procede a simular el ratón usando las teclas del cursor.

Para cambiar la posición del ratón se usan las siguientes te -- clas:

Alt - cursor derecha: una posición a la derecha

Alt - cursor izquierda: una posición a la izquierda

Alt - cursor arriba: una posición arriba

Alt - cursor abajo: una posición abajo

Ctrl - cursor derecha: 8 posiciones a la derecha

Ctrl - cursor izquierda: 8 posiciones a la izquierda

Ctrl - cursor arriba: 8 posiciones arriba

Ctrl - cursor abajo: 8 posiciones abajo

Las teclas del ratón son simuladas con las siguientes teclas del teclado:

Alt - End: apretar botón izquierdo del ratón

Alt - Page down: soltar botón izquierdo del ratón

Alt - Home: apretar botón derecho del ratón

Alt - Page up: soltar botón derecho del ratón

Recuérdese 'soltar' el botón (o la tecla) del 'ratón por cursor' como si se estuviese usando un ratón real.

CONECTANDO LOS INVERSORES

El paquete de software comunica a los drives SIMOVERT 6SE21 vía un enlace serie multi-destino RS485. Este puede ser, ya sea una tarjeta patentada, interna a la PC, o bien un convertidor RS232 \leftrightarrow RS485, unido al puerto serie RS232 de la PC. En cualquier caso, es te puerto debe ser configurado como COM1.

La conexión al inversor es vía un enlace de dos cables (o hi- - los) a las terminales 'A' y 'B' del 6SE21. Se aconseja checar el manual 6SE21 para detalles de conexión adicionales o correr el programa para una explicación de las conexiones del drive.

La tarjeta de comunicaciones usada debe ser capaz de operar en half-duplex sobre un enlace de dos hilos. Si un convertidor RS232-RS485 es usado, debe ser capaz de controlar la dirección de los datos usando la línea de control RTS del puerto RS232, o alternativamente tener circuitería de auto-sensado (ver manual del converti - dor RS485 para detalles).

Afortunadamente los convertidores RS232-RS485 pueden ser obtenidos de las siguientes compañías. Estos convertidores han sido probados con SIMOVIS 6SE21 y (se encontró que) trabajan, pero ninguna garantía es dada por SIEMENS, de la satisfacción dada por estos proveedores, precios, etc.

86001 (Opto-isolated Unit)

Wiesemann & Theis GmbH

Wittener str. 312

42279 Wuppertal

Germany

Tel: 0049 202 268000

IGC-11/M Inline Converter Supplied by:

Chipboards plc

Almac House, Church Lane

Bisley

Surrey, GU24 9DR

England

Tel: 0483 797959

CONVERTIDOR PLUS RS-232 ↔ 485/422 (c - Black Box Corporation)**Introducción**

El Convertidor Plus RS-232 ↔ 485/422 es un convertidor/interfase que opera de la misma forma que un modem. Permite a un dispositivo RS-232 transmitir datos sobre mucho más largas distancias de las que es normalmente posible (arriba de 4 millas - 6.4 km - a 1200 bps). La ventaja del Convertidor Plus RS-232 ↔ 485/422 sobre otros drivers de línea (de transmisión) (o controladores/adaptadores de línea) y modems es que también puede operar en aplicaciones multipunto. Dependiendo del medio ambiente de operación, tantos como 64 dispositivos pueden ser enlazados juntos usando sólo un cable de par trenzado.

Características adicionales incluyen una prueba manual de retorno en malla, para checar el alambrado del sistema para ambas interfaces, RS-232 y RS-485, y protección transitoria en la interfase RS-485 para ayudar a prevenir daño debido a transitorios de voltaje en la línea de datos.

También diseñado específicamente para conectarse con otros drivers de línea Convertidoras RS-232 ↔ 485/422, el puerto RS-485 puede ser conectado a cualquier dispositivo con una interfase RS-422 ó RS-485. Por ejemplo, esto sería útil en una aplicación industrial donde dispositivos RS-485 y RS-422 estuviesen conectados al mismo Convertidor RS-232 ↔ 485/422.

El Convertidor RS-232 ↔ 485/422 está disponible en modelos normales y con optoaislamiento, además de versiones autónomas y de montaje en rack (bastidor). En este caso se cuenta con una unidad normal y autónoma, modelo IC108A.

Especificaciones

Aislamiento óptico - sólo IC109A, IC109AE e IC109C

Interfase - (1) puerto RS-232 asíncrono (seleccionable como DTE/DCE); (1) puerto RS-485 asíncrono con protección mejorada contra sobretensión y switch seleccionable en terminación de línea o polarización de línea

Conectores - (1) DB25 hembra - puerto RS-232; (1) bloque terminal para cuatro alambres (TEL) - puerto RS-485

Pins (patillas) suministradas - puerto RS-232: TD, RD, RTS, CTS, CD, DTR, DSR, SG y FG; puerto RS-485: TXA, TXB, RXA, RXB

Tasa de datos - de 0 a 115 Kbps, transparente a datos

Indicadores - (5) LEDs: TX, RX, RTS, CD y PWR

Temperatura de operación - de 32 a 122°F (de 0 a 50°C)

Almacenamiento - de -4 a 158°F (de -20 a 70°C)

Humedad - de 0 a 95% de humedad relativa, sin condensación

MTBF - Aproximadamente 180,000 horas (medio bien aterrizado)

Potencia - PS154 (para uso con IC108A, IC109A): Entrada - 120V, 60

Hz, 20W; Salida - CA 17VCT, 0.7A; PS154E (para uso con

IC108AE, IC109AE): Entrada - 230V, 50Hz, 20W; Salida - CA 17VCT, 750 mA

Tamaño - Unidad autónoma: 1.8"x5.5"x8.5" (4.6x14x21.6cm)

Tarjeta para montaje en rack: 7.4"x4.7" (18.8x11.9 cm); 0.6 pulgadas de espesor (1.6 cm)

Peso - Unidad autónoma: 1 lb. (0.5 kg); sólo fuente de poder:

PS154 - 0.4 lb. (0.2 kg), PS154E - 1.1 lb. (0.5 kg)

Operación - Punto a punto o multipunto

Half o full duplex

Transparente a datos

Retardo RTS a CTS seleccionable con opción a inhibir CTS si CD está presente (DCE)

Puerto RS-232 configurable a DTE o DCE

Operación normal o de retorno en malla

Retardo de descanso (o interrupción) - 0.15, 0.7, 2, 7 ó 70 mseg (para el driver RS-485 habilitado por datos)

Velocidad vs. distancia, típica - (4 alambres punto a punto 26-AWG de par trenzado)

VELOCIDAD	DISTANCIA
1200 bps	4 millas (6.4 km)
2400 bps	3 millas (4.8 km)
4800 bps	2.3 millas (3.7 km)

9600 bps	1.7 millas (2.7 km)
19,200 bps	1.2 millas (1.9 km)
38,400 bps	0.9 millas (1.4 km)
64,000 bps	0.75 millas (1.2 km)
115 Kbps	0.4 millas (0.6 km)

NOTA: La velocidad y las distancias dependerán de las condiciones de operación actuales.

Instalación

Para instalar el Convertidor RS-232 ↔ 485/422:

1. Se configura el Convertidor, ajustando cada uno de los diez jumpers/switches de que consta la tarjeta del mismo (ver Figura 1), dependiendo de la aplicación.

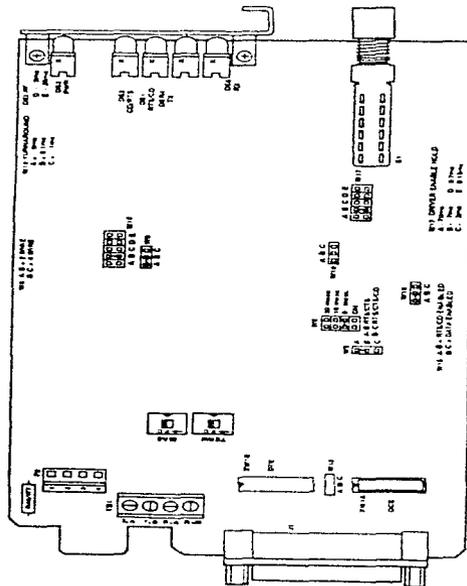


Figura 1. Layout de la tarjeta de circuito impreso.

S2 --- ON (ENCENDIDO) --- Receptor RS-485, terminado (ver Figura 6)

S3 --- OFF (APAGADO) --- Polarización de línea, deshabilitada

TB1 --- Bloque terminal (culca) de (para) 4 hilos

1.....Rx.....B⁺
 2.....Rx.....A⁻
 3.....Tx.....B⁺
 4.....Tx.....A⁻

Descripción de los pins de la interfase RS-485:

TXA y TXB --- Los datos recibidos por el Convertidor RS-232 $\leftarrow \rightarrow$ 485/422 en el puerto RS-232 son transmitidos fuera de la unidad sobre cables de par trenzado, vía estas dos salidas. El LED "TX" indica el estado de estas dos salidas (terminales u conductores). Cuando la salida TXA es positiva con respecto a la salida TXB (un "cero" está siendo transmitido), el LED "TX" se enciende (está encendido).

RXA y RXB --- Estas son las entradas de los datos recibidos en el puerto RS-485. El estado de estas salidas es monitoreado mediante el LED "RX". Cuando la salida RXA es positiva con respecto a la salida RXB (un "cero" está siendo recibido), el LED "RX" se enciende (está encendido).

J1 --- Conector DB25 hembra

2.....BA.....Datos
 3.....bb.....Datos
 7.....AB.....Tierra

Descripción de los pins de la interfase RS-232:

BA --- Datos transmitidos (a DCE)
 bb --- Datos recibidos (desde DCE)
 AB --- Tierra de la señal

2. Se conectan los dispositivos (en este caso, la PC y el drive) jun
te o con el Convertidor RS-232 \leftrightarrow 485/422, como se muestra en la
Figura 6 (variación de la Figura 6 original).

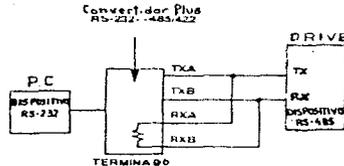


Figura 6. Punto a punto, 2 hilos (Half-duplex).

3. Se aplica la potencia (PS154).

NOTA IMPORTANTE: A lo largo de todo este breve tratado sobre la descripción, programación y funcionamiento del convertidor/interfase: Convertidor RS-232 \leftrightarrow 485/422, se ha hecho mención UNICAMENTE a lo que está ligado con esta unidad con la que se dispone, así como con la programación o configuración necesaria en nuestro caso. Así pues, se ha soslayado información sobre otras unidades parecidas y otro tipo de configuración ajena a la nuestra, al igual que toda la terminología o jerga especializada que se maneja (principalmente para configurar la unidad), dado que además de ser un poco complicada, no es la finalidad de la tarea que nos ocupa (habilitar el control del drive, vía PC). Si se desea profundizar en cómo se configuró y porqué, así como en otras maneras de configurar la unidad para algún otro uso, lo que está demás en nuestro caso, simplemente se puede uno referir al manual en cuestión y a la literatura del área respectiva.

MODE (Configuración bajo DOS de puerto serie)

Cuando un dispositivo está conectado mediante una interfase en serie hay que tener más factores en cuenta que si lo está con interfase paralela a la hora de la instalación en DOS. Por ello, lo más práctico para el usuario es conocer exactamente cómo está configurada la interfase de su dispositivo.

Para la ejecución posterior deberá ser especificada por parte del ordenador la configuración de las interfases en serie. Para ello nos serviremos, como en las interfases paralelas, de la orden **MODE**:

```
MODE <COMx> <Velocidad de transmisión> (, <paridad> (, <Bits- datos> (, <Bits-stop>, <P>))))
```

Es imprescindible indicar cuál de las dos interfases en serie posibles será utilizada, así como la velocidad de transmisión, mientras que el resto de la información puede especificarse según las necesidades. La configuración más utilizada es:

```
MODE COM1: 2.400, n, 8, 1 (A teclar en nuestro caso)
```

En este caso se debe tener en cuenta que el dispositivo esté ajustado con los mismos valores. Los parámetros indicados después de "MODE", tienen el siguiente significado:

VELOCIDAD DE TRANSMISION	DEFINICION BREVE
110	11
150	15
300	30
600	60
1200	12
2400	24
4800	48
9600	96
19200	19 (Desde DOS 3,3)

Velocidad de transmisión:

Basta con dar las dos primeras cifras de la velocidad de transmisión (abreviatura)

Paridad:

Nos da la prueba de paridad de la interfase. N (none)=sin comprobación, O (odd)=paridad impar y E (even)=paridad par. Si no se da talla ninguna paridad, automáticamente se establece "E".

Bits de datos:

Indica la cantidad exacta de Bits de datos entre 7 y 8. El valor preestablecido es 7.

Bits de stop:

Define el número de Bits de stop. (Pueden ser uno o dos). El valor por defecto es 1.

P:

Mediante la opción P pretendemos que se intente repetir la impresión, en el caso de que se den fallos de "time-out" en la impresora serie. No procede este parámetro, cuando se utilice en la interfase otro aparato en serie que no sea una impresora, con la indicación COM1. Se interrumpirá la espera del DOS mediante las teclas CTRL + C.

A causa de los diferentes parámetros de conexión de dispositivos entre cada fabricante, cuando se utilizan interfases en serie, pueden aparecer problemas de cronometraje o sincronización, respectivamente. La mayor parte de las veces se dan con velocidades de transmisión elevadas. Por ello es mejor que intente instalar su dispositivo en un principio con baja velocidad de transmisión. Mediante la orden `MODE LPT1=COM1:` también es posible redireccionar la salida de el dispositivo de la interfase paralela a la interfase serie. En nuestro ejemplo ocurre esto, desde la interfase paralela 1 a la interfase serie 1. La elección del redireccionamiento sólo está limitada a las interfases instaladas.

Instalación en el Software

Como en el caso de las impresoras paralelas, también en las interfases en serie basta normalmente con la indicación del número de interfase (p.ej.: COM1). Si no está previsto en el programa, los valores indicados con `MODE` son también perfectamente válidos.

Para ahorrarse la introducción de la orden `MODE` cada vez que se active el sistema, se puede incluir esta línea de orden en el ar-

chivo AUTOEXEC.BAT en el diskette de sistema.

Así pues, hemos visto cada uno de los equipos que conforman nuestro sistema (drive, interfase y PC) y nos hemos empapado en lo posible de las características básicas de hardware y de software que requieren cada uno de ellos para poder habilitar la transmisión. A continuación, sólo haremos mención de algunos pasos básicos de operación, necesarios para llevar a cabo la misma (y por ende el control del motor), entendiéndose de antemano que en la práctica respectiva se verá más detalladamente lo referente a cómo se efectúa el control en sí.

Procedimiento

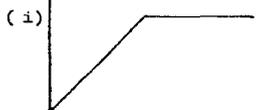
- 1 Conectar y encender cada uno de los equipos del sistema (drive, interfase y PC)
- 2 Teclar las instrucciones necesarias para entrar al paquete, ya habiendo configurado o programado el drive (parámetros), la interfase (jumpers) y la PC (puertos) con anterioridad, además de haber instalado el software respectivo
- 3 Navegar entre ventanas y arrancar o parar el motor a voluntad, vía el drive, por medio de las teclas de función o el ratón (mouse) de la PC
- 4 Apagar y desconectar cada uno de los equipos del sistema (drive, interfase y PC)

PRACTICA 1 (CUESTIONARIO PREVIO)

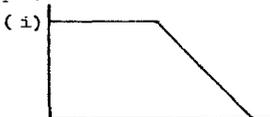
1. El parámetro PO0 es un medio de monitoreo de:
 (i) par (ii) frecuencia (iii) corriente de entrada
2. El parámetro PO1 nos sirve para controlar la cantidad de voltaje necesaria para mejorar el par de arranque. Este ajuste se realiza en forma:

(i) manual (ii) automática (iii) ambas

3. El parámetro PO2 nos controla el tiempo de una rampa de qué tipo:



4. El parámetro PO3 nos controla el tiempo de una rampa de qué tipo:



5. En el parámetro PO4:

a) ¿Cuál de las siguientes tres opciones se utiliza para tener un control analógico de 0 mA = 0 Hz, 20 mA = máxima frecuencia ajustada mediante PO8?

(i) 000 (ii) 001 (iii) 002

b) ¿Cuál de las siguientes opciones se utiliza para un control digital vía parametrización?

(i) 000 (ii) 002 (iii) 003

c) ¿Cuál de las opciones mostradas se utiliza para que el convertidor trabaje a la frecuencia ajustada vía parametrización, salvo que el parámetro PO9 se actualice después de 3 segundos al nuevo valor de ajuste?

(i) 001 (ii) 004 (iii) 005

d) ¿Con cuál de las siguientes opciones se obtiene un control analógico de voltaje de 0-10 V, en el que

0 V = mínima frecuencia ajustable mediante PO7

10 V = máxima frecuencia ajustada mediante P08?

(i) 003

(ii) 007

(iii) 009

6. En el parámetro P05, ¿Cuál de las siguientes opciones nos habilita al motor en un paro libre hasta frenarse, controlado esto mediante un botón (push-button)?

(i) 003

(ii) 008

(iii) 009

7. En el parámetro P06:

a) De acuerdo a la siguiente gráfica:

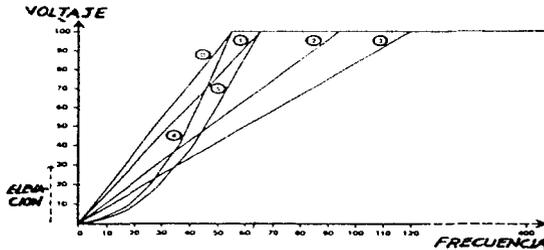


FIGURA : CURVAS CARACTERÍSTICAS DE VOLTAJE/FRECUENCIA

Determinar la correspondencia de cada curva con el ajuste del display necesario, dependiendo de las características de cada curva mostrada o de la correspondencia correcta.

Lineal de 0 a 60 Hz _____ ()
 100% de 60 a 400 Hz _____

Voltaje (frecuencia)^{1.5} de 0 a 60 Hz _____ ()
 100% de 60 a 400 Hz _____

Lineal de 0 a 120 Hz _____ ()
 100% de 120 a 400 Hz _____

b) De las siguientes opciones, ¿cuál nos habilita una curva definida por el usuario?:

(i) 000

(ii) 005

(iii) 006

c) ¿Cuál de las siguientes opciones no está disponible, dadas las características del motor usado?

(i) 002

(ii) 003

(iii) 005

8. Haga la correspondencia entre cada parámetro y la función que realiza:

(i) P07

() Ajusta el límite de frecuencia máximo de - seado

(ii) P08

() Ajusta el límite de frecuencia mínimo de - seado

9. Haga la correspondencia entre cada parámetro y la función que realiza:

(i) P09

() Ajusta el set-point de frecuencia, digital

(ii) P10

() Ajusta el set-point de frecuencia, analógico

10. ¿Cuál de las siguientes opciones (P11) es la correcta?

- | | | |
|---------------------|----------------------|------------------------|
| (i) Frenado por in- | (ii) Frenado por in- | (iii) Frenado por in- |
| ycción de VCD, | ycción de VCA, | ycción de VCD, |
| ajuste óptimo | ajuste óptimo | ajuste óptimo |
| dependiente del | dependiente del | dependiente del |
| tipo de motor e | tipo de motor e | tipo de motor |
| inercia, y de - | inercia, y de - | e inercia, e <u>in</u> |
| pendiente tam - | pendiente tam - | dependiente del |
| bién del tipo | bién del tipo | tipo de paro. |
| de paro. | de paro. | |

11. En el parámetro P12, el control de avance poco a poco (jog), ajusta la frecuencia del convertidor, anulando qué parámetro:

(i) P08

(ii) P09

(iii) P07

12. En el parámetro P13:

a) El ajuste de la cantidad de compensación de deslizamiento, en qué unidades se realiza:

(i) Amperes

(ii) Amperes y Hertz

(iii) Hertz

b) ¿De qué otro parámetro depende esta compensación?:

(i) P07

(ii) P17

(iii) P27

- | | | |
|---|--|---|
| <p>(i) Se habilita la elevación automática de voltaje y el valor calculado de voltaje es escrito y sólo leído en P01, sin poder ser cambiado hasta deshabilitar este parámetro (P19).</p> | <p>(ii) Se deshabilita la elevación automática de voltaje y el valor calculado de voltaje es escrito y sólo leído en P01, sin poder cambiarlo hasta deshabilitar este parámetro (P19).</p> | <p>(iii) Se habilita la elevación automática de voltaje y el valor calculado de voltaje es escrito en P01 y puede ser leído y cambiado cuando se desce.</p> |
|---|--|---|

b) Realizar la correspondencia correcta:

- | | |
|--|----------------|
| <p>(i) Elevación manual, no hay elevación adicional.</p> | <p>() 000</p> |
| <p>(ii) Elevación automática, hay elevación adicional en rampas ascendentes.</p> | <p>() 001</p> |
| <p>(iii) Elevación manual, hay elevación adicional en rampas ascendentes.</p> | <p>() 002</p> |
| <p>(iv) Elevación automática.</p> | <p>() 003</p> |

18. En el parámetro P24:

- a) ¿Qué opción habilita las frecuencias fijas?:
- | | | |
|---------|----------|-----------|
| (i) 000 | (ii) 001 | (iii) 002 |
|---------|----------|-----------|
- b) ¿Este modo de operación (Modo de frecuencia fija (P24)) es válido si P04 es ajustado en 003?
- | | | |
|--------|---------|------------------|
| (i) Sí | (ii) No | (iii) Indistinto |
|--------|---------|------------------|

19. Determinar la correspondencia correcta:

- | | |
|-----------|-------------------------|
| (i) P25 | () la. frecuencia fija |
| (ii) P26 | () 2a. frecuencia fija |
| (iii) P27 | () 3a. frecuencia fija |
| (iv) P28 | () 4a. frecuencia fija |

20. En el parámetro P29, la frecuencia de salto a seleccionarse es:

- | | | |
|--|--|--|
| (i) Una sola frecuencia que durante la rampa es saltada. | (ii) Un rango de frecuencia que durante la rampa es saltada. | (iii) Un rango de salto a veces continuo y a veces no, dependiendo de la programación de este parámetro (P29). |
|--|--|--|

21. Del parámetro P40, determinar la correspondencia adecuada:

- | | |
|--|--|
| (i) Las frecuencias de conmutación arriba de los ajustes de fábrica, sólo de -
ben usarse cuando: | () largos cables de motor (>30m) es -
tán siendo usados. |
| (ii) La frecuencia de conmutación es ajustada al mínimo cuando: | () la generación de ruido acústico es crítica. |

22. Del parámetro P41, ¿Qué opción selecciona los ajustes de fábrica "americanos" de los parámetros?:

- | | | |
|---------|----------|-----------|
| (i) 000 | (ii) 001 | (iii) 002 |
|---------|----------|-----------|

23. En el parámetro P42, ¿Qué opción habilita el modo de autorreset de la unidad?:

- | | | |
|---------|----------|-----------|
| (i) 000 | (ii) 001 | (iii) 002 |
|---------|----------|-----------|

24. ¿Almacena el último código de falla (grabado)?:

- | | | |
|---------|----------|-----------|
| (i) 000 | (ii) 001 | (iii) P43 |
|---------|----------|-----------|

25. Los parámetros P49 y P50, ¿pueden ser cambiados? (• ¿puede modificarse su contenido?):

(i) Sí

(ii) No

PRACTICA 2 (CUESTIONARIO PREVIO)

1. En el parámetro P30:
 - a) ¿Cuál de las siguientes opciones deshabilita por completo la realimentación por tacómetro?:

(i) 000	(ii) 002	(iii) 004
---------	----------	-----------
 - b) ¿Cuál de las siguientes opciones nos habilita un control por realimentación normal, excepto que la salida es deshabilitada cuando la frecuencia cae por debajo de PO7 (frecuencia mínima)?:

(i) 001	(ii) 002	(iii) 003
---------	----------	-----------
2. El parámetro P31 sirve para ajustar el factor de escala del tacómetro, ¿este factor puede tener un valor de 00.01?:

(i) Sí	(ii) No
--------	---------
3. Haga la correspondencia correcta de los siguientes términos con su parámetro respectivo:

(i) Término Derivativo	() P32
(ii) Término Integral	() P33
(iii) Término Proporcional	() P34
4. El límite de deslizamiento del tacómetro (P35) está dado en:

(i) Hertz	(ii) RPM	(iii) cps
-----------	----------	-----------
5. ¿En el parámetro P36, la razón de muestreo del tacómetro puede tener un valor de 15 ms?:

(i) Sí	(ii) No
--------	---------
6. ¿El parámetro P37, puede ser ajustado a una frecuencia deseada?

(i) No	(ii) Sí
--------	---------

PRACTICA 1⁺

Nombre de la práctica: Observación de las principales funciones de parametrización del convertidor de frecuencia SIMOVERT P.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar localmente el convertidor de frecuencia, ya sea digital como analógicamente, de manera que pueda controlar la velocidad de un motor de inducción adecuadamente.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en el manual del fabricante.
- Cuestionario Previo.

C. Equipo necesario:

- Toda la unidad, accionamiento (drive) y motor, incluidas sus facilidades de monitoreo, control de velocidad (analógico y digital) y control de arranque y paro, tanto propias (de fábrica) como anexadas.

D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

+ - VER ERRATA AL FINAL DE LA TESIS.

CASO 1

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003 y 005)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - REPRESENTACION VISUAL (DISPLAY) DEL ACCIONAMIENTO (DRIVE), RELOJ

Notas - EN ESTE PRIMER CASO, SE HARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANERA DIGITAL, VIA PARAMETRIZACION, CON UN ARRANQUE/PARO Y UN MONITOREO COMO LOS QUE SE ESPECIFICAN

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del INTERRUPTOR AUTOMATICO (BREAKER)) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 30 seg
 - PO3 - 40 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO7 - 30 Hz
 - PO8 - 70 Hz
 - PO9 - 50 Hz
 - Pl4 - 001

+++++

+ NOTA: En este y en todos los casos subsecuentes, los parámetros +
 + no mencionados en cada caso, deberán estar en su ajuste +
 + de fábrica (). Así pues, se debe de checar en cada caso +
 + que así ocurra, así como también que el parámetro P41 es- +
 + té siempre en 001). +
 + Por otro lado, la dirección de giro del motor será hora - +
 + ria (normal) hasta que no se especifique lo contrario (Di- +
 + rección: ↻ - Giro: ↻). +

+++++

4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
5. Ponga el interruptor (switch) "PARO" en posición NORMAL.

6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRAN- - CAR", tomando el tiempo con un reloj, desde que se arranca el motor, hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.
t = _____ seg
 7. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada?
f = _____ Hz
 8. Accione el botón "BAJAR" y ajuste la frecuencia en 40 Hz.
 9. Pare el motor, desconectando el switch "ARRANCAR", tomando el tiempo desde que se desconecta el switch mencionado, hasta que se para el motor por completo, c, en este caso, hasta que la frecuencia llega a cero.
t = _____ seg
 10. Repita el procedimiento desde el paso 6 (excepto el punto 8), reg pondiendo nuevamente a las preguntas y diga: ¿A qué conclusión llega con lo visto?
-
11. Regrese al paso 3 y ajuste P04 en 005, continúe hasta completar todo nuevamente (responda a las preguntas).
 12. Apague la unidad (por medio del BREAKER).
 13. Desconecte la alimentación principal.

CASO 2

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-004 y 006)

Control de arranque/paro - PARO LIBRE, NIVEL, DISPARO ACTIVO (PO5-007)

Monitoreo - DISPLAY DEL DRIVE, RELOJ

Notas - EN ESTE SEGUNDO CASO, SE HARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANERA DIGITAL, VIA PARAMETRIZACION, CON UN ARRANQUE/PARADA Y UN MONITOREO COMO LOS QUE SE INDICAN

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 30 seg
 - PO3 - 40 seg
 - PO4 - 004
 - PO5 - 007
 - PO7 - 20 Hz
 - PO8 - 50 Hz
 - PO9 - 40 Hz
 - PI4 - 000
4. Seleccione el parámetro PO0 y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición PTC.
6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRANCAR", tomando el tiempo desde que se acciona el motor vía el switch mencionado, hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY. Al mismo tiempo, tome el retardo de tiempo, al accionar el switch, en el cual, no hay aceleración ni movimiento aparente del motor o cambio en la frecuencia (ver DISPLAY).
 - $t_{ret} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ seg}$
 - $t = \underline{\hspace{2cm}} \text{ seg}$
7. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada?
 - $f = \underline{\hspace{2cm}} \text{ seg}$
8. Apriete el botón "SUBIR" y ajuste la frecuencia en 45 Hz.

9. Tome el tiempo desde que se desconecta el motor, vía el switch "ARRANCAR", hasta que se para por completo.

t = _____ seg

10. Repita el procedimiento desde el paso 6, excepto el punto 8 (respondiendo nuevamente a las preguntas) y diga: ¿Qué conclusión de lo visto?

11. Regrese al paso 3 y ajuste PO4 en OO6, continúe hasta completar todo nuevamente y responda a las mismas preguntas.

12. Mencione las diferencias percibidas en comparación con el CASO 1.

13. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

14. Desconecte la alimentación principal.

CASO 3

Control de velocidad - ANALOGICO (PO4-000)

Control de arranque/paro - RAMPa, NIVEL, DISPARO INACTIVO (PO5-001)

Monitoreo - INDICADOR DE VOLTAJE DE CONTROL, DISPLAY (DRIVE), RELOJ

Notas - EN ESTE TERCER CASO, SE HARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANERA ANALOGICA, VIA EL CONTROL POR VOLTAJE, CON UN ARRANQUE/PARO Y UN MONITOREO COMO LOS QUE SE INDICAN

Procedimiento:

1. Conecte las alimentaciones necesarias para arrancar la unidad y las fuentes.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY esté activado.
3. Active las fuentes (mediante el switch de "FUENTES DE PODER"), y asegúrese que estén activadas, comprobando que el led indicador "FUENTES" esté prendido.
4. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 30 seg
 - PO3 - 20 seg
 - PO4 - 000
 - PO5 - 001
 - PO7 - 30 Hz
 - PO8 - 70 Hz
 - PI0 - 100%
 - PI4 - 001
5. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
6. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
7. Ponga el switch "SELECTOR" en "V".
8. Accione el switch "ARRANCAR".
9. Arranque el motor mediante el accionamiento del reóstato "CON - - TROL POR VOLTAJE". Váyalo haciendo de manera suave y pausada, hagta llegar a los 10 V.
10. Cheque el voltaje en el indicador de "VOLTAJE DE CONTROL" y
11. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE.
12. Tome el tiempo desde que se arranca el motor, vía el reóstato de

"CONTROL POR VOLTAJE" hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.

t = _____ seg

13. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada al estabilizarse ésta y al estar el indicador de "VOLTAJE DE CONTROL" en 10 V?

f = _____ Hz

14. Tome el tiempo desde que se baja desde 10 V hasta 0 V (paro del motor).

t = _____ seg

15. Desconecte el switch "ARRANCAR".

16. Mencione las diferencias percibidas entre un control digital y uno analógico.

17. Desactive las fuentes (mediante el switch "FUENTES DE PODER").

18. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

19. Desconecte la alimentación principal y la de las fuentes.

CASO 4

Control de velocidad - ANALOGICO (PO4-009)

Control de arranque/paro - PARO LIBRE, FLANCO, DISPARO ACTIVO (PO5-005)

Monitoreo - INDICADOR DE CORRIENTE DE CONTROL, DISPLAY (DRIVE), RELOJ

Notas - EN ESTE CUARTO CASO, SE HARA EL CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANERA ANALOGICA, VIA EL CONTROL POR CORRIENTE, CON UN ARRANQUE/PARO Y UN MONITOREO COMO LOS QUE SE INDICAN

Procedimiento:

1. Conecte las alimentaciones necesarias para arrancar la unidad y las fuentes.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY esté activado.
3. Active las fuentes (mediante el switch de "FUENTES DE PODER"), y asegúrese que estén activadas, comprobando que el led indicador "FUENTES" esté prendido.
4. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 100 seg
 - PO4 - 009
 - PO5 - 005
 - PO7 - 100 Hz
 - PO8 - 200 Hz
 - PI0 - 10 %
 - PI4 - 001
5. Seleccione el parámetro PO0 y presione "P".
6. Ponga el switch "PARO" en posición PTC.
7. Ponga el switch "SELECTOR" en "I".
8. Accione el switch "ARRANCAR".
9. Arranque el motor mediante el accionamiento del reóstato "CONTROL POR CORRIENTE". Váyalo haciendo de manera suave y pausada, hasta llegar a los 20 mA.
10. Cheque la corriente en el indicador de "CORRIENTE DE CONTROL" y
11. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE.

12. Tome el tiempo desde que se arranca el motor, vía el rebóstate de "CONTROL POR CORRIENTE" hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.

t = _____ seg

13. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada al estar el indicador de "CORRIENTE DE CONTROL" en 20 mA?

f = _____ Hz

14. Tome el tiempo desde que se baja desde 20 mA hasta 4 mA.

t = _____ seg

15. ¿Es posible un control más fino y regulable ciento por ciento, mediante este caso, o es más posible en el caso de un ajuste mediante control digital?

16. ¿Qué control es mejor el analógico por voltaje o el analógico por corriente?

17. Desactive las fuentes (mediante el switch "FUENTES DE PODER").

18. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

19. Desconecte la alimentación principal y la de las fuentes.

CASO 5

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, CONTROL POR BOTON PULSADOR (PUSH-BUTTON) (PO5-008)

Monitoreo - DISPLAY (DRIVE), RELOJ

Notas - EN ESTE QUINTO CASO, SE HARA UN CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANERA DIGITAL, VIA PARAMETRIZACION, SALVO QUE EL ARRANQUE SE HARA POR MEDIO DE UN SWITCH Y EL FRENADO POR MEDIO DE UN PUSH-BUTTON, VIA RAMPA

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 10 seg
 - PO3 - 15 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 008
 - PO7 - 50 Hz
 - PO8 - 100 Hz
 - PO9 - 80 Hz
 - PL4 - 000
4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición neutral (al centro).
6. Arranque el motor mediante el accionamiento del switch "ARRAN- - CAR", salvo que ahora sólo se accionará e inmediatamente después se desconectará (simulando un botón).
7. Tome el tiempo desde que se efectúa la conexión y desconexión instantánea del mismo hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.
 - t = _____ seg
8. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada al estabilizarse ésta?
 - f = _____ Hz
9. Pare el motor, accionando el push-button "PARAR". Apretar y sol-

tar inmediatamente.

10. Tome el tiempo desde que se desconecta el motor, vía el push-button "PARAR", hasta que se para éste por completo (o llega la frecuencia a 0).

$t = \underline{\hspace{2cm}}$ seg

11. Mencione las diferencias percibidas entre un paro por accionamiento únicamente del switch "ARRANCAR" y el existente al usar los ya mencionados (switch "ARRANCAR" y push-button "PARAR").

12. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

13. Desconecte la alimentación principal.

CASO 6

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/pare - PARO LIBRE, CONTROL POR PUSH-BUTTON (PO5-009)

Monitoreo - DISPLAY (DRIVE), RELOJ

Notas - EN ESTE SEXTO CASO, SE HARA UN CONTROL DE LA VELOCIDAD DE MANEJO DIGITAL, VIA PARAMETRIZACION, SALVO QUE EL ARRANQUE SE HARA POR MEDIO DE UN SWITCH Y EL FRENADO POR MEDIO DE UN PUSH-BUTTON, VIA PARO LIBRE.

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 100 seg
 - PO3 - 50 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 009
 - PO7 - 20 Hz
 - PO8 - 60 Hz
 - PO9 - 50 Hz
 - PL4 - 001
4. Seleccione el parámetro PO0 y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición neutral (en el centro).
6. Arranque el motor mediante el accionamiento del switch "ARRANCAR", salvo que ahora sólo se accionará e inmediatamente se desconectará (simulando un botón).
7. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE.
8. Tome el tiempo desde que se acciona el switch "ARRANCAR" hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.
 - t = _____ seg
9. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada al estabilizarse ésta?
 - f = _____ Hz
10. Pare el motor accionando el push-button "PARAR". Apretar y sol-

tar.

11. Tome el tiempo desde que se desconecta el motor, vía el push-button "PARAR", hasta que se para por completo.

t = _____ seg

12. Mencione las diferencias percibidas entre este tipo de paro y el anterior.

13. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

14. Desconecte la alimentación principal.

CASO 7

En este séptimo caso, se verán diferentes tipos de curvas viables en el tipo de motor que tenemos, incluso una que puede ser definida por el usuario.

CASO 7A

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPa, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - INDICADOR DE "VOLTAJE DE ARMADURA" Y DISPLAY

Curvas - VARIAS

Notas - EN ESTE INCISO SE VERAN VARIAS CURVAS VOLTAJE-FRECUENCIA DEL TIPO MENCIONADO EN CADA CASO

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 40 seg
 - PO3 - 40 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO6 - 000 - CURVA V - F (PO6 - 000) LINEAL O - 50 Hz
100 % 50 - 400 Hz
 - PO7 - 40 Hz
 - PO8 - 120 Hz
 - PO9 - 100 Hz
4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
6. Arranque el motor mediante el accionamiento del switch "ARRAN - - CAR".
7. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE, al mismo tiempo que el voltaje de armadura del motor (Vm) en el indicador "VOLTAJE DE ARMADURA". Trate de imaginar a simple vista cómo sería la curva V - F, poniendo mucha atención en si existe o no un disparo brusco de la aguja (variación brusca de voltaje) en el medidor "VOLTA

JE DE ARMADURA". Si es necesario y de ser posible, trate de hacer una gráfica o bosquejo de lo que ve. Esto ayudaría.

Responda: ¿A qué frecuencia se dispara la aguja y desde qué voltaje hasta qué voltaje?

$f_{\text{disparo}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ v}$

8. Pare el motor, desconectando el switch "ARRANCAR".

9. Repita los pasos 6, 7 y 8 tantas veces como sea necesario para visualizar la curva, y responda adecuadamente a la pregunta 7.

10. CURVA V - F (PO6-002) LINEAL 0 - 87 Hz

100 % 87 - 400 Hz

Regrese al paso # 3 y programe PO6 en 002, repita todo el procedimiento, hasta el paso # 9.

11. CURVA V - F (PO6-005) VOLTAJE \propto (FRECUENCIA)^{1.5} 0 - 60 Hz

100 % 60 - 400 Hz

Regrese al paso # 3 y programe PO6 en 005, repita todo el procedimiento, hasta el paso # 9.

12. CURVA V - F (PO6-006) CURVA DEFINIDA POR EL USUARIO

LINEAL 0 - 70 Hz

100 % 70 - 400 Hz

Regrese al paso # 3 y programe PO6 en 006, P15 en 70 (Hz) y P16 en 000, repita todo el procedimiento, hasta el paso # 9.

Cheque aproximadamente cuánto se tiene de voltaje a 30 Hz.

$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ v}$

13. CURVA V - F (PO6-006) CURVA DEFINIDA POR EL USUARIO

VOLTAJE \propto (FRECUENCIA)^{1.5} 0 - 70 Hz

100 % 70 - 400 Hz

Regrese al paso # 3 y programe PO6 en 006, P15 en 70 (Hz) y P16 en 001, repita todo el procedimiento, hasta el paso # 9.

Cheque aproximadamente cuánto se tiene de voltaje a 30 Hz.

$V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ v}$

14. ¿Qué concluye con lo visto en estas dos últimas preguntas (12 y 13)?

15. ¿Qué concluye en general de este caso (7A)?

16. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

17. Desconecte la alimentación principal.

CASO 7B

Control de velocidad - ANALOGICO (PO4-000)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - VARIOS

Curvas - VARIAS

Notas - EN ESTE INCISO SE VERAN VARIAS CURVAS, PRODUCTO DE LA VARIACION DEL VOLTAJE DE CONTROL

Procedimiento:

1. Conecte las alimentaciones necesarias para arrancar la unidad y las fuentes.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY esté activado.
3. Active las fuentes (mediante el switch de "FUENTES DE PODER"), y asegúrese que estén activadas, comprobando que el led indicador "FUENTES" esté prendido.
4. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 60 seg
 - PO3 - 100 seg
 - PO4 - 000
 - PO5 - 000
 - PO6 - 001
 - PO7 - 50 Hz
 - PO8 - 80 Hz
 - PL4 - 000
5. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
6. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
7. Ponga el switch "SELECTOR" en "V".
8. Accione el switch "ARRANCAR".
9. Arranque el motor mediante el accionamiento del reóstato "CONTROL POR VOLTAJE". Váyalo haciendo de manera suave y pausada. Vaya subiendo en intervalos de 1V, desde 0V hasta 10V, y haga lo siguiente:
 - 9a. Cheque el voltaje en el indicador de "VOLTAJE DE CONTROL".
 - 9b. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE.

- 9c. Cheque las RPM en el indicador de la "VELOCIDAD DEL MOTOR".
- 9d. Cheque la corriente de armadura del motor (I_m) en el indicador "CORRIENTE DE ARMADURA".
- 9e. Cheque el voltaje de armadura del motor (V_m) en el indicador "VOLTAJE DE ARMADURA".
10. Llene la siguiente tabla y haga las gráficas necesarias (4) con estos valores.†
- (Estas gráficas serán opcionales, excepto V_c vs. F y V_c vs. V)

V_c (Vcd)	F (Hz)	V (RPM)	I_m (A)	V_m (V)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

(+) - Las gráficas serían: Voltaje de control(Vcd)-Frecuencia (Hz), Voltaje de control(Vcd)-Velocidad del motor(RPM), Voltaje de control(Vcd)-Corriente de armadura (A), Voltaje de control(Vcd)-Voltaje de armadura(V).

11. Descienda paulatinamente hasta OV.
12. Desactive las fuentes (mediante el switch "FUENTES DE PODER").
13. Apague la unidad (por medio del BREAKER).
14. Desconecte la alimentación principal y la de las fuentes.

15. Realice además la gráfica V_m vs. F .

16. ¿Qué concluye de esta gráfica?

(Tip: ver PO6)

CASO 7C

Control de velocidad - ANALOGICO (PO4-001)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - VARIOS

Curvas - VARIAS

Notas -- EN ESTE INCISO SE VERAN VARIAS CURVAS, PRODUCTO DE LA VARIACION DE LA CORRIENTE DE CONTROL

Procedimiento:

1. Conecte las alimentaciones necesarias para arrancar la unidad y las fuentes.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY esté activado.
3. Active las fuentes (mediante el switch de "FUENTES DE PODER"), y asegúrese que estén activadas, comprobando que el led indicador "FUENTES" esté prendido.
4. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 60 seg
 - PO3 - 100 seg
 - PO4 - 001
 - PO5 - 000
 - PO6 - 005
 - PO7 - 50 Hz
 - PO8 - 80 Hz
 - PL4 - 000
5. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
6. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
7. Ponga el switch "SELECTOR" en "I".
8. Arranque el motor mediante el accionamiento del reóstato "CONTROL POR CORRIENTE". Vaya subiendo en intervalos de 1mA, desde 0mA hasta 20mA, y haga lo siguiente:
 - 8a. Cheque la corriente en el indicador de "CORRIENTE DE CONTROL".
 - 8b. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE.
 - 8c. Cheque las RPM en el indicador de la "VELOCIDAD DEL MOTOR".

- 8d. Cheque la corriente de armadura del motor (I_m) en el indicador "CORRIENTE DE ARMADURA".
- 8e. Cheque el voltaje de armadura del motor (V_m) en el indicador "VOLTAJE DE ARMADURA".
9. Llene la siguiente tabla y haga las gráficas necesarias (4) con estos valores.*
- (Estas gráficas serán opcionales, excepto I_c vs. F e I_c vs. V)

I_c (mAcd)	F (Hz)	V (RPM)	I_m (A)	V_m (V)
0				
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				
16				
18				
20				

(+) - Las gráficas serían: Corriente de control (Acd)-Frecuencia (Hz), Corriente de control (Acd)-Velocidad del motor (RPM), Corriente de control (Acd)-Corriente de armadura (A) y Corriente de control (Acd)-Voltaje de armadura (V).

10. Descienda paulatinamente hasta 0mA.
11. Desactive las fuentes (mediante el switch "FUENTES DE PODER").
12. Apague la unidad (por medio del BREAKER).
13. Desconecte la alimentación principal y la de las fuentes.

14. Realice además la gráfica V_m vs. F .

15. ¿Qué concluye de esta gráfica?

(Tip: ver P06)

CASO 8

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - INDICADOR DE "VOLTAJE DE ARMADURA", INDICADOR DE "CORRIENTE DE ARMADURA" Y DISPLAY

Elevación de voltaje - MANUAL (PO1-10.0)

Notas - EN ESTE OCTAVO CASO, SE HARA UN CONTROL DE VELOCIDAD Y UN CONTROL DE ARRANQUE/PARO TIPICO O NORMAL, ENFOCANDOSE LA ATENCION EN OBSERVAR UNICAMENTE LA CARACTERISTICA DE ELEVACION DE VOLTAJE A BAJA FRECUENCIA

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO1 - 0 %
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO7 - 0 Hz
 - PO8 - 100 Hz
 - PO9 - 20 Hz
4. Seleccione el parámetro PO0 y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRANCAR".
7. Observe cuidadosamente el indicador de "VOLTAJE DE ARMADURA" al arranque. ¿Desde qué voltaje comenzó a arrancar el motor? y ¿hasta qué voltaje se estabilizó? Al mismo tiempo, observe cuidadosamente el indicador de "CORRIENTE DE ARMADURA" al arranque. ¿A qué corriente comenzó a arrancar el motor? y ¿hasta qué corriente se estabilizó? Describa con palabras lo que observa en ambos indicadores.

$$V_{\text{inic}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$V_{final} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

$I_{inic} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

$I_{final} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

-
8. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE. ¿A qué frecuencia se estabilizó el DISPLAY?

$f = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz

9. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".
10. Regrese al paso 3 y ajuste PO1 en 10.0%. Repita el procedimiento, respondiendo nuevamente a las preguntas.
11. ¿Qué concluye de todo lo visto en este CASO 8?

12. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

13. Desconecte la alimentación principal.

CASO 9

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - INDICADOR DE "VOLTAJE DE ARMADURA", INDICADOR DE CORRIENTE DE ARMADURA", DISPLAY Y RELOJ

Elevación de voltaje - AUTOMATICA (P19-003)

Notas - EN ESTE NOVENO CASO SE HARA ENFASIS EN OBSERVAR LA FACILIDAD DE ELEVACION AUTOMATICA (P19) E INTRINSECAMENTE EL LIMITE DE SOBRECARGA (P18)

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:

PO4 - 003

PO5 - 000

PO7 - 0 Hz

PO8 - 100 Hz

PO9 - 50 Hz

P17 - 3.2 A

P18 - 1.0

P19 - 003

4. Obtenga la corriente límite de sobrecarga.

$I_{\text{lím. sobrecarga}} = \text{_____ A}$

5. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
6. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
7. Arranque el motor mediante el accionamiento del switch "ARRAN - - CAR".
8. Observe cuidadosamente qué pasa al arranque:
 - a) visualizando el indicador "CORRIENTE DE ARMADURA" y el DISPLAY. Describa lo que observó.
 - b) visualizando el indicador "VOLTAJE DE ARMADURA". Describa lo que observó.

9. ¿Qué tiempo transcurrió en arrancar el motor?

t = _____ seg

10. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE. ¿A qué frecuencia se estabilizó el DISPLAY?

f = _____ Hz

11. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".

12. Arránquelo nuevamente, ¿qué observó?

13. Después de que se establezca la frecuencia, pare el motor, desconectando el switch "ARRANCAR".

14. Observando el parámetro PO1, es posible chequear cuál fue la elevación automática de voltaje generada. Anótela.

EAV = _____ %

CASO 10

Control de velocidad - DIGITAL (P04-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (P05-000)
(POR INYECCION DE VOLTAJE DE CD (P11))

Monitoreo - INDICADOR DE "VOLTAJE DE ARMADURA", INDICADOR DE "CO - -
RRIENTE DE ARMADURA", DISPLAY Y RELOJ

Notas - ESTE DECIMO CASO SE ENFOCARA A ANALIZAR LA FACILIDAD DE PRE-
NADO POR INYECCION DE CD

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - P03 - 10 seg
 - P04 - 003
 - P05 - 000
 - P07 - 0 Hz
 - P08 - 100 Hz
 - P09 - 50 Hz
 - P11 - 5 %
 - P42 - 001 (Reseteo automático de falla)
4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
6. Arranque el motor mediante el accionamiento del switch "ARRAN - -
CAR".
7. Cheque y tome la lectura de la frecuencia (tabla a continuación), cuando ésta se estabiliza, en el DISPLAY del DRIVE.
8. Cheque y tome la lectura del voltaje de armadura (tabla a conti -
nuación), cuando éste se estabilice, en el indicador correspon- -
diente.
9. Cheque y tome la lectura de la corriente de armadura (tabla a con -
tinuación), cuando ésta se estabiliza, en el indicador correspon- -
diente.
10. Pare el motor, desconectando el switch "ARRANCAR".

11. Tome el tiempo desde que se desconecta el switch "ARRANCAR", hasta que el motor se para (tabla a continuación). Observe lo que ocurre al hacerlo. Vea el DISPLAY del DRIVE. Explique.

12. Tome el tiempo en el que ocurre la inyección de CD. (tabla a continuación).

13. Regrese a 3 y ajuste el parámetro P11, repitiendo el proceso hasta llenar la siguiente tabla:

AJUSTE DE P11 (%)	VOLTAJE DE ARMADURA (V)	CORRIENTE DE ARMADURA (A)	TIEMPO DE PARO DE MOTOR (SEG)	TIEMPO DE INYECCION DE CD (SEG)	FRECUENCIA (HZ)	OBSERVACIONES
5						
10						
8						

CASO 11

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, PLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - DISPLAY

Notas - EN ESTE UNDECIMO CASO SE OBSERVARA LA FACILIDAD DE "AVANCE POCO A POCO" (JOG), EN DIRECCION DE GIRO DEL MOTOR INVERSA O ANTIHORARIA.

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 50 seg
 - PO3 - 30 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO7 - 0 Hz
 - PO8 - 100 Hz
 - PO9 - 60 Hz
 - Pl2 - 50 Hz
4. Seleccione el parámetro PO0 y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
6. Ajuste la dirección de giro del motor con el switch "DIRECCION" de manera que ésta sea inversa o antihoraria (dirección η - gi - ro η).
7. Arranque el motor, apretando el botón "JOGGING", sosténgalo aproximadamente 30 segundos.
8. Cheque la frecuencia en el DISPLAY del DRIVE y tome el tiempo hasta que se estabiliza ésta.
9. ¿Qué tiempo tardó el motor en estabilizarse y a qué frecuencia?
 - t = _____ seg
 - f = _____ Hz
10. Pare el motor, después de 30 segundos, soltando el botón "JOGGING".

11. Tome el tiempo desde que se desconecta el motor, hasta que éste se para.
 12. ¿Qué tiempo tardó el motor en pararse, desde que se soltó el botón "JOGGING"?
 $t = \underline{\hspace{2cm}}$ seg
 13. Apriete y suelte el botón "JOGGING" un par de veces.
 14. ¿Qué sucede al apretar y soltar el botón "JOGGING"?
-
15. ¿Qué diferencia hay con otros tipos de arrancar y parar el motor?
-
16. Apague la unidad (por medio del BREAKER).
 17. Desconecte la alimentación principal.

CASO 12

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/pare - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - DISPLAY

Notas - EN ESTE DUODECIMO CASO SE OBSERVARA LA CARACTERISTICA DE COM
PENSACION DE DESLIZAMIENTO (P13) (USANDO TAMBIEN EL PARAMETRO DE LIMITE DE CORRIENTE (P17) Y EL ESTADO DEL DISPLAY/SALIDA ANALOGICA (P14), PARA SENSAR LA CORRIENTE DE CARGA)

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.

Parte I

3. Ajuste los siguientes parámetros:

PO2 - 50 seg

PO3 - 30 seg

PO4 - 003

PO5 - 000

PO7 - 0 Hz

PO8 - 100 Hz

PO9 - 60 Hz

P13 - 10 Hz

P14 - 000

P17 - 3.2

P18 - 1.0

4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
 5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
 6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRAN- -
CAR".
 7. Dejar que se establezca el display.
 8. Tome el dato:
 DISPLAY = _____
 9. ¿Cómo es éste respecto al ajustado?
-

10. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".

Parte II

11. Regrese al punto 3 y ajuste el parámetro P14 en 002.

12. Repita los puntos 4, 5, 6, 7 y 8. Responda.

13. Tome los siguientes datos:

$f_{\text{salida}} = \underline{\hspace{2cm}}$ Hz (Resultado obtenido en el paso 8)

P13 (Compensación de deslizamiento) = $\underline{\hspace{2cm}}$ Hz

Corriente de carga medida (DISPLAY) = $\underline{\hspace{2cm}}$ A (paso 12)

P17 (Límite de corriente) = $\underline{\hspace{2cm}}$ A

14. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".

15. Calcule la siguiente ecuación con los datos obtenidos:

$$f_{\text{salida}} = f_{\text{ajustada}}(\text{P09}) + (\text{P13} \times \text{Corriente de carga medida} / \text{P17})$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$$

16. Mencione las diferencias observadas en ambos casos (Parte I y II).

17. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

18. Desconecte la alimentación principal.

CASO 13

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, PLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - DISPLAY

Notas - EN ESTE DECIMOTERCER CASO SE OBSERVARA LA FACILIDAD DE FRE -
CUENCIAS FIJAS (P24, P25, P26, P27 y P28)

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 20 seg
 - PO3 - 20 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO7 - 0 Hz
 - PO8 - 60 Hz
 - PO9 - 50 Hz
 - P24 - 001
 - P25 - 22 Hz
 - P26 - 24 Hz
 - P27 - 26 Hz
 - P28 - 28 Hz
4. Seleccione el parámetro POO y presione "P".
5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRAN- -
CAR".
7. Tome el tiempo desde que se acciona este switch hasta que se esta
biliza la frecuencia en el DISPLAY.
t = _____ seg
8. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada?
f = _____ Hz
9. Apriete el botón "BAJAR" y manténgalo apretado aproximadamente 30
segundos. Tome a la vez el tiempo desde que se aprieta el botón

hasta que se estabiliza la frecuencia en el DISPLAY.

t = _____ seg

10. Ahora, ¿cuál fue esta frecuencia?

f = _____ Hz

11. Pasados los 30 segundos suelte el botón.

12. ¿A qué frecuencia llegó?

f = _____ Hz

13. Ahora apriete el botón "SUBIR" y manténgalo apretado también 30 segundos.

14. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada?

f = _____ Hz

15. Suelte el botón. ¿A qué frecuencia llegó?

f = _____ Hz

16. Ahora apriete ambos botones "BAJAR" y "SUBIR" simultáneamente y manténgalos apretados el mismo tiempo (30 segundos).

17. ¿Cuál fue la frecuencia alcanzada?

f = _____ Hz

18. Suelte ambos botones. ¿A qué frecuencia llegó?

f = _____ Hz

19. Finalmente, apriete "BAJAR" hasta que se estabilice la frecuencia, después - inmediatamente - "SUBIR", luego ambos. Suelte - los.

20. ¿Qué concluye con lo ya visto?

21. Pare el motor mediante el accionamiento del switch "ARRANCAR". A la vez, tome el tiempo desde que se acciona este switch hasta que la frecuencia llega a 0 Hz (DISPLAY).

t = _____ seg

22. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

23. Ahora implemente un control analógico mediante voltaje - como ya se ha visto -, dejando el motor funcionando, digamos, a 21 Hz. Realice de nuevo los pasos del 9 al 20. Responda.

NOTA: Ajuste sólo P04 en 000 y P10 en 100%.

(Los demás parámetros quedan igual)

CASO 14

Control de velocidad - DIGITAL (P04-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (P05-000)

Monitoreo - DISPLAY

Notas - EN ESTE DECIMOCUARTO CASO SE OBSERVARA LA FACILIDAD DE FRE -
CUENCIA DE SALTO (P29)

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
 2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
 3. Ajuste los siguientes parámetros:
 - P02 - 20 seg
 - P03 - 30 seg
 - P04 - 003
 - P05 - 000
 - P07 - 20 Hz
 - P08 - 30 Hz
 - P09 - 25 Hz
 - P29 - 0 Hz
 4. Seleccione el parámetro P00 y presione "P".
 5. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
 6. Arranque el motor, mediante el accionamiento del switch "ARRAN- -
CAR".
 7. Dejar que se establezca la frecuencia (velocidad del motor).
 8. ¿Cuál fue esta frecuencia?
f = _____ Hz
 9. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".
 10. Regrese al punto 3 y ajuste el parámetro P29 en 25 Hz.
 11. Repita los puntos 4, 5, 6 y 7.
 12. Ahora, ¿Cuál fue esta frecuencia?
f = _____ Hz
 13. Pare el motor desconectando el switch "ARRANCAR".
 14. Si las frecuencias son diferentes, ¿A qué cree que se debió?
-

15. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

16. Desconecte la alimentación principal.

NOTA FINAL DE LA PRACTICA 1: En esta práctica se han incluido todos los parámetros posibles, salvo los referentes a realimentación por tacómetro y control remoto vía puerto serie, que se verán a continuación en las prácticas 2 y 3. Además, tampoco se han incluido los parámetros P40, P48, P49 y P50 por ser prácticamente irrelevantes.

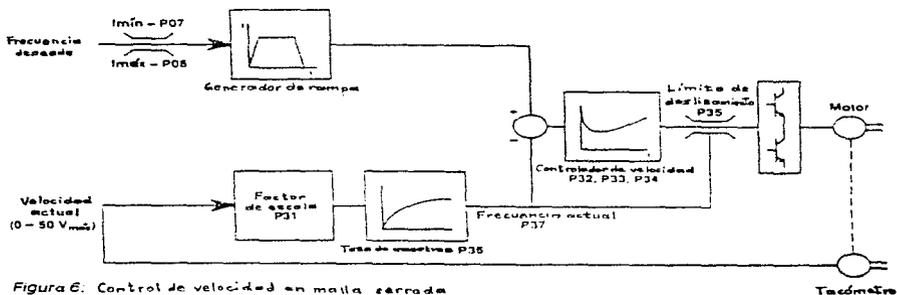
PRACTICA 2⁺

Nombre de la práctica: Observación de las funciones de parametriza -
ción relativas al uso de la entrada de con -
trol por tacómetro, en donde se involucra el
desarrollo del concepto de realimentación.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar localmente el convertidor de frecuencia (inversor, accionamiento o drive), en lo referente al control por realimentación, usando un tacómetro como instrumento de medición; esto incluye el saber programar los parámetros destinados para ello.
- Haciendo uso de un freno de prony como simulador de carga (o me -
dio de dar carga al motor), de un tacogenerador, de un inversor y del motor mismo, se observará el comportamiento del sistema bajo un control de velocidad en malla cerrada (ver figura si -
guiente), que permitirá que la velocidad del motor sea regula -
da, manteniendo constante el valor analógico del dispositivo de medición de velocidad (tacómetro) para un ajuste dado de fre -
cuencia del inversor.



+ - VER ERRATA AL FINAL DE LA TESIS.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos aquellos vertidos en el manual del fabricante.
- Cuestionario Previo y práctica anterior.

C. Equipo necesario:

- Freno de prony (mecanismo que simule o dé una carga fija o variable)
- Tacogenerador (instrumento de medición)
- Toda la unidad, incluidos:
 - Inversor
 - Motor
 - Facilidades de monitoreo, control de velocidad y control de arranque y paro del drive, ya sean de origen o creadas

D. Desarrollo de actividades.

- A continuación.

CASO 15

Control de velocidad - DIGITAL (PO4-003)

Control de arranque/paro - RAMPA, FLANCO, DISPARO INACTIVO (PO5-000)

Monitoreo - VARIOS

Notas - EN ESTE DECIMOQUINTO CASO SE HABILITARA EL MODO DE TACOMETRO (P30-001), SE AJUSTARA EL FACTOR DE ESCALA DEL TACOMETRO (P31), ASI COMO LAS DIFERENTES COMPENSACIONES DE REALIMENTACION - DE SER NECESARIO - PARA EFECTUAR UN CONTROL POR REALIMENTACION ADECUADO (P32, P33 Y P34); ADEMAS, SE VERA UN LIMITE DE DESLIZAMIENTO DE TACOMETRO JUSTO (P35) Y UNA TASA DE MUESTREO DE TACOMETRO TAMBIEN ADECUADA (P36). FINALMENTE, SE OBSERVARA LA LECTURA DE FRECUENCIA DEL TACOMETRO POR DISPLAY (P37).

(EN CASO DE ALGUNA FALLA, SERA POSIBLE OBSERVAR ESTA, TANTO POR EL DISPLAY DEL DRIVE COMO POR EL LED DE "FALLA" SOBRE EL PANEL FRONTAL DE LA UNIDAD)

Procedimiento:

1. Conecte la alimentación principal.
2. Encienda la unidad (por medio del BREAKER) y asegúrese que haya encendido, comprobando que el DISPLAY del DRIVE esté activado.
3. Encienda el "SWITCH DE FALLA" (abajo) dentro de la unidad.
4. Ponga el switch "PARO" en posición NORMAL.
5. Ajuste los siguientes parámetros:
 - PO2 - 30 seg
 - PO3 - 30 seg
 - PO4 - 003
 - PO5 - 000
 - PO7 - 20 Hz
 - PO8 - 60 Hz
 - PO9 - 60 Hz
6. Siga los siguientes pasos, con miras a obtener la escala del valor analógico de la señal de realimentación (P31):
 - (1) Ajuste los siguientes parámetros:
 - P30 - 001 (Control de velocidad habilitado)

- P31 - 00.1 (Factor de escala)
 P32 - 001 % (Término de ganancia proporcional del regulador de velocidad)
 P33 - 000 % (Término de ganancia integral del regulador de velocidad)
 P34 - 000 % (Término de ganancia diferencial del regulador de velocidad)
 P35 - 00.0 Hz (Límite de deslizamiento)
 P36 - 001 (Tasa de muestreo)

Asegúrese que el parámetro de frecuencia máxima P08 está ajustado al valor deseado (frecuencia de operación del drive). Inicialmente ajuste P09 al mismo valor de P08 y ajuste P04 en 003.

- (2) Cerra el inversor (mediante el switch "ARRANCAR"). La velocidad del motor se incrementará hasta que el valor almacenado en P08/P09 sea alcanzado.
- (3) Con el inversor corriendo a la máxima frecuencia, chéquese el valor del parámetro P37 (frecuencia actual). Ajuste el valor del parámetro P31 (factor de escala) hasta que el valor de P37 corresponda al de la máxima frecuencia P08.
 ¿Cuál fue el valor alcanzado por P31?

Factor de escala = _____

Una vez que los pasos (1) a (3) han sido realizados. P04 puede ser cambiado al valor deseado. No obstante, por ahora no se hará.

NOTA

El control de velocidad sólo opera en una dirección de rotación, esto es, valores negativos de la señal de realimentación de velocidad actual no están permitidos, por lo cual, la dirección de rotación del motor será inversa (switch "DIRECCION" del panel de control, colocado del lado derecho).

7. Pare el inversor y ajuste el límite de deslizamiento (P35) en 10.0 Hz (a menos que se requiera que el deslizamiento sea limitado a un valor más bajo, o en raro caso, a un valor mayor). Ajuste la frecuencia deseada a un valor, digamos, a la mitad

del rango de operación (p.ej. aproximadamente a la mitad entre las frecuencias mínima y máxima escogidas en la operación).

¿Cuál sería esta frecuencia?

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$$

Haga funcionar nuevamente el inversor y aumente el ajuste de P32 gradualmente hasta que la velocidad del motor empiece a oscilar. Reduzca el valor de P32 hasta que una velocidad estable sea obtenida.

8. Si no es posible obtener una operación estable con P32 ajustándolo a un valor mayor de 10, es que debe de haber un ruido excesivo en la señal de realimentación. Es posible filtrar este ruido, incrementando el ajuste del parámetro tasa de muestreo (P36). Si esto también falla - que no es el caso -, entonces la señal de realimentación deberá ser blindada y, en casos extremos, suavizada usando capacitores adecuados.
9. Cheque el funcionamiento de la regulación de velocidad. Si la regulación de velocidad es satisfactoria cuando la carga en el motor cambia (volante del freno de prony), entonces no más ajustes son requeridos.

Los parámetros del término integral y diferencial (P33 y P34, respectivamente) permiten que mayores ajustes sean hechos a la malla de control para compensar mediante retardo y/o avance los términos en el motor y su sensor de velocidad asociado. Esto puede proveer una mejor regulación de velocidad en ciertos sistemas.

La reducción del valor del término de ganancia proporcional, normalmente da una operación más estable, pero con un ligero degradamiento del mantenimiento de la velocidad.

El parámetro del límite de deslizamiento (P35) puede ser usado para limitar la desviación máxima permisible entre el valor instantáneo de la frecuencia actual y la frecuencia de salida. Esto es, este parámetro permite que la diferencia entre la frecuencia actual (del tacómetro) y la frecuencia de salida del inversor sea limitada a un máximo nivel. Esto puede ser usado

para prevenir el atascamiento del motor bajo condiciones de sobrecarga.

10. El parámetro de tasa de muestreo (P36) permite la razón a la cual el valor de frecuencia actual usado por el regulador de velocidad es actualizado y que puede ser cambiado en incrementos de 30 ms. Cuando P36 es ajustado a 001, el valor es actualizado cada 30 ms; cuando es ajustado en 002 es actualizado cada 60 ms, etc.

Mayores tasas de muestreo pueden ser requeridas y ciertamente usadas cuando esté presente ruido eléctrico en la señal de realimentación analógica o cuando el valor de la señal analógica sólo responde lentamente a cambios en la frecuencia del inversor/motor.

11. Pare el inversor.

12. Asegúrese que las balatas no hagan contacto con la polea.

13. Desconecte el "SWITCH DE FALLA" (abajo) dentro de la unidad.

14. Apague la unidad (por medio del BREAKER).

15. Desconecte la alimentación principal.

OBSERVACIONES FINALES (PRACTICA 2)

De manera OPCIONAL, es posible obtener, la única práctica viable de motores de inducción, de entre las que se hacen actualmente en el laboratorio, ésta es, la obtención de las conocidas curvas par-velocidad. Esto se puede lograr, simplemente anexando una báscula al sistema, como la que se muestra en una figura anterior (CONTROL POR REALIMENTACION) y siguiendo, a grandes rasgos, el siguiente procedimiento:

- se toma la lectura de la báscula correspondiente a la carga aplicada: f en Kg-f
- se toma el brazo de balanca del freno de prony: $d = 0.50$ m
- se toma el valor de la velocidad en el indicador "VELOCIDAD DEL MOTOR" sobre el panel frontal de la unidad: v en RPM
- se obtiene: $T = f \cdot d$ en Kg-f-m vs. velocidad en RPM

Por otro lado, la manera de simular y/o dar carga por medio de este sistema, está limitada por varios factores, entre ellos:

- la inestabilidad del mecanismo (freno de prony)
- la vibración del mismo
- el apriete inexacto de sus balatas
- su desgaste excesivo
- la inexactitud debida a la mala calibración de la báscula (caso OPCIONAL)
- etc.

Todo ello repercute, obviamente, en una buena toma de resultados y en el accionar justo del sistema. Para mejorar en estos aspectos, se podría pensar en el uso de otro mecanismo para dar carga, como pudiera ser el caso de un electrodinamómetro en lugar del freno de prony. No se hizo así, en nuestro caso, por falta de presupuesto para adquirir uno adecuado, y las limitaciones en cuanto al acceso a uno de ellos y, en dado caso, en las dificultades pre valecientes para modificarlo y adecuarlo al motor existente. También, sería conveniente (en el caso OPCIONAL), el adquirir una nueva báscula que fuese realmente confiable para sensar la carga. Esto entre otras mejoras posibles.

PRACTICA 3⁺

Nombre de la práctica: Observación de las funciones de parametrización relativas al uso de la interfase serie, con vistas a realizar un control del accionamiento o drive mediante una PC (incluido), en lugar del típico control local realizado en las dos prácticas anteriores.

A. Objetivo de aprendizaje:

El alumno:

- Aprenderá a programar y controlar remotamente el convertidor de frecuencia, haciendo uso de una PC, vía principalmente el teclado y el ratón (mouse) de la misma.
- Realizará alguna práctica de las ya vistas, o mejor dicho, alguna de los casos contenidos en éstas, siempre y cuando sea factible de realizarlo remotamente.

B. Antecedentes necesarios:

- Todos los aquellos vertidos en el manual del fabricante.
- Cuestionario Previo y prácticas anteriores.

C. Equipo necesario:

- Drive
- Motor
- PC
- Interfase RS-232 \leftrightarrow 485

D. Desarrollo de actividades:

- A continuación.

NOTA: En esta práctica (caso), se soslayarán los pasos ya muy vistos de energización y desenergización del equipo, sin embargo, estos tendrán que realizarse, obviamente, antes y después de efectuar el siguiente procedimiento.

⁺ - VER ERRATA AL FINAL DE LA TESIS.

CASO 16

Como ya se mencionó, el control será vía remota, mediante una PC, para ello, antes de poder acceder a esta facilidad será necesario habilitar el drive remotamente y deshabilitarlo localmente, además de ajustar el número de dispositivo o drive a controlar y la velocidad de transmisión, esto se logrará, ajustando los siguientes parámetros localmente:

P20 - 001

P21 - 000

P22 - 006

La práctica consistirá en elegir alguno de los 16 casos ya realizados en las 2 prácticas anteriores y llevarlo a cabo vía la PC.

NOTA: Sólo será posible realizar aquellos casos en los que se efectúe un control de velocidad tipo digital, exclusivamente, por ello, están excluidos los controles de velocidad analógicos y también el control de velocidad por realimentación.

Como un ejemplo de una posible práctica por PC, mencionaremos de la Práctica 1, el Caso 1 (modificado para PC), pero antes, a continuación veremos los pasos a seguir para entrar al paquete de control y por ende, programar y controlar el drive.

1. Se enciende la PC (CPU y monitor), así como la interfase.
2. Si hay WINDOWS entonces sale uno de WINDOWS y entra a DOS.
3. DOS:
 - C:\>DIR
 - C:\>CD SIMOVIS
 - C:\>DIR
 - C:\>START.BAT
4. Configurar o cambiar (cualquiera que sea el caso) la velocidad de transmisión y la dirección del drive a controlar. En un principio se teclarán "2400 bauds" y "0", respectivamente⁺ (Al re-encender se podrán mantener los valores actuales tecleando N (No) o se podrán cambiar, tecleando Y (Yes-Sí)).
5. Entramos al paquete, una ventana aparecerá señalándolo.
6. Se tecléa la tecla de función F1 - Start (Arranque), para pasar a

la siguiente ventana.

7. Se tecldea la tecla de función F5 - Run-Stop (Arranque-Paro), para pasar a la siguiente ventana.
 8. Se entra a la pantalla de operación del drive y posicionándose con el mouse (o mediante las flechas) en la caja de entrada de referencia de frecuencia (set point frequency) se tecldea la frecuencia (velocidad) a la cual se quiere que jale el motor, vía el drive.
f = _____ Hz (a escoger por el usuario)
 9. Para arrancar el motor se puede uno posicionar en las cajas de arranque con el mouse y accionarlo, o más fácil, vía las teclas de función, en este caso F2 - ON (Encendido).
 10. Para parar el motor se puede hacer lo mismo que en el paso anterior, ya sea posicionarse en la caja(s) respectiva(s) con el mouse y accionarlo o bien utilizar las teclas de función, en este caso F3 - OFF (Paro).
 11. Si se desean checar o actualizar los parámetros existentes (actuales)⁺ del drive, se puede hacer uso de la tecla de función F10, la cual nos pasará a la ventana correspondiente.
 12. Para salir apretar la tecla F12 - Exit (2 veces) y luego F10 - DOS (1 vez).
 13. Finalmente, se apaga la PC (CPU y monitor), así como la interfase.
- (+) - Generalmente, al momento de existir comunicación entre la PC y el drive, a través de la interfase, automáticamente los valores de los parámetros existentes en el drive son transferidos a la PC, de tal forma que desde un principio ya están disponibles y no es necesario accederlos uno a uno. En algunos casos, de ser necesario, se puede hacer esto de manera manual, tecldeándolos.
- NOTA: Existen infinidad de ventanas entre las cuales se puede navegar, ya sea por medio del mouse o vía las teclas de función, dependiendo de nuestros deseos.

NOTA GENERAL (DE TODAS LAS PRACTICAS): Como sólo se cuenta con un se le equipo y los grupos son por lo general numerosos, se pudieran formar varios equipos de alumnos para realizar las prácticas. Sin embargo, esto se deja a criterio del instructor (profesor). Por otro lado, deberá chequear el instructor (profesor), que efectivamente se efectúen las prácticas, despejando dudas en caso necesario y viendo que todo esté perfectamente conectado y no haya ningún problema. A la clase siguiente recogerá los previos en turno y los reportes de las prácticas si así amerita.

INCISOS

- 1.- Tipo de motor
Disponibilidad en el mercado del motor del accionamiento (inducción o CD), que conlleva intrínsecamente confiabilidad y reparación pronta y expedita (Motor de línea o estándar).
- 2.- Eficiencia
Grado de eficiencia del sistema de accionamiento.
- 3.- Derivación
Si el drive falla, el motor puede ser operado directamente a través de la línea de entrada para operación continua.
- 4.- Protección vs. cargas con alta inercia
El inversor puede adaptar su operación para prevenir sobrecargas causadas por la aceleración de las cargas con alta inercia, encontradas en algunas aplicaciones.
- 5.- Protección vs. corrientes de falla
El control de corrientes limita las corrientes de falla, lo cual minimiza el daño sobre una falla mayor o condición de sobrecarga.
- 6.- Instalación
Grado de manejo de conexiones que son requeridas.
- 7.- Conexión drive - motor
El drive puede ser probado y operado sólo si un motor está conectado.
- 8.- Manejo de multi-motores
Más de un motor puede ser operado desde el mismo drive. También, el drive no es sensible al cambio en la combinación de los motores operados siempre y cuando la corriente de carga total no exceda la corriente nominal del drive.
- 9.- Factor de potencia
- 10.- Costo inicial
Costo inicial del sistema de accionamiento (drive).
- 11.- Tecnología
Grado de avance tecnológico del drive, que involucra intrínsecamente su disponibilidad y posicionamiento en el mercado.

- 12.- Tamaño del controlador/motor
- 13.- Electrónica
Grado de sofisticación y/o complejidad de la circuitería de control del sistema.
- 14.- Principio de operación
Grado de simplicidad del principio de operación, esto es, que sea bien conocido y fácil de entender.
- 15.- Construcción
Construcción del drive.
- 16.- Realimentación por tacómetro
El drive puede requerir realimentación por tacómetro para mantener el control o la regulación de velocidad.
- 17.- Protección vs. pérdida del tacómetro
Si la señal de realimentación del tacómetro se pierde durante la operación, el drive puede desbocarse hasta plena velocidad.
- 18.- Compatibilidad accionamiento - motor
El drive tiene que ser compatible a las características eléctricas del motor. El drive es sensible a estas características y una operación impropia puede ocurrir si el motor es reemplazado con un tipo y/o tamaño diferente.
- 19.- Conversión de potencia
Toda la potencia entregada al sistema debe ser convertida. Dispositivos de potencia de diferentes características y tamaños deben ser usados para esto.
- 20.- Servicio
El drive tiene en gran parte circuitos sofisticados que requieren muchas veces de técnicos especializados para servicio (que puede ser periódico o esporádico; preventivo o correctivo).
- 21.- Reparación en sitio
Disponibilidad de reparación en el sitio o local.
- 22.- Control remoto

El control remoto como característica inherente.

23.- Otros aditamentos necesarios

Uso de medios mecánicos (u otros) tales como, anillos deslizando, embragues (de corrientes de eddy), bandas, poleas, etc. son necesarios.

24.- Vida útil

Duración esperada del sistema, que conlleva un grado de mantenimiento y reparación necesaria.

25.- Rango de velocidad

El drive puede estar limitado o no a un rango de velocidad determinado.

SUBINCISOS

1.1.- El motor tiene anillos deslizantes y no está fácilmente disponible.

2.1.- El inversor puede alcanzar eficiencias del 90% a plena velocidad, a plena carga.

2.2.- La eficiencia del sistema decrece con la velocidad. Esto es debido a que la velocidad de salida está siendo controlada por el deslizamiento dentro del clutch (embrague).

2.3.- El drive no mantiene una alta eficiencia a bajas velocidades.

2.4.- Los drives de CD tienen buena eficiencia a través de todo el rango de velocidad.

3.1.- El embrague especial no permite que el motor opere la carga directamente. Si la unidad mecánica o el controlador necesita repararse, el sistema se cae.

3.2.- La derivación no es posible debido a la construcción del motor de CD.

4.1.- El acoplamiento y el control responden bien sin sobrecarga cuando operan con cargas con alta inercia.

4.2.- Esta condición puede causar problemas. Puede requerir sobremedida del drive o de los motores usados. Procedimientos especiales de paro y arranque pueden ser requeridos para preve

- nir la sobrecarga del motor.
- 4.3.- El drive trabaja bien en cargas con alta inercia.
 - 6.1.- Sólo tres cables de alimentación al motor son usados.
 - 9.1.- El inversor usa un rectificador de fase controlada para el control de corriente. Este método produce un bajo factor de potencia a bajas velocidades.
 - 9.2.- Un rectificador de puente de diodos es usado para rectificar la potencia de entrada. Este permite un buen factor de potencia a través de todo el rango completo de velocidad de operación del inversor.
 - 9.3.- El factor de potencia decrece con la velocidad.
 - 10.1.-El costo inicial es usualmente más pequeño que para los drives de frecuencia ajustable.
 - 10.2.-Estos sistemas están entre los métodos de más bajo costo de velocidad variable posible.
 - 10.3.-El costo inicial es moderado para las unidades de alta potencia (hp).
 - 12.1.-El tamaño de las componentes mayores usualmente causa que estos inversores sean los más grandes drives en tamaño total.
 - 12.2.-Los controladores son mucho más pequeños que otros drives. Necesitan manejar el 10% o menos de la potencia total que está siendo entregada al sistema.
 - 12.3.-No toda la potencia necesita ser controlada, lo cual resulta en un tamaño moderado y un controlador más simple.
 - 12.4.-Los controladores de CD son más pequeños que los drives de frecuencia ajustable, pero los motores son más grandes que los motores de inducción.
 - 16.1.-Un tacegenerador debe ser añadido y no es una opción estándar para los motores de inducción.
 - 20.1.-En este caso, algunas veces el uso de circuitos de alta escala de integración y circuitos microprocesadores permite el auto-diagnóstico, lo que a su vez ayuda en la localización de errores (troubleshooting). Sustitución a nivel tar

- jeta puede ser hecha por servicio (o personal) no especializada.
- 20.2.--El esfuerzo de la operación a velocidad variable requiere periódicos chequeos.
- 20.3.--La construcción simple del motor y del control concede, en sí mismo, a un mantenimiento sin la necesidad de un alto nivel de entrenamiento.
- 21.1.--Los clutches de corrientes de eddy no son dispositivos comunes. Reparación en sitio o aun reparación local, puede no estar disponible.
- 22.1.--El control remoto no es una característica inherente. Dado que el drive usa medios mecánicos para variar la velocidad, las señales de control eléctricas deben ser adaptadas a los controles mecánicos existentes.
- 23.1.--Clutches (embragues) de corrientes de eddy.
- 23.2.--Bandas y poleas o poleas acanaladas de paso variable.
- 23.3.--Anillos deslizantes.
- 24.1.--Se requiere continuo reemplazo de las bandas y debido a que un funcionamiento a velocidad constante por periodos de tiempo extensos puede causar ranuras en las poleas acanaladas, esto degrada el control de velocidad y decrece la vida útil de la(s) banda(s) y en general del sistema.
- 25.1.--El drive está usualmente limitado a un rango de velocidad de dos a uno.

PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMÁTICO MEDIANTE PLC

Como ya se explicó en su momento, cuando se mencionó el equipo con PLC's con el que se cuenta en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la facultad (Equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente directa), se explicó a su vez, que este equipo puede ser utilizado además de, para controlar la velocidad de un motor de c.d., para simular un proceso (en base a los switches y a los focos) y para realizar controles no muy complicados, desalambrando y reconectando las entradas y las salidas ya conectadas y reprogramando el (los) PLC(s) disponible(s), al nuevo equipo a controlar.

Así las cosas, se decidió llevar a cabo este último, con la finalidad de no dejar a un lado y demostrar con hechos este aspecto tan importante.

Debido a lo poco práctico y engorroso de tener que desalambrar - y alambrear de nuevo posteriormente - el (los) PLC(s) disponible(s) en el laboratorio (Shark X y XL), decidimos mejor implementar nuestro proyecto (garage automático) en otro PLC, dado que al fin y al cabo el proceso de implementación es prácticamente el mismo, con muy pequeñas variantes. Así pues, el proyecto se implementó, finalmente, en un PLC MELSEC-F de la serie FXO, manufacturado por la compañía japonesa Mitsubishi, gracias a la valiosa colaboración del Ing. Martín Villavicencio.

Habiendo aclarado lo anterior, pasemos a mencionar de manera somera como se hizo el diseño del proyecto, en forma de hardware, para, posteriormente, detallar el aspecto software o programa en sí del mismo. En ambos casos se verán primero los conceptos más importantes de hardware y software vertidos en el manual del fabricante de este PLC, incluyendo algunas de las instrucciones más relevantes que ahí aparecen.

ANÁLISIS DE HARDWARE Y DE SOFTWARE UTILIZADO EN EL PROYECTO, EN BASE A LOS MANUALES RESPECTIVOS.

(Ver BIBLIOGRAFÍA GENERAL en el Apéndice)

Manual de Hardware

Este manual contiene los textos, ilustraciones y aclaraciones pertinentes para una instalación y un manejo correcto de las unidades de mando de memoria programable de la serie FXO.

Contenido específico del manual:

- 1 Introducción
 - 2 Ocupación de bornes
 - 3 Instrucciones de instalación
 - 4 Alimentación de tensión
 - 5 Entradas
 - 6 Salidas
 - 7 Diagnóstico de fallas y errores
 - 8 Software
- 1 - INTRODUCCION

Este manual comprende la descripción de la instalación para las siguientes unidades de mando de memoria programable (PC):

- Unidades básicas (base) CA-FXO

La familia FXO de las unidades de mando de memoria programable (PC) se destaca por infinidad de características dependiendo del modelo utilizado, en este caso las características serían las siguientes:

Modelo = FXO-20

Tipo de salida = Relé-MR-ES

Número de salidas = 8

Entradas 24 VCD

Número de entradas = 12

Tipo de entrada = Sumidero/Fuente (Sink/Source)

Fuente de poder = 100-240 VCA/+10%, -15%/50-60 Hz

Dimensiones = 130 mm x 80 mm x 75 mm

Peso = 0.40 kg

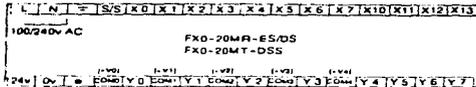
La unidad FXO no puede ser ampliada o expandida. Esto es, no se le pueden conectar módulos de expansión. Es completamente integral.

2 - OCUPACION DE BORNES

Unidades base de la serie FXO

FXO-20MR-ES: Salida de relé, tensión CA

Figura 2.2 FX0-20MR/T-ES/DS [DSS]



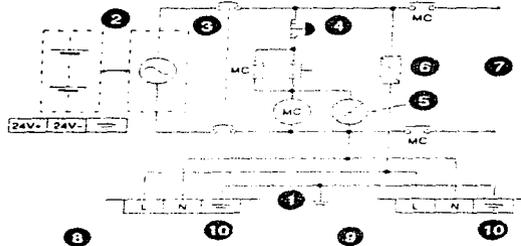
4 - ALIMENTACION DE TENSION

Al conectar la tensión alterna (CA), el conductor L se conecta al borne L y el conductor N al borne N (sólo a esos bornes).

Fuente de poder

Esquema de conexiones para tensiones; Nota: La FX0 no puede ser ampliada.

Esquema de conexiones para tension. Nota: La FX0 no puede ser ampliada



Referencias:

- 1) Clase de puesta a tierra 3
- 2) Alimentación de tensión: 100-240 VCA, 50/60 Hz, 24 VCC
- 3) Dispositivo de aislamiento de circuito

- 4) Interruptor de parada de emergencia
- 5) Indicador para CONEXION de tensión
- 6) Dispositivo de protección con límite de 3A
- 7) Alimentación de tensión para carga CA
- 8) Unidad base FXD - FXON (MPU)
- 9) Unidad de ampliación
- 10) Conexión de puesta a tierra para optimizar la insensibilidad frente al ruido

5 - ENTRADAS

5.1 Ejemplos de cableado

Figura: 5.1

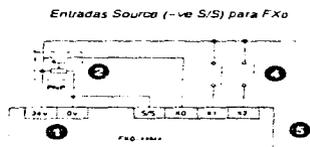
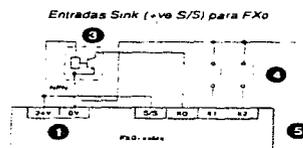


Figura: 5.2



Referencias:

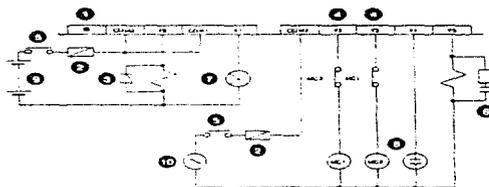
- 1) Tensión de servicio con 24 VCC
- 2) Sensor PNP
- 3) Sensor NPN
- 4) Interruptor para unidades de entrada
- 5) Unidad base PC
- 6) Módulo de ampliación

6 - SALIDAS

6.1 Ejemplo de una conexión de salida de relé

Figura 6.1

Ejemplo de una conexión de salida para FX0-14MR-ES



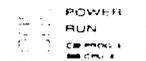
Referencias:

- 1) Borneos no usados: no conectarlos
- 2) Fusible: 5 - 10 A para respectivamente 4 bornes de salida para protección del circuito de conmutación de salida PC
- 3) Diodo de absorción de sobretensión: aumenta la vida útil de los contactos de relé con cargas de cc
- 4) Bloqueo mutuo: p.ej. giro hacia adelante y hacia atrás. Adicionalmente junto al bloqueo en el programa PC se tiene que prever un bloqueo mecánico, para optimizar la seguridad
- 5) Emplear un interruptor externo para la conexión de la parada de emergencia. No realizarlo solamente a través del software
- 6) Diodo de absorción de sobretensión: reduce el ruido en el caso de cargas inductivas CA
- 7) Bombilla
- 8) Lámpara fluorescente
- 9) Tensión CC
- 10) Tensión CA

7 - DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ERRORES

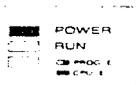
Procedimiento de arranque de un programa

- 1) Se tecléa el programa (como se especifica más adelante), ya habiendo hecho las conexiones necesarias (apartados anteriores)
- 2)



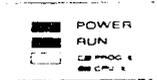
Se verifica la alimentación de tensión, puesta a tierra y cables de entrada/salida, y se verifica si se han apretado bien todos los bornes roscados

- 3)



Se conecta la tensión. Si se ha encendido el diodo POWER-LED, se transfiere el programa (normal o el de prueba) y se arranca. Se conectan las salidas a través del programa (CONEXION/DESCONE - XION), y se comprueba el funcionamiento de los diodos LED de salida

4)



Se conmuta la PC al modo RUN. Si se ha encendido el LED-RUN, se verifica si el programa (normal o de prueba) trabaja correctamente. Una vez terminadas las pruebas de verificación, se conmuta la PC al modo de STOP (PARADA) y se desconecta la tensión

NOTA: Durante este procedimiento, se tiene que observar, que no se toque ninguna de las piezas que se encuentran bajo tensión.

Lista de instrucciones

Vista de conjunto de las instrucciones de aplicación

Clasificación numérica

TABLA 7.9. -
Clasificación numérica

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00 PROGRAM FLOW	CU			HEE	EL	DI	FEND	WDT	FOR	NEXT
10 TRANSFER COMP	OMP	ZCP	MOV			EMOV			BCD	BN
20 LOGICS	ADD	SUB	MUL	DIV	INC	DEC	WAND	WOR	WXOR	
30 JUNCTION SHIFT					SPR	SPTL				
40 JUNCTION OPERATION	ZHST	DECO	ENCO							
50 JUNCTION SPEED	REF			HSCS	HSCR			PLSY	PWM	
60 JUNCTION ASYN	IST						AL	RAMP		
70 TWO DEVICES									FROM	TO

8 - SOFTWARE (Manual de Software)

En el análisis del hardware (visto anteriormente), y muy específicamente en la tabla 7.9 también desplegada, se puede ver que existen diferentes tipos de instrucciones, dependiendo de su función, así pues, tenemos instrucciones de flujo de programa, de transferencia y comparación, lógicas, de rotación y de corrimiento, de operación de datos, de alta velocidad, handy (de programación manual), y de dispositivos de E/S FX. A estas instrucciones se les conoce como instrucciones de aplicación.

Existen otras instrucciones más básicas que son muy parecidas o que puede afirmarse que son las mismas en todos los PLC, con la diferencia en nomenclatura o nombre de la misma. A éstas se les conoce con el nombre de instrucciones básicas de secuencia.

Al haber ya analizado este tipo de instrucciones anteriormente, se verá muy fácilmente su semejanza.

Finalmente, es posible afirmar que todas estas instrucciones usadas normalmente por un controlador programable son funciones en sí mismas. Sin embargo, existen otras más que "funcionan" en base a una instrucción • elemento, más un número de elemento en combinación.

A continuación mencionaremos los tres tipos ya mencionados en una tabla hecha especialmente, en la que se resumen las instrucciones más relevantes, evitando excedernos o repetir situaciones ya mencionadas.

INSTRUCCIONES	DESTINACION	DIAGRAMA	FUNCIONES GENERALES
ELEMENTOS	X	RELE DE ENTRADA	RELE DE ENTRADA DE CUALQUIER TIPO UN NO. (EN UN CL) DEPENDIENDO DE SI UNA UNIDAD HABIDA O EXTENDIDA (P. 21.20)
	Y	RELE DE SALIDA	RELE DE SALIDA DE CUALQUIER TIPO UN NO. (EN UN CL) DEPENDIENDO DE SI UN UNIDAD HABIDA O EXTENDIDA (P. 21.20)
	M	RELE AUXILIAR	RELE AUXILIAR AL CUAL LE SE ASIGNA UN NO. (EN UN CL) PARA SU USO GENERAL (P. 21.20)
	T	TIMER (MINUTARIO)	TIMER AL CUAL LE SE ASIGNA UN NO. (EN UN CL), PARA SU USO GENERAL (P. 21.20) FUNCIONA COMO UN CONTADOR DE CUALQUIER TIPO UN NO. (EN UN CL), PARA SU USO GENERAL (P. 21.20) PARA SU USO GENERAL (P. 21.20)
	C	COUNTER (CONTADOR)	COUNTER DE CUALQUIER TIPO UN NO. (EN UN CL), PARA SU USO GENERAL (P. 21.20) PARA SU USO GENERAL (P. 21.20)
	D	REGISTRO DE DATOS	REGISTRO DE DATOS DE CUALQUIER TIPO UN NO. (EN UN CL), PARA SU USO GENERAL (P. 21.20) PARA SU USO GENERAL (P. 21.20)
INSTRUCCIONES BASICAS DE SECUENCIA	LD	CARGA	CONTACTO NORMAL- CARGA UNIDAD MENTE ABIERTO
	LDI	CARGA ENERGIA	CONTACTO DE OR- CONTACTO NORMAL- CARGA UNIDAD MENTE CERRADO
	AND	AND	RECORRE LINEAS CONTACTO NORMAL- MENTE ABIERTO
	ANI	AND INVERSA	RECORRE LINEAS CONTACTO NORMAL- MENTE CERRADO
	OR	OR	SUMA LOGICA (CONTACTO EN PARALELO) MENTE ABIERTO
	ORI	OR INVERSA	SUMA LOGICA (CONTACTO EN PARALELO) CONTACTO NORMAL MENTE CERRADO
	ORB	ORBUQUE	CONEXION EN PARALELO DE UN SIGNO DE CIRCUITO
	ANB	ANBUQUE	CONEXION EN SERIE DE UN SIGNO DE CIRCUITO
	OUT	OUT	INSTRUCCION DE MODO DE BUSINA
	PLS	PULSO POSITIVO	IMPULSO CUALQUIER TIPO GENERA UN PULSO POSITIVO (P. 21)
	PLF	PULSO NEGATIVO	IMPULSO CUALQUIER TIPO GENERA UN PULSO NEGATIVO (P. 21)
	MC	CONTACTO MANTENIDO	CONTACTO COMUN EN SERIE
	MCR	MANTENIDO CONTACTO MANTENIDO	RESET DE UN CONTACTO COMUN EN SERIE
	END	EVD	FIN DE PROGRAMA
INSTRUCCIONES DE APLICACION	CMP	COMPARA	COMPARA UN REGISTRO DE DATOS CON OTRAS UNIDADES EN UN CLASIFICADOR DE DATOS (P. 21.20)
	MOV	MUEVE	TRANSFERE DATOS DE UN REGISTRO A OTRO Y AJUSTA REGISTRO PARA QUE LOS CONTACTOS INCREMENTA UN REGISTRO DE DATOS EN UN CLASIFICADOR DE DATOS (P. 21.20)
	INC	INCREMENTA	INCREMENTA UN REGISTRO DE DATOS EN UN CLASIFICADOR DE DATOS (P. 21.20)
	DEC	DECREMENTA	DECREMENTA UN REGISTRO DE DATOS EN UN CLASIFICADOR DE DATOS (P. 21.20)

NOTA: ... PUNTO SUSPENSIVO (...) DENOTA UN CONTACTO (NO O SI), O CONFIGURACIONES EN SERIE Y PARALELO DE ESTOS, Y/O UNIDADES, (H) DA A LUAR.

NOTA FINAL: La mayoría de los temas aquí tratados, se han visto lo más brevemente posible. Algunos, tales como: instalación, y ciertas especificaciones sobre ocupación de bornes, alimentación de tensión, entradas, salidas, diagnóstico de fallas y errores, y del software mismo, se han soslayado, debido a que en una aplicación como la nuestra (Garage Automático), no ha sido necesario adentrarse más, como sería inevitable en el caso de que se tratase de una aplicación más compleja. Así pues, de los temas aquí tratados, tanto de hardware como de software, sólo se ha plasmado lo más importante, y convenientemente, lo más básico. Para mayores detalles se puede hacer referencia a los manuales ya señalados.

DISEÑO DEL HARDWARE DEL PROYECTO "GARAGE AUTOMÁTICO"

En pocas palabras, el objetivo del presente proyecto fue diseñar mediante un autómata programable el sistema electrónico de control automático del garage que se muestra en las siguientes figuras:

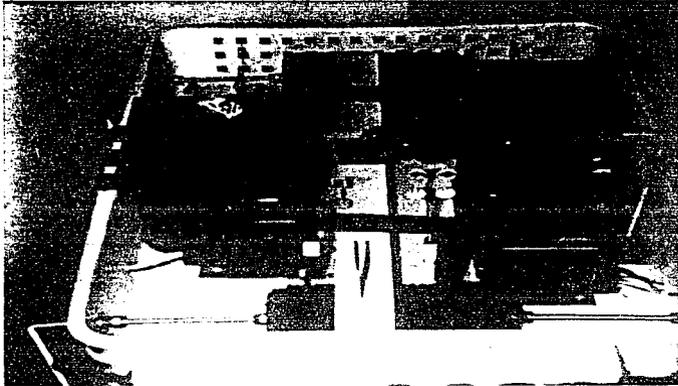


FIG. A

Como puede observarse fácilmente en la figura B, el *garage* dispone de un acceso de entrada y otro de salida controlados por sendas barras que se accionan mediante los motores eléctricos de c.d. M1 y M2 respectivamente.

A ambos lados de las dos barras se instalan sensores de presencia de vehículos (fotoceldas con reflejante): S1 y S2 en la entrada y S4 y S5 en la salida. Dichos sensores permanecen activados mientras hay un vehículo ante ellos y por su situación física nunca se activan si simultáneamente S1 y S2 ni S4 y S5. Se utiliza un sensor S3 para decrementar el registro de datos que almacena la capacidad del lote, así como el "conteo" actualizado del mismo, en base a la entrada y salida de vehículos. Aquí el registro de datos hace las veces de conta-dor.

La capacidad del *garage* es variable y se puede reprogramar, sin embargo, en este caso será de 5 vehículos. El sistema electrónico controla, a grandes rasgos, la ejecución de las siguientes acciones:

a) Apertura y cierre automático de las barras.

La barra de entrada debe abrirse si en el interior del *garage* hay menos de 5 vehículos y se produce la activación del sensor S1. Dicha barra debe cerrarse si se produce la activación del sensor S2.

La barra de salida debe abrirse si se produce la activación de S4 y debe cerrarse al producirse la activación de S5.

b) Señalización a la entrada, mediante una luz verde LV, de que existen plazas libres en el *garage*.

c) Señalización a la entrada, mediante una luz roja LR, de que el garage está completo y no pueden entrar más coches.

El sistema de control posee además los siguientes elementos de entrada:

- Un pulsador M para ponerlo en marcha.

A partir del instante de dar tensión al automático no se permite la entrada o salida de vehículos hasta que no se accione este pulsador.

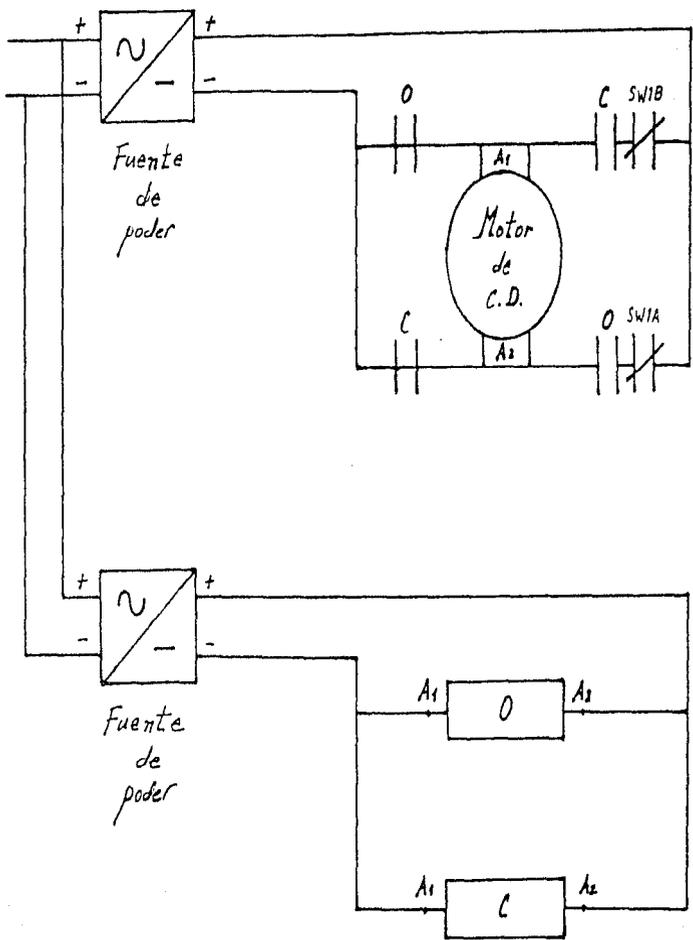
- Un pulsador de paro P para dejarlo fuera de servicio.

Si se acciona este pulsador queda impedida la entrada y salida de vehículos hasta que se accione el pulsador M. En el caso de que P y M se accionen simultáneamente, el primero predomina sobre el segundo.

- Un pulsador R para poner a cero el registro de vehículos en el instante de dar tensión al autómata (o en cualquier momento deseado).

A su vez, existen cuatro switches, dos en la barra de entrada (SW1A y SW1B) y dos en la barra de salida (SW2A y SW2B), colocados en los extremos de cada barra, de manera que la barra al incidir sobre cada switch los acciona. Dicho accionamiento se efectúa en cada barra en forma intercalada, esto es, uno después de otro, al abrirse o cerrarse la barra, y por su situación física, no se pueden accionar al mismo tiempo los dos switches de una barra. Ambas barras y sus switches son independientes entre sí.

La inversión de rotación de los motores se lleva a cabo en base a un arreglo de relés externo, el cual se muestra en la siguiente figura (C).



SW1A y SW1B son los límites de corte del motor.

Los contactos O y C corresponden a los relés O y C.

O - Open (Abierto); C - Close (Cerrado).

FIG. C

Además, se tienen cuatro salidas externas del PLC que son las que controlan a los motores, de manera que abran o cierran la barra respectiva, éstas son:

- AM1 - Apertura M1
- CM1 - Cierre M1
- AM2 - Apertura M2
- CM2 - Cierre M2

Existen otros componentes menores del sistema (maqueta), entre las cuales podemos mencionar: una banda con dos rodillos y un motor (para simular el desplazamiento de los coches), coches miniatura y utilería (para simular un garage), coche de prueba, barra conectora o ladrón, eliminador de baterías, culcas, cables y demás.

Finalmente, se procede al alambrado del sistema (maqueta) al PLC (MELSEC-F Serie FXO de Mitsubishi), como está especificado en la siguiente figura (D) y siguiendo las indicaciones dadas en el manual y en este trabajo anteriormente.

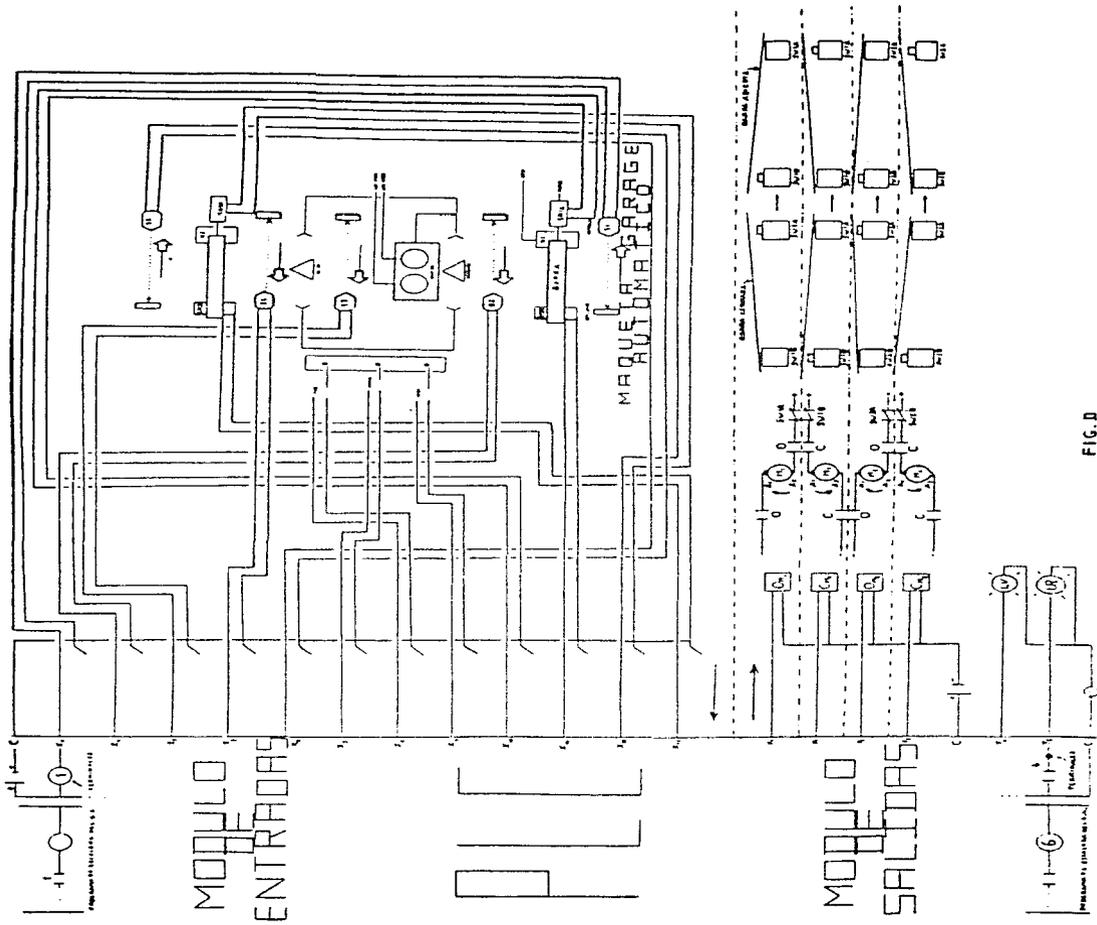


FIG. D

DISEÑO DEL SOFTWARE DEL PROYECTO "GARAGE AUTOMATICO"

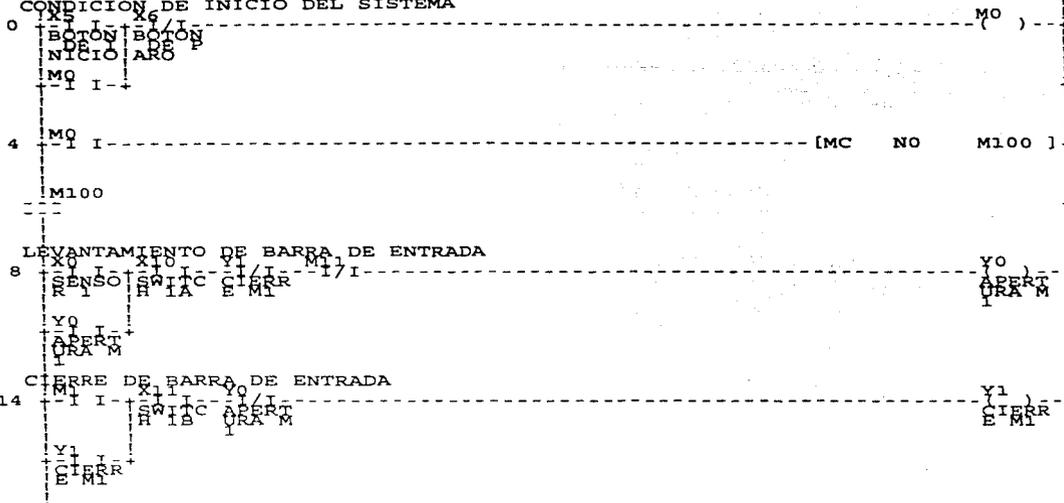
Para llevar a cabo el diseño del software (o programa del sistema), primeramente se asignaron variables de entrada X a las distintas variables externas de entrada y variables de salida Y a las distintas variables externas de salida. Dicha asignación se puede ver en la siguiente tabla.

<u>VARIABLE</u> <u>EXTERNA</u>	<u>DENOMINACION</u>
S1 - SENSOR 1	X0
S2 - SENSOR 2	X1
S3 - SENSOR 3	X2
S4 - SENSOR 4	X3
S5 - SENSOR 5	X4
M - BOTON DE INICIO	X5
P - BOTON DE PARO	X6
R - RESET DEL SIST.	X7
SW1A - SWITCH 1A	X10
SW1B - SWITCH 1B	X11
SW2A - SWITCH 2A	X12
SW2B - SWITCH 2B	X13
AM1 - APERTURA M1	Y0
CM1 - CIERRE M1	Y1
AM2 - APERTURA M2	Y2
CM2 - CIERRE M2	Y3
LV - LUZ VERDE	Y4
LR - LUZ ROJA	Y5

A continuación se muestra el programa completo del proyecto, que incluye:

- la asignación de las entradas y salidas externas y su nombre respectivo (Page: 1A)
- el programa en esquema de contactos (diagrama de escalera) (Page: 1B, 2B, 3B, 4B)
- el programa en lista de instrucciones (Page: 1C, 2C)
- las referencias cruzadas del mismo (Page: 1D, 2D)
- el análisis paso a paso del mismo

CONDICION DE INICIO DEL SISTEMA

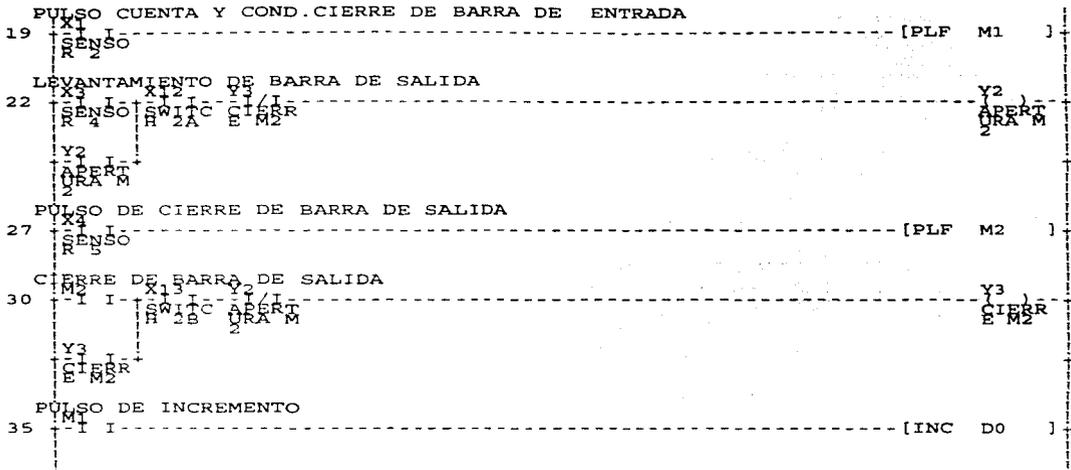


PROYECTO DE UN GARAJE AUTOMATICO MEDIANTE PLC

TPS LABORATORIO DE INGENIERIA ABERTURA COMERCIAL

16-DIC-1995

Proj: GARAGE
 Syst: FXO
 Type: Ladder
 Page: 1



PROYECTO DE UN MEDIANTE AUTOMATICO PLC	TESIS LABORATORIO DE INGENIERIA APERTURA COMERCIAL	16-DIC-1995	ProJ: GARAGE Syst: FX0 Type: Ladder Page: 28
--	--	-------------	---

```

PULSO DE DECREMENTO
39 X7 I I-----[PLS M3 ]
   RSEN SO
42 M3 I I-----[DEC D0 ]

COMPARACION DATO CON NUM. DE ENTRADAS DE VEHICULOS
46 M0 I I-----[CMP K D0 M10 ]

RESET DEL DATO
54 X7 I I-----[MOV K D0 ]
   RSEN
   SIST.
LOZ VERDE DE SIGA
60 M10 I I-----Y4
   I I-----) LUZ )
   I I-----) ERDE V

LOZ ROJA DE ALTO
62 M11 I I-----Y5
   I I-----) LUZ )
   I I-----) OJA R

64 -----[MCR NO ]

```

PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMATICO MEDIANTE PLC	TESIS EN LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA ANTE LA ABERTURA COMERCIAL	16-DIC-1995	Proj: GARAGE Syst: FX0 Type: Ladder Page: 3
---	---	-------------	--

PROYECTO DE UN
GARASE AUTOMATICO
MEDIANTE PLC

TEPISIS
INGENIERIA OPERATORIO DE
ELECTRICA ANTE LA
ABERTURA COMERCIAL

16-DIC-1995

Proj: GARAGE
Systm: FXO
Type: Ladder
Page: 4

Step	Instr	I/O	Name	Comment	Remark
0	LD	MO	CONDICION DE INICIO DEL SISTEMA		
1	LD	MO	BOTON DE INICIO		
2	LD	MO	BOTON DE PARO		
3	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE ENTRADA		
4	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE ENTRADA		
5	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
6	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
7	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
8	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
9	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
10	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
11	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
12	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
13	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
14	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
15	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
16	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
17	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
18	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
19	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
20	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
21	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
22	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
23	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
24	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
25	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
26	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
27	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
28	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
29	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
30	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
31	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
32	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
33	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
34	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
35	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
36	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
37	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
38	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
39	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
40	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
41	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
42	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
43	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
44	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
45	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
46	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
47	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
48	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
49	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
50	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
51	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
52	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
53	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
54	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
55	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
56	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
57	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
58	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
59	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
60	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
61	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
62	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
63	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
64	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
65	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
66	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
67	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
68	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
69	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
70	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
71	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
72	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
73	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
74	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
75	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
76	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
77	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
78	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
79	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
80	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
81	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
82	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
83	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
84	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
85	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
86	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
87	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
88	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
89	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
90	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
91	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
92	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
93	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
94	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
95	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
96	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
97	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
98	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		
99	LD	MO	LEVANTAMIENTO DE BARRA DE SALIDA		
100	LD	MO	CIERRE DE BARRA DE SALIDA		

PROYECTO DE UN	LABORATORIO DE	16-DIC-1995	Proj: GARAGE
MEDIANTE AUTOMATICO	PLC	PLC	System: FXO
			Type: INSTR
			Page: 1

PULSO DE DECREMENTO					
39	X7 SENSO	I	-----	[PLS	M3]
42	M3	I	-----	[DEC	DO]
COMPARACION DATO CON NUM. DE ENTRADAS DE VEHICULOS					
46	IMQ	I	-----	[CMP	K S DO M10]
RESET DEL DATO					
54	X7 RESET SIST.	I	-----	[MOV	K DO]
LUZ VERDE DE SIGA					
60	M10	I	-----		Y4 LUZ) ERDE V
LUZ ROJA DE ALTO					
62	M11	I	-----		Y5 LUZ) ROJA R
64			-----	[MCR	NO]

PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMATICO MEDIANTE PLC	TESIS: EN LABORATORIO DE INGENIERIA ANTE LA APERTURA COMERCIAL	16-DIC-1995	Proj: GARAGE Syst: FX0 Type: Ladder Page: 3
---	--	-------------	--

PROYECTO DE UN
GARAGE AUTOMATICO
MEDIANTE PLC

TESIS LABORATORIO DE
INGENIERIA
EN SISTEMAS DE
APERTURA COMERCIAL

15-DIC-1995

Pro: GARAGE
Syst: FXO
Type: Ladder
Page: 4

Step Instr I/O Name Comment Remark

```

CONDICION DE INICIO DEL SISTEMA
BOTON DE INICIO
BOTON DE PARO

LEVAN MIENTO BARRA DE ENTRADA
PULSO DE INCREMENTO M1
CIERRE DE BARRA DE ENTRADA
PULSO CUENTA DE INCREMENTO M1
LEVAN MIENTO BARRA DE SALIDA
PULSO DE INCREMENTO M2
CIERRE DE BARRA DE SALIDA
PULSO DE INCREMENTO M2
PULSO DE DECREMENTO M3
COMPARACION DATO CON NUM. DE ENTRADAS DE VEHICULOS
LD MO
CMP

```

PROYECTO DE UN	LABORATORIO DE	16-DIC-1995	Proj:	GARAGE
MEDIA PLANTICO	APERTURA ANTE LA		Sys:	FXO
	COMERCIAL		Type:	Instr
			Page:	10

Step	Instr	I/O	Name	Comment	Remark
			K5		
			M0		
54	LD	RESET	DEL DATO		
55	MOV	X7	RESET DEL SIST.		
			K0		
60	LD	LUZ VERDE	DE SIGA		
61	OUT	Q4	LUZ VERDE		
62	LD	LUZ ROJA	DE ALTO		
63	OUT	Q1	LUZ ROJA		
64	END	NO			

PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMATICO MEDIANTE PLC	TESIS LABORATORIO DE INGENIERIA EN APERTURA COMERCIAL	16-DIC-1995	Proj: GARAGE Syst: FX0 Type: INSTR Page: 2
---	---	-------------	---

Input

X0	8	SENSOR 1
X1	19	SENSOR 2
X2	39	SENSOR 3
X3	22	SENSOR 4
X4	27	SENSOR 5
X5	0	BOTON DE INICIO
X6	2	BOTON DE PARO
X7	54	RESET DEL SIST.
X10	10	SWITCH 1A
X11	16	SWITCH 1B
X12	24	SWITCH 2A
X13	32	SWITCH 2B

Output

Y0	9	APERTURA M1	13	- () -	17	-I/I-
Y1	11	CIERRE M1	15	-I I-	18	- () -
Y2	23	APERTURA M2	26	- () -	33	-I/I-
Y3	25	CIERRE M2	31	-I I-	34	- () -
Y4	61	LUZ VERDE				
Y5	63	LUZ ROJA				

Mem/Latch

M0	1	-I I-	3	- () -	4	-I I-	46	-I I-
M1	14	-I I-	20	[PLF]	35	-I I-		
M2	28	[PLF]	30	-I I-				
M3	40	[PLS]	42	-I I-				

PROYECTO DE UN
GARAGE AUTOMATICO
MEDIANTE PLC

TESIS:
LABORATORIO DE
INGENIERIA
EN ELECTRONICA ANTE LA
APERTURA COMERCIAL

16-DIC-1995

Proj: GARAGE
Syst: FX0
Type: Crossrf
Page: 10

		Mem/Latch					
M10							
M11	47	[CMP]	60	- I I-			
M12	12	-I/I-	47	[CMP]	62	- I I-	
M100	47	[CMP]					
	5	[MC]					
		DataReg					
D0	36	[INC]	43	[DEC]	47	[CMP]	55 [MOV]

PROYECTO DE UN GARAGE AUTOMATICO MEDIANTE PLC	TESIS: OPERATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA ANTE LA APERTURA COMERCIAL	16-DIC-1995	Proj: GARAGE Syst: FX0 Type: Crossref Page: 2
---	--	-------------	--

ANÁLISIS DEL SISTEMA

El sistema funciona así (ver figura B y diagrama de escalera (página: 1B, 2B, 3B y 4B):

Al apretarse el botón de inicio (NA-Normalmente Abierto) (entrada X5) y al estar el botón de paro (NC-Normalmente Cerrado) (entrada X6) sin accionarse, se activa la salida interna MO y con ello se inicializa el sistema. A la vez, que se activa MO, se cierra el contacto MO (NA) lo que provoca un enclavamiento, dado que aunque X5 se abra (se suelte el botón), el sistema seguirá funcionando, salvo que se accione X6 y se abra de nuevo la línea (rung).

Al activarse la salida interna MO, se cierra también el contacto MO (NA) del siguiente rung y se activa a la vez, mediante esta condición de ejecución, la función MC (control maestro o contacto común en serie), que a su vez cierra el contacto M100 (NA) para dar entrada al sistema. Esta función sirve, entre otras cosas, para evitar tener que estar programando en cada rung, el contacto de inicio del sistema (en este caso MO), el cual tendría que estar activado siempre, en cada rung, para habilitar las salidas respectivas (ya que de no ser así, y faltar el contacto en algún rung, podría activarse alguna salida, estando parado el sistema). De esta forma, se programa sólo una vez MO, y para que se pueda activar alguna de las otras salidas, simplemente deberá estar el contacto M100 cerrado (esta instrucción nos permite, en pocas palabras, el control de la barra colectora o bus bar).

Para que se produzca el levantamiento de la barra de entrada, el contacto sensor 1 (NA) (entrada X0) debe cerrarse, esto significa que debe existir un vehículo a la entrada, interrumpiendo el haz de la fotocelda 1, además, el switch 1A (NA) (entrada X10) deberá cerrarse o estar cerrado. Si ambos estados ocurren, esto es, si existe un vehículo a la espera y además el SW1A está cerrado, lo cual ocurre al estar la barra presionándolo, deberán cumplirse otros dos estados: que el contacto cierre M1 (cierre de la barra mediante el motor M1) (NC) (salida Y1) esté cerrado (sin accionar) y que el contacto M11 (NC) esté también cerrado, sin accionar (luz roja apaga-

da). Al cumplirse todos estos estados, la salida apertura M1 (apertura de la barra mediante el motor M1) (salida YO) se activará y abrirá la barra para que pase el vehículo en espera. Aquí también existe un enclavamiento, dado que a la vez que se activa la salida YO, se cierra el contacto apertura M1 (apertura de la barra mediante el motor M1) (NA) (salida YO) y aunque el contacto sensor 1 se abra (al no estar ningún vehículo en la entrada), la barra continuará el proceso de apertura (seguirá energizándose el motor M1, con dirección de rotación inversa o anti-horaria) hasta que el switch 1A se abra, lo que ocurrirá casi de inmediato, al dejar de presionar la barra dicho switch, o si se procede antes al cierre de la barra, abriendo Y1 en este rung, o si M11 se activa (abre), prendiendo la luz roja de alto; en cualquier caso, esto provocará, obviamente, que la salida YO se desenergice y por ende, el contacto YO se abra de nuevo.

Para el cierre de la barra de entrada se deben cumplir los siguientes estados: el contacto M1 (NA) deberá estar cerrado, para ello es necesario que el contacto sensor 2 (NA) (entrada X1), en el siguiente rung, esté cerrado, esto significa que deberá existir un vehículo bloqueando el haz de luz de la fotocelda 2, esto es, el vehículo que antes estaba a la entrada ya ha cruzado y ha llegado a la fotocelda 2 bloqueándola. Al mismo tiempo de esto, se generará un pulso en M1 que servirá a la vez de condición de cierre de barra de entrada, de conteo (para contar los vehículos que entran), esto es, al cerrarse el contacto M1, se incrementará un registro de datos DO, que llevará, obviamente, la cuenta de los vehículos en el garage.

Así pues, suponiendo que M1 esté activado (cerrado), deberán también cumplirse los siguientes dos estados, para que se cierre la barra de entrada, el switch 1B (NA) (entrada X11) deberá cerrarse o estar cerrado, al igual que YO. Esto significa que, al haberse abierto la barra de entrada, ésta deja de presionar el switch 1A y al mismo tiempo que se abre éste, desenergizando el motor M1 y por ende, deshabilitando el levantamiento de la barra de entrada, activará ahora el switch 1B (cerrándolo) ya que, la barra presionará ahora el switch 1B. Al estar M1 y X11 cerrados, nada más faltará que YO esté ce-

rrado para que se active la salida cierre M1 (cierre de la barra mediante el motor M1) (salida Y1), lo que de hecho ocurrirá, ya que al estar la barra de entrada levantada, estática, mientras que en el rung de levantamiento de barra de entrada, el contacto YO está ahora abierto (sin accionar), por el contrario, en el rung de cierre de barra de entrada, éste se encuentra cerrado (también sin accionar), esto significa que al estar uno abierto y el otro cerrado, estará accionada una sola salida, ya sea de uno o de otro, mas no de las dos, simultáneamente; en este caso estará accionada Y1 y no YO. Así pues, al deshabilitarse la salida YO y habilitarse el contacto YO (en el rung de cierre de barra de entrada) se habrán cumplido todos los estados o condiciones para que se active la salida cierre M1, por consiguiente, se cerrará la barra de entrada. Aquí también existe un enclavamiento, esto es, al activarse la salida Y1, se cerrará a su vez, el contacto Y1, y aunque M1 esté abierto, si X11 y YO están cerrados, la barra de entrada continuará el proceso de cerrado (continuando energizado el motor M1, pero ahora con dirección de rotación normal u horaria). En el caso de M1, esto significa que aunque ya no exista un pulso (el vehículo ya pasó), la barra de entrada seguirá cerrando, hasta que el switch LB se desconecte y abra (lo que ocurrirá casi inmediatamente al dejar de presionar éste la barra) o YO se active, procediendo a otra apertura de la barra.

El levantamiento y cerrado de la barra de salida es muy similar al de la barra de entrada. El levantamiento de la barra de salida se producirá cuando se reúnan las siguientes condiciones: el contacto sensor 4 (NA) (entrada X3) deberá cerrarse, esto significará que existe un vehículo bloqueando la fotocelda 4, procediendo a salir del garage. Así pues, si este contacto X3 cierra y además el switch 2A (NA) (entrada X12) se cierra o está cerrado (lo que realmente ocurre al estar la barra presionando dicho switch), deberá cumplirse además que el contacto cierre M2 (cierre de la barra mediante el motor M2) (NC) (salida Y3) esté sin accionar (cerrado). Al cumplirse estas tres condiciones, el PLC procederá a activar la salida apertura M2 (apertura de la barra mediante el motor M2) (salida Y2), y con

ello el levantamiento de la barra de salida. Aquí también existe un enclavamiento, dado que a la vez que se activa la salida Y2, se cierra el contacto apertura M2 (apertura de la barra mediante el motor M2) (NA) (salida Y2) y aunque el sensor 4 se abra, al no detectar vehículo alguno, el proceso de apertura de la barra en sí, continuará, y con ello el energizado del motor M2, con dirección de rotación inversa o anti-horaria, hasta que el switch 2A se abra de nuevo (lo que ocurrirá casi de inmediato al dejar de presionar éste la barra), o si Y3 se abre, procediéndose nuevamente al cierre de la barra de salida, en cualquier caso, esto provocará, que la salida Y2 se desenergice y por consiguiente, el contacto Y2 se abra.

Para que la barra de salida cierre, tendrán que reunirse las siguientes condiciones: el contacto M2 (NA) deberá cerrarse, para ello deberá cerrarse a su vez el contacto sensor 5 (NA) (entrada X4), en el rung anterior. Esto significa, que el vehículo saliendo del garage ha alcanzado o bloqueado la fotocelda 5 en la salida, pasando la barra. Al ocurrir esto, a la vez, se generará un pulso en M2 que producirá el cierre requerido de M2, pero también deberán de cumplirse otras dos condiciones: el switch 2B (NA) (entrada X13) deberá cerrarse o estar cerrado, lo que ocurrirá al estar la barra levantada presionándolo. Además, el contacto Y2 deberá estar sin accionar (cerrado). Aquí ocurre lo mismo que en el caso de la barra de entrada, al haberse abierto la barra de salida, ésta deja de presionar el switch 2A y al mismo tiempo que se abra éste, desenergizando el motor M2 y por ende, deshabilitando el levantamiento de la barra de salida, activará ahora el switch 2B (cerrándolo) ya que, la barra presionará ahora el switch 2B. Al estar M2 y X13 cerrados, nada más faltará que Y2 esté cerrado para que se active la salida cierre M2 (cierre de la barra mediante el motor M2) (salida Y3), lo que de hecho ocurrirá, ya que al estar la barra de salida levantada, estática, mientras en el rung de levantamiento de barra de salida, el contacto Y2 está ahora abierto (sin accionar), por el contrario, en el rung de cierre de barra de salida, éste se encuentra cerrado (también sin accionar), esto significa que al estar uno abier

to y el otro cerrado, estará accionada una sola salida, ya sea de uno o de otro, mas no las dos, simultáneamente; en este caso estará accionada Y3 y no Y2. Así pues, al deshabilitarse la salida Y2 y habilitarse el contacto Y2 (en el rung de cierre de barra de salida) se habrán cumplido los tres estados requeridos y el PLC procederá a activar la salida cierre M2, cerrando a su vez, la barra de salida. Aquí también existe un enclavamiento, dado que, al activarse la salida Y3, se cierra al momento el contacto Y3, y no importando si está abierto el contacto M2 (y ya no hay pulso generado por el vehículo a la salida, esto es, porque ya se fue), si X13 y Y2 se mantienen cerrados, el PLC continuará el proceso de cerrado de la barra de salida (continuando energizando el motor M2, pero ahora con dirección de rotación normal u horaria), hasta que el switch 2B se abra (lo que ocurrirá casi inmediatamente al dejar de presionar la barra de salida) o si Y2 se acciona (se abre), procediéndose nuevamente a la apertura de la barra de salida.

Ahora bien, ya se vió la apertura y el cierre de ambas barras, así como, el arranque del sistema y el registro de conteo e incremento de vehículos en el garage, ahora es conveniente ver que ocurre con el sensor 3 ó con el contacto sensor 3 (NA) (entrada X2), físicamente ubicado antes del sensor o fotocelda 4, dentro del garage. Este sensor nos servirá para realizar el decremento del registro de datos, y con ello el sensado de los vehículos que salen de éste. Cuando un vehículo tiende a salir, este sensor se activa, al estar bloqueada su fotocelda misma (fotocelda 3) (cerrándose X2). Esto generará un pulso de decremento en la salida interna M3, lo que a su vez activará o cerrará el contacto M3 (condición de ejecución de decremento), decrementando con este pulso el registro de datos DO. Este registro, como ya se explicó, almacenará la capacidad o cupo del lote, así como las vacantes del mismo, en base a las entradas y/o salidas de vehículos. Para ello, comparará el valor almacenado en DO (cupo máximo) (en este caso 5 vehículos) con el número de lugares vacantes en el mismo. Si todavía no

se llega al cupo máximo (de 5), activará la salida interna M10 y cerrará a su vez, el contacto M10, activando la salida externa luz verde (salida Y4), prendiendo la luz verde en el semáforo a la entrada del garage, indicando con ello que hay vacantes y se puede proceder a dejar pasar más vehículos (levantar la barra de entrada). Por otro lado, si por el contrario, ya se ha llegado al cupo máximo y el garage está lleno (DO está en 5), el contacto M11 se cerrará y la salida externa luz roja (salida Y5) se activará, prendiéndose la luz roja en el semáforo de la entrada del garage, indicando con ello que ya no hay cupo en éste y no se puede dejar pasar más vehículos (manteniéndose cerrada la barra de entrada del garage).

Además de esto, existe la posibilidad de resetear el registro de datos, por medio del botón reset del sistema (NA) (entrada X7), así pues, cuando se quiera resetear el sistema, no importando el número de vehículos en el garage, se presionará este botón y DO será puesto en cero y se comenzará de nuevo a contar entradas y salidas de vehículos desde ahí.

Existe también la posibilidad de parar el sistema (debido a alguna emergencia o si así se quiere), como ya se vió en un principio, en base al botón de paro, o existe también la posibilidad de inicializar el mismo, apretando o accionando el botón de inicio.

Finalmente, se tiene una instrucción MCR para el reseteo del contacto común en serie M100 del inicio del programa, lo que nos provocaría el receso del sistema al quedar fuera o abierto este contacto. Esto es, el control regresa al inicio, al contacto MO, y no podrá activarse ninguna salida hasta que M100 vuelva a cerrarse (accionarse), sin embargo, como MO sigue accionado, al no haberse presionado el botón de paro, esto no cambia, y el contacto M100 se mantendrá prácticamente cerrado, y con ello el sistema seguirá funcionando hasta que no se pare, mediante el botón respectivo.

END es la instrucción de fin de programa.

NOTA FINAL: Aquí se ha hecho la explicación más simple de cómo actúa el sistema, sin embargo, pueden existir dentro del mismo, infinidad de variaciones, dependiendo de lo exhausto

del movimiento de vehículos, entradas, salidas, vacan-
tes, etc. y es por ello, difícil mencionar cómo actuaría
el sistema en todos esos casos, no obstante, es neces-
ario no dejar de soslayar que, como quiera que sea, lo im-
portante del mismo es que éste no fallaría y que actua-
ría de manera muy confiable, respondiendo a cualquier si-
tuación, aun si se tratase de un garage real.

CONCLUSIONES

En esta tesis hemos llegado a muy diversas conclusiones, pro - ducto, no tanto ha haber hallado muchas conclusiones coincidentes o encontradas sobre cada tema tratado en sí, sino, principalmen - te, debido a la amplia variedad de los temas vistos.

A pesar de enfocarse mayoritariamente al estudio de ciertas al ternativas viables (y modernas) para el mejoramiento de nuestro Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y de su estadio presente y fu turo, esto mismo se puede hacer extensivo, con justificadas y obvias diferencias, a la educación ingenieril, universitaria y ge neral.

Así las cosas, hemos llegado a percibir, la imperiosa necesi - dad de cambio y modernización, principalmente, en los programas de estudio de las materias del área eléctrica y de los laborato - rios que se ofrecen en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, así como de sus instalaciones, y eventualmente, de su planta do - cente y trabajadora.

En cada capítulo se han llegado a conclusiones propias y basta con leerlos para conocerlas. En términos generales hemos visto, por ejemplo, las pruebas de laboratorio que tradicionalmente han confirmado los aspectos teóricos vistos en clase y las que han si do de paso efímero. Se ha palpado que, pocos cambios han existido durante poco más de dos décadas, siendo necesario modificar los programas, intercaldando pruebas nuevas que merezcan ser investiga das, así como el adquirir o en su defecto, crear, el equipo para llevarlas a cabo.

Hemos presentado los requerimientos para dar de alta a nuestro laboratorio como Laboratorio Acreditado de Pruebas de Máquinas Eléctricas para dar servicio, principalmente, a la pequeña indus - tria, allegándose la facultad recursos de esta forma. Así mismo, se han desglosado las posibles pruebas a realizar en éste, así co mo su metodología, en base a normas.

En el mundo actual de neoliberalismo, privatizaciones, apertu - ra, franca competencia y productividad, hemos visto la necesidad

de crear instituciones educativas más acordes con esta tendencia, fuertes, vigorosas y emprendedoras, y, ciertamente, cada vez más alejadas de vanas y anacrónicas políticas educativas, siendo ya justo e imperioso forjar profesionistas más comprometidos con esta realidad y más conscientes de ella, y por consiguiente, más preparados.

Para ello se han tomado como referencia, instituciones modelo en todos los sentidos, mundialmente conocidas y reconocidas (como el MIT), forjadoras de profesionistas e investigadores sumamente competentes, modernas, vanguardistas y llenas de investigación de punta, plagadas de investigadores y catedráticos de primer nivel - incluso Premios Nóbel - y en general, instituciones que descansan sobre una base estructural, humana, académica e investigadora de excelencia, que conforman año con año un ejemplo de eficiencia y aprovechamiento generacional.

Es ahí a donde debe tender esta universidad, a crear profesionistas y tecnología de primer orden, dejando atrás vicios y prácticas rutinarias que en general poco aportan al desarrollo del país y sí en cambio lo hunden más en el marasmo del subdesarrollo. Es necesario dejar de ser un país importador, tanto en el plano tecnológico como en el ideológico, dejar de ser un país "maquilero" y sometido e impulsarse hacia un nuevo estadio de desarrollo y productividad, en base, principalmente, a su quehacer en las aulas, sagaz, comprometido y brillante.

Es imperioso que cambie el funcionamiento de los laboratorios de enseñanza actual, haciéndolos tender hacia lo óptimo, tanto en su parte estructural como humana, y evidentemente en la académica, inyectando una metodología de enseñanza más dinámica y moderna, que lleve a los alumnos por caminos insospechadamente creativos.

Una manera de aportar un cambio tangible y más evolucionado a la enseñanza de los laboratorios, de eléctrica, en nuestro caso, nos ha llevado a desglosar e implementar una serie de prácticas para un par de equipos o sistemas existentes en el laboratorio,

tales como: un sistema para controlar la velocidad de un motor de C.A. y otro para controlar la velocidad de un motor de C.D., ambos en base a drives, y este último, haciendo uso también de controladores electrónicos muy en boga como son los PLC's. Así mismo, y con el mismo fin, se ha llevado a cabo un proyecto de automatización usando estos últimos, en un proyecto-prototipo de un garage automático, a pequeña escala, utilizando motores y fotoceldas, entre otros, como actuadores y sensores, respectivamente.

En el Apéndice confluyen, si no todas, sí algunas de las conclusiones más importantes de este trabajo. Así, en él, están desplegados diversos anexos:

Primeramente, se hace mención de un inventario del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica para que se conozca con que equipo se ha contado y darnos cuenta de lo sucinto de éste y lo anticuado que ciertamente es, siendo evidente el tener que ampliarlo, mejorarlo y/o cambiarlo.

A la vez, existe una bibliografía de catálogos y folletos de equipos más actuales, que nos permiten hacer las mismas pruebas que ya se efectúan en el laboratorio y muchas más, así como las compañías que se dedican a su venta, tanto en México como en el extranjero. En este punto existen dos opciones muy claras con sus consabidos pros y contras: el adquirirlos (más caro, menos complicado) o el crearlos (menos caro, más complicado).

En el aspecto software, existen también esas dos opciones que estriban en crear o adquirir paquetes de cómputo que simulen el funcionamiento eléctrico de las máquinas o sistemas y que eviten el tener que poseerlos físicamente.

Para el último de los casos, se tienen en el mercado una serie de diskettes educacionales o software didáctico preinstalado, de muy buena calidad, algunas de cuyas referencias aparecen en el Apéndice.

En las universidades de todo el mundo existen dos corrientes de enseñanza de la ingeniería que están muy bien definidas, una de ellas es la que se basa en la formación de ingenieros "prácti-

cos", como la nuestra, y otra que enfoca sus esfuerzos en desarrollar ingenieros "científicos" por así decirlo, que está un cuanto más dedicada a la investigación. Existen muchas ventajas y desventajas - si así se quiere ver -, entre ambos sistemas, pero los egresados de este último cuentan con más recursos - y no hablamos de recursos monetarios - para abrirse paso, ya sea en la industria como en las universidades mismas.

Por una razón obvia, la mayoría de los capítulos desarrollados en esta tesis (salvo 4 y 5), al igual que el Apéndice, están enfocados desde el punto de vista que nos es propio, el de la ingeniería práctica - ¿de qué otra forma podría ser, si todos, profesores y alumnos, estamos inmersos en este sistema? -.

Es necesario señalar que para avanzar por el verdadero camino del progreso y la competitividad será necesario a su vez, tarde que temprano, pasar hacia el siguiente estadio de desarrollo, el de la ingeniería ligada a la investigación, dejando a otras instancias iguales o menores, como pudieran ser las escuelas técnicas, como el Politécnico o el CONALEP, mucho de lo que se hace actualmente en nuestra facultad y en nuestros laboratorios.

Así pues, resumiendo y clarificando más lo anterior, se ha mencionado la necesidad de crear una enseñanza de la ingeniería y de nuestros laboratorios más moderna y vigorosa, existiendo dos maneras de hacerlo, una que se basa en el despeje de una ingeniería enfocada a la investigación y otra que se basa en el mejoramiento paulatino bajo una ingeniería "tecnificada".

En el par de encuestas en el Apéndice se vislumbran cambios importantes y necesarios en este último aspecto, así como su permeabilidad ahora.

Existen múltiples artículos que engloban ambas tendencias y que pueden ser útiles en un intento de modernización y renovación, así pues se han desglosado en una bibliografía de artículos y fichas temáticas, por si se desea consultarlos.

Tres de ellos, consideramos, eran los más adecuados y por ello se transcribieron en su totalidad.

Finalmente, antes de la bibliografía general, se mencionan, producto de una ardua, pero importantísima labor, las respuestas correctas a las prácticas creadas para los sistemas de velocidad ya mencionados, y que tenemos en el laboratorio, para, si así se juzga conveniente, anexarlos a los programas de estudio de los diferentes laboratorios que ahí se imparten.

Concluyendo: "Nada cambiará si no somos capaces primero de visualizar, intuir, entender y emprender un cambio necesario, existen alternativas viables siempre, tanto en forma como en actitud, de nosotros depende seguirlas".

A P P E N D I C E

INVENTARIO DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA

SECCION I LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO

SECCION II LABORATORIO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA II

SECCION III LABORATORIO DE PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS

SECCION IV LABORATORIO DE ALTA TENSION (NO SE IMPARTE)

**SECCION A: REGULADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C. D.
MEDIANTE LA VARIACION DEL VOLTAJE DE ARMADURA,
HACIENDO USO DE PLC'S**

**SECCION B: REGULADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C. A. POR
VARIACION DE FRECUENCIA**

**OTROS : EQUIPOS DE MEDICION, INSTRUMENTOS Y CONTROL;
EQUIPO DE SEGURIDAD Y SOPORTE; ETC.**

SECCION II:

Modelo	Descripción	Cantidad	Modelo	Descripción	Cantidad
8110	Consola móvil	1	8446	Módulo del wattímetro y medidor de var trifásico: 300-0-300 W, 300-0-300 var, 240 V, 1.5 A, 3φ, 60 Hz	2
8211	Módulo motor/generador de CD: Motor de 1/4 hp, 1800 r/min, 120 V cd Generador de 120 W, 1800 r/min, 120 V cd	1	8451	Módulo del medidor de ángulo de fase: 0 a 180° de retraso o adelanto; entradas aisladas, impedancia 10k Ω 100 V a 250 V, 1φ, 50 a 70 Hz	1
8221*	Módulo del motor de inducción jaula de ardilla: 1/4 hp, 1670 r/min, 120/208 V, 3φ	1	8821	Módulo del suministro de potencia: entrada 120/208 V, 1.5 A, 3φ (4 alambres más tierra) salida 120/208 V, 1.5 A, 3φ (fija) 120 V, 1.5 A, 1φ 120 V cd, 2 A solida 0-120/208 V, 5 A, 3φ (variable) 0-120 V cd, 8 A voltímetro 0-250 V ca/V cd	1
8231*	Módulo del motor de inducción de rotor devanado: 1/4 hp, 1500 r/min, 120/208 V, 3φ	1	8909	Medidor del ángulo del par de torsión mecánico: Indicador del desplazamiento de los polos del motor síncrono 0 a + 120 grados eléctricos, cero ajustable	1
8241	Módulo motor/generador síncrono: Motor de 1/4 hp, 1800 r/min, 120/208 V, 3φ Generador de 120 VA, 1800 r/min, 120/208 V, 3φ	1	8915	Volante de inercia: Inercia = 0.625 lb·s-pie ² (0.026 kg·m ²)	1
8311	Módulo de resistencia: Capacidad de carga 0 a 252 W, en pasos de 12 W, Tres secciones separadas, 5% de exactitud 1φ/3φcd	1	8922	Luz estroboscópica: Frecuencia de disparo (f) Int: 60 Hz Ext: 120 Hz máx Voltaje de disparo 10-250 V rcm Rapidez máxima del destello 60 Hz Duración del destello 20μs Z _i de entrada del disparador ext. 1.5 Ω El destello se presenta cuando el voltaje de disparo que se eleva pasa por cero Necesidades de potencia 1/4 A, 120 V, 60 Hz, 1φ	1
8321	Módulo de inductancia: Capacidad de carga 0 a 252, en pasos de 12 var tres secciones separadas, 5% de exactitud, 1φ/3φ, 60 Hz	1	8942	Banda	1
8329	Módulo de la línea de transmisión trifásica: Impedancia 0, 60, 120, 180 Ω 0.33 A, 3φ, 60 Hz	2	9128	Conductores 40 conductores flexibles aislados con enchufe tipo banana Operación continua, 15 A	1
8331	Módulo de capacitancia: Capacidad de carga 0 a 252 var, en pasos de 12 var, tres secciones separadas, 5% de exactitud, 1φ/3φ, 60 Hz	1			
8346	Módulo del transformador trifásico: 40 VA, 208/208 V, 0.2 A; 3 unidades de 60 Hz, 1φ	1			
8349	Módulo del autotransformador regulador trifásico: 120 VA, 208 V, 60 Hz Elevador de oposición +15%, 0, -15% Desplazamiento de fase +15°, 0, -15°	1			
8412	Módulo de medición de CD: 0-500 mA cd, 2% de exactitud 0-2.5/5 A cd, 2% de exactitud 0-20/200 V cd, 2% de exactitud	1			
8425	Módulo de medición de CA: 0-0.5/2.5/8 A ca, 2% de exactitud (2) 0-0.5/2.5/8/25 A ca, 2% de exactitud	1			
8426	Módulo de medición de CA: 0-100/250 V ca, 2% de exactitud (3)	1			

* Equipo opcional (entre otros)

SECCION III: **TABLEROS DE PRUEBAS CON RELEVADORES PARA PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS**

SECCION IV:

1. APARATO PARA PRUEBAS MECANICAS EN AISLADORES Y CABLES
2. HORNO
40 °c - 220 °c
3. TABLERO DE CONTROL CON:
VOLTMETROS DE 0 - 150V (3)
AMPERMETROS DE 0 - 5A (3)
WATTMETROS DE 0 - 1600W (3)
4. TRANSFORMADOR IEM TRIFASICO
15 KVA, 6KV/480/240 V, 60 Hz
5. TRANSFORMADOR G. E. TRIFASICO
50 KVA 6000-220 Y/127 440 Y/254, 50 Hz
6. EQUIPO DE PRUEBAS DE ALTA CORRIENTE
50/60 Hz
7. TRANSFORMADOR IEM MONOFASICO
55 KVA, 2.4KV/240/120 V, 60 Hz
8. APARATO PARA DETERMINAR LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES
450 VA, 115 V/15 KV, 30 mA, 50/60 Hz
9. CAMARA AMBIENTAL
Poste Simulado
Medidor de Porciento de Humedad Relativa
Aisladores Tipo Afiler (4)
Calentador de Aire
10. FUENTE DE ALTA TENSION REGULADA
5KVA, 60 Hz
Tensión Primaria 110/220 V
Tensión Secundaria 30/60 KV
11. ELEVADOR DE TENSION BALTEAU
1.2 KVA, 110 V/35 KV, 50/60 Hz
12. ELEVADOR DE TENSION BALTEAU
3 KVA, 50/60 Hz
Tensión Primaria 110 V
Tensión Secundaria 35 KV
13. TRANSFORMADOR RECTIFICADOR

100 KV, 30 mA c. d.

14. HORNO REFRIGERADOR, con TERMOMETRO exterior de varilla

- 80 °c	-----	175 °c
- 120 °c	-----	350 °c

15. TRANSFORMADOR DELTA MEX.

15 KVA, 60 Hz
Tensión Primaria 440/420 V
Tensión Secundaria 220/127 V

16. MUEBLE PARA USAR CON ELEVADOR (2)

0 - 40 KV

17. SISTEMAS DE CONTROLES AUTOMATICOS CIME

VOLTS 0 - 600 V c. a.
AMPERES 0 - 1000 A c. a.

18. GENERADOR DE ALTO VOLTAJE DE CC

0 - 10 KV 0 - 3 mA

19. TRANSFORMADOR MUESTRA

20. GENERADOR DE IMPULSOS. 50 KV

5 PASOS DE 10 KV c/u

21. GENERADOR ELEVADOR DE TENSION C. A. WESTINGHOUSE

25 KVA, 120/240/480 V a 50/100 KV, 60 Hz

22. MOTOR GENERADOR

23. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL BALTEAU

2000 a 120 V

24. VOLTMETRO DE ESFERAS FIJO (UNA ESFERA A TIERRA)

Esferas de 20 cm de diámetro

25. TRANSFORMADORES MONOFASICOS G. E. (3)

500 KVA, 120/6000 V

SECCION A:DATOS DE PLACA MOTOR RELIANCE[®] (REECO) (MOTOR DE C.D.)

MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA

CAMPO DE IMANES PERMANENTES

POWER MATCHED /RPM

IDENTIFICATION No. - T56H1034-R

TIPO - TPR; CSA. - PF56HCZ

H.P. - 1.5; RPM - 1725

ARM. VOLTS - 180

ARM. AMPS. - 7.2

FACTOR DE FORMA - 1.30

CLASE DE AISL. - F

MAX. TEMP. AMB. - 40 °C

TIEMPO DE TRABAJO - CONT

MAX. AMPS. PICO PERMISIBLES - 50.0

SERIE - 2859-XP

O.P. 707007-5

RELIANCE ELECTRIC & ENG CO DE MEXICO SA DE CV

E54825

602454-18A

HECHO EN MEXICO

SECCION B:

DATOS DE PLACA MOTOR SIEMENS (MOTOR DE C.A.)

STANDARD TEPC INDUCTION MOTOR

Type - RGZ

HP - 1; PH - 3

Volts - 220-230/440-460

Amps - 3.2/1.6

RPM - 1720

Hz - 60

Frame - 143T

Sh end brg - 25BCO2JEE3

Opp end brg - 17BCO2JEE3

NEMA nom Eff - 77.0%

Part No 1LA3144-4YK60

Rating - Cont

Ins Class - F

Serv Factor - 1.15

Amb Temp - 40 °C

Temp Rise - Class B

NEMA Design - B

KVA Code - J

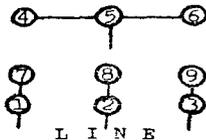
Weight - 39 lbs

Serial No - F93T011-150

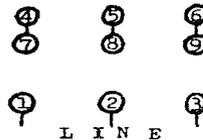
LR39020

Made in Mexico by SIEMENS

LOW-VOLTAGE CONNECTION



HIGH-VOLTAGE CONNECTION



BIBLIOGRAFIA (CATALOGOS Y FOLLETOS)

CATALOGOS Y FOLLETOS UTILIZADOS PARA LA ELABORACION DE LAS TABLAS DE PRUEBAS DEL CAPITULO 2, CONTENIENDO EN GENERAL, COMPANIAS FABRICANTES, AREA DE ESTUDIO, NUMERO DE MODELO Y EQUIPO CON EL QUE SE PUEDEN HACER DICHAS PRUEBAS.

- 1) DE LORENZO
 - LABORATORIO DE ELECTRONICA INDUSTRIAL
 - DL2207 PANEL PARA EL ESTUDIO DEL CONTROL DE UN MOTOR PASO-PASO
 - LABORATORIO MICROLAB
 - MOTORES ASINCRONOS TRIPASICOS
 - MOTORES MONOFASICOS
 - MAQUINAS SINCRONAS TRIPASICAS
 - MAQUINAS A CORRIENTE CONTINUA
- 2) ECOMOTVAR
 - ECOMOTOVAR
 - BANCO DE PRUEBAS DE MOTOR-VARIADOR 1.2 kW
- 3) EDIBON
 - BANCOS DE MAQUINAS ELECTRICAS
 - TR SCAN DRIVE. BANCO VERSATIL DE MAQUINAS ELECTRICAS
- 4) ELETTRONICA VENETA
 - ELECTROTECNIA
 - MEDICIONES Y MAQUINAS ELECTRICAS
 - SISTEMA MODULAR PARA MEDICIONES Y MAQUINAS ELECTRICAS "COMPACT"
 - MEDICIONES EN LAS MAQUINAS ELECTRICAS
 - SISTEMA MODULAR PARA MEDICIONES Y MAQUINAS ELECTRICAS "POWER"
 - MEDICIONES EN LAS MAQUINAS ELECTRICAS
 - SISTEMA MODULAR PARA MEDICIONES EN MAQUINAS ELECTRICAS "SECURITY"
 - MEDICIONES EN LAS MAQUINAS ELECTRICAS
 - SOLUCION POLIVALENTE DE ELECTROTECNIA
 - SOLUCION POLIVALENTE DE ELECTROTECNIA

5) FEEDBACK

- POTENCIA Y MAQUINAS
 - EMT 180 RANGO DE LABORATORIOS DE MAQUINAS ELECTRICAS
 - EMT 180 INSTRUCTOR DE MAQUINAS ELECTRICAS
 - EMT 180A KIT SUPLEMENTARIO

6) LAB-VOLT

- SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TECNICO
 - MODELO 8001. SISTEMA ELECTROMECHANICO DE 0.2 kW
 - APLICACIONES ESPECIALES. SERIE 0.2 kW
 - MODELO 8013. SISTEMA ELECTROMECHANICO DE 2 kW
 - EXPERIMENTOS AVANZADOS. SERIE 2 kW

7) LEYBOLD DIDACTIC

- EMS/TPS 10 MAQUINAS ELECTRICAS
 - CIRCUITOS DE CONTROL DE MAQUINAS ELECTRICAS
- EMS 10.2 MAQUINAS DE CD
- EMS 10.3 MAQUINAS DE CA
- EMS 10.4 MAQUINAS TRIFASICAS
- EMS 10.5 MAQUINAS ESPECIALES

8) LUCAS-NÜLLE

- MAQUINAS ELECTRICAS
- TECNICAS DE CONTROL
- TECNICAS DE CIRCUITOS CONMUTADORES
 - EEM2 MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA
 - EEM3 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA
 - EEM4 MOTORES TRIFASICOS ASINCRONICOS CON ROTOR DE JAULA DE ARDILLA
 - EEM5 MAQUINAS TRIFASICAS ASINCRONICAS Y MAQUINAS SINCRO NICAS
 - EEM6 MAQUINAS TRIFASICAS ESPECIALES
 - EEM8 MOTOR LINEAL

9) TQ - TEQUIPMENT LIMITED

- LOSAID II AUXILIAR DE ENTRENAMIENTO A BAJA VELOCIDAD PARA SISTEMAS ELECTRICOS Y MAGNETICOS

NOTA: - EXISTEN CATALOGOS Y FOLLETOS DE COMPAÑIAS COMO: AEG, DIDACTA ITALIA, DISTESA, HAMPDEN, MENTOR SCIENCES, NIDA, RELIANCE Y SIEMENS, QUE TIENEN SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TECNICO EN EL AREA ELECTRICA, PERO QUE NO FUERON UTILIZADOS PARA EL CAPITULO, DEBIDO A QUE NO MENCIONAN LAS PRUEBAS QUE SE PUEDEN REALIZAR CON ELLOS, SIN EMBARGO, SON EMPRESAS MUY IMPORTANTES CON UN GRAN POTENCIAL, Y ES DESEABLE CONTACTARLAS, SI ASI ES REQUERIDO.

- EXISTEN TAMBIEN CATALOGOS Y FOLLETOS DE COMPAÑIAS COMO DEGEM SYSTEMS, QUE AL PARECER NO TIENEN SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO ELECTRICO EN EL AREA ELECTRICA, Y POR TAL MOTIVO, NO PUE POSIBLE INCLUIR NADA DE ELLAS, PERO SE PODRIA CHECAR Y SOLICITAR MAS INFORMACION, SI ASI SE JUZGA CONVENIENTE.

COMPAÑIAS QUE SE DEDICAN A LA VENTA DE SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO
TECNICO PARA EL AREA DE INGENIERIA EN MEXICO

- AEG MEXICANA, S.A. DE C.V.

OFICINAS: REFORMA No. 35 - 2^a PISO COL. TABACALERA 06030
MEXICO, D.F.

CONMUTADOR 5469276 CON 10 LINEAS. FAX: 5660840,
5660820

PLANTA: PROL. CALLE 16 No. 53 COL. SAN PEDRO DE LOS PINOS
01180 MEXICO, D.F.

CONMUTADOR 2728070 CON 6 LINEAS, FAX: 2728853

ATENCION: ING. CARLOS LOPEZ TIENADO

GERENTE DE APLICACIONES DE AUTOMATIZACION

Y/O

ING. ARTURO GARCIA GUERRERO

COMPAÑIAS MANUFACTURERAS REPRESENTADAS (C.M.R.): AEG AKTIENGE-

SELLSCHAFT

(REFERENCIA

1, EN SEC- -

CION SIGUIEN

TE).

- APARATOS, S.A. DE C.V. (APSA)

CHOCOLIN 10 COL. PARQUE SAN JUAN 09830 MEXICO, D.F.

TEL. 6120085, FAX 6123761

ATENCION: LIC. CESAR SOLIS NAVARRO

REPRESENTANTE

C.M.R.: HAMPDEN ENGINEERING CORP. (REF. 2);

APSA;

ATECH;

BAKER;

CORNIG;

J.T.;

DYNA;

EDUSYSTEMS;

FISONS;

HARPEM;

HEWLETT PACKARD;

OHAUS;

PYREX;

WHAIMAN;

YSI MAIGE;

ETC.

753

- EDIMEX

MORAS 339 COL. DEL VALLE 03200 MEXICO, D.F.

TEL/FAX 5596649, INTERNATIONAL CODE 52-5

ATENCION: LIC. JULIO GARCIA DE LAS MESTAS

COORDINADOR GENERAL

Y/O

LIC. ENRIQUE DE LA TORRE LOZANO

REPRESENTANTE

C.M.R.: EDIBON (REF. 3).

- EDUTELSA, S.A. DE C.V.

INSURGENTES SUR 377-205 MEXICO, D.F. C.P. 06170

TELEX 1761012 PROTME, FAX (5) 5743241, 5749210, TELS. 5749220,
5749230

ATENCION: ING. ANDRES MONCADA LOPEZ

C.M.R.: LAB-VOLT SYSTEMS (REF. 4);

LUCAS-NÜLLE LEHR-UND MEßGERATE GMBH (REF. 5);

PHYWE SYSTEME GMBH;

ETC.

- EUSKADI, S.A. DE C.V.

AV. CUAUHEMOC No. 10 C.P. 06720 MEXICO, D.F.

2085802, 5880374, 2085862, 5250948, 2085748, 5110948, 2072942,

FAX: 2075414 Y 5889286

ATENCION: LIC. LEONCIO VARGAS

Y/O

SR. JESUS DIAZ CANEJA

REPRESENTANTE

C.M.R. : EUSKADI;

GENERAL ROBOTICS;

MAGNUM TECHNOLOGY;

OTC;

SUN EQUIPMENT;

TH TECHNICAL EDUCATIONAL SYSTEMS;

ETC.

- HARRY MAZAL, S.A.

LAGUNA DE TAMIAHUA 204 COL. ANAHUAC 11320 MEXICO, D.F.

TEL. (905) 3961133, TELEX: 017-77-426, 017-72-667, FAX 3968649

ATENCION: ALFONSO GONZALEZ R.

GERENTE COMERCIAL

Y/O

SR. EUGENIO CARSTENS

REPRESENTANTE

C.M.R.: FEEDBACK INSTRUMENTS LTD. (REF. 15);

TQ INTERNATIONAL (REF. 16);

AMATROL, INC.;

ARMFIELD, LTD.;

BYTRONIC;

CUSSONS TECHNOLOGY;

DENFORD MACHINE TOOLS LIMITED;

LIGHT MACHINES, CORP.;

L.J. TECHNICAL SYSTEM (REF. 17);

MEGATECH CORPORATION;

P.A. WILTON LTD.;

PIXEL;

PLINT & PARTNERS, LTD.;

TECHNICAL RESOURCE GROUP;

T.S. HARRISON & SONS LIMITED;

ETC.

757

- INDUSTRIAS DIDACTICAS NACIONALES, S.A. (IDN)

SONORA No. 85 MEXICO, D.F. TELS. 5538511, 5538886, FAX 2865009

ATENCION: JORGE FLORES ESQUIVEL

DEPARTAMENTO DE VENTAS

Y/O

SR. ULISES DE LA PUENTE VELASCO

REPRESENTANTE

C.M.R.: DIDACTA ITALIA, S.R.L. (REF. 18);

LEYBOLD DIDACTIC GMBH (REF. 19);

ETC.

- INNOVACION TECNOLOGICA EN EDUCACION, S.A. DE C.V. (ITE)
DANTE 36 110. PISO COL. NUEVA ANZURES C.P. 11590, MEXICO, D.F.
TEL. (525) 5258659, FAX 2088515

ATENCION: MAITE HERAS C.

GERENTE RELACIONES PUBLICAS

Y/O

YEHOSHUA LIVNAT

REPRESENTANTE

C.M.R.: ITE. INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN EDUCATION. DEGEM SYS -
TEMS LTD. (REF. 20);
EDUSOFT;
ETC.

- INGENIERIA PEDAGOGICA Y DIDACTICA, S.A. DE C.V. (GRUPO DIDATEC)
JUAN TINOCO No. 38 ESQ. PERIFERICO SUR COL. MERCED GOMEZ 03930
MEXICO, D.F.

CONMUTADOR: 6805122, 6804594, 5938475, FAX: 6512393

ATENCION: ING. ALEJANDRO ZAVALA R. P.

COMERCIALIZACION

Y/O

ING. MAURICIO SERRANO MONTOYA

COMERCIALIZACION

Y/O

ING. EDUARDO NARRO CARDENAS

REPRESENTANTE

C.M.R.: DE LORENZO (REF. 8);

DISTESA DESARROLLO INDUSTRIAL DE SISTEMAS Y TECNOLOGIA

EDUCATIVA (REF. 9);

ECODIME (REF. 10);

MENTOR SCIENCES (REF. 11);

MERLIN GERIN GARDY, S.A. (REF. 12);

NIDA CORP. (REF. 13);

ATEMI;

DCR;

DELTALAB;

FRANCE DIDAC;

HIDROTECHNIC (REF. 14);

JEULIN;

MEDIA CONCEPT;

MULTISOFT;

NORELEM;

PIGNAT;

PRIMELEG;

SEI;

SFERE;

TRILOGIC;

ETC.

- MEXITEK, S.A.

PORFIRIO DIAZ 53 COL. DEL VALLE 03100 MEXICO, D.F.

TELS. (525) 5750269 / 0312 / 9929, FAX. (525) 5759981

ATENCION: ING. VICENTE GARCIA ARACIL

DIRECTOR GENERAL

C.M.R.: ELETTRONICA VENETA & IN.EL.SPA (REF. 21);

PASCO SCIENTIFIC;

WAVETEK;

ETC.

- RELIANCE ELECTRIC & ENGINEERING CD. DE MEXICO, S.A. DE C.V. (+)
SHAKESPEARE No. 15-5to. PISO NUEVA ANZURES MEXICO, D.F.
TELS. 9152111419, 2548405, 2547224, FAX 9152111443
PLANTA: CARR. A VILLA NICOLAS ROMERO No. 25 FRACC. PEDREGAL DE
ATIZAPAN, ATIZAPAN DE ZARAGOZA, EDO. DE MEX. C.P. 52947
8224999, 8247310, 8222853, 8247311, FAX 8229744
ATENCION: ING. JUAN GERARDO CASTANEDA
JEFE DE INGENIERIA
Y/O
ING. PAULINO REJIA
JEFE DEPTO. DE SERVICIO
Y/O
ISMAEL COELLO DE LEON
INGENIERIA LABORATORIO Y SERVICIO
C.M.R.: RELIANCE ELECTRIC (REF. 22).

- SERVILAB, S.A.

SEGOVIA No. 96 COL. ALAMOS 03400 MEXICO, D.F.

TEL. 5386615 CON 5 LINEAS, FAX: 5380693

ATENCION: DR. HUMBERTO CORTES NAVA

C.M.R.: DISTESA DESARROLLO INDUSTRIAL DE SISTEMAS Y TECNOLOGIA
EDUCATIVA (REF. 9);

ETC.

- SIEMENS SA DE CV (+)

PONIENTE 116 No. 590 COL. IND. VALLEJO 02300-MEXICO, D.F.

TELEFONO 3282078, 3282000 EXT. 2593, FAX 3282061,

SOLICITUD DE SERVICIOS 3282060 6 2277979

CLAVE 5253686

ATENCION: ING. GERMAN VENCES V.

DIVISION EQUIPO ELECTRICO INDUSTRIAL

GRUPO MOTORES

Y/O

ING. JOSE ANTONIO LOPEZ P.

SUBGERENTE DIVISION ENERGIA Y AUTOMATIZACION

SECC. SERVICIOS TECNICOS

Y/O

ING. JOAQUIN FUENTES

DIVISION EQUIPO ELECTRICO INDUSTRIAL

GRUPO MOTORES

C.M.R.: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (REF. 23).

- PESTO, S.A.

AV. CEYLAN No. 3, COL. TEQUESQUINAHUAC, TLALNEPANTLA, EDO. DE
MEXICO, C.P. 54020 MEXICO, D.F.

TEL. 6276697 FAX 6276666

ATENCION: -

C.M.R.: PESTO DIDACTIC KG (REF. 7).

- SQUARE D DE MEXICO SA DE CV

J ROJO GOMEZ 1121 CP-09300

TEL. 6851614/6851715

ATENCION: -

C.M.R.: SQUARE D. COMPANY ESPAÑA, S.A. (REF. 24).

NOTA: (+) - EQUIPO QUE SE PUEDE ADAPTAR A LA EDUCACION; MAS, NO
DIDACTICO, DE ORIGEN

COMPANIAS EN EL EXTRANJERO QUE SE ENCARGAN DE LA VENTA DE ESTOS EQUIPOS

ALEMANIA

- HPS SYSTEM TECHNIK

LEHR-UND LERNMITTEL GMBH

POB 101707, D-4300 ESSEN 1

TEL (0201) 42777, FAX (0201) 410683,

TELEX 17201340, TTX 201340

+ SISTEMAS DIDACTICOS Y DE EDUCACION ELECTRICOS Y ELECTRONI -
COS

MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS

- DST

DEUTSCHE SYSTEM-TECHNIK

GMBH

POB 45 02 62, D-2800 BREMEN 45

TEL (04 21) 42 87-0,

FAX (04 21) 40 48 60,

TELEX 2 45 268

+ MATERIALES Y SISTEMAS DIDACTICOS PARA ENSEÑANZAS PROGRAMA -
DAS (P.E. MAQUINAS DIDACTICAS)

- STUDER HOLDING GMBH

FABRIK FÜR ELEKTRONISCHE

APPARATE

TALSTR 7, D-7827 LÜPPINGEN 1

TEL (0 76 54) 8 02-0,

TELEX 77 221 13

+ MATERIALES Y SISTEMAS DIDACTICOS PARA ENSEÑANZAS PROGRAMA -
DAS (P.E. MAQUINAS DIDACTICAS)

- BRÄHLER ICS KONFERENZTECHNIK

INTERNATIONAL CONGRESS SERVICE

D-5330 KÖNIGSWINTER 21, (VINKEL)

TEL (0 22 23) 2 30 61,

FAX (0 22 23) 43 52,

TELEX 17 2 223 308 BRAELCS D,

TTX 2 223 308 BRAELCS

- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA AUTOMATICOS POR ORDENADOR Y APARATOS
PARA EL CONTROL DE LA ADQUISICION
- KARL GUTMANN KG
ABENDGRUND 1,
D-7731 UNTERKIRNACH
TEL (0 77 21) 8 00 20,
FAX (0 77 21) 5 14 20,
TELEX 7 92 550
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA AUTOMATICOS POR ORDENADOR Y APARATOS
PARA EL CONTROL DE LA ADQUISICION
- 1 - AEG AKTIENGESELLSCHAFT
AUTOMATISIERUNGSTECHNIK
MODICON EUROPA
STEINHEIMER STR 117,
D-6453 SELIGENSTADT
TEL (0 61 82) 81-25 78,
FAX (0 61 82) 81-27 50,
TELEX 4 184 533
- EICHLITNER G.M.B.H.
PRÜFUNGMATERIALVERSAND
SCHAENERSTR. 13 D-8480 WEIDEN/BAY
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
JUEGOS EXAMINADORES PARA EL EXAMEN OFICIAL DE LAS PROFESIO
NES METALO Y ELECTROTECNICAS
MATERIAL DE PRACTICAS Y EJERCICIO PARA APRENDICES EN LAS
RAMAS METALURGICAS Y ELECTRICAS
- 7 - PESTO DIDACTIC KG RUIETER STR. 82
POSTFACH 6040 D-7300 ESSLINGEN-1
TEL: 0711/3 47-0 TX: 7 22 727-23
FAX: 0711/3 47-27 65
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
SISTEMAS DE ENSEÑANZA PARA LA HIDRAULICA Y LA NEUMATICA
MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
MATERIAL DIDACTICO-INSTRUCTIVO PARA LA TECNICA DE MANDO

- G.U.N.T. GERÄTEBAU GMBH
FAHRENBERG 14 D-2000 HAMBURG-
BARSBÜTTEL
TEL: 040/67 09 81
TX: 2 166 536 GUNT D
FA X: 040/670 3071
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
MATERIAL DIDACTICO-INSTRUCTIVO PARA LA TECNICA DE MANDO
- BREITMOSER APPARATEBAU GMBH
D-7182 GERABRONN
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- DEGENER DIDACTIC GMBH D-3000
HANNOVER 1
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- FORMETA-ERZEUGNISSE D-7570
BADEN-BADEN
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- ARNIM HARBARTH D-7769 MÜHLINGEN 1
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- ELECTRON GMBH D-6272
NIEDERHAUSEN
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- 5 - LUCAS-NÜLLE LEHR- UND MEßGERÄTE
GMBH D- 5014 KERPEN 3
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- RIECKHOFF ELECTRONIC D-6404 NEUHOF-
KAUPPEN
+ SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
SISTEMAS DE ENSEÑANZA ELECTRONICOS, SERVO-ELECTRONICOS,
SERVO-HIDRAULICOS
SISTEMAS DE ENSEÑANZA DE CNC
ROBOTS DE ENSEÑANZA
- SITA DATEN- UND KOMMUNIKATIONS
GMBH D-2080 PINNEBERG

- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA TECNICA
- THEPRA-LEHRMITTEL GMBH & CO.
VERTRIEBS KG D-7835 TENINGEN 1
- CAS COMPUTER ANWENDUNG SOBOTTA
D-3470 HÖXTER 1 STAHLÉ
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA PARA LA HIDRAULICA Y LA NEUMATICA
- 14 - HYDROTECHNIK GMBH D-6250
LIMBURG/LAHN 1
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA PARA LA HIDRAULICA Y LA NEUMATICA
- AEM D-4020 METTMANN
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- DIPL.ING. (FH) HUBERT BARTH D-7060
SCHORNGORF
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- CORNELSEN EXPERIMENTA KG D-1000
BERLIN 27
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- ELBAG ELEKTRO-SCHALTSCHRANK- UND
GERÄTEBAU G.M.B.H. D-5421 WEISEL
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- ELWE-LEHRSYSTEME GMBH D-3302
CREMLINGEN-SCHANDELAH
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- FRANCKH'SCHE VERLAGSHANDLUNG
D-7000 STUTTGART 1
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- GRAF ELEKTRONIK SYSTEME GMBH
D-8960 KEMPTEN (ALLGÄU)
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- HERA HERMANN RAPP GMBH D-7186
BLAUFELDEN
- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- SCHMIDTWERK C.L. SCHMIDT D-7550
RASTATT

- + MEDIOS DE ENSEÑANZA ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
- LUXTRONIC MASCHINEN GMBH
D-5632 WERMELSKIRCHEN 1
- + MATERIAL DIDACTICO-INSTRUCTIVO PARA LA TECNICA DE MANDO
SISTEMAS DE ENSEÑANZA DE CNC
- MULTIMAN GMBH POSTFACH 920 102
D-8500 NÜRNBERG 92
TEL: 0911/30 33 99
TX: 6 22 899 MULTI D
FAX: 0911/51 39 80
SCHULUNGSROBOTER
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA ELECTRONICOS, SERVO-ELECTRONICOS, SERVO-HIDRAULICOS
- EBERLE GMBH D-8500 NÜRNBERG 13
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA DE CNC
- KUNZMANN MASCHINENBAU GMBH
D-7537 REMCHINGEN 3
- + SISTEMAS DE ENSEÑANZA DE CNC
- COBRA
ROBOTER-SYSTEME
POSTFACH 10 41 09 D-6100 DARMSTADT
TEL: 06155/6 20 51
FAX: 06155/6 20 50
- + ROBOTS DE ENSEÑANZA
- P&P ELEKTRONIK GMBH NORDRING 23
D-8510 FÜRTH 2
TEL: 0911/3 00 06 11
TX: 626 689 PUP D
FAX: 0911/3 00 06 22
- + ROBOTS DE ENSEÑANZA
- 23 - SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
FIRMENLEITUNG
WITTELSBACHERPLATZ 2, D-80312 MÜNCHEN
P.O. BOX 10 12 12, D-80086 MÜNCHEN

TEL(089)234-0, TX 52100-0 SIE D
 FAX(089)234-42 42, TTX 8 9 870=SIEMCW

- 6 - PHYWE SYSTEME GMBH
 ROBERT-BOSCH-BREITE 10, D-37079 GÖTTINGEN
 TEL (0551)604-233, FAX (0551)604-115
- 19 - LEYBOLD DIDACTIC GMBH
 LEYBOLDSTRASSE 1 D-50354 HUERTH
 PHONE (0 22 33)604-0
 TELEFAX (0 22 33)604-222
 TELEX 17 223332 LHPCGND

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN LA CAMARA MEXICANO-ALEMANA DE CO-
 MERCIO E INDUSTRIA, A.C., SITO EN BOSQUES DE CIRUELOS 130
 TEL. 251-40-22, PERTENECIENTE A LA EMBAJADA DE ALEMANIA
 EN MEXICO, SITO EN LORD BYRON 737 TEL. 280-56-59

CANADA

- ASTRIS INC. TEL: 416-828-7700
 2480 DUNWIN DRIVE, MISSISSAUGA, ONTARIO, L5L1J9
 FAX: 416-828-7716 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
 - LABORATORY INSTRUMENTS/APPARATUS NES
 - SCIENTIFIC INSTRUMENTS AND APPARATUS NES
- CODE RED PRODUCTIONS LIMITED TEL: 519-339-0157
 BRIGHT'S GROVE, ONT., NONICO
 P.O. BOX 317, BRIGHT'S GROVE, ONT., NONICO
 FAX: 519-369-6973 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- COMPUTER BASED TRAINING SYSTEMS LTD TEL: 403-275-1680
 135-6715-8TH ST. N.E., CALGARY, ALTA., T2E7H7
 FAX: 403-295-2045 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - COMPUTER EQUIPMENT NES
 - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- DANATEC EDUCATIONAL SERVICES LTD. TEL: 403-232-6950
 300 - 800 - 6 AVE. S.W., CALGARY, ALTA., T2P3G3
 FAX: 403-232-6952 TELEX/ANSBK:

- PRODUCTS: - BOOKS & PAMPHLETS, ENGLISH ONLY, NES
 - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- FORMATION PLUS LAVAL TEL: 514-686-4046
 1510 RUE MICHELIN, LAVAL, QUE., H7L4S2
 FAX: 514-686-4045 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- LAB-VOLT (QUEBEC) LTEE TEL: 418-681-6346
 2120 RUE LAVOISIER, STE-FOY, QUE., G1N4B1
 FAX: 418-687-4014 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- LAB-VOLT LIMITED TEL: 514-376-2120
 4555 METROPOLITAIN E., SUITE 102, MONTREAL, QUE., H1R1Z4
 FAX: 514-376-4272 TELEX/ANSBK: 05-25415/LAB-VOLT
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- MAINLINE INDUSTRIES LTD. TEL: 403-253-3025
 6407 BURBANK RD. S.E., CALGARY, ALTA., T2H2E1
 FAX: 403-253-3038 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
 - POWER TRANSMISSION EQUIPMENT, HYDRAULIC, NES
- PRIORITY MANAGEMENT SYSTEMS (CANADA) INC TEL: 604-685-0418
 SUITE 1700 701 WEST GEORGIA ST., VANCOUVER, B.C., V7Y1C6
 P.O. BOX 10105 IBM TOWER, SUITE 1700 701 WEST GEORGIA ST.,
 VANCOUVER, B.C., V7Y1C6
 FAX: 604-685-6035 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - COMPUTER EQUIPMENT NES
 - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- POLYTRONICS ENGINEERING LTD. TEL: 416-625-3045
 5200 DIXIE RD. UNIT 18, MISSISSAUGA, ONT., L4W1E4
 FAX: 416-625-3045 TELEX/ANSBK:
 PRODUCTS: - CONTROLLERS, ELECTRIC MOTOR
 - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
 - FLASH UNITS & LIGHTS, CAMERA ACCESS, PARTS OF
 - POWER SUPPLY, NES
 - VARISPEED TYPE DRIVE UNIT, POWER TRANS

- PROMATIC INTERNATIONAL LTD. TEL: 416-677-7992
7518 BATH RD., MISSISSAUGA, ONT., L4T1L2
FAX: 416-677-7992 TELEX/ANSBK:
PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- SPECIAL IND MACHY/EQUIP, NES, PARTS OF
- SPECIAL INDUSTRY MACHY/EQUIPMENT, NES
 - QUINTECH DIV. OF LAB-VOLT (QUEBEC) LTD. TEL: 613-966-4223
(LAB-VOLT SYSTEMS)
1 GREENLEAF CRT., BELLEVILLE, ONT., K8N5E8
P.O. BOX 1177, BELLEVILLE, ONT., K8N5E8
FAX: 613-966-9102 TELEX/ANSBK:
PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- TEACHING KITS, ELECTRONIC
 - SI METRIC MANUFACTURING LIMITED TEL: 416-841-0600
125 MARY ST., AURORA, ONT., L4G1G3
FAX: 416-727-6265 TELEX/ANSBK: 06218118
PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
 - TICO SCIENTIFIC INC. TEL: 416-621-4652
29 COTMAN CRES., ETOBICOKE, ONT., M9B3A4
FAX: 416-621-4652 TELEX/ANSBK:
PRODUCTS: - DEMONSTRATION & INSTRUCTION EQUIPMENT NES
- SCIENTIFIC INSTRUMENTS AND APPARATUS NES
- NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN LA EMBAJADA DE CANADA EN MEXICO,
SITO EN SCHILLER 529 TEL. 294-32-88

ESPAÑA

- 9 - DISTESA DESARROLLO INDUSTRIAL DE SISTEMAS Y TECNOLOGIA EDUCA
TIVA.: JOSEFA DE VALCARCEL, 27. 28027 MADRID.
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS
MATERIAL PARA LABORATORIOS ESCOLARES DE FISICA Y QUIMICA
- EDUCTRADE, S.A.: MARCELINO ALVAREZ, 21. 28017 MADRID.
TEL: (91) 4047451-4047551
TELEX: 49523 EDGA-E
FAX: 91/4034180
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS

- MATERIAL PARA LABORATORIOS ESCOLARES DE FISICA Y QUIMICA
- FERRETERIA EUROPA, S.A.: BRAVO MURILLO, 160. 28020 MADRID.
TEL: (91) 5721555
TELEX: 43880 REIM
FAX: 91/5721550
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS
 - REDONDO Y GARCIA, S.A.: PASEO DE LAS DELICIAS, 32. 28045 MA -
DRID.
TEL: (91) 5283500
TELEX: 43880 REIM-E
FAX: 91/5303954
REGASA
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS
 - SOGERESA, S.A.: SAN MARCOS, 43. 28004 MADRID.
TEL: (91) 5223847
TELEX: 43229 COMM-E (829)
FAX: 91/5324440
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS
 - TECNOLOGIA Y SISTEMAS DIDACTICOS, S.A.: AVDA. DE SAN LUIS,
91. 28033 MADRID.
+ EQUIPOS Y APARATOS DIDACTICOS
EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA ELECTRONICA
APARATOS Y MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA TECNICA
MATERIAL PARA LABORATORIOS ESCOLARES DE FISICA Y QUIMICA
AUTOMATISMOS PROGRAMABLES
 - BAGUE, S.A.: CARRETERA D'OLOT, 17. 17172 LES PLANES D'HOSTO -
LES (GIRONA).
+ APARATOS Y MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA TECNICA
MATERIAL PARA LABORATORIOS ESCOLARES DE FISICA Y QUIMICA
 - CCI SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA EL CONTROL DE CALIDAD E INSTRUMEN-
TACION, S.A.: LARRA, 15. 28004 MADRID.
P.O. BOX: 10137 (C.P. 28080)
TEL: (91) 5227862-5217178
TELEX: 49715 CCIE-E

FAX: 91/5327441

+ EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA ELECTRONICA
 APARATOS Y MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA TECNICA
 INCUBADORAS ELECTRICAS
 CHASIS MODULARES PARA ELECTROTECNIA
 CONSOLAS PARA ORDENADORES
 SISTEMAS DE ALIMENTACION ININTERRUMPIDA PARA COMPUTADORAS
 MATERIAL PARA LABORATORIOS ESCOLARES DE FISICA Y QUIMICA

- ELECTROMEDICIONES KAINOS, S.A.: CARRETERA DEL MEDIO, 116.
 08907 HOSPITALET DE LLOBREGAT (BARCELONA).

+ EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA ELECTRONICA
 APARATOS Y MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA TECNICA

- INISEL (EMPRESA NACIONAL DE ELECTRONICA Y SISTEMAS, S.A.):
 AVDA. DE BURGOS, 8 BIS. 28036 MADRID.

+ EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA ELECTRONICA
 EQUIPOS ELECTRONICOS PARA REGULACION Y CONTROL DEL TRAFI-
 CO
 SISTEMAS DE CONTROL DE TRAFICO AEREO Y AYUDAS A LA NAVEGA
 CION

SISTEMAS DE CONTROL DE ACCESO DE VIAJEROS PARA TRANSPOR -
 TES PUBLICOS

12 - MERLIN GERIN GARDY, S.A.: PLAZA DR. LETAMENDI, 5-7. 08007
 BARCELONA.

TEL. (93) 4843100

TELEX: 53086 YDRAG

FAX: 93/4843307/08

+ APARATOS Y DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA ELECTROTECNIA
 SISTEMAS DE ALIMENTACION ININTERRUMPIDA PARA COMPUTADORAS

24 - SQUARE D. COMPANY ESPAÑA, S.A.: C/. GALLO, 11. 08950 ESPLU-
 GAS DE LLOBREGAT (BARCELONA).

TEL: (93) 3712050

FAX: 93/3719603

+ EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA ELECTRONICA
 APARATOS Y MATERIAL PARA LA ENSEÑANZA TECNICA

BARRERAS FOTOELECTRICAS
AUTOMATISMOS PROGRAMABLES

3 - EDIBON

C/SAN JOSE, 11-13-28921 ALCORCON-MADRID

NACIONAL TEL: 619 86 47

INTERNACIONAL TEL: 34-1 619 86 83

FAX: 34-1 619 86 47

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN MEXICO,
SITO EN HORACIO 1855 - 5o. PISO TEL. 280-43-83/
557-06-55

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

- 4 - LAB-VOLT SYSTEMS (TECHNICAL TRAINING SYSTEMS FOR VOCATIONAL EDUCATION, INDUSTRY & THE MILITARY. COURSEWARE & HARDWARE FOR HANDS ON TRAINING), P.O. BOX 686, PARKINGDALE, NJ 07727 (EX.) (100M+) (FAX: 908-774-8573).....908-938-2000
- 13 - NIDA CORP. (ELECTRONIC TEST INSTRUMENTS TEACHING SYSTEMS, TRAINING, COMPUTER ASSISTED TRAINING-DEVELOPMENT), 300-T S. JOHN RODES BLVD., MELBOURNE, FL 32904 (EX., CA. 'DRASOSNI-DA') (NR) (FAX: 407-727-2655; TELEX: 80-8923; -).....407-727-2265
- FALEX CORP. 2054 COMPREHENSIVE DR., AURORA, IL (ENGINEERING EDUCATION & RESEARCH EQUIPMENT)
- 2 - HAMPDEN ENGINEERING CORP. 99-T CHAKER RD., P.O. BOX 563, EAST LONGMEADOW, MA (ELECTRICAL, ELECTRONICS, HVAC, & SIMULATION)
- HICKOK TEACHING SYSTEMS, INC. 58 PULASKI ST., WATER WAY IN - INDUSTRIAL PARK, UNIT 3, PEABODY, MA (HYDRAULIC, PNEUMATIC TRAINING UNITS)
- LJ TECHNICAL SYSTEMS INC. 19-T POWER DR., HAUPPAUGE, NY
- 20 - ITE. INNOVATIVE TECHNOLOGY IN EDUCATION. (+)
DEGEM SYSTEMS LTD.
6220 S. ORANGE BLOSSOM TRAIL
SUITE 316
ORLANDO, FL. 32809

(407)859-85-25,

FAX: (407)859-8142

- 22 - RELIANCE ELECTRIC
GENERAL OFFICES,
24701 EUCLID AVENUE,
CLEVELAND, OHIO 44117

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN EL CENTRO DE COMERCIO. SERVICIO COMERCIAL EXTRANJERO Y DE LOS ESTADOS UNIDOS (USA), SITO EN LIVERPOOL 31 TEL. 592-39-77, PERTENECIENTE A LA EMBAJADA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA EN MEXICO, SITO EN PASEO DE LA REFORMA 305 TEL. 211-00-42

FRANCIA

- 10 - ECODIME. ONLY PRET 720 - 94399 ONLY AEROGARE CEDEX -
TEL. (1) 48.84.46.46 + - TELEX : 201 091 F
- 11 - MENTOR SCIENCES
26, AVENUE DUGUAY-TROUIN
78960 VOISINS-LE-BRETONNEUX
TEL.: 30 12 38 00 - FAX: 30 64 93 20

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN EL SERVICIO COMERCIAL (SITO EN RIO RHEN 57 TEL. 203-96-86) DE LA EMBAJADA DE FRANCIA EN MEXICO, SITO EN A. DUMAS 16 TEL. 281-43-38

ISRAEL

(+)

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN LA EMBAJADA DE ISRAEL EN MEXICO, EN LA OFICINA DE ASUNTOS ECONOMICOS. TEL. 282-48-25

ITALIA

- 8 - DE LORENZO. 20 VIALE ROMAGNA 20089 ROZZANO (MILANO)
TEL. 8254551 TLX 321122 DELOR
- 18 - DIDACTA ITALIA S.R.L. - STRADA DEL CASCIOTTO 139/30 -
10156 TORINO -
TEL. (011) 273.17.08 - 273.18.23 TELEX 221083 DIDATO I -
FAX 11 2733088
- 21 - ELETTRONICA VENETA & IN. EL. SPA
VIA POSTUMIA, 16

31045 MOTTA DI LIVENZA (TREVISO)

TEL. 422/861091

FAX 422/861901

TELEX 410308 EVI

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN EL INSTITUTO ITALIANO PARA BL
COMERCIO EXTERIOR, SITO EN AV. DE LAS PALMAS 555.
40. PISO TEL. 540-31-43, PERTENECIENTE A LA EMBAJADA
DE ITALIA EN MEXICO, SITO EN PASEO PALMAS 1994 TEL.
596-36-55

JAPON

- YAGAMI INTERNATIONAL TRADING CO., LTD. (YAGAMI & CO.,
LTD.)

2-29 3-CHOME MARUNOUCHI NAKAKU NAGOYA

TEL: 052-962-3811 TLX: 0444-7507 CABLE: YRSCO, NAGOYA

FAX: 052-971-1398 YAGAMI INT'L

EXP.: SCIENT., EDUC., IND. & PHIS. FITNESS TEST EQUIPM.

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN JETRO MEXICO. ORGANISMO OPI -
CIAL PARA EL INTERCAMBIO ECONOMICO DEL JAPON, SITO EN
PASEO DE LAS PALMAS 239 3ER. PISO TEL. 202-98-36, PER
TENECIENTE A LA EMBAJADA DE JAPON EN MEXICO, SITO EN
PASEO DE LA REFORMA 395. PISO 2 TEL. 211-00-28

REINO UNIDO

- BRITISH EDUCATIONAL EQUIPMENT ASSEN. (BEEA)

20 BEAUFORT COURT, ADMIRALS WAY, LONDON, E14 9XL

071-537 4927

FAX 071-537 4546 (HQ)

+ REPRESENT THE MAJOR MANUFACTURERS & DISTRIBUTERS OF EDU
CATIONAL EQUIPMENT, MATERIAL & BOOKS

- INTERACTIVE TRAINING SYSTEMS PLC

UNIT 1 STRATFORD RD ALLESTREE B49 5AP

(0789) 400240

+ COMPUTER BASED TRAINING AIDS

- IMEX SYSTEMS LTD UNIT 17 SAINTFIELD IND EST D LISBURN RD

SAINFIELD CO ANTRIM BT24 7AL..... (0238) 511095

+ EDUCATIONAL EQUIPMENT

- INTERPLEX TECHNOLOGY ROCKERY LANE LLAY WHEXHAM LL12 OPB.....
.....(0978) 833920
- + EDUCATIONAL EQUIPMENT
- ANDERSON ASSOCIATES (COMPUTER SYSTEMS) LTD. 2 CASTELFIELDS
LANE, BINGLEY, BD 16 2AB TEL:(0274)551010
- + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED.
CERTIFIERS, DISK/MAGNETIC TAPE..
IMAGING SYSTEMS, REAL-TIME, X-RAY.
DOCUMENT READERS.
BAR CODE TERMINALS.
LIGHT PENS.
GRAPHICS CIRCUIT BOARDS.
GRAPHICS DISPLAY GENERATORS.
GRAPHIC DIGITISERS.
RULERS, CONTINUOUS STATIONERY.
IMAGE PROCESSORS.
POINT OF SALE TERMINALS, COMPUTERISED.
COMPUTERS, PHOTOGRAPHIC IMAGING.
TOUCH SCREENS, CAPACITIVE.
TOUCH SCREENS, RESISTIVE.
MESSAGE DISPLAY SYSTEMS, INTELLIGENT.
DATA COMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEMS.
MEMORY STORES, NON-VOLATILE.
LASER SCANNERS AND WANDS, ON-LINE BAR CODE SYSTEMS.
COMPUTER PORT CONCENTRATORS.
COMPUTER DISK DRIVES, HARD DISK.
COMPUTER MICE.
COMPUTER TRACKER BALLS.
DATA COMMUNICATIONS RESPONSE TIME ANALYSIS EQUIPMENT.
COMPUTER DISK DRIVES, WINCHESTER.
CO-ORDINATED CONTROL AND IDENTIFICATION SYSTEMS (STOCK,
PERSONNEL, ETC.)
BAR CODE LABEL MASTERS.
DIGITAL SIGNAL PROCESSING SYSTEMS.

- DIGITAL SCANNERS, ARCHIVAL, FOR DRAWINGS.
 ENCODERS, ROTARY.
 PLOTTERS, COLOUR, MULTIPLE PEN.
 PLOTTERS, DIRECT IMAGING.
 COMPUTER COLOUR MONITORS, HIGH RESOLUTION.
 SILICON WAFER RECLAMATION SERVICES.
 PLOTTERS, COLOUR AND MONOCHROME, ELECTROSTATIC.
 DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS, LOCAL/WIDE AREA NETWORKS.
 COMPUTER TRANSPUTER PRODUCTS.
 COMPUTER DISK DRIVES, OPTICAL.
 IMAGING AND SCANNING SYSTEMS, C.A.D.
 COMPUTERISED VISION SYSTEMS, FOR MACHINES.
 GRAPHICS CONTROLLERS, COMPUTERISED.
 JOYSTICKS, MINIATURE FORCE SENSITIVE.
 PLOTTER POINTS AND ACCESSORIES.
 ENCODERS, TELEVISION.
 COMPUTER HARDWARE MODELLING SYSTEM.
 LOGIC SIMULATION SYSTEMS.
 DESIGN AUTOMATION EQUIPMENT.
 COMPUTER DESIGN SYSTEMS, SCHEMATIC.
 VIDEO GRAPHICS SYSTEMS.
- DISC INTERNATIONAL LTD. 40/41 ST JAMES ST, TAUNTON, TA1 1JR
 + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED.
- HAWKE SYSTEMS, NEWLANDS DRIVE, POYLE, SLOUGH, SL3 0DX
 TEL: (0753) 686556
- + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED.
 GRAPHIC DIGITISERS.
 DATA COMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEMS.
 COMPUTER DISK DRIVES, HARD DISK.
 PLOTTERS, COLOUR, MULTIPLE PEN.
 PLOTTERS, COLOUR AND MONOCHROME, ELECTROSTATIC.
 IMAGING AND SCANNING SYSTEMS, C.A.D.
 PLOTTER POINTS AND ACCESSORIES.
 ENCODERS, TELEVISION.
 COMPUTER HARDWARE MODELLING SYSTEM.

DESIGN AUTOMATION EQUIPMENT.

- L.J. TECHNICAL SYSTEMS LTD, FRANCIS WAY, BOWTHORPE INDUSTRIAL EST, NORWICH, NR5 9JA
 - + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED. ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- TRAINING PRODUCTS LTD, THE GIG HOUSE, OXFORD ROAD, MALMES - - BURY, WILTSHIRE, SN 16-9AX
 - + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED.
- WESTINGHOUSE CUBIC LTD, 177 NUTFIELD ROAD, MERSTHAM, RH1 3HH
 - + TRAINING SYSTEMS, PROGRAMMABLE CONTROLLER, COMPUTERISED.
- A E G (UK) LIMITED, ESKDALE ROAD, WINNERSH, WOKINGHAM, RG1 1 5PF TEL:(0734)698330
 - + SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- ANDERS ELECTRONICS LTD, DEPT K.U.K., 48-56 BAYHAM PLACE, LONDON, NW1 0EU TEL: 071-387 9092 AND 071-388 7 1 7 1
 - + CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL. SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL. ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL. PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- CHANNEL ELECTRONICS, 23a CRADLEHILL INDUSTRIAL ESTATE, SEA - FORD, BN25 3JE
 - + SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL. EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT. HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL. EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT. AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- E S R ELECTRONIC COMPONENTS, STATION ROAD, CULLERCOATS, NORTH SHIELDS, NE30 4PQ TEL: 091-251 4363
 - + CONSTRUCTION KITS, EDUCATIONAL. CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL. DIGITAL SYSTEMS AND COMPUTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL. SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL. ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- EAGLE SCIENTIFIC LTD, REGENT HOUSE, LENTON STREET, SANDIA-- CRE, NOTTINGHAM, NG10 5DJ TEL:(0602)491111

- + ENGINEERING MODELS, EDUCATIONAL.
- ATOMIC PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- BIOLOGY AND MARINE BIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- EDUCATIONAL EQUIPMENT, BOTANY.
- CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- DIGITAL SYSTEMS AND COMPUTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
- ELECTRO- AND PHYSIO-CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
- HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
- ELECTRO-MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- MODELS, SCIENTIFIC, EDUCATIONAL.
- X-RAY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- ECCLES TECHNICAL SERVICES LTD, ECCLES HOUSE, MAIN ROAD, EDEN-
BRIDGE, TN8 6HZ

- + SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

15 - FEEDBACK INSTRUMENTS LTD, PARK RD, CROWBOROUGH, TN6 2QR

- + CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- DIGITAL SYSTEMS AND COMPUTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- TEACHING MACHINES AND EQUIPMENT, NON-ELECTRONIC.
- VISUAL AIDS, EDUCATIONAL.

- FIELDYORK INTERNATIONAL LTD, MEADWAY HOUSE, 190 LONDON ROAD,
LEICESTER, LE2 1ND
 - + AUDIOVISUAL AIDS FOR EDUCATION AND TRAINING.
 - CHARTS, INSTRUCTIONAL, MEDICAL AND SCIENTIFIC.
 - CONSTRUCTIONAL KITS, EDUCATIONAL.
 - ENGINEERING MODELS, EDUCATIONAL.
 - AERO DYNAMIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - BUILDING SCIENCE EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 - HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - MODELS, SCIENTIFIC, EDUCATIONAL.
 - TAPES, PRE-RECORDED, EDUCATIONAL.
 - TEACHING AIDS FOR CHILDREN.
 - TEACHING MACHINES AND EQUIPMENT, NON-ELECTRONIC.
 - VISUAL AIDS, EDUCATIONAL.
 - VIDEO EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- GRIFFIN & GEORGE, BISHOP MEADOW ROAD, LOUGHBOROUGH, LE11 0RG
TEL: (0509)233344 FAX: (0509)231893
 - + ATOMIC PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, BOTANY.
 - BUILDING SCIENCE EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 - ELECTRO- AND PHYSIO-CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 ELECTRO-MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 SOIL MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, STATICS.
 TERRESTRIAL MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ZOOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MODELS, SCIENTIFIC, EDUCATIONAL.
 VISUAL AIDS, EDUCATIONAL.
 X-RAY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- PHILIP HARRIS EDUCATION (INTERNATIONAL), LYNN LANE, SHENSTONE,
 LICHFIELD, WS14 0BE
- + CONSTRUCTION KITS, EDUCATIONAL.
 AERODYNAMIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL. (X)
 ATOMIC PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 BIOLOGY AND MARINE BIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, BOTANY.
 BUILDING SCIENCE EQUIPMENT, EDUCATIONAL. (X)
 CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 ELECTRO- AND PHYSIO-CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 ELECTRO-MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MEDICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, STATICS.
 TERRESTRIAL MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ZOOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MODELS, SCIENTIFIC, EDUCATIONAL.
 SPECIMENS FOR RESEARCH AND EDUCATIONAL PURPOSES.
- HI-TECH LTD, BRUNEL RD, CHURCHFIELDS, SALISBURY, SP2 7PU
 - + BUILDING SCIENCE EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 - SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 - MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, STATICS.
 - ITT INSTRUMENTS, (DEPT KU), 344 EDINBURGH AVENUE, SLOUGH,
 SLL 4TU TEL: (0753) 511799
 - + CONSTRUCTION KITS, EDUCATIONAL.
 - CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - TELECOMMUNICATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - INDUSTRIAL DEVELOPMENT BANK FOR (UCNW) LTD, DEAN ST, BAN- -
 GOR, LL57 1UT
 - + CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - IRWIN-BESMAN LTD, 294 FURLEY WAY, CROYDON, CR3 4QL
 - + AERODYNAMIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ATOMIC PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - BIOLOGY AND MARINE BIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- EDUCATIONAL EQUIPMENT, BOTANY.
 CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 ELECTRO- AND PHYSIO-CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 ELECTRO-MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 SOIL MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, STATICS.
 TERRESTRIAL MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ZOOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- NICKERSON ELECTRICAL EDUCATIONAL SYSTEMS LTD, UNIT 11, CLAYTON INDUSTRIAL ESTATE, CRABTREE LANE, CLAYTON, MANCHESTER, M11 1BR
 TEL: 061-231 1234
- + ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- NOTTINGHAM GROUP LTD, 17 LUDLOW HILL ROAD, WEST BRIDGFORD, NOTTINGHAM, NG2 6HD TEL: (0602) 452000 FAX: (0602) 452212
- + AUDIOVISUAL AIDS FOR EDUCATION AND TRAINING.
 CHARTS, INSTRUCTIONAL, MEDICAL AND SCIENTIFIC.
 CHROMATOGRAPHY KITS, EDUCATIONAL.
 CONSTRUCTION KITS, EDUCATIONAL.
 ENGINEERING MODELS, EDUCATIONAL.
 AERODYNAMIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 ELECTRO-MAGNETISM EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 SOIL MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, STATICS.
 TEACHING AIDS FOR CHILDREN.
 TEACHING MACHINES AND EQUIPMENT, NON-ELECTRONIC.
 VISUAL AIDS, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, PLASTICS.
 EASELS, FLIP-CHART, FOR EDUCATIONAL USE.
 MUSICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- PATON HAWKSLEY ELECTRONICS LTD, WELLSWAY, KEYNSHAM, BRISTOL,
 BS18 1PG

+ ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.

16 - T Q INTERNATIONAL, BONSALL STREET, LONG EATON, NG10 2AN

+ AERODYNAMIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 BUILDING SCIENCE EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, DYNAMICS.
 SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 FLUID MECHANICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 EDUCATIONAL EQUIPMENT, HEAT.
 HEATING AND VENTILATING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MATERIALS TESTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 MECHANICAL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.

- ROBOTIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
- UNILAB LTD, THE SCIENCE PARK, HUTTON ST, BLACKBURN, BEL 3BT
 - + ATOMIC PHYSICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - BIOLOGY AND MARINE BIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - CHEMISTRY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTROSTATIC EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 - AUDIOLOGY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - VOLTECH INSTRUMENTS LTD, 57 MILTON PARK, ABINGDON, OX14 4RX
TEL: (0235)861173
 - + CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - DIGITAL SYSTEMS AND COMPUTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - PROCESS CONTROL EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - TEACHING MACHINES AND EQUIPMENT, NON-ELECTRONIC.
 - THE WEIR ELECTRICAL INSTRUMENT CO. LTD, LEAFIELD TRADING ES-
TATE, CORSHAM, SN13 9QZ TEL: (0225)811449
 - + SCIENTIFIC ELECTRICITY EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELEMEX ELECTRONICS LTD, UNIT 29, LEYTON BUSINESS CENTRE, ST-
LOE RD, LEYTON, E10 7BT
 - + CONTROL AND INSTRUMENTATION EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - DIGITAL SYSTEMS AND COMPUTING EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - ELECTRONICS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - EDUCATIONAL EQUIPMENT, LIGHT.
 - TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT, EDUCATIONAL.
 - DARWIN INSTRUMENTS LIMITED.
THE OLD PAPER MILL.
1a. DITTON WALK, CAMBRIDGE.
CB5 8QD

TEL: (0223)410000

TELEX: 817506 OL INKG

FAX: (0223)410 444

NOTA: INFORMACION OBTENIDA EN LA EMBAJADA BRITANICA EN MEXICO,
SITO EN RIO LERMA 71 TEL. 207-24-49

NOTA FINAL ACLARATORIA:

LA MAYORIA DE LAS COMPANIAS AQUI MENCIONADAS, CAEN DENTRO DEL PRIMERO DE LOS SIGUIENTES CUATRO RUBROS:

- MANUFACTURERO CON TRABAJO EN EL PAIS DE ORIGEN O PROVEEDOR DIRECTO DEL SERVICIO
- MANUFACTURERO SIN TRABAJO EN EL PAIS DE ORIGEN
- MAYORISTA, NEGOCIANTE (COMERCIANTE) O PROVEEDOR INDIRECTO DEL SERVICIO
- DISTRIBUIDOR O AGENTE

SIN EMBARGO, ES UN POCO COMPLICADO ESPECIFICARLO EN CADA UNO DE LOS CASOS, DADO EL TIPO DE INFORMACION OBTENIDA. ESPERAMOS QUE SE COMPRENDA ESTA SITUACION, AL IGUAL QUE CUALQUIER OTRA REFERENTE, COMO PUDIERA SER LA MENCION EQUIVOCADA DE ALGUNA COMPANIA QUE NO SE DEDIQUE DE HECHO A LA VENTA DE ESTE TIPO DE EQUIPOS O SISTEMAS Y/O LA OMISION INVOLUNTARIA DE ALGUNA OTRA QUE SI LO HAGA. DEBE ENTENDERSE QUE ES IMPOSIBLE INCLUIRLAS A TODAS, AL IGUAL QUE CORROBORAR C/U DE LAS YA LISTADAS, ASI PUES, SE ESTA CONFIANDO EN LA INFORMACION SUMINISTRADA AMABLEMENTE POR CADA UNA DE LAS EMBAJADAS Y POR ENDE, SI ASI SE JUZGA CONVENIENTE, PUEDE CORROBORARSE O AMPLIARSE ESTA INFORMACION, DIRIGIENDOSE YA SEA A LAS PROPIAS EMBAJADAS O A LAS EMPRESAS MISMAS, YA SEA EN EL EXTRANJERO, O SI LO HAY, CON CADA REPRESENTANTE SUYO EN MEXICO.

SOFTWARE DIDACTICO

EDIBON

- LISER. LABORATORIO INTEGRADO PARA EL ESTUDIO DE ACCIONAMIENTOS INDUSTRIALES EN SERVO SISTEMAS

RELACION DE PRACTICAS:

- SISTEMAS DE REGULACION EN CASCADA.
- ANALISIS DE LOS BUCLES EXTERIOR E INTERIOR DE CORRIENTE EN UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA.
- CONTROL ANGULAR DEL MOTOR MEDIANTE UN CAPTADOR POTENCIOMETRICO (BUCLE DE POSICION).
- CONTROL EN LA MARCHA ADELANTE Y HACIA ATRAS CON FRENADO AUTOMATICO, POR INVERSION DE PAR Y SENTIDO DEL GIRO.
- CONTROL DE ARRANQUE, EN TIEMPO DEFINIDO Y VARIACION DE LA VELOCIDAD PARA UN MOTOR DE CC.
- POSIBILIDAD DE PREFIJAR EL DIAGRAMA DE VELOCIDAD Y POSICION/TIEMPO PARA UN MOTOR DE CC.
- MEDICION DE LOS ERRORES ESTACIONARIOS DE UN MOTOR ANTE DIVERSAS ENTRADAS TIPO ESCALON, RAMPA, ETC.
- CONTROL DIGITAL DE CONVERTIDORES ELECTRONICOS DE POTENCIA DESDE P.C.
- PECADS. SIMULACION Y DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR DE ELECTRONICA DE POTENCIA.

INDICE TEMATICO Y PRACTICAS:

CONVERTIDORES CA/CC

- INTRODUCCION E INSTRUCCIONES DE UTILIZACION.
- CONVERTIDORES DE POTENCIA: TECNICAS DE CONVERSION (TEORIA).
- TECNICAS DE SIMULACION (TEORIA).
- CONVERTIDORES CA/CC (TEORIA).
- RECTIFICADOR MONOFASICO SEMIONDA. CARGA R-L (PRACTICA I).
- RECTIFICADOR MONOFASICO SEMIONDA. CARGA R-L-E (PRACTICA II).
- RECTIFICADOR TRIFASICO SEMIONDA. CARGA R-L (PRACTICA III).
- RECTIFICADOR TRIFASICO SEMIONDA. CARGA R-L-E (PRACTICA

IV).

- RECTIFICADOR MONOFASICO PUENTE. CARGA R-L (PRACTICA V).
- RECTIFICADOR MONOFASICO PUENTE. CARGA R-L-E (PRACTICA VI).
- RECTIFICADOR TRIFASICO PUENTE. CARGA R-L (PRACTICA VII).
- RECTIFICADOR TRIFASICO PUENTE. CARGA R-L-E (PRACTICA VIII).
- SISTEMAS DE REGULACION EN CASCADA (TEORIA).
- APLICACIONES INDUSTRIALES (TEORIA).
- ANALISIS DEL BUCLE DE CORRIENTE CON CARGA L-R. CONDUCCION CONTINUA (PRACTICA IX).
- ANALISIS DE DOS BUCLES DE CORRIENTE CON CARGA L-R. CONDUCCION CONTINUA Y DESCONTINUA (PRACTICA X).
- AJUSTE DEL BUCLE EXTERNO DE TENSION. APLICACION: CARGADOR DE BATERIAS (PRACTICA XI).
- ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CC. EN REGIMEN DINAMICO Y EN CADENA ABIERTA (PRACTICA XII).
- AJUSTE DEL BUCLE EXTERNO DE VELOCIDAD. APLICACION: FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CC. EN DOS CUADRANTES (PRACTICA XIII).
- FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CC. EN CUATRO CUADRANTES (PRACTICA XIV).

CONVERTIDORES CA/CA

- INTRODUCCION E INSTRUCCIONES DE UTILIZACION.
- CONVERTIDORES DE POTENCIA: TECNICAS DE CONVERSION (TEORIA).
- TECNICAS DE SIMULACION (TEORIA).
- CONVERTIDORES CA/CA (TEORIA).
- CONVERTIDORES CSFC UNA FASE (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA I).
- CONVERTIDOR UFG UNA FASE (CON Y SIN FILTRO) (PRACTICA II).
- CONVERTIDOR DE MODULACION TRIANGULAR UNA FASE (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA III).
- CONVERTIDOR CDFPS (CONTROL DE FACTOR DE POTENCIA) UNA FASE (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA IV).

- CONVERTIDOR SSFC TRES FASES (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA V).
 - CONVERTIDOR UFC TRES FASES (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA VI).
 - CONVERTIDOR DE MODULACION TRIANGULAR TRES FASES (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA VII).
 - CONVERTIDOR CDFPC TRES FASES (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA VIII).
 - SISTEMAS DE REGULACION EN CASCADA (TEORIA).
 - TEORIA DE CAMPO ORIENTADO APLICADA AL CONTROL DE MOTORES DE CA. (TEORIA).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES CA. EN FUENTE DE TENSION. CONVERTIDOR SSFC (PRACTICA IX).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES CA. EN FUENTE DE TENSION. CONVERTIDOR UFC (PRACTICA X).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES CA. EN FUENTE DE TENSION. CONVERTIDOR DE MODULACION TRIANGULAR (PRACTICA XI).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES DE CA. EN FUENTE DE TENSION. CONVERTIDOR CDFPC (PRACTICA XII).
- CONVERTIDORES CC/CA
- INTRODUCCION E INSTRUCCIONES DE UTILIZACION.
 - CONVERTIDORES DE POTENCIA: TECNICAS DE CONVERSION (TEORIA).
 - TECNICAS DE SIMULACION (TEORIA).
 - CONVERTIDORES CC/CA (TEORIA).
 - CONVERTIDOR CC/CA MONOFASICO: PULSO UNICO POR SEMICICLO (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA I).
 - CONVERTIDOR CC/CA MONOFASICO: CONTROL PWM Y RECTANGULAR (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA II).
 - CONVERTIDOR CC/CA BIFASICO: PULSO UNICO POR SEMICICLO (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA III).
 - CONVERTIDOR CC/CA BIFASICO: CONTROL PWM (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA IV).

- CONVERTIDOR CC/CA BIFASICO: PULSO UNICO POR SEMICICLO ANALISIS DE CORRIENTES Y ZONAS DE CONDUCCION (PRACTICA V).
 - CONVERTIDOR CC/CA BIFASICO: CONTROL PWM Y RECTANGULAR ANALISIS DE CORRIENTES Y ZONAS DE CONDUCCION (PRACTICA VI).
 - CONVERTIDOR CC/CA TRIFASICO: PULSO UNICO POR SEMICICLO ANALISIS DE LAS TENSIONES DE FASE (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA VII).
 - CONVERTIDOR CC/CA TRIFASICO: PULSO UNICO POR SEMICICLO ANALISIS DE LAS TENSIONES DE LINEA (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA VIII).
 - CONVERTIDOR CC/CA TRIFASICO: CONTROL PWM Y RECTANGULAR ANALISIS DE LAS TENSIONES DE FASE (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA IX).
 - CONVERTIDOR CC/CA TRIFASICO: CONTROL PWM Y RECTANGULAR ANALISIS DE LAS TENSIONES DE LINEA (CON Y SIN FILTRO DE SALIDA) (PRACTICA X).
 - SISTEMAS DE REGULACION EN CASCADA (TEORIA).
 - TEORIA DE CAMPO ORIENTADO APLICADA AL CONTROL DE MOTORES DE CA. Y UPS (TEORIA).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: UPS BIFASICO (PRACTICA XI).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: UPS TRIFASICO (PRACTICA XII).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES CA. EN FUENTE DE CORRIENTE (PRACTICA XIII).
 - APLICACIONES INDUSTRIALES: CONTROL DE MOTORES CA. EN FUENTE DE TENSION (PRACTICA XIV).
- CONVERTIDORES CC/CC
- INTRODUCCION E INSTALACIONES DE UTILIZACION.
 - CONVERTIDORES DE POTENCIA: TECNICAS DE CONVERSION (TEORIA)..
 - TECNICAS DE SIMULACION (TEORIA).
 - CONVERTIDORES CC/CC (TEORIA).
 - CHOPPER (TROCEADOR). CARGA R-L (PRACTICA I).
 - CHOPPER. CARGA R-L-E (PRACTICA II).
 - BOOSTER (ELEVADOR). CARGA R (PRACTICA III).

- BOOSTER. CARGA R-L-E (PRACTICA IV).
- BUCK-BOOST (REDUCTOR-ELEVADOR). CARGA R (PRACTICA V).
- BUCK-BOOST (REDUCTOR-ELEVADOR). CARGA R (PRACTICA VI).
- CUK (REDUCTOR-ELEVADOR). CARGA R (PRACTICA VII).
- CUK. CARGA R-L-E (PRACTICA VIII).
- SISTEMAS DE REGULACION EN CASCADA (TEORIA).
- APLICACIONES INDUSTRIALES (TEORIA).
- ANALISIS DEL BUCLE DE CORRIENTE CON CARGA L-R. CONDUCCION CONTENUA (PRACTICA IX).
- ANALISIS DE DOS BUCLES DE CORRIENTE CON CARGA L-R. CONDUCCION CONTINUA Y DISCONTINUA (PRACTICA X).
- AJUSTE DEL BUCLE EXTERNO DE TENSION. APLICACION: CARGADOR DE BATERIAS (PRACTICA XI).
- ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CC. EN REGIMEN DINAMICO Y EN CADENA ABIERTA (PRACTICA XII).
- AJUSTE DEL BUCLE EXTERNO DE VELOCIDAD. APLICACION: FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CC. EN DOS CUADRANTES (PRACTICA XIII).

ELETRONICA VENETA & IN.EL. spa

- ELECTRONICA Y CONTROL DE PROCESO

- CONTROL DE PROCESOS

LISTADO DE LAS LECCIONES:

- SO1. REGULACION DE POTENCIA
 - S101VI REGULACION DE POTENCIA DE CONTROL DE FASE
 - S102VI REGULACION DE POTENCIA DE VOLTAJE CERO
- SO2. SIMULACION DE PROCESOS
 - S201VI SISTEMAS DE CONTROL
 - S202VI REGULACION DE PROCESOS
 - S203VI DESCRIPCION DEL SIMULADOR DE PROCESOS
 - S204VI CONTROL EN LAZO ABIERTO
 - S205VI CONTROL EN LAZO CERRADO
 - S206VI PROCESOS NO LINEALES
- SO3. CONTROL DE PROCESOS

- S301VI CONTROL DE LUMINOSIDAD
- S302VI CONTROL DE TEMPERATURA
- S303VI CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.C. (I)
- S304VI CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.C. (II)
- S305VI CONTROL DE MOTORES PASO A PASO
- ELECTROTECNIA
 - PAQUETE DE SOFTWARE "I": INSTALACIONES ELECTRICAS
 - LISTADO DE LAS LECCIONES:
 - IO1 INSTALACIONES DOMESTICAS
 - IO101A INSTALACIONES DE ILUMINACION
 - IO102A INSTALACIONES DE SEÑALIZACION
 - IO103A INSTALACIONES DE COMUNICACION
 - IO2 INSTALACIONES INDUSTRIALES
 - IO201A TECNICAS DE SELENANDO
 - IO202A INSTALACIONES DE ARRANQUE
 - IO203A INSTALACIONES COMPLEJAS
 - IO204A INSTALACIONES ELECTRONEUMATICAS
 - IO3 INSTALACIONES DE AUTOMATIZACION CON PLC
 - IO301A EL PLC: TEORIA
 - IO302A EL PLC: PROGRAMACION
 - IO303A EL PLC: APLICACIONES
 - PAQUETE DE SOFTWARE "II": MEDICIONES Y MAQUINAS ELECTRICAS
 - NO101A MEDICIONES ELECTRICAS GENERALES
 - NO102A MEDICIONES EN SISTEMAS MONOFASICOS
 - NO103A MEDICIONES EN SISTEMAS TRIFASICOS
 - NO104A GENERALIDADES DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS
 - NO105A MAQUINAS DE CC: GENERADORES
 - NO106A MAQUINAS DE CC: MOTORES
 - NO107A MAQUINAS SINCRONAS: GENERADORES
 - NO108A MAQUINAS SINCRONAS: MOTORES
 - NO109A MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS DE JAULA
 - NO110A MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS DE ANILLOS
 - NO111A MOTORES ASINCRONOS MONOFASICOS: INTRODUCCION
 - NO112A MOTORES ASINCRONOS MONOFASICOS: CONDICIONES DE

ARRANQUE

- N0113A MAQUINAS ESPECIALES
- N0114A TRANSFORMADORES MONOFASICOS
- N0115A TRANSFORMADORES TRIPASICOS

LEYBOLD DIDACTIC GEBH

- CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC)
 - CBS 9 SIMULACION BASADA EN COMPUTADOR DE LA TECNOLOGIA DE CONTROL
 - 728 832 CBS 9 CIRCUITOS DE CONTROL DE MOTOR
- EJERCICIOS SIMULADOS:
 - AUTO-RETENCION
 - CONTROL DE INVERSION
 - CIRCUITO DAHLANDER DE INVERSION
 - CIRCUITO ESTRELLA-DELTA DE INVERSION
 - ROTOR DE ANILLO DESLIZANTE CON ARRANCADOR DE PASOS

+ LAS COMPANIAS ANTERIORMENTE MENCIONADAS:

- EDEBON (EN MEXICO: EDEBEX)
- ELECTRONICA VENETA & IN.EL. spa (MEXITEK)
- LEYBOLD DIDACTIC GEBH (IDN)

SON LAS PRINCIPALES EMPRESAS QUE MANEJAN EL AREA DE SOFTWARE EDUCACIONAL - SEGUN LA INFORMACION OBTENIDA -, Y ES MUY FACILIBLE QUE PONGAN MUCHA MAS INFORMACION SOBRE PRACTICAS, CONCEPTOS TEORICOS Y DEMAS. QUE LA QUE AQUI SE HA DESPLEGADO; ES PUES ACONSEJABLE PONERSE EN CONTACTO CON ELLAS - VER APENDICE -, SI SE DESEA MAYOR INFORMACION.

- + EXISTEN OTRAS COMPANIAS TAMBIEN MUY IMPORTANTES, COMO:
 - ITE. INNOVATIVE TECHNOLOGY IN EDUCATION. DEGEN SYSTEMS LTD. (ITE)

QUE TAMBIEN MANEJAN SOFTWARE DIDACTICO, PERO QUE, PROBABLEMENTE, NO LO PENSAN EN EL AREA ELECTRICA, SINO EN OTRAS; ES SIN EMBARGO, ACONSEJABLE, PONERSE TAMBIEN EN CONTACTO CON ELLAS - APENDICE -, SI SE DESEA CORROBORAR ESTO Y/O SI SE DESEA SOFTWARE DIDACTICO EN OTRA AREA O ALGO MAS.

+ OTRAS COMPAÑIAS QUE MANEJAN SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TECNICO, PUDIERA DARSE EL CASO QUE TAMBIEN MANEJASEN EL ASUNTO QUE NOS OCUPA (SOFTWARE EDUCACIONAL), Y QUE DE MANERA INVOLUNTARIA O POR FALTA DE INFORMACION, SE HUBIESEN IGNORADO, ROGAMOS COM- - PRENSION EN ESTE ASPECTO, Y SI SE DESEA CHECAR O PEDIR MAYORES DATOS SOBRE SUS PRODUCTOS FAVOR DE PONERSE EN CONTACTO CON ELLAS - APENDICE -.

FINALMENTE, EXISTEN ENTRE TODAS ESTAS COMPAÑIAS - APENDICE -, ALGUNAS QUE MANEJAN TODOS O ALGUNOS DE ESTOS PRODUCTOS, A SA - BER:

- SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO TECNICO (PARTE MEDULAR DE LA INVES TIGACION)
- SOFTWARE DIDACTICO O DE SIMULACION ASISTIDA POR ORDENADOR (TEMA QUE NOS OCUPA)
- MEDICION COMPUTARIZADA Y EVALUACION ASISTIDA POR ORDENADOR
- SOFTWARE DE CONTROL Y REGULACION
- ENTRENAMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR - COMUNICACION INTERAC- TIVA ENTRE EL MUNDO DE EXPERIMENTACION REAL, LA PC Y EL USU RIO
- SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS
- REGISTRO DE CURVAS
- GRAFICACION AUTOMATICA
- ETC.

SIN EMBARGO, DADO QUE SE TRATA DE UNA INFINIDAD DE ESTOS, ES MUY DIFICIL DE PLASMARLOS DEBIDAMENTE EN ESTA TESIS, Y VALGA SOLO EL HECHO DE HABER TRATADO LOS MAS IMPORTANTES (DOS PRIME- - ROS).

SI SE DESEA ALGUNA OTRA INFORMACION, CUALQUIERA QUE ESTA SEA, FA VOR DE PONERSE EN CONTACTO CON LAS PROPIAS EMPRESAS.

ES NUESTRA CREENCIA QUE UNO DE LOS LOGROS DE ESTA TESIS - NO TAN BUSCADO - HA SIDO EL DE HABER CONFORMADO UNA PEQUENA BASE DE DA- TOS, POR ASI DECIRLO, SOBRE ESTA TAN IMPORTANTE AREA EDUCATIVA, Y QUE ESPERAMOS SEA DE ALGUNA UTILIDAD.

ENCUESTA

- 1) ¿QUE ANTIGUEDAD TIENE UD. DANDO ALGUN(OS) LABORATORIO(S) DE INGENIERIA ELECTRICA EN LA F.I. DE LA U.N.A.M.?

Promedio entre los encuestados: 15 años.

¿CUAL O CUALES HAN SIDO ESTOS?

Todos.

- 2) ¿QUE TANTO HAN CAMBIADO LOS LABORATORIOS EN EL TIEMPO EN QUE UD. HA ENSEÑADO CLASES?

No han habido cambios, éstos han sido mínimos, salvo la inclusión del equipo Lab-Volt, y el rectificador de estado sólido.

¿HAN MEJORADO? ¿HAN EMPEORADO?

Ni uno ni otro.

ACTUALMENTE, ¿COMO LOS ENCUENTRA?

Tecnológicamente atrasados, sin arreglo y orden, con algunas sustituciones y supresiones, y con algunas mejoras, principalmente en el mantenimiento al equipo de medición, con un Lab-Volt con fallas, deteriorado y descuidado y con pocas unidades repuestas rápida y adecuadamente, siendo necesario reducir o cancelar la práctica en turno. Esto es, ha existido un equipo deficiente con el cual se ha tratado de cubrir el programa. Aunque ha habido algo de mejora en este aspecto últimamente, falta mucho por hacerse, se quiere mejorar el servicio al equipo en general, al igual que adquirir nuevas unidades.

- 3) EN EL ASPECTO DIDACTICO, ¿COMO VE LA ENSEÑANZA DE LOS LABORATORIOS HOY EN DIA?

Falta material auxiliar de soporte, apuntes, prácticas y di fusión de las mismas. En los planes de estudio existe menor tiempo dedicado al área, dado que se le quitó para pasárselo a otras materias. Existen fundamentos teóricos deficientes.

¿CRFE UD. QUE ES BUENA LA METODOLOGIA QUE SE SIGUE?

Si la hay, ésta es muy deficiente, se requiere un solo curso teórico-práctico, integrado, esto es, vincular teoría y

práctica, dado que la teoría se encuentra desvinculada de la práctica, y además, es necesario que un solo profesor de ambas. No existe una metodología uniforme entre los profesores. La metodología se da de acuerdo a cada profesor.

¿SE LOGRAN BUENOS RESULTADOS? ¿HAY BUEN APRENDIZAJE?

Hay buenos resultados pero se lograrían mejores, y por ende un mejor aprendizaje, si existiese un cambio favorable en este aspecto. Se requiere a su vez un análisis particular por materia. Por otro lado, sin pretender ser radical, existe un hecho indiscutible, hace 12 años que no hay cursos intersemestrales de actualización para profesores - ni mucho menos para ayudantes -.

¿HAY DISPOSICION DE LOS ALUMNOS?

Hay una buena disposición de los alumnos en general, ya que el alumno siempre está dispuesto a aprender, sin embargo, existen también deficiencias - producto, tal vez, de la falta de motivación y carencia de confianza en los mismos -, dado que muchas veces tienen miedo de "meter las manos"; es necesario un contacto físico permanente de los alumnos con las máquinas, y una participación más activa de éstos, además de una mayor madurez, dado que muchos alumnos toman el (los) laboratorio(s) sólo como requisito de acreditación. Se requiere, finalmente, una mayor integración de objetivos y metas, en base a una buena pedagogía y en base a un mejoramiento progresivo del equipo.

4) ¿CUALES SON LAS PRUEBAS OPCIONALES O ESPECIALES, QUE A SU JUICIO, DEBERIAN EMPLEARSE EN EL LABORATORIO Y EN QUE EQUIPOS?

- Pruebas simples de instalación y arranque de motores de inducción (arrancadores magnéticos y de línea).
- Pruebas simples para la demostración didáctica de motores.
- Pruebas de control de estado sólido para máquinas de laboratorio.
- Pruebas en transformadores, como:
 - Prueba de temperatura y

- Pruebas de alta tensión, entre otras.
 - Pruebas en motores:
 - Pruebas de control de velocidad para motores de CD y CA.
 - Pruebas con arrancadores de estado sólido e inversores (equipo de control electrónico de frecuencia variable)
 - Laboratorio de Distribución. Cables y aislamientos.
 - En el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia II, integrar la computadora e implementar pruebas de c.c. al equipo utilizado (dado que éste se daña por c.c.).
 - Pruebas sobre el comportamiento dinámico de las máquinas, además de control y automatización de éstas.
 - Pruebas posibles en simuladores, o programas para simular, p.ej. redes y flujos (S.E.P. II).
- 5) ¿CONOCE UD. EQUIPOS MAS SOPHISTICADOS O AVANZADOS QUE SE PU-
DIERAN ANALIZAR Y/O PROBAR EN EL LABORATORIO?
- Equipos de control de estado sólido para máquinas rotato-
rias.
 - Equipos de rectificación de potencia.
 - Motores más recientes, como los que se usan en extrusores
de plástico.
 - Computadoras y programas simuladores.
 - Máquinas generalizadas.
 - Micromáquinas.
 - PLC's.
- 6) ¿QUE PROPORCIONARIA UD. PARA MODERNIZAR LOS LABORATORIOS?
- Visitar otras universidades, nacionales y extranjeras.
 - Visitar institutos (p.ej. IIE)
 - Visitar las industrias.
 - Modificar programas teóricos y prácticos (reformular planes
de estudio).
 - Solicitar ayuda de exalumnos (que trabajen de preferencia
en áreas de ingeniería eléctrica., en empresas naciona-
les), asociaciones universitarias e industrias.
 - Adquirir equipo nuevo de mayor capacidad (como Lab-Volt,
pero no de 1/4 HP, sino 2HP).

- Tomar en cuenta donaciones de equipo.
- Más que modernizar, capacitar, organizar y aumentar cantidad y calidad de equipos.
- Adquirir equipos más modernos, pero principalmente básicos, que sean simples y didácticos, y si se pueden más completos, mejor.
- Reorganización administrativa y técnica; incorporación de recursos económicos.

7) ¿CONOCE O HA TRABAJADO EN LOS LABORATORIOS DE OTRAS ESCUELAS O INSTITUCIONES?

Sí.

¿CUALES SON ESTOS?

IPN - ESTIME.

¿COMO ESTAN CONFORMADOS?

Tienen 12 baterías de máquinas de C.D.; 12 baterías de máquinas sincronicas; 12 baterías de motores de inducción; y 12 baterías de transformadores.

EN EL ASPECTO EDUCATIVO, ¿COMO SE ENCUENTRAN?

Se encuentran bien.

¿COMO ESTAN EN COMPARACION CON LOS NUESTROS?

Ahí se van.

¿QUE PRUEBAS Y/O EQUIPOS POSEEN QUE SEAN DIGNOS DE MENCIONAR?

Cuentan con gran cantidad de equipo en buen estado, como:

- Laboratorio de alta tensión.
- Analizador de redes eléctricas.
- Analizador del ciclo de histéresis de un material.
- Sistemas de entrenamiento técnico (ingleses).
- etc.

Es menester señalar que en lo que respecta a otras universidades, principalmente particulares, no cuentan con laboratorios completos de máquinas eléctricas.

8) SIN COMPROMISO ALGUNO, ¿CONOCE UD. ALGUNA(S) PERSONA(S), EMPRESA(S), ESCUELA(S) O INSTITUCION(ES) QUE PUDIERA(N) APORTAR ALGO SIGNIFICATIVO PARA LA MODERNIZACION DE NUESTROS LABORATORIOS?

CFE Irapuato - Ing. Eduardo Arriola V.

ASEA - Ing. Roberto Brown B.

9) ¿ALGUN COMENTARIO QUE DESEE AGREGAR?

Se requiere trabajar muy duro, pero para esto, es necesario a su vez, que exista toda la disponibilidad de los profesores y autoridades, además de los alumnos, para que se genere un verdadero cambio, basado en un inquebrantable espíritu combativo y emprendedor.

ENCUESTA ADICIONAL

Debido a que muchos de los profesores encuestados - y otros no -, decidieron darnos su opinión más directamente, de manera verbal, juzgamos pertinente incluirlas, ya que reflejan puntos de vista muy interesantes sobre la educación en general y sobre nuestros laboratorios.

En nuestro país y en nuestras escuelas existen una serie de vicios ancestrales que han dado al traste con la educación y que han dado por resultado una educación muy deficiente. Los estudiantes egresados de nuestras escuelas terminan con muchas carencias que los imposibilitan a adentrarse a pasos firmes a una bien encaminada corriente de desarrollo. A esto hay que añadir la falta de experiencia laboral necesaria para afrontar el reto que supone el trabajar para una empresa, ya no digamos del primer mundo, sino una cualquiera. Esto conlleva a que tengan que adquirirla sobre la marcha (si es que les dan trabajo), teniendo en muchos casos que empezar desde abajo y estar supeditados a salarios, labores y personas, muy por debajo de su status de profesionista.

Así pues, es necesario que los estudiantes se involucren más con la industria, además de actualizarse continuamente, y que tengan la posibilidad, mediante convenios escuela-industria, de realizar prácticas profesionales, de ser posible remuneradas, que los haga enfrentarse a problemas reales muy alejados de lo visto en las aulas, o bien substituir un servicio social, las más de las veces, caduco y burocrático, que en nada les favorece. De esta forma, cuando se titulen, puedan encarar en esa misma empresa o en alguna otra, con mayor entusiasmo y conocimiento, los problemas que se les presenten.

Es necesario, así mismo, promover más becas y ayuda económica para los estudiantes aplicados de pocos recursos, ya sea por parte de la universidad o de las empresas mismas, para que el aspecto económico no sea un obstáculo para su desarrollo académico y profesional.

Por otro lado, en muchos países, como en E.U. y Canadá, la cédula profesional, esto es, el documento que nos permite ejercer como profesionistas, no se otorga, hasta que la persona en cuestión no comprueba la suficiente experiencia laboral, constatada por un grupo de profesionistas muy capaces, que dan fe de ello. Esto es, que cuando el estudiante se titula, sólo se le expide por parte de la universidad su título, y no es hasta mucho después que se le da la cédula. Esto nos lleva a que el profesionista debe de tener los conocimientos, la habilidad y la experiencia para ejercer como tal. En México, por todos es sabido, aunque no está por demás recordarlo, esta situación no se da; la cédula y el título se expiden al momento de egresar. Es de suponerse los problemas que ello conlleva, siendo necesario, que si no se cambia el sistema - y puede que cambie en un futuro no muy lejano, debido a la homogenización, producto del TLC -, por lo menos, el alumno salga ya con una cierta experiencia práctica profesional.

Por cierto, en E.U. un alumno no recibe su grado de ingeniero hasta que no ha concluido lo que sería aquí el grado de maestría, de otra forma sólo recibe su título de bachiller. ¿Será por eso que es tan difícil que a un egresado de aquí, lo consideren allá como ingeniero, o por lo menos tenga la posibilidad de ejercer como tal?

Es justo también recalcar el potencial económico con que cuentan estos países, el potencial en infraestructura, laboratorios, equipo, material disponible, libros, revistas, etc., de manera que cuando el estudiante necesita algo, no tiene muchas dificultades para conseguirlo. En México, ya desde ahí estamos mal, ya que se tiene que batallar mucho para conseguir lo que se quiere. Las universidades privadas carecen de buenas instalaciones y equipo, y no se diga las públicas, ya que salvo la nuestra y el Politécnico, las otras dejan mucho que desear; pero es ahí en donde entra la apertura comercial, de manera que ya no existan esos inconvenientes de país tercermundista y conforme avance el

TLC, podamos llenar esos huecos y competir o intentar competir en el desarrollo de tecnología, para substituir importaciones y no sólo hacer uso indiscriminado de éstas. Así mismo, no se puede negar que el aspecto económico y el educativo están ligados fuertemente, pero ahora que parece cambiar el panorama económico para bien, es necesario cambiar también el panorama educativo.

La carencia de equipo en nuestros laboratorios se podría resolver intentando que las empresas y las asociaciones de ex-alumnos hicieran donaciones significativas al respecto, si es que no se pudiese comprar lo requerido; las primeras disminuyendo así su carga fiscal, y las segundas colaborando más con su universidad; o en su defecto, que las primeras aportasen fuertes sumas de dinero para investigación, que a la larga les beneficiaría.

Entrando en el aspecto educativo, es necesario que se plantee en los planes de estudio el inglés como materia obligato - ría, o bien que se establezca como requisito de titulación, como en otras carreras y facultades; ya que, de esta manera, se le forzaría al estudiante a aprenderlo, lo cual redundaría en su beneficio, dada su importancia tecnológica y social actual, y más ahora que muchas compañías americanas y canadienses es - tán pensando en establecerse en nuestro país, creando fuentes de empleo, pero requiriendo necesariamente que los empleados hablen el inglés. Sería a la vez muy conveniente que la mayor parte de la bibliografía de las materias y laboratorios se dicse en libros en este idioma, para concientizar a los alumnos en su aprendizaje, y principalmente, porque existen traduccio - nes muy malas al español, que en nada les ayudan y sólo los confunden. Por otro lado, que mejor que intentar o buscar doncaciones, o venta a muy bajos precios de estos libros, por medio de las editoriales directamente, o bien por medio de empresas, asociaciones o ex-alumnos, pero de libros actuales y nuevos, y no de libros viejos y obsoletos; buscando tener a su vez, unas

bibliotecas modernas, actualizadas y eficientes, que tengan parte de su acervo en CD ROM, desechando los libros que ya no sirven dada su caducidad.

Así mismo, es necesario que existan planes de estudio más modernos, como en Europa, Canadá, E.U. y Japón, principalmente en el área eléctrica (más atrasada), incluyendo en ellos, además de un avance tecnológico considerable, materias que contemplen la ecología, el medio ambiente y el ahorro de energía. Es necesario que se adecúen las materias a los laboratorios de manera más eficiente, enfocando más adecuadamente el programa teórico con la práctica respectiva, p.ej. que el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia II pase a ser el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia I, ya que éste se enfoca más fielmente al aspecto teórico respectivo. En otra propuesta muy concreta, se necesitan además nuevos tableros para el Laboratorio de Protección de Sistemas Eléctricos, al igual que un libro o cuaderno de prácticas para tal efecto, dado que actualmente, cada profesor da el laboratorio como quiere y no hay uniformidad alguna. Es pues necesario revisar el programa de este laboratorio para mejorar su impartición y sus carencias.

Entre paréntesis, existen marcos de referencia internacionales para la evaluación de las carreras, que han hecho necesario introducir y modificar materias, principalmente de ciencias básicas, como Química y Estadística, respectivamente, en un intento de proporcionar una educación más general y menos especializada, lo cual debe ser reflejado en nuestros laboratorios, ya que se va más acorde con el momento actual.

Es además imprescindible dejar atrás incompatibilidades con el quehacer progresista y de renovación que estamos viviendo, como pudiera ser el egoísmo de otras universidades que ven a la UNAM como competidor feroz al que tratan de ganar a como de lugar, sin intentar, por el contrario, superarse a sí mismas.

Se necesita, ya enfocándonos en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica, tener un laboratorio adecuado con el devenir actual, desechando lo inútil y dejando lo bueno; regenerando, renovando

y comprando equipo, si es posible. Es imprescindible, a su vez, que el personal docente sepa manejar todo el equipo, dado que, p.ej. al equipo Lab-Volt casi nadie le mete mano, dado que no se sabe muy bien cómo funciona, sin embargo, es preciso que se haga y que haya un mayor interés entre los profesores, ya que hay algunos que muestran mucho desinterés y casi nadie se toma la molestia de proponer nada, ya que para muchos está bien que siga así, dado que no quieren o no les conviene cambiar. Es imprescindible, por otro lado, que los profesores se les exijan propuestas obligatorias por escrito, o que se concientice a la mayoría para que lo hagan voluntariamente.

En el aspecto educativo, los profesores juegan el papel más importante, ya que son los forjadores de los futuros profesionistas, por ello deben tener una sólida formación docente y profesional, para poder encauzar al alumno, muchas veces apático, por el buen camino.

Por cierto, en algunas universidades nacionales, el profesorado es sumamente competente - no así, en muchos casos, sus instalaciones y/o planes y programas de estudio -, a tal grado que a nivel licenciatura sólo dan cátedra los Maestros en Ingeniería (M.I.) y ocasionalmente, los ingenieros sin estudios de posgrado pero que tengan un muy fuerte desarrollo y experiencia profesional, y ya no se diga en maestrías y doctorados, donde sólo dan clase los Doctores en Ingeniería (D.I.). Con un título de licenciatura y poca experiencia laboral sólo se puede enseñar en bachillerato o más abajo. En el extranjero, principalmente en E.U., a nivel universitario la mayoría de los que dan cátedra tienen grado doctoral.

Afortunadamente, en los laboratorios de eléctrica de nuestra facultad se cuenta con un buen personal docente, en general, y se puede salvar un poco la situación, aunque hay mucha indolencia y a veces no se cumple con el horario asignado, además de que se cae en el vicio - o necesidad - de crear profesores al vapor muy fácilmente; sin embargo, es necesario muy a pesar de

todo, no anquilosarse e intentar mejorar día a día, trabajando muy duro, autoridades, profesores y alumnos para mejorar, ahora sí, nuestra educación, con vistas a resarcir un poco el rezago educacional que nos agobia..

BIBLIOGRAFIA (ARTICULOS)

FICHAS BIBLIOGRAFICAS DE ARTICULOS IMPORTANTES QUE TRATAN DE ME-
JORAS SIGNIFICATIVAS A LABORATORIOS DE INGENIERIA ELECTRICA EN
TODO EL MUNDO. (APARECIDOS EN "ELECTRIC & ELECTRONICS ABSTRACT"
EEA)

+ SI SE DESEA OBTENER ALGUNO(S) DE ESTOS ARTICULOS, SE PUEDEN
MANDAR TRAER DEL EXTRANJERO, MEDIANTE EL CICH, LOCALIZADO EN
CD. UNIVERSITARIA (DOMICILIO CONOCIDO).

- 33828 Modernización de un laboratorio de máquinas (para educación).
- Modernization of machines laboratory (for education). D. Kasten, J.C. Kent, P.J. Mako, S.C. Turner (Dept. of Electr. Eng., Ohio State Univ., Columbus, OH, USA). Proceedings of the American Power Conference, Chicago, IL, USA, 13-15 April 1992 (Chicago, IL, USA: Illinois Inst. Technol. 1992), p. 130-5 vol. 1 (no refs.)
EEA 1993 no. 6
- 65337 Nuevas unidades de laboratorio en ingeniería eléctrica en la Universidad Curtin de Tecnología.
- New laboratory units in electrical engineering at Curtin University of Technology. W.B. Lawrance (Sch. of Electr. & Comput. Eng., Curtin Univ. of Technol., Perth, WA, Australia).
Int. J. Electr. Eng. Educ. (UK), vol. 30, no. 3, p. 197-201 (July 1993).
(2 refs.)
EEA 1993 no. 11
- 15302 Recuperación de datos de motor en base a computadora (AROMA).
- Computer-based retrieval of motor data (AROMA). Z. Hlebar, Z.J. Pudlowski (Sch. of Electr. Eng., Sidney Univ., NSW, Australia).
Comput. Educ. (UK), vol. 17, no. 4, p. 271-9 (1991).
(10 refs.)
EEA 1992 no. 3
- 21025 Un nuevo sistema de laboratorio para potencia eléctrica y electrónica de potencia.
- A new laboratory system for electric power and power electronics. P.T. Krein (Dept. of Electr. & Comput. Eng., Illinois Univ., Urbana, IL, USA).

Proceedings of the American Power Conference, Chicago, IL, USA, 23-25 April 1990 (Chicago, IL, USA: Illinois Inst. Technol. 1990), p. 194-9

(6 refs.)

EEA 1992 no. 4

- 21026 Modernización del laboratorio de máquinas eléctricas y electrónica de potencia de la Universidad de Wisconsin. The electric machines and power electronics laboratory modernization at the University of Wisconsin. D.W. Novotny, R.D. Lorenz, T.A. Lipo, D.M. Divan (Dept. of Electr. & Comput. Eng., Wisconsin Univ., Madison, WI, USA). Proceedings of the American Power Conference, Chicago, IL, USA, 23-25 April 1990 (Chicago, IL, USA: Illinois Inst. Technol. 1990), p. 200-3
(no refs.)
EEA 1992 no. 4

- 21027 Un laboratorio de conversión de energía con un concepto de módulo de análisis. An energy conversion laboratory with a concept analysis module. O.A. Mohammed, H.W. Gordon (Dept. of Electr. & Comput. Eng., Florida Int. Univ., Miami, FL, USA). Proceedings of the American Power Conference, Chicago, IL, USA, 23-25 April 1990 (Chicago, IL, USA: Illinois Inst. Technol. 1990), p. 204-9
(9 refs.)
EEA 1992 no. 4

- 42027 Enseñando protección de sistemas de potencia con cooperación de la industria. Teaching power system protection with industry's cooperation. A. Fahwa (Dept. of Electr. & Comput. Eng., Kansas State Univ., Manhattan, KS, USA). IEEE Trans. Power Syst. (USA), vol. 7, no. 1, p. 363-9 (Feb 1992).

(10 refs.)

EEA 1992 no. 7

- 42031 Un modelo de laboratorio de un control de velocidad de un motor de CD basado en microcomputadora con display interactivo.

A laboratory model of microcomputer based speed control of a DC motor with interactive display. S.P. Chowdhury, S.K. Basu (Jadavpur Univ., Calcutta, India), R. Mondal. IEEE Trans. Power Syst. (USA), vol. 7, no. 1, p. 403-9 (Feb. 1992).

(7 refs.)

EEA 1992 no. 7

- 42041 Nuevos experimentos de laboratorio para licenciatura sobre generadores de inducción.

New undergraduate laboratory experiments on induction generators. S. Banerjee (Dept. of Electr. Eng., Indian Inst. of Technol., Kharagpur, India).

Int. J. Electr. Eng. Educ. (UK), vol. 29, no. 2, p. 163-8 (April 1992).

(3 refs.)

EEA 1992 no. 7

- 7466 Aplicación de microcomputadoras en un laboratorio de máquinas eléctricas.

Microcomputer applications in an electrical machines laboratory. T.K.K. Babu, Wong Tak Wing (Dept. of Electron. & Commun. Eng., Singapore Polytech., Singapore).

Int. J. Electr. Eng. Educ. (UK), vol. 27, no. 4, p. 369-76 (Oct. 1990).

(7 refs.)

EFA 1991 vol. 94 no. 1118

- 54389 Rol complementario de los cuadernos de laboratorio y de los reportes del mismo.

The complementary roles of laboratory notebooks and labo-

ratory reports. J.B. McCormack, R.K. Jr. Morrow, H.F. Ba -
re, R.J. Burns, J.L. Rasmussen (Dept. of Electr. Eng., US
Air Force Acad., Colorado Springs, CO, USA).

IEEE Trans. Educ. (USA), vol. 34, no. 1, p. 133-7 (Feb.
1991).

(20 refs.)

EEA 1991 vol. 94 no. 1125

- 54393 Diseño de un nuevo laboratorio instruccional de sistemas
electromecánicos.

Design of a new electromechanical systems instructional
laboratory. C.W. Brice, III (Dept. of Electr. & Comput.
Eng., South Carolina Univ., Columbia, SC, USA).

IEEE Trans. Power Syst. (USA), vol. 6, no. 2, p. 872-5
(May 1991).

(3 refs.)

EEA 1991 vol. 94 no. 1125

- 54398 Un laboratorio de conversión de energía controlado por
computadora para estudiantes de ingeniería eléctrica.
A computer controlled energy conversion laboratory for
electrical engineering students. O.A. Mohammed, H.W. Gor-
don (Dept. of Electr. Eng., Florida Int. Univ., Miami,
FL., USA).

SOUTHEASTCON '90. Proceedings (Cat. No. 90CH2833-7), New
Orleans, LA, USA, 1-4 April 1990 (New York, NY, USA: IEEE
1990), p. 513-22 vol. 2

(9 refs.)

EEA 1991 vol. 94 no. 1125

- 61475 Una aproximación avanzada para la enseñanza de cursos de
relés de protección.

An advanced approach to teaching protective relaying
courses. M. Kezunovic (Dept. of Electr. Eng., Texas A&M
Univ., College Station, TX, USA).

Int. J. Electr. Eng. Educ. (UK), vol. 28, no. 3, p. 246-
60 (July 1991).

(28 refs.)

EFA 1991 vol. 94 no. 1126

- 67397 Entrenamiento en automatización y tecnología de drives eléctricos, usando aparatos de la compañía Siemens. En alemán.

Training in automation and electrical drive technology, using the Siemens company's apparatus. R. Schonfeld, G.-H. Geitner, W. Hofmann, D. Wolter (Tech. Univ. Dresden, Germany).

Elektrie (Germany), vol. 45, no. 7, p. 243-6 (1991).
In German.

(no refs.)

EFA 1991 vol. 94 no. 1127

- 6006 Impacto del desarrollo computacional en la educación de los graduados en ingeniería de máquinas eléctricas y drives.

Impact of the computer developments on the education of engineering graduates in electrical machines and drives. R. Belmans, W. Geysen (Lab. for Electr. Machines & Drives, Katholieke Univ., Leuven, Belgium).

MELECON '89: Mediterranean Electrotechnical Conference Proceedings. Integrating Research, Industry and Education in Energy and Communication Engineering (Cat. No. 89CH2679-9), Lisbon, Portugal, 11-13 April 1989 (New York, NY, USA: IEEE 1989), p. 728-32

(no refs.)

EFA 1990 vol. 93 no. 1100

- 6016 Adelantos en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Rey Saud.

Developments in the electrical machine laboratory at King Saud University, Y.H.A. Rahim, A.I. Alolah (Dept. of Electr. Eng., King Saud Univ., Riyadh, Saudi Arabia).

MELECON '89: Mediterranean Electrotechnical Conference Proceedings. Integrating Research, Industry and Educa-

tion in Energy and Communication Engineering (Cat. No. 89CH2679-9), Lisbon, Portugal, 11-13 April 1989 (New York, NY, USA: IEEE 1989), p.771-3
(5 refs.)

EEA 1990 vol. 93 no. 1100

20411 Un paquete de aprendizaje asistido por computadora compatible con IBM PC sobre el funcionamiento de motores de inducción trifásicos (CALIM).

An IBM PC compatible computer assisted learning package on the performance of three-phase induction motors (CALIM). W.M. Hosny (Polytech. of East London, UK)..

UPEC '89. Proceedings of the 34th University Power Engineers Conference, Belfast, UK, 19-21 Sept. 1989 (Belfast, UK: Queen's Univ. Belfast 1989), p. 335-7

(4 refs.)

EEA 1990 vol. 93 no. 1108

36442 Un sistema de control de motor de pasos basado en microcomputadora (experimento educacional).

A microcomputer based stepper-motor control system (educational experiment). R.I. Noorani (Dept. of Mech. Eng., Southwestern Louisiana Univ., Lafayette, LA, USA), F.G. Amy.

Int. J. Appl. Eng. Educ. (UK), vol. 4, no. 4, p. 345-9 (1988).

(1 ref.)

EEA 1989 vol. 92 no. 1098

33828 Modernización de un laboratorio de máquinas (para educación).

La Universidad Estatal de Ohio ha mantenido un laboratorio de maquinaria usando máquinas de GD y CA de 10 a 15 hp. Una reciente donación de la Corporación de Servicio de Potencia Eléctrica Americana está siendo usada para modernizar el laboratorio. Esta modernización incluye la regeneración mecánica y eléctrica de las máquinas de 10 a 15 hp, el desarrollo de un sistema computarizado de adquisición de datos y la especificación y compra de un tablero para tres máquinas (1 a 2 hp) con drives de velocidad variable. Los autores presentan información acerca del sistema computarizado de adquisición de datos y cómo está siendo usado por los estudiantes para investigar las características de las máquinas. (sin referencias (refs.)) EEA 1993 No. 6

ARTICULO ANEXADO EN ESTA TESIS

65337 Nuevas unidades de laboratorio en ingeniería eléctrica en la Universidad Curtin de Tecnología.

Los cursos en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Computación han sido modificados para incluir unidades de laboratorio. Estas unidades están auto-contenidas e intentan superar las limitaciones asociadas con las clases de laboratorio tradicionales. (2 refs.) EEA 1993 No. 11

15302 Recuperación de datos de motor en base a computadora (AROMA).

La aplicación de la tecnología moderna es subrayada por la importancia de la automatización en la recolección de datos, para un rápido y eficiente uso de los recursos disponibles. Estos recursos pueden ser financieros, humanos y otros. Los autores describen el diseño de un sistema en el cual un motor de inducción de jaula de ardilla es conectado a una computadora personal compatible IBM (PC). El objetivo importante de este diseño ha sido mejorar la eficiencia de la enseñanza y el entendimiento de los conceptos básicos de la ingeniería eléctrica para aplicarlos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sidney. Este diseño práctico está aún en sus etapas de desarrollo, aunque puede ser exitosamente usado en la industria, por ejemplo, en la prueba de motores eléctricos pequeños, en general, y en motores de inducción de potencia fraccionaria, en particular. (10 refs.) EEA 1992 No. 3

21025 Un nuevo sistema de laboratorio para potencia eléctrica y electrónica de potencia.

La instrucción de laboratorio en potencia eléctrica es una de las ramas tradicionales de la educación de ingeniería eléctrica. Pero esto ha cambiado en los últimos años. El advenimiento de electro-tecnología ha hecho que la potencia parezca menos efectiva como experiencia de laboratorio básica. Hoy, sólo cerca de la mitad de las escuelas hacen que los estudiantes de ingeniería eléctrica tomen el curso de laboratorio de potencia eléctrica. Muchas dan menos facilidades o han quitado de plano la potencia. Aquí, el nuevo Laboratorio de Maquinaria Eléctrica Grainger ahora en operación de la Universidad de Illinois es descrito por el autor. El concepto de laboratorio y sus facilidades son descritas. El laboratorio abrió a finales de 1989, con las primeras máquinas en operación en la primavera de 1990. (6 refs.) EEA 1992 No. 4

21026 Modernización del laboratorio de máquinas eléctricas y electrónica de potencia de la Universidad de Wisconsin. -
sin.

Los autores presentan un reporte preliminar sobre el nuevo laboratorio de máquinas eléctricas y electrónica de potencia que está siendo desarrollado en la Universidad de Wisconsin - Madison. El mayor énfasis es puesto en los nuevos stands de pruebas de drives eléctricos, los cuales fueron seleccionados de manera preliminar introduciendo máquinas eléctricas, controles de drives eléctricos y electrónica de potencia en un medio ambiente de laboratorio. Una descripción de los stands de pruebas y algunos ejemplos de su intentada utilización en el curso de primer nivel del laboratorio de máquinas eléctricas es presentado. Algunos de los fundamentos básicos para la selección de un stand de prueba integrado y su diseño, son también presentados. Un breve resumen de algunos otros equipos a ser instalados en el laboratorio es también presentado. (sin refs.) EEA 1992 No. 4

ARTICULO ANEXADO EN ESTA TESIS

21027 Un laboratorio de conversión de energía con un concepto de módulo de análisis.

Los autores presentan un sistema para el análisis en tiempo real de máquinas rotatorias con datos experimentales. El análisis puede ser realizado directamente mientras la experimentación manual está en progreso. El sistema propuesto consiste de tres módulos para adquisición de datos, control de datos y un conjunto de programas de elementos finitos para el análisis de máquinas eléctricas bajo diferentes condiciones. El sistema también incluye una estación de trabajo que incluye a su vez las máquinas rotatorias a ser analizadas, una computadora personal y una base de datos para la interpretación y los datos eléctricos de las máquinas. Los autores proveen una descripción del sistema propuesto en tiempo real y dan un ejemplo de su utilización en un laboratorio universitario de conversión de energía. (9 refs.) EEA 1992 No. 4

42027 Enseñando protección de sistemas de potencia con cooperación de la industria.

Desde 1988, un ingeniero de sistemas de relés del Servicio de Gas, Luz y Potencia de Kansas, ha sido invitado a dar algunas clases del curso sobre análisis de fallas y protección de sistemas de potencia en la Universidad Estatal de Kansas. El ha asistido por lo general a cinco clases durante el semestre. Dos de estas clases han sido en campo. En las otras tres se ha discutido la protección de los sistemas de potencia desde el punto de vista de un ingeniero práctico. Se ha discutido también un problema de diseño práctico preparado para la clase. Los detalles del curso, el proyecto de diseño y otras actividades son descritas. Los beneficios de tal cooperación entre universidad e industria son detallados. Los objetivos principales de este curso son: hacer que los estudiantes se familiaricen con componentes simétricos y análisis de fallas; hacer que los estudiantes se familiaricen con métodos de computación para análisis de fallas; hacer que los estudiantes se familiaricen con direccionales de sobrecorriente, diferenciales, a distancia y protección piloto; impartir conocimientos prácticos sobre protección a los estudiantes; y preparar a los estudiantes para trabajos relacionados con protección. (10 refs.) EEA 1992 No. 7

42031 Un modelo de laboratorio de un control de velocidad de un motor de CD basado en microcomputadora con display interactivo.

Los autores reportan sobre el desarrollo de un modelo de laboratorio de un sistema experimental de un drive de motor de CD de velocidad variable usando un controlador basado en microcomputadora. El sistema de drive de motor de CD consiste de un pequeño motor shunt de CD. Un sistema de medición de par ha sido también incorporado. Un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) controla la velocidad del motor con facilidades de control de display interactivo. Todos los parámetros de control pueden ser activados y variados con un teclado en tiempo real sin afectar el funcionamiento suave del motor. La idea es introducir a los estudiantes en un medio ambiente de control en tiempo real. (7 refs.) EEA 1992 No. 7

42041 Nuevos experimentos de laboratorio para licenciatura so
bre generadores de inducción.

Con el aumento de la importancia de generadores de inducción en la conversión de energía de fuentes no convencionales, ha llegado a ser necesario cubrir esta materia extensivamente a nivel básico y ofrecer experimentos al respecto. El autor presenta algunos experimentos básicos sobre generadores de inducción desarrollados en el IIT de Kharagpur, India. (3 refs.)

EEA 1992 No. 7

7466 Aplicación de microcomputadoras en un laboratorio de máquinas eléctricas.

Un sistema de pruebas basado en microcomputadora ha sido desarrollado como ayuda en la enseñanza del Laboratorio de Máquinas Eléctricas del Politécnico de Singapur. A manera de ilustración, un motor de inducción trifásico es probado automáticamente, mientras que el arranque, la carga, la toma de lecturas, los cálculos y las gráficas son realizadas por medio de una microcomputadora. (7 refs.) EEA 1991 VOL. 94 No. 1118

54389 Rol complementario de los cuadernos de laboratorio y de los reportes del mismo.

Los experimentos pueden ser documentados por el uso complementario de cuadernos y reportes de laboratorio. Los cuadernos sirven como una base cronológica para los detalles experimentales, mientras que los reportes presentan un resumen lógico del experimento. El énfasis hecho sobre el formato apropiado y el contenido lógico de ambos, ayuda al desarrollo exitoso de las tareas de escritura técnica. Cuando son propiamente usados, los cuadernos y reportes de laboratorio interactúan para mejorar la calidad de ambos. Los autores subrayan el contenido de los cuadernos y de los reportes de laboratorio y explican cómo se ha complementado el uso de estos instrumentos en la Academia de la Fuerza Aérea y cómo ha redundado en una mejor escritura de los estudiantes, un mejor diseño de documentación y un más eficiente uso del laboratorio y de los recursos de cómputo que deben llevarse a cabo para una buena práctica de ingeniería futura. (20 refs.) EEA 1991 VOL. 94 No. 1125

54393 Diseño de un nuevo laboratorio instruccional de sistemas electromecánicos.

El laboratorio instruccional para sistemas electromecánicos de g rito es una combinación de maquinaria, sistemas de control y adquisición de datos y control por computadora. El laboratorio está diseño-orientado y usa adquisición de datos y control base do en computadora para aumentar y mejorar el laboratorio tradicional de maquinaria. También el objetivo de los experimentos es mucho más amplio que el del laboratorio de maquinaria existente, la adición de equipo nuevo está limitada (primeramente por consideraciones de costo) a las PC y al hardware para el acondicionamiento de la señal y el software para permitir programación de alto nivel de instrumentos virtuales. No existen nuevas máquinas rotatorias. El hardware, software y los experimentos de laboratorio son discutidos. (3 refs.) EEA 1991 VOL. 94 No. 1125

54398 Un laboratorio de conversión de energía controlado por computadora para estudiantes de ingeniería eléctrica.

Un laboratorio de conversión de energía controlado por computadora para cursos de conversión es presentado. El laboratorio utiliza adquisición de datos, un controlador electrónico y elementos finitos para análisis. El método de elementos finitos fue usado para desarrollar un método de análisis computarizado por medio del cual los estudiantes fueran capaces de comparar los resultados teóricos con los datos de laboratorio. El propósito es mejorar el laboratorio de máquinas de potencia de ser meramente un ejercicio manual a ser una experiencia analítica en profundidad en la cual los estudiantes sean capaces de comparar los resultados de laboratorio con expectativas teóricas. Esta aproximación puede ser usada para el estudio y el análisis de transformadores, máquinas de inducción, máquinas síncronas y máquinas de CD. Un ejemplo es dado para ilustrar esta técnica. (9 refs.) EEA 1991 VOL. 94 No. 1125

61475 Una aproximación avanzada para la enseñanza de cursos de relés de protección.

El autor introduce tratamiento interdisciplinario y un método experimental para la enseñanza de cursos sobre relés de protección. La principal meta de esta aproximación es enseñar a los estudiantes cómo los últimos desarrollos en la teoría y en la tecnología han afectado el campo de los relés de protección. Un curso de relés por computadora es discutido como ejemplo. (28 refs.) EEA 1991 VOL. 94 No. 1126

67397 Entrenamiento en automatización y tecnología de drives eléctricos, usando aparatos de la compañía Siemens. En alemán.

Los autores describen el equipo y los procedimientos empleados en una escuela de entrenamiento para aplicaciones de drives de motores eléctricos y PLC en la Universidad Técnica de Dresden. Modelos de controladores multi-ejes están también disponibles. Se hace referencia al lenguaje de programación STEP5 y una teoría de servo es enseñada. Usos para drives de motores de CD y CA son mostrados y un plan de laboratorio para drives inteligentes es presentado. Planes para futuras extensiones son discutidos. (sin refs.) G.M.E. EEA 1991 VOL. 94 No. 1127

6006 Impacto del desarrollo computacional en la educación de los graduados en ingeniería de máquinas eléctricas y drives.

El impacto de las facilidades de cómputo modernas, ya sea de software como de hardware, en la enseñanza de un campo tan clásico como el de las máquinas eléctricas y los drives, es aquí discutido. Así mismo, se muestra cómo este desarrollo puede ayudar a comprender el concepto fundamental y hacer este campo tan atractivo como sea posible. Es puesta particular atención en las características de la ingeniería de diseño ayudado por computadora, simulación y prueba; de tal manera que haya una conexión con la educación de la ingeniería en esta área. Se llegó a la conclusión de que las técnicas ayudadas por computadora son extremadamente importantes en este campo, viéndolo desde dos puntos de vista: (1) desde su introducción, es factible una discusión del fenómeno más amplia y más general, y muchas restricciones que fueron encontradas en el sistema clásico pueden ser superadas; y (2) usando las mismas técnicas, como en otros campos de la ingeniería, el diseño de máquinas eléctricas y drives llega a ser, un muy buen ejemplo de diseño, lo cual es ya un logro en sí mismo. (sin refs.) EEA 1990 VOL. 93 No. 1100

6016 Adelantos en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Rey Saud.

Los autores describen el proceso de actualizar y renovar el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Rey Saud que acompañó al cambio de la Universidad a su nuevo campus en Dhareya. Es puesta particular atención al viejo equipo que ha sido preservado y al potencial del nuevo equipo. Se ha notado también que las facilidades de investigación pueden ser mejoradas, si un sistema de cómputo es introducido en el laboratorio. Así mismo, las facilidades para un drive de estado sólido pueden ser mejoradas mediante la introducción de un generador de 400 Hz. (5 refs.) EEA 1990 VOL. 93 No. 1100

ARTICULO ANEXADO EN ESTA TESIS

20411 Un paquete de aprendizaje asistido por computadora compatible con IBM PC sobre el funcionamiento de motores de inducción trifásicos (CALIM).

Un paquete de aprendizaje asistido por computadora (CALIM) está bajo desarrollo en el NREL en una computadora PC Amstrad 1512 el cual habilita el funcionamiento en estado estable de tipos convencionales de motores de inducción a ser simulados. Estos comprenden motores de inducción de rotor de jaula de ardilla, de doble rotor de jaula de ardilla y de rotor devanado. CALIM es una ayuda para los usuarios que están familiarizados con la construcción general y teoría fundamental de los motores de inducción y desean investigar su conducta en estado estable sin recurrir a mediciones repetitivas, laboriosas y consumidoras de tiempo en el laboratorio. En el desarrollo de CALIM, se ha cuidado el llegar a enfatizar la influencia de variaciones en los parámetros del motor dadas sus características. Esto enriquece profundamente el proceso de aprendizaje atendiendo el funcionamiento de estas máquinas. (4 refs.) EEA 1990 VOL. 93 No. 1108

36442 Un sistema de control de motor de pasos basado en microcomputadora (experimento educacional).

Los autores describen el desarrollo de un experimento que fue incorporado a un curso de control automático para ingeniería mecánica. El propósito del experimento es enseñar a los estudiantes de ingeniería mecánica cómo usar microcomputadoras para monitorear y controlar la velocidad de uno o más motores de pasos. Los autores discuten el equipo seleccionado, los procedimientos experimentales y las conclusiones obtenidas como resultado de incorporar este experimento en el curso. Se espera que la información presentada sea útil a aquellos interesados en desarrollar experimentos de control similares. (1 refs.) EEA 1989 VOL. 92 No. 1098

MODERNIZACION DE UN LABORATORIO DE MAQUINAS (PARA EDUCACION)
DONALD KASTEN, JEFFREY C. KENT, THOMAS J. MAKO, SCOTT C. TURNER
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA
UNIVERSIDAD ESTATAL DE OHIO
COLUMBUS, OHIO
EXTRACTO

La Universidad Estatal de Ohio ha mantenido un laboratorio de maquinaria para pregraduados usando máquinas de CD y CA de 10 a 15 hp. Una reciente donación de la Corporación Americana de Servicio de Potencia Eléctrica está siendo usada para modernizar el laboratorio. Esta modernización incluye la regeneración eléctrica y mecánica de las máquinas de 10 a 15 hp, el desarrollo de un sistema de adquisición de datos computarizado, y la especificación y compra de una unidad de tres máquinas (1 a 2 hp) con drives de velocidad variable. Este documento presentará información acerca del sistema de adquisición de datos computarizado y cómo está siendo usado por los estudiantes para investigar las características de las máquinas.

FUNDAMENTOS

A todos los estudiantes pregraduados en Ingeniería Eléctrica actualmente les es requerido llevar un laboratorio de máquinas eléctricas. Este laboratorio ha hecho énfasis tradicionalmente en el uso de máquinas de 10 a 15 hp, especialmente máquinas sin cronas trifásicas, máquinas de inducción trifásicas y máquinas de CD. Durante muchos años han sido usadas mesas de laboratorio con cuchillas desconectadoras y conexiones energizadas expuestas, al igual que medidores analógicos del más viejo estilo. Aunque estas mesas y medidores están aun en buenas condiciones de operación, los estudiantes ya los ven muy obsoletos, especialmente porque los comparan con otros laboratorios más modernos.

Por consiguiente, a mediados de los años 80, la facultad inició un programa de modernización tendiente a dotar al laboratorio con una tecnología más moderna y segura. El programa in-

cluyó nuevas mesas de laboratorio, un nuevo sistema de adquisición de datos computarizado y la regeneración de las máquinas de 10 a 15 hp. Los arrancadores usados con las máquinas de CA son arrancadores de autotransformador. Los arrancadores para las máquinas de CD son arrancadores de cuatro puntos, los cuales más allá del arranque insertan una resistencia limitadora de corriente. Reemplazar estos arrancadores con drives de velocidad variable, siendo estas máquinas tan grandes, hubiera sido muy costoso. Por consiguiente, se decidió implementar la tecnología de drives de velocidad variable en un nuevo conjunto de máquinas de 1 a 2 hp. Este conjunto consiste de una máquina de inducción trifásica de rotor devanado, una máquina síncrona de imán permanente y una máquina de CD.

Al momento de escribir este documento, la mayor parte de lo planeado ha sido completado.

MESA DE LABORATORIO

Los dos objetivos principales para el diseño de las nuevas mesas de laboratorio (para las máquinas de 10 a 15 hp) fueron la seguridad y la instrumentación moderna. Nunca antes se había sentido la necesidad de que el estudiante estuviera familiarizado con prácticas de manejo seguro de circuitos de alta corriente. Por consiguiente, al estudiante se le requeriría conectar la máquina y la fuente apropiada a la mesa de laboratorio. El sistema de instrumentación sería flexible y algo automatizado, pero aun requeriría que el estudiante determinara que cantidades serían monitoreadas mientras se probara una máquina en particular.

Cada mesa tiene cinco circuitos independientes, cada una con su propio breaker, un contactor operado por push-button y transductores apropiados de voltaje y corriente. Dos de los circuitos son idénticos y son usados para la excitación del campo de la máquina síncrona y de la máquina de CD. Incorporada dentro de este circuito está una resistencia de descarga de campo y conexiones para un réostato de campo. Los otros tres circuitos in

cluyen un circuito trifásico de cuatro hilos de 100 amperes para las máquinas síncronas y de inducción trifásicas, un circuito de CD de 100 amperes para la armadura de la máquina de CD y un circuito trifásico de cuatro hilos de 10 amperes para prueba de transformadores.

La Figura 1 es una representación exacta del layout del panel frontal sobre la mesa de laboratorio para el circuito del estator y el circuito de campo de una máquina síncrona trifásica.

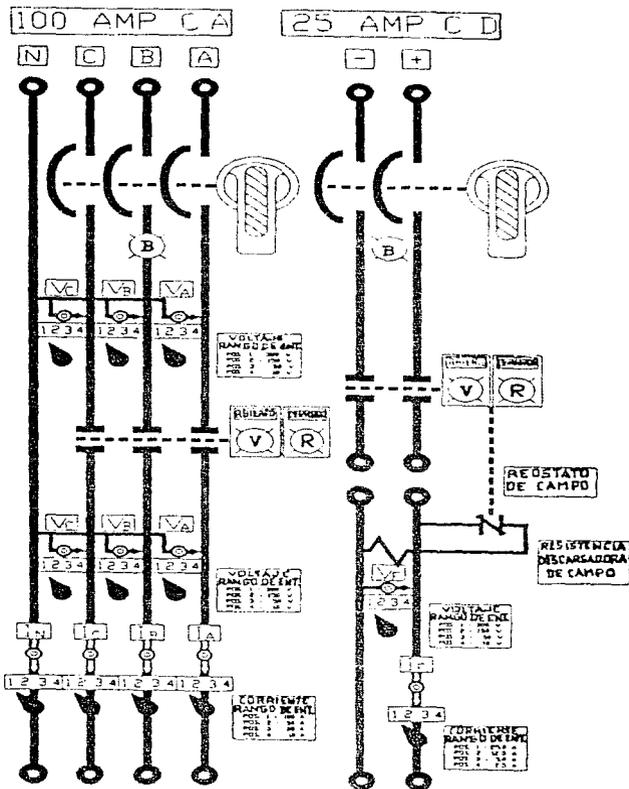


Figura 1. Layout del panel frontal de un circuito trifásico de cuatro hilos de 100 amperes y un circuito de campo de 25 amperes

El diagrama del circuito está grabado en un material laminado sobre el panel frontal; etiquetas rotuladas están adheridas como está indicado por medio de las cajas rectangulares. El panel frontal muestra el lugar donde los voltajes y las corrientes pueden ser monitoreados en el circuito del estator y de campo. Note que existen sensores de voltaje tanto en el lado de la fuente como en el lado de la carga del contactor, tal que la máquina sincrona cuando opera como generador, puede ser sincronizada a un sistema externo.

El circuito para la armadura de la máquina de CD tiene sólo un transductor de voltaje y un transductor de corriente. El circuito usado para la prueba de transformadores incluye un autotransformador trifásico variable. El transformador bajo prueba es conectado por el estudiante y puede ser, ya sea monofásico o trifásico (en delta o en estrella). Sensores de voltaje y corriente están disponibles, ya sea para el primario o el secundario del transformador bajo prueba.

SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

El sistema de adquisición de datos está centrado alrededor de una computadora personal con un convertidor A/D de 16 canales. Transductores de voltaje y corriente son usados para obtener las formas de onda de voltaje y corriente instantánea. Estos datos son entonces procesados mediante software para determinar los valores rms o CD promedio, la potencia de CA (real, reactiva y el factor de potencia) y la potencia de CD. Transductores de voltaje y corriente

Una consideración muy importante en el diseño del sistema de instrumentación era la seguridad. Por consiguiente, se decidió usar sensores de efecto Hall, los cuales proveen buen aislamiento eléctrico entre las cantidades medidas de alto voltaje y corriente y el instrumento de medición, especialmente el convertidor A/D. Dado que los sensores de efecto Hall tienen un rango de operación desde CD hasta 10 kHz, fueron usados para ambos circuitos, tanto el de CD como el de CA.

La salida del sensor es del orden de miliamperes cuando opera a la entrada nominal. Esta corriente de salida, la cual es proporcional, ya sea al voltaje o a la corriente de entrada, fluye a través de una resistencia de medición de 100 ohms. La caída de voltaje a través de esta resistencia es entonces alimentada dentro de un amplificador de instrumentación con control de ganancia variable. El estudiante debe escoger la ganancia apropiada por medio de un switch selector de rango, p.ej. ya sean 300, 150, 50 ó 10 volts, o bien, 100, 50, 20 ó 10 amperes. El switch y los rangos de selección son mostrados en la Figura 1 para todos los voltajes y corrientes monitoreados. La salida del amplificador de instrumentación es la entrada del convertidor A/D. Las resistencias de ganancia para el amplificador de instrumentación fueron escogidas tal que con una entrada a escala completa, la entrada al convertidor A/D es de 7.07 volts rms ó 7.07 volts CD.

Cada uno de los tres circuitos de CD sobre la mesa de laboratorio tiene un sensor de voltaje y un sensor de corriente como se indica para el circuito de campo de la Figura 1. Para los circuitos trifásicos de CA, los sensores de voltaje están conectados a una línea neutral y existen sensores de corriente en cada fase y el neutro.

Panel frontal

El panel frontal de la mesa de laboratorio es de construcción de frente muerto, esto es, que no hay conexiones energizadas sobre el panel, sólo salida de señales desde los diferentes transductores de voltaje y corriente. La única excepción es el circuito del transformador, el cual provee conexiones de baja corriente (menos de 10 amperes) sobre el panel frontal. Como se muestra en la Figura 1, para el circuito trifásico de cuatro hilos, el panel frontal tiene un circuito grabado que muestra todos los componentes, tales como breakers, contactores y sensores de voltaje y corriente. Jacks de banana en miniatura están localizados en los puntos del circuito donde los transductores proveen las

mediciones de voltaje y corriente. El estudiante debe hacer la co
nexion física entre estos jacks sobre el panel frontal y la en
trada al convertidor A/D.

Asociado a cada punto sensor, se encuentra un switch de rango y una leyenda indicando el rango para cada posición del sensor. Los círculos mayores mostrados en la Figura 1 representan las co
nexiones de la parte trasera de la mesa de laboratorio a la fu
ente y a la máquina bajo prueba.

Como se indicó anteriormente, cada uno de los cinco circuitos tiene un breaker y un contactor. Una luz blanca indica que el breaker está cerrado. Push-buttons rojos y verdes a iluminarse son usados para operar el contactor. Montado en la parte superior de la mesa de laboratorio, arriba de cada uno de los cinco circu
itos está un voltmetro, el cual monitorea el voltaje de la fuente aplicado al circuito. Estos voltmetros están simplemente para in
dicacion y no para propósitos de toma de datos.

La Figura 2 muestra el circuito de control para el circuito trifásico de cuatro hilos de la Figura 1. El circuito de control es energizado con 120 volts a 60 Hz.

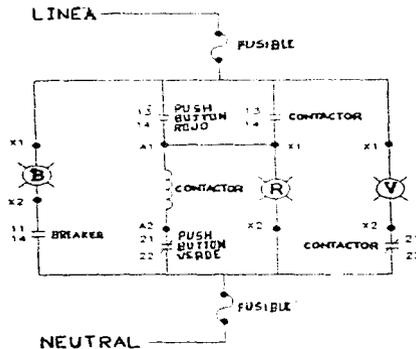


Figura 2. Circuito de control para un circuito trifásico de cuatro hilos de 100 amperes

Panel trasero

El panel trasero es el lugar en donde todas las conexiones de alto voltaje y corriente están conectadas a la máquina bajo prueba y a la fuente. Cada punto de conexión tiene un jack largo oculto en un mango de aislamiento. Por consiguiente, no existen partes energizadas expuestas. Todas las conexiones requieren puntas de alta corriente con su debido jack, el cual es de, aproximadamente, $3/8$ de pulgada de diámetro. Etiquetas rotuladas identifican cada una de las terminales.

Miscelánea

Los transductores de efecto Hall y los amplificadores de instrumentación requieren una fuente de ± 15 volts CD. El amplificador de instrumentación y la circuitería asociada, además de la resistencia de medición para los sensores están montados en tarjetas de circuito impreso. Este equipo, a su vez, está montado en un gabinete por separado sobre la mesa de laboratorio. También está incluido un push-button de emergencia, el cual abre todos los contactores sobre la mesa, desenergizando así, todas las máquinas.

SOFTWARE

El software de adquisición de datos fue desarrollado en OSU, específicamente, para su uso con las mesas de laboratorio y sensores ya descritos. El software, el cual está escrito en C, es manejado desde un menú principal. A la vez, una variedad de menús y pantallas permiten al estudiante configurar el sistema para adquirir y desplegar los datos como ellos deseen. Los datos pueden ser desplegados en varias formas: como formas de onda instantáneas en el modo osciloscopio, como valores rms o CD en el modo multímetro digital, o como una gráfica de valores rms o CD de varias cantidades versus alguna otra cantidad. Esto le permite al estudiante visualizar los datos como están siendo recolectados. Los datos son automáticamente salvados como van siendo recogidos. El estudiante puede también obtener un listado de los datos y una impresión de los resultados gráficos.

Computadora

La computadora es una computadora personal 286 compatible con IBM, con un co-procesador y un Mbyte de RAM. Un monitor VGA y una impresora de matriz de punto también son usados.

Operación del Convertidor A/D

El convertidor A/D cuenta con 16 canales y tiene una tasa máxima de muestreo de 100,000 muestras por segundo en el modo DMA. La tasa de muestreo es controlada por software. Dado que existe sólo un convertidor A/D para los 16 canales, cada canal es multiplexado en secuencia al convertidor. Así, una muestra es tomada cada 0.5 milisegundos con un total de 100 muestras por canal. A esta tasa, aproximadamente tres ciclos de datos (sobre una base de 60 Hz) son colectados y entonces procesados. El tiempo total de procesamiento es del orden de 1 a 2 segundos. Este procesamiento incluye la obtención de los valores rms o CD promedio de todos los canales, calculando la potencia real y reactiva de CA o la potencia de CD, como sea requerido, y desplegando los datos ya sea, en el modo osciloscopio, en el modo multímetro digital o en el modo gráfico de estado estable.

Puesta a punto por el usuario

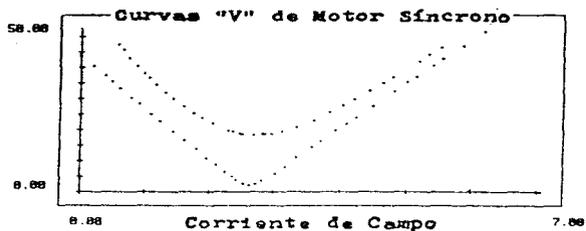
El usuario debe conectar la salida del sensor deseado al convertidor A/D. Dieciséis jacks de banana en miniatura sobre el panel frontal de la mesa de laboratorio están conectados vía un cable plano al convertidor A/D en la computadora. Por consiguiente, la conexión entre el sensor y el convertidor A/D es hecha por la parte frontal de la mesa de laboratorio. El estudiante debe identificar para el software, que señales están siendo conectadas a que canal y en que rango el switch de ganancia está colocado. También, si los cálculos de potencia van a ser efectuados, deben ser accedidos los canales de voltaje y corriente para los cuales la potencia va a ser calculada.

Además, para los 16 canales de datos del convertidor A/D, el programa tiene 14 canales "soft". Estos canales son usados para almacenar los resultados del cálculo de potencia y para cual - -

quier entrada manual de datos que no sea accesada via el convertidor A/D. Toda la información de los canales es accesada al programa a través del uso de algunas pantallas manejadas desde el menú. Igualmente, las pantallas manejadas por menú proveen al estudiante de flexibilidad para definir las salidas gráficas deseadas.

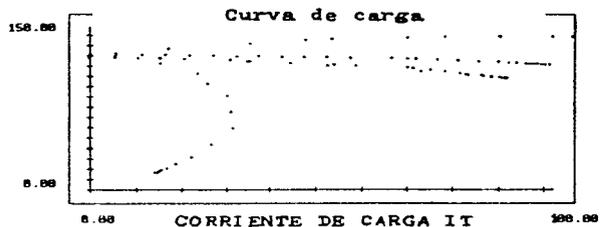
Salida

Las figuras 3, 4 y 5 muestran salidas típicas.



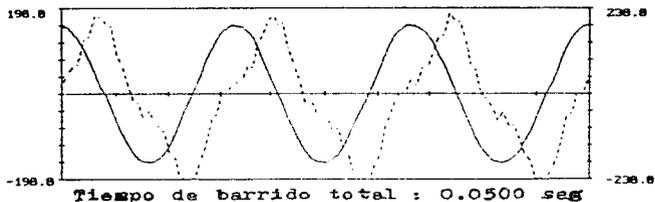
F1 - Trazo de pto. F4 - Mapa de canal. Corriente de campo Valor: 2.26
 F2 - Ajuste F5 - Trazo de param. Corriente de estator de CA Valor: 8.16
 F3 - Borrar último ESC - Salida en G.E.
 F10 - Recalibración A/D
 FECHA: 05/02/92 TIEMPO: 09:40:32

Figura 3. Curvas "V" de Motor Síncrono



F1-Traso de pta. F4-Mapa de canal CORRIENTE DE CARGA IT Valor: 98.90
 F2-Ajuste F5-Traso de param. VOLTAJE DE CARGA VT Valor: 149.56
 F3-Sonar ultimo ESC-Salida cn s.a.
 F10-Recalibración A/D
 FECHA: 05/02/92 TIEMPO: 08:21:19

Figura 4. Pruebas de carga de un generador de CD



Entrada 1
 Canal #: 13
 V primario
 RMS: +109.49

FECHA: 07/01/92
 TIEMPO: 06:33:00

Entrada 2
 Canal #: 14
 I primario (ma)
 RMS: +133.83

Figura 5. Voltaje y corriente instantáneos a circuito abierto para una prueba de transformador

La Figura 3 muestra la corriente del estator de un motor síncrono trifásico versus la corriente de campo para diferentes cargas a la flecha. Note que esto ilustra las típicas curvas "V" de un motor síncrono.

La Figura 4 representa los resultados de las pruebas de carga para un generador de CD. Las curvas son de operación por excitación por separado, autoexcitación y excitación compound (ya sea acumulativa o diferencial).

La figura 5 muestra el voltaje instantáneo aplicado y la corriente de excitación para un transformador monofásico, durante la prueba a circuito abierto usando el modo osciloscopio. Note que hay una segunda armónica significativa presente en la corriente, indicando que el transformador está en saturación. El transformador bajo prueba es un dispositivo de 120 volts/120 volts, 150 volt ampere.

RESUMEN

Una versión prototipo de la nueva mesa de laboratorio y el software para adquisición de datos ha estado en operación por más de un año. La versión final de las mesas de laboratorio fue introducida en el laboratorio durante el Otoño de 1991. Se anticipa que toda la construcción y el refinamiento del circuito será completado al inicio de la Primavera de 1992.

Planes futuros incluyen el desarrollo de software para disparar el A/D desde una fuente externa y para variar el tiempo de muestreo y el número total de muestras. Esta característica permitirá capturar corrientes de arranque en la máquina y corrientes irruptivas en los transformadores. También se anticipan los refinamientos adicionales en el software que serán necesarios para usar el sistema de adquisición de datos con las nuevas unidades de tres máquinas (1 a 2 hp) que contienen drives de velocidad variable.

AGRADECIMIENTOS

A los autores y al Departamento de Ingeniería Eléctrica les gustaría agradecer a la Corporación Americana de Servicio de Po-

tencia Eléctrica por su generoso apoyo en este esfuerzo de modernización.

El diseño y desarrollo de las mesas de laboratorio y el sistema de adquisición de datos estuvo acompañado por el esfuerzo de un sinnúmero de estudiantes. El software inicial, escrito en BASIC, fue desarrollado por Kevin Embrey. La presente versión en C fue escrita por James M. Kinney. S.W. Chua realizó el diseño inicial para los sensores y los circuitos amplificadores de instrumentación.

Los siguientes estudiantes realizaron un significativo esfuerzo en la construcción de las mesas de laboratorio y toda la circuitería asociada: Jeffrey T. Bales, John F. Brendle, Jeffrey C. Kent, Richard B. Kronstad, Thomas J. Mako y Scott C. Turner. Además, se contó con el apoyo adicional de estos estudiantes en el esfuerzo de modernización: Patrick J. Carlin, Bryan J. Coates, Michael K. Haten, Gregory A. Love, Mark J. Samborsky, Gregory Taylor, Bruce J. Vetter y David J. Wiggenhorn. La asistencia de los maquinistas (ayudantes) William J. Thallogat y Carl Russel en la construcción de las mesas de laboratorio es grandemente apreciada.

Finalmente, un especial agradecimiento debe ser dado a los asistentes de profesores, quienes han contribuido a la implementación de las nuevas mesas de laboratorio y software; ellos son, Kevin Embrey, S.I. Moon, Thomas I. Leksan y George C. Campbell.

MODERNIZACION DEL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS Y ELECTRONICA DE POTENCIA DE LA UNIVERSIDAD DE WISCONSIN

D.W. NOVOTNY, R.D. LORENZ, T.A. LIPO Y D.M. DIVAN
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación
Universidad de Wisconsin-Madison

EXTRACTO

Este documento presenta un reporte preliminar sobre el nuevo laboratorio de máquinas eléctricas y electrónica de potencia que está siendo desarrollado en la Universidad de Wisconsin-Madison. El mayor énfasis es hecho en los nuevos stands de prueba de drives eléctricos que fueron seleccionados como el medio más adecuado de introducir máquinas eléctricas, controles de drives eléctricos y electrónica de potencia en un medio ambiente de laboratorio. Una descripción de los stands de prueba y algunos ejemplos de su intentada utilización en el curso de primer nivel del laboratorio de máquinas eléctricas son presentados. Así como, algunos de los fundamentos principales para la selección de un stand de prueba integrado y su diseño, y finalmente, un breve resumen de algunos otros equipos a ser instalados en el laboratorio.

INTRODUCCION

El laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de Wisconsin fue originalmente construido a comienzos de los 50's y el equipo básico y su layout (algo reducido en tamaño) estuvo siendo utilizado aun hasta hace poco. Recientemente, a través de una apropiación estatal y de una muy generosa donación de la Fundación Grainger, los fondos para llevar a cabo una verdadera modernización y un programa de remodelación llegaron a estar disponibles. Al planear la modernización, se decidió organizar las nuevas facilidades alrededor de un conjunto de stands de prueba, que contarían con máquinas, convertidores de potencia y algo de instrumentación en una sola y simple unidad. La mayor parte de este documento describe el desarrollo y la planeada utilización de estos stands de prueba.

PERSPECTIVA HISTORICA

El desarrollo de un amplio rango de controladores de electrónica de potencia para máquinas eléctricas ha revolucionado la industria de drives eléctricos en las pasadas dos décadas. En la mayoría de los casos, las instituciones educativas sólo han sido capaces de incorporar control electrónico de motores dentro de sus cursos de laboratorio mediante la adición de unidades de equipo comercial para aumentar las facilidades existentes en sus laboratorios de máquinas. Esta fue también la aproximación seguida en Wisconsin y pronto nuestro laboratorio fue equipado con cada una de las variedades de unidades comerciales, la mayoría de las cuales fueron recibidas como muy apreciadas donaciones de los fabricantes. Afortunadamente, también se recibió una donación de cinco drives idénticos de frecuencia variable de seis pasos, los cuales han llegado a ser los caballitos de batalla de nuestros laboratorios a nivel principiante.

Mientras este tipo de equipo nos permitió introducir algunos aspectos de control moderno de motores mediante electrónica de potencia, por el contrario, no nos permitió demostrar el amplio rango de posibilidades que existen. Aunque se construyó a su vez algo de equipo especializado como parte de nuestros esfuerzos de investigación, muy poco de éste podía ser usado dentro de laboratorios instruccionales por carecer de suficiente fundamento y porque el equipo no incorporaba la circuitería de protección requerida y la rudera necesaria para instrucción de laboratorio.

Cuando los fondos especiales llegaron a estar disponibles, estaba claro que lo que se pretendía era desarrollar un medio para incluir un amplio rango de opciones de control, además de las opciones normales de operación a voltaje y frecuencia constante. Después de considerar algunas posibilidades, se escogió diseñar un stand de prueba versátil, el cual permitiría un amplio rango de modos de operación y sería lo suficientemente flexible para permitir futuras adiciones de nuevos conceptos y estrategias como modificaciones de software. Para permitir su uso en los labo-

ratorios a nivel principiante, se decidió incorporar un número de modos de hardware que permitiesen realizar ejercicios sencillos sin requerimientos de programación externa. Los stands de prueba fueron diseñados y construidos por Unico, Inc. en Franksville, Wisconsin, siguiendo las especificaciones de diseño dadas por nuestro grupo.

ESTRUCTURA BASICA DE LOS STANDS DE PRUEBA

Los stands de prueba consisten de un encapsulado principal que contiene los circuitos principales de distribución de potencia trifásica y de cd, además de controles de operador. Tres paneles fijos proveen a su vez las interfaces a las máquinas, los puntos de prueba de instrumentación básica para las variables eléctricas de éstas y sus controles de operador. Además, son proveídos tres racks fijos de control por computadora, uno para cada máquina; cuatro módulos removibles convertidores de potencia, para suministrar versatilidad en el control y operación de las mismas; un panel fijo de instrumentación con tres voltímetros digitales; y un osciloscopio de almacenamiento digital de dos canales. Finalmente, las tres máquinas están también montadas en el encapsulado principal. Una vista general del stand de prueba completo es mostrada en la Figura 1.

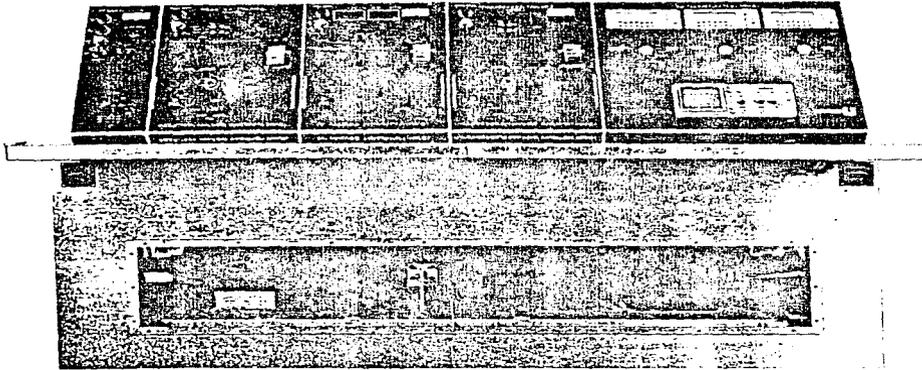


Figura 1. Stand de prueba de un sistema de accionamiento de máquinas eléctricas y electrónica de potencia

Encapsulado principal y circuitos de potencia

Los circuitos principales de potencia incluyen un transformador de aislamiento de 230 V, 3.5 kVA, un trifásico, un contactor operado por llave y un breaker de entrada trifásico. La potencia trifásica es llevada a cada uno de los módulos de las máquinas de ca, tal que, cualquiera de las máquinas de ca puede ser operada directamente desde la fuente trifásica si así se desea. La fuente trifásica también alimenta a un rectificador trifásico de 3 kW para proveer una fuente de cd para el bus, y por ende, para los módulos convertidores de potencia. Así mismo, se intenta que el stand de prueba opere normalmente con ambos convertidores, tanto para máquinas motoras como generadoras, alimentadas tal que la potencia simplemente circule a través del bus de cd. El bus está equipado con una resistencia de frenado dinámico tasada a 2.5 kW. Esto permite que cualesquiera de las máquinas se regeneren dentro del bus con la potencia disipada en la resistencia de frenado (como ocurrirá si un motor está alimentado desde la línea y carga

do mediante el generador de cd).

Paneles de máquinas

Cada máquina se conecta al encapsulado principal a través de un panel fijo, el cual es específico a cada máquina. En el caso de las máquinas de ca, las terminales de la máquina están localizadas tal que pueden ser alimentadas, ya sea desde la línea de ca o desde el convertidor de potencia apropiado, mediante una simple cinta conectora trifásica. La máquina de cd es únicamente alimentada desde el convertidor de potencia de cd, también mediante un conector de cinta, tal que la máquina pueda ser fácilmente aislada.

Máquina de inducción.— La máquina de inducción es una máquina de alta eficiencia de 2 hp, 230 volts, 60 hz y 1725 rpm. Un contactor trifásico operado por llave contra sobrecargas térmicas es usado para hacer la conexión de potencia final. Dos sensores de corriente de efecto Hall son proveídos junto con dos amplificadores diferenciales para proveer a su vez puntos de medición de corriente y voltaje amplificados en el panel de la máquina. Estas señales de voltaje y corriente amplificadas son también llevadas internamente al panel de instrumentación.

Máquina síncrona.— La máquina síncrona está tasada en 2 kW como motor y en 1.5 kVA como generador. Es una máquina de 4 polos con campo devanado y 230 volts. El mismo tipo de contactor e instrumentación amplificada es proveída tanto como para el motor de inducción. Además, un control analógico de campo, un amperímetro y un conjunto de luces de sincronización, completan el módulo.

Máquina de CD.— La máquina de cd es un dinamómetro montado en suena, tasado en 230 volts, 7.6 amps., 2 hp y 1750 rpm. Un tacómetro de cd está directamente acoplado a la máquina de cd y una celda de carga de un medidor de deformación es usada para sensar el par de reacción. Un contactor de cd operado por llave es suministrado para hacer la conexión final a la fuente de poder. Puntos de medición amplificados para el voltaje de armadura, la corriente de armadura, el par y la velocidad son proveídos junto con un lector digital de velocidad y par, un control analógico de campo y un ampe-

rímetro.

Módulos convertidores de potencia y control

Cuatro módulos convertidores de potencia removibles con controladores integrados son provistos para facilitar un amplio rango de actividad experimental. Tres de los módulos son: el módulo específico a cada máquina, el de los convertidores PWM de corriente regulada con software reconfigurable dedicado, y el de los controladores por microprocesador; el cuarto módulo es un drive estándar de velocidad variable de volts/hz constante, el cual puede ser usado con cualesquiera de las máquinas de ca. El drive volta/hz tiene ajustes en el panel frontal para límites de aceleración y para elevación de voltaje a baja velocidad. Tanto el módulo específico a cada máquina como el PWM de corriente regulada pueden ser controlados mediante una computadora externa, aunque también cuentan con modos de control de operación interconstruidos, seleccionables mediante un switch de modos. Uno de los modos de control interconstruidos permite controlar entradas desde un potenciómetro de referencia sobre el módulo, mientras que otro lo permite a entradas de señales analógicas de referencia. Cada uno de los módulos inversores de ca tiene modos de control de cómputo internos para control de posición, velocidad y par, y ambos a su vez emplean control por orientación de campo (sólo los modos de velocidad y par cuentan con hardware seleccionable). La información de la posición de la flecha es proveída vía un codificador en la máquina de inducción y un dispositivo de resolución en la máquina síncrona. El módulo supresor (chopper) de cd tiene también modos de control de velocidad y par, y además, posee un modo de control de voltaje de armadura. Una señal analógica externa de referencia puede igualmente ser aplicada a la entrada de referencia de cualquiera de los modos de control de cualquiera de los módulos.

Panel de instrumentación

El panel de instrumentación provee un medio directo de acceso a todos los puntos de medición aislados vía tres switches selectores multiposición, uno para cada uno de los tres vóltmetros digitales

montados permanentemente. Las señales seleccionables incluyen dos voltajes de línea y dos corrientes de línea para cada máquina de ca, el voltaje y la corriente de armadura para la máquina de cd y las señales de velocidad y par. Todas las señales están también accesibles sobre un bus de señales de instrumentación amplificadas de interfase de cómputo. Un osciloscopio de almacenamiento digital de dos canales es también proveído para observar formas de onda y mediciones asociadas. Un aislador de señales de dos canales es parte del equipo del stand de prueba pero no está interconstruido.

Las señales amplificadas de voltaje y corriente son filtradas para eliminar la portadora PWM y entonces proveer la información sobre la componente fundamental de las variables respectivas. Filtrados adaptados son usados para preservar información de fase relativa.

USO DE LOS STANDS DE PRUEBA

Los stands de prueba fueron creados para apoyar a la mayor parte de la actividad experimental de nuestro programa instruccional de laboratorio en máquinas eléctricas y drives. Sin embargo, estarán también disponibles para cantidades limitadas de actividades de investigación, especialmente el quinto stand, el cual sirve como unidad de respaldo y como herramienta para el desarrollo de ejercicios de laboratorio.

Dado que los primeros dos stands de prueba han sido apenas recientemente entregados, nuestro trabajo hasta el presente ha sido el integrar su uso dentro de nuestros laboratorios electivos sobre máquinas y drives eléctricos. El primero de éstos es un curso a nivel junior sobre máquinas eléctricas, el cual es seguido por un curso a nivel senior sobre drives eléctricos. A manera de ilustración de la flexibilidad de los stands, serán mencionados algunos de los ejercicios planeados para el curso junior sobre máquinas eléctricas. Este curso se enfocará sobre las propiedades de la máquina y los diversos modos de control que serán empleados estrictamente como medios para examinar el comportamiento de la má-

quina. Los modos de control serán por consiguiente tratados como elementos funcionales, con sólo una breve explicación de cómo fueron creados y que limitaciones conllevan.

Estudios de la máquina de CD

Con la máquina de cd físicamente desconectada de su convertidor de potencia, cualquiera de las máquinas de ca operadas en el modo velocidad puede ser usada como fuente de velocidad variable y el rango completo de características a circuito abierto puede ser fácilmente examinado usando sólo la instrumentación del stand de prueba. Para examinar el funcionamiento del generador, una carga resistiva externa puede ser usada. Alternativamente, con la máquina de cd empatada a su convertidor de potencia y operada en su modo par, las características del generador pueden ser fácilmente obtenidas sobre un muy amplio rango de velocidad, corriente de campo y carga. Las características del motor de CD pueden ser igual y fácilmente medidas mediante el funcionamiento de la máquina de cd en el modo voltaje y usando cualquier máquina de ca en el modo par. El funcionamiento del motor a velocidad constante puede también ser observado y la variación requerida en el voltaje de armadura, explorada. Dado que todos los modos de control son capaces de operar en los cuatro cuadrantes, cualquier punto par-velocidad puede ser virtualmente obtenido. Ciertas mediciones de parámetros pueden también ser muy convenientemente hechas mediante un cuidadoso uso de los modos de control. Por ejemplo, usando uno de las máquinas de ca en el modo velocidad para mantener la velocidad en cero y operar la máquina de cd en el modo par, permite medir la resistencia de armadura de la máquina. Una muy informativa gráfica de osciloscopio de la característica V-I de la resistencia de armadura puede ser obtenida mediante la alimentación de una señal externa de baja frecuencia dentro de la referencia de par para que actúe la máquina sobre su rango de corriente.

Los modos de control de par de las máquinas de ca combinados con la habilidad para alimentar señales externas de referencia,

provee un muy poderoso medio de demostrar los efectos de las cargas variables en la máquina de cd. Una carga de par pulsante, por ejemplo, es fácilmente investigable mediante la simple adición de una señal senoidal apropiada a la referencia de par de cd disponible en el módulo de control. Entradas de referencia externas también pueden ser aplicadas en cualesquiera de los modos de la máquina de cd, haciendo posible la observación directa y la medición de varias características de transferencia en el dominio de la frecuencia u la observación de la respuesta transitoria en el dominio del tiempo.

Estudios de la máquina de inducción

La operación convencional de una máquina de inducción puede ser estudiada mediante la alimentación de la máquina desde la línea y usando la máquina de cd en el modo par. El funcionamiento, tanto del motor como del generador de inducción, puede ser examinado sin mayor problema (en el caso del motor la potencia de salida es disipada en el freno dinámico del bus de cd). Las serias consecuencias del funcionamiento del motor a bajo voltaje con una carga de par constante son fácilmente demostradas mediante la simple inclusión de un variac para el control del voltaje de línea. Utilizando los modos de velocidad o voltaje en la máquina de cd, la curva completa par-velocidad del motor de inducción puede ser obtenida (a voltaje de línea reducido). Mediciones menos convencionales pero muy informativas de la diferencia entre el par pico a voltaje constante y el par pico a corriente constante pueden ser igualmente hechas mediante el uso del modo velocidad en la máquina de cd. Cargas pulsantes y cargas repentinamente aplicadas son a la vez fácilmente obtenidas mediante el uso del modo par en la máquina de cd y entradas de referencia externas.

Así mismo, mediciones de parámetros pueden ser llevadas a cabo usando la máquina de cd tanto en el modo velocidad como utilizando una fuente misma de velocidad. Al igual, una operación sin carga es posible, permitiendo demostrar algunos de los efectos

parásitos, tales como flujo residual en el rotor y asimetría en el mismo, inherentes en las máquinas reales. El control a velocidad cero en una malla de posición permite la prueba normal a rotor blo queado y otra vez los efectos parásitos pueden ser observados.

Instalando el módulo volts/hz y usando la máquina de cd en el modo par permitirá analizar un control convencional de velocidad de un motor de inducción en malla abierta. Dado que la fuente de cd para el módulo volts/hz es el bus de cd del stand de prueba, puede ser examinada, si así se desea, la operación regenerativa. Cargar la máquina, aun a muy baja velocidad, no presenta mayor pro blema como resultado del modo de par controlado en la máquina de cd.

Finalmente, los requerimientos para un control preciso de velocidad o par de una máquina de inducción pueden ser estudiados instalando el módulo convertidor de la máquina de inducción y examinando las variaciones requeridas en el voltaje del motor, la corriente y el deslizamiento, cuando éste opere en cualesquiera de los modos de control de par o velocidad. Estas observaciones reforzarán el rol importante del deslizamiento en la caracterización del funcionamiento del motor de inducción, a pesar de que la exten sión completa de las complejidades de control no es totalmente explorada (en el primer curso).
Estudios de la máquina síncrona

El mismo rango completo de posibilidades que existen para la máquina de inducción, existen también para la máquina síncrona. Una demostración completa de una operación normal de conexión a la línea, incluyendo su sincronización a ésta, es fácilmente obtenible. El funcionamiento a volts/hz constante y control de par puede ser examinado con cierto detalle, a la vez que puede ser hecha, aprox imadamente, la diferencia entre una operación síncrona desde una fuente de frecuencia regulada y una operación autosíncrona.
Estudios del sistema electrónico de potencia y drive

El segundo curso se enfocará principalmente sobre los aspectos del sistema electrónico de potencia y drive, tan opuestos a la má-

quina en sí misma. Aquí la intención es examinar las estrategias de control y topologías de electrónica de potencia empleadas en el control moderno de máquinas. Un amplio rango de posibles ejercicios pueden ser creados simplemente examinando el funcionamiento de las variables del hardware de electrónica de potencia y reconfigurando en software los modos de control de máquina. Por ejemplo, tanto las máquinas síncronas como las de inducción pueden ser corridas mediante PMS de corriente regulada y mediante algoritmos de control de campo orientado, usando hardware interconstruido y software de control. Tales controles pueden ser intencionalmente modificados, revisando simplemente los coeficientes de software que están disponibles para el instructor y/o el estudiante usuario vía una interfase de cómputo. Los controladores de estado variable para el control de movimiento de cualquiera de las máquinas de ca, pueden ser similarmente modificados vía una interfase. Es también posible crear enteramente nuevos controladores, escribiendo simplemente nuevo software de control por computadora. Esto abre un muy amplio rango de ejercicios potenciales. Aunque este último aspecto de operación del stand de prueba ha de ser aun explorado.

OTRO EQUIPO DE LABORATORIO

Adicional a los stands de prueba, el laboratorio contará con dos modernos dinamómetros para trabajo de laboratorio avanzado e investigación. Existen también diez baterías de máquinas adicionales, equipadas con máquinas convencionales, las cuales pueden ser usadas para proyectos específicos o ejercicios de laboratorio.

Para trabajo en el laboratorio de electrónica de potencia, estará disponible un conjunto de cinco unidades modulares, conteniendo componentes básicas de electrónica de potencia. Tres tipos de módulos han sido ya fabricados en el laboratorio. Estos incluyen módulos MOSFET, IGBT y tiristores. Cada módulo es capaz de ser interconectado a un circuito de potencia especificado, conteniendo todos los circuitos de compuerta requeridos. Estos

módulos se conectarán con un controlador estándar, el cual puede ser programado para una amplia variedad de circuitos convertidores. Este equipo es de gran ayuda para la exposición a los estudiantes de los requerimientos de control, procesos dinámicos y comportamiento de conmutación en convertidores de potencia, en cursos de laboratorio de electrónica de potencia por separado.

El soporte de cómputo para la instrumentación y el control en el laboratorio será proveído por cinco computadoras IAC IIX, totalmente dedicadas al laboratorio. El bus completo de señales estará disponible para cada computadora. Cada una de estas computadoras correrá el software, habilitándolas para actuar como instrumentos virtuales de software reconfigurable, tal que numerosos experimentos pueden ser preparados, y la instrumentación "almacenada en software".

OBSERVACIONES CONCLUYENTES

Se han enfatizado las ventajas de un stand de prueba totalmente integrado y virtualmente autocontenido, como herramientas instructivas de laboratorio. Aunque también hay claras desventajas tales como el uso de un solo conjunto de pequeñas máquinas, teniendo muchos de los controles experimentales olvidados y arrumbados, y eliminando algunas de las experiencias manuales de conexión de equipo. Algo de esto se planea encauzarlo por medio de otras facilidades disponibles en el laboratorio. En unos cuantos años nuestra experiencia de operación nos proveerá de algunas respuestas y se anticipan muchas modificaciones de nuestros planes presentes. Estamos esperanzados en que podremos brindar nuevas inquietudes en nuestros cursos y de proveer nuevas experiencias de laboratorio para el beneficio de nuestros estudiantes, a los cuales hemos sido incapaces previamente de satisfacer.

ADELANTOS EN EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNIVERSIDAD REY SAUD

Y.H.A. RAHM, A.I. ALOLAH

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA, UNIVERSIDAD REY SAUD, P.O. BOX 800, RIYADH 11421, ARABIA SAUDITA

EXTRACTO

Este documento describe el proceso de actualización y renovación del laboratorio de máquinas eléctricas del Departamento de Ingeniería Eléctrica, perteneciente al Colegio de Ingeniería de la Universidad Rey Saud en Riyadh, Arabia Saudita, dado el cambio de la Universidad a su nuevo campus en Dhareya.

1. INTRODUCCION

El viejo laboratorio estuvo sirviendo al Colegio desde su establecimiento en 1962. Sin embargo, era un laboratorio con muchos inconvenientes como el que:

- era una colección de máquinas aisladas de diferente clase, potencia y voltaje
- los componentes eran tan disímolos que era muy difícil acomodarlos en conjuntos útiles
- había cierto temor en la medición y en la carga de los equipos
- se hacían grupos con un gran número de estudiantes para que compartieran juntos los experimentos
- casi todas las máquinas eran de gran tamaño y ocupaban, por ende, todo el laboratorio, de tal manera que no habían cuartos disponibles para ningún equipo adicional
- debido a las altas capacidades de las máquinas, la unidad de poder del laboratorio solía alcanzar sus valores nominales cuando sólo se llevaban a cabo algunos experimentos al mismo tiempo
- el laboratorio carecía de equipos de electrónica de potencia, los cuales deberían ya de formar parte integral del laboratorio desde hacía mucho tiempo
- en tal situación de aparatos y espacio limitados, el trabajo de investigación en el laboratorio, tanto de los graduados co-

mo del staff, era relativamente poco.

Así pues, con estas "facilidades" en el laboratorio no se podía hacer mucho, sin embargo, entonces - a mediados de los ochenta -, surgió la idea de mover el Colegio y toda la Universidad a su nuevo campus en Dhareya, en tales condiciones, el departamento tenía que pensar en estructurar un verdadero laboratorio acorde a los requerimientos presentes y futuros del mismo. La idea fue entonces maximizar el uso del contenido del laboratorio existente, haciendo las modificaciones y renovaciones necesarias. Entre éstas, había que hacer una buena selección de este contenido, complementándolo y reorganizándolo en grupos, de ser necesario, y llenar las deficiencias del viejo laboratorio con el nuevo equipo, proveyendo así, un buen equipamiento para estudios de graduados y trabajos de investigación.

2. SELECCION DEL VIEJO EQUIPO

Los siguientes conjuntos fueron seleccionados del viejo laboratorio:

i) Una máquina universal.

ii) Una máquina de C.D. acoplada a una máquina de inducción multi rotor, de capacidad similar. Los rotores incluyen conmutador, anillo colector (saliente y redondo) y diferentes clases de jaula de ardilla.

iii) Un convertidor, una máquina síncrona, una de inducción y una compound, de capacidad similar, acopladas juntas sobre la misma flecha.

iv) Un conjunto generador de armónicas.

v) Dos conjuntos de máquinas síncronas con drives de C.D.

vi) Dos conjuntos, cada uno consistente de dos máquinas de C.D. compound.

vii) Una amplidina con drive de C.D.

viii) Algunos conjuntos de transformadores monofásicos y trifásicos.

Se planeó que los conjuntos seleccionados trabajasen a 220 VCD y a 380 VCA trifásicos. A cinco de los conjuntos mencionados se

les proveyó de paneles de medición apropiados y frenos de corrientes parásitas. A su vez, para proporcionar un amplio rango de aplicaciones, a estos conjuntos se les proveyó de un sistema de paginación que puede conectar eléctricamente cualquier conjunto con otro a través de la tarjeta principal del panel.

3. POTENCIAL DEL NUEVO EQUIPO

Se puede notar claramente que sólo un conjunto de experimentos de un solo tipo (inducción, síncrono o C.D.) se puede probar a la vez. Esto conlleva un sinnúmero de inconvenientes dado que los programas de máquinas eléctricas en la mayoría de las universidades incluyen cada tipo de máquina o más en un solo curso de laboratorio. Por consiguiente, en nuestro caso, los conjuntos disponibles no son suficientes para dar un curso de laboratorio adecuado, teniéndose que volver, en dado caso, a hacer grupos numerosos de estudiantes, que hacen que el trabajo de laboratorio no sea provechoso. A su vez, dadas las limitaciones de espacio, no es tampoco conveniente hacer pedidos de equipo adicional del mismo tipo, siendo, además, que estos equipos requieren de grandes fuentes de poder. Por consiguiente, se pensó que estos equipos sólo se enfocaran a proyectos finales para pregraduados, y cualquier graduado o staff de investigación, pidiéndose nuevos equipos adicionales para llevar a cabo el trabajo burdo de pregraduados y dar soporte al trabajo de investigación.

Algunas especificaciones fueron hechas para ir de acuerdo con la tendencia internacional en el diseño de laboratorios de máquinas eléctricas para universidades. Los puntos más importantes son señalados aquí.

Al nuevo laboratorio se le proveería de una fuente de poder estándar para laboratorio de 330 VCA trifásicos y 220 VCB. Además, para el funcionamiento adecuado de estos requerimientos de potencia, las capacidades de la nueva maquinaria se escogerían alrededor de 1 KV, de tal suerte que al tiempo que se redujesen los requerimientos de potencia, el peso de la maquinaria también. Esto ajustaría el diseño del laboratorio a los lugares de trabajo. Ca-

da lugar de trabajo consistiría de:

- un banco proveído con los enchufes de salida necesarios, posicionados en un gabinete
- conjuntos de máquinas básicas necesarias, arrancadores, reguladores, medidores, carga eléctrica, paneles de sincronización y dispositivos de protección
- carga mecánica, frenos de polvo magnético o frenos de corriente parásitas - dados los muchos problemas experimentados en el viejo laboratorio con frenos mecánicos de fricción -
- osciloscopios y graficadores X-Y, como medio de grabación directa

Además, a algunos conjuntos se les proveería de nuevas máquinas como:

- motores de pasos y
- motores lineales

Dado que la electrónica de potencia ha sido introducida en los laboratorios de máquinas eléctricas de muchas universidades. Se planeó proveer algunos lugares de trabajo con equipos de electrónica de potencia, anexándolos a los conjuntos de máquinas básicas existentes, proporcionando así un buen material para los cursos para pregraduados y graduados y para la investigación en sí. Los conjuntos de electrónica de potencia se planearon para ser el medio de estudio de las características de las componentes de electrónica de potencia y sus circuitos conmutadores. Además, de ser capaces de estudiar diferentes circuitos similares; p.ej. rectificadores, inversores, convertidores, etc. y ser capaces a su vez de operar como equipos de control y de suministro para los diferentes conjuntos de máquinas. La presencia de osciloscopios de tipo ordinario y de almacenamiento, se pensó, le darían también buen apoyo a las máquinas y a los equipos de electrónica de potencia.

Dado que se notó que la mayoría de los laboratorios, aun a nivel universitario, carecen del medio para enseñar a los estudiantes las bases de la conmutación de las máquinas, se pensó en que

sería bastante útil incorporar en las máquinas básicas, relés de disparo por tiempo y retardo, lámparas de señal y tacogenerado - res.

4. CAPACIDADES DEL NUEVO LABORATORIO

Ambos equipos, tanto el viejo como el nuevo, fueron ensamblados en el nuevo campus de la Universidad Rey Saud y han estado trabajando por un periodo de más de seis semestres. El nuevo laboratorio está equipado con un gran tablero de conmutación, alimentado por 380 VCA trifásicos y 220 VCD, desde un cuarto de potencia cercano. En este cuarto, a su vez, están disponibles 110 VCD y 220 VCA trifásicos, también conectados al tablero principal. Este tablero conmuta las diferentes clases de potencia a los 30 diferentes lugares de trabajo. Doce de estos lugares están siendo usados por los viejos conjuntos, descritos anteriormente. Y doce más están siendo usados por las nuevas áreas de trabajo. El resto está reservado para futuras expansiones. Una vista general del laboratorio es mostrada en la figura anexa.



Vista general del laboratorio.

El laboratorio ha estado dando apoyo a cinco cursos sobre máquinas eléctricas y electrónica de potencia a nivel pregraduado y graduado. Así mismo, han sido llevados a cabo en el laboratorio diversos tipos de proyectos finales para pregraduados en este campo. El laboratorio también ha estado dando un gran apoyo a

programas de maestría (Maestría en Ciencias), conducidos por el departamento, y muchos proyectos de investigación están aun en proceso.

Para demostrar las capacidades del nuevo laboratorio, podemos dar algunos ejemplos de lo que se ha hecho o puede ser hecho. Los siguientes temas de tesis de maestría (M. en C.), apoyados por el laboratorio, cubren diferentes áreas, tales como; estudios sobre nuevos tipos de generadores y motores autoexcitados y de reluctancia; reguladores controlados por microprocesador para motores de C.D. de velocidad variable, inversores para alimentar drives de inducción de velocidad variable, etc.

Los proyectos de fin de año cubren una amplia gama de tópicos relacionados, un ejemplo de esto puede ser resumido en los diagramas de bloques mostrados en las Figs. 1-3.

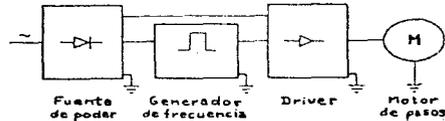


Fig. 1 Drive de motor de pasos.

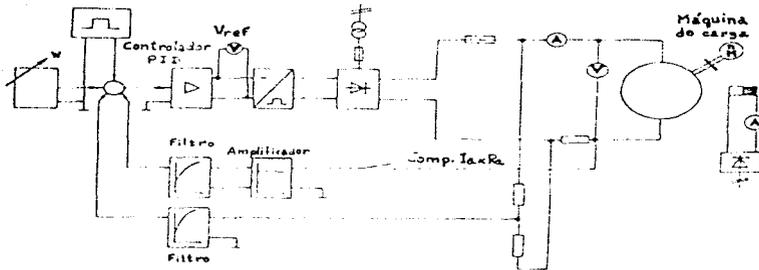


Fig. 2 Control de velocidad de un motor de C.D. usando un controlador PID.

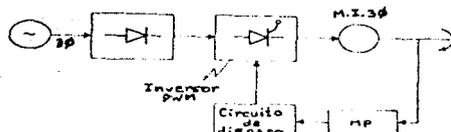


Fig. 3 Control de velocidad de un M.I. 3 ϕ .

Estas figuras muestran el trabajo de los estudiantes sobre motores de pasos, controles automáticos de velocidad para motores de C.D. usando controladores proporcionales integrales derivativos (PID), y controles automáticos de velocidad para motores de inducción usando microprocesador.

5. CONCLUSIONES

Se puede concluir que la situación actual del laboratorio es excelente y puede mantenerse a la delantera de laboratorios similares a nivel universitario.

Sin embargo, las facilidades de investigación podrían ser aumentadas si se introdujese un sistema de cómputo en el laboratorio. También las facilidades para un drive de estado sólido se podrían aumentar, mediante la introducción de un generador de 400 Hz.

El trabajo en general ha sido una buena experiencia para algunos miembros del staff.

6. REFERENCIAS

- (1) "Un modelo avanzado de Curriculum para Energía de Potencia Eléctrica", Report of the Task Force on Electric Power Energy Curriculum, IEEE Trans. Vol. PAS-103, (7), 1984, pp. 1938-1944.
- (2) F. Brockhurst; "Nuevo Programa de Potencia para Pregraduados para descubrir las necesidades de los estudiantes y de los trabajadores", *ibid*, pp. 222-224.
- (3) D. Kasten y A. Keyhani; "Características Innovativas en el Programa de Potencia Eléctrica de la Universidad Estatal de Ohio", *ibid*, pp. 522-529.
- (4) "Boletín para Pregraduados" College of Engineering, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 1987.
- (5) "Un modelo de Curriculum para Pregraduados en Ingeniería de Potencia Eléctrica", IEEE Power Eng. Society, Power Eng. Education Ctte., Electric Power Eng. Curriculum Task Force, IEEE Trans. on PAS.100, June, 1981, pp. 3110-3115.

RESPUESTAS CORRECTAS AL CUESTIONARIO PREVIO DE LA PRACTICA 1.

- A.1 - El equipo controlador lógico programable con regulador electrónico de velocidad para motor de corriente continua, como su nombre lo indica, no es otra cosa más que un equipo que en base a un drive (o accionamiento o controlador) de un motor de CD y en base, a su vez, a un PLC, controla o regula la velocidad de un motor de CD.
- A.2 - Sus dos grandes componentes son:
- accionamiento (drive) para controlar la velocidad de un motor de C.D.
 - controlador(es) lógico(s) programable(s) (PLC)
- A.3 - Su función es la de proveer físicamente los medios para controlar la velocidad del motor, en este caso, en base a un potenciómetro de velocidad, además de ciertas facilidades importantes como son la protección del sistema, etc.
- A.4 - Los PLC's, aunque no son imprescindibles, ni tan necesarios, para un caso tan sencillo como este, que es el control de un motor, sí son muy útiles como medio para que el interesado en el estudio del equipo (alumno) se den cuenta de un medio de control tan utilizado en la actualidad para controlar procesos complejos, como pueden ser aquellos que involucren ya no sólo un motor sino muchos más. En este caso, simplemente se le asigna una entrada que viene del drive y se le "controla" para que se active o no el motor, mediante su conexión de salida a éste.
- A.5 - Los PLC disponibles en nuestro equipo no sólo sirven para controlar la velocidad del motor de C.D., sino que, debidamente, pueden simular otros procesos (vía los switches y los focos disponibles) o pueden también - aunque es un poco más complicado - reprogramarse para hacer cualquier otro control.
- B.1 - El drive/controlador MinPak Plus C-D V₁₅³ es el accionamiento (drive) para controlar la velocidad de un motor de C.D., en específico, al que tenemos acceso en nuestro laboratorio, ya que forma parte del equipo mencionado anteriormente (inci

- so A). Como ya se explicó, sirve para controlar la velocidad del motor de C.D. de unán permanente al que está conectado, además de otras funciones.
- B.2 - Los tres componentes básicos que lo conforman son:
- el controlador MinPak Plus en sí
 - la estación de controlador de operador
 - el motor de C-D de velocidad ajustable
- B.3 - Transportadores, corrugadoras y laminadoras, prensas para impresión, etc.
- B.4 - Switch de arranque/paro (aparte potenciómetro de velocidad)
- B.5 - Circuitos que extienden el control de la unidad - MinPak Plus - y acondicionan su operación a necesidades de aplicaciones específicas.
- Kit contactor inversor

Mediante este kit es posible una operación bidireccional. La dirección del motor es manualmente seleccionada.
 - Kit de frenado dinámico

Mediante este kit se provee un frenado rápido, sin que ocurra un shock en el motor controlado por el drive.
 - Kit fuente de campo

Mediante este kit se provee una excitación de campo, para motores de c-d de devanado shunt.
- C.1 - Un controlador programable (PLC) es un equipo de estado sólido que en base a puertos de entrada y salida, detecta señales provenientes de entradas, tales como sensores de nivel (p.ej.) y en base a éstos y a un programa en memoria decide que decisión(es) tomar, ejerciendo así una señal de salida que puede ser el cierre o apertura de una compuerta (p.ej.).
- C.2 - Las cuatro secciones mayores de un PLC son:
- Procesador - El que toma las decisiones
 - Módulos de entrada - Detectan señales de entrada
 - Módulos de salida - Ejercen señales de salida
 - Fuente de poder - Alimenta el sistema

El procesador es el "cerebro" del controlador programable.
Se divide en:

Unidad central de proceso (CPU) - Toma decisiones de acuerdo al programa

Memoria - Almacena información, programas y mensajes

La sección de entrada se divide en:

- Terminación - Terminales que vienen desde los sensores
- Indicación - Indicadores de estado de entrada (indicadores visuales en ON a voltaje en terminal; caso contrario en OFF (no voltaje))
- Acondicionamiento - Acondicionamiento de la señal de voltaje de la máquina al usado por el PLC
- Aislamiento - Protección del PLC, vía niveles de voltaje indeseables

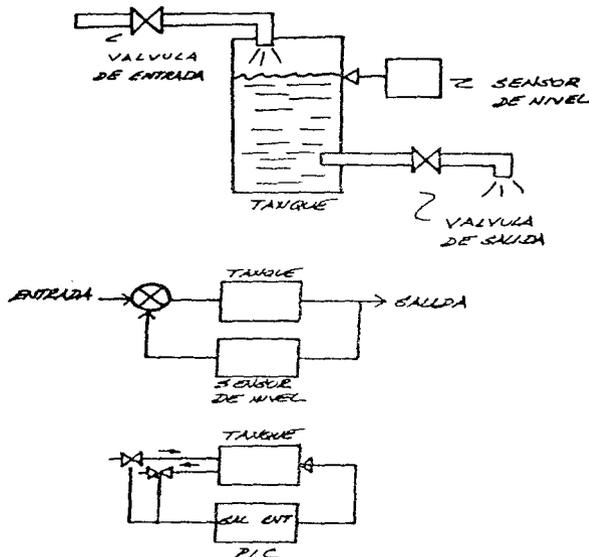
La sección de salida se divide en:

- Terminación - Terminales hacia los dispositivos de salida en la máquina
- Indicación - Indicadores de estado de salida
- Acondicionamiento - Conversión de un voltaje del PLC al usado por los dispositivos de salida en la máquina
- Aislamiento - Protección del PLC contra niveles de voltaje indeseables
- Fuente de poder - Nivel bajo de CD para las secciones de entrada y salida del procesador. Voltajes de línea convertidos a voltajes lógicos más bajos

C.3 - Los módulos de entrada detectan las señales de entrada provenientes de los dispositivos sensores, en base a éstos y a un programa almacenado en memoria (y a tablas de imagen de entrada y salida), el CPU del procesador detecta éstos y toma decisiones, para activar o no las salidas que actúan sobre dispositivos actuadores, para efectuar un esca-

neo o exploración continua, que cíclicamente efectúa el control. A su vez, la fuente de poder provee la alimentación necesaria para ello.

C.4 - Un ejemplo sencillo:



C.5 - - Controlador programable Shark Serie XL

- Controlador programable Shark Serie X

(Cía. manufacturadora: Reliance Electric Co.)

El primero es de configuración integral, se alimenta con 115 VCA y tiene 12 entradas y 8 salidas tipo relé, tiene entradas y salidas digitales.

El segundo es de configuración modular, se alimenta con 115 VCA y tiene 16 entradas y 8 salidas tipo relé (de manera estándar), tiene módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, además de un módulo de CPU.

- D. - Dado que prácticamente ambos PLC's (X y XL) son muy similares, se mencionarán solamente, a grandes rasgos, las diferencias más evidentes e importantes.

Procesador (PLC Shark X)

Seis procesadores están disponibles. Los modelos difieren en el voltaje de entrada y en el número de E/S. El voltaje de entrada es también el voltaje de la entrada • el dispositivo de salida.

Los procesadores son:

- 24VCD - 12 Entradas - 8 salidas tipo relé - M/N 450903
- 24VCD - 16 Entradas - 12 salidas tipo relé - M/N 450905
- 24VCD - 24 Entradas - 16 salidas tipo relé - M/N 450907
- 115VCA - 12 Entradas - 8 salidas tipo relé - M/N 450904
- 115VCA - 16 Entradas - 12 salidas tipo relé - M/N 450906
- 115VCA - 24 Entradas - 16 salidas tipo relé - M/N 450908

Un procesador típico es mostrado en la figura 2.2.

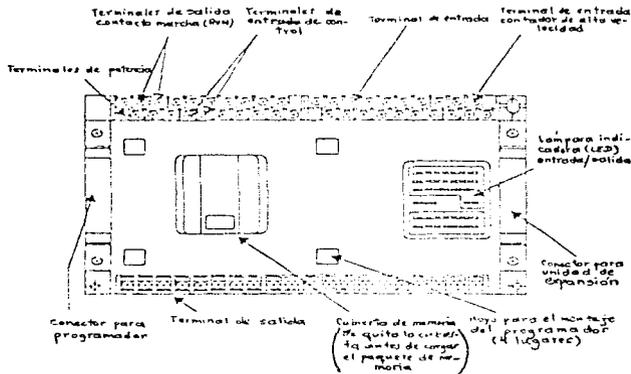
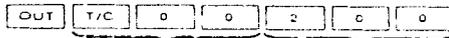


Figura 2.2 - Procesador típico

El procesador usa el sistema de numeración octal para direccionar elementos internos, externos, timers y contadores.

Instrucción 2 (Timer)

- Se introduce un timer, tecleando el número de timer (2 dígitos) y el valor deseado del timer (preset value) (3 dígitos), como se muestra:



No. de timer
T0-T47
(48 puntos)

Valor del timer a ser ajustado
1-99.9 seg. 0-1-99.9 seg.
0-0.01-9.99 seg.

- Se establece la base de tiempo cuando se introduce el valor deseado.

para un valor deseado de 0.55 s, teclear [0] [.] [5] [5]

para un valor deseado de 10.5 s, teclear [1] [0] [.] [5]

para un valor deseado de 300 s, teclear [3] [0] [0]

- Los timers están numerados en octal desde T00 hasta T47 (48 en total)

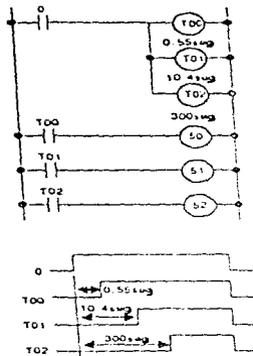
Rango de valores ajustados (deseados): 1 - 99.9 segundos

0.1 - 99.9 segundos

0.01 - 9.99 segundos

- Los timers son del tipo en retardo (on-delay). Cuando la señal de entrada del timer es energizada, el timer comienza a contar hacia abajo (descontar) hasta el valor ajustado. Cuando el contador alcanza 000, la salida se energiza. Cuando la entrada se desenergiza, el timer para de contar y el valor en curso regresa al valor ajustado. Refiérase a la figura 5.4.

T (Timer)



Codificación		Observaciones
ORG	0	
OUT	T 00 0 55	Base de tiempo 0 01 ms
OUT	T 01 10 5	Base de tiempo 0 1 ms
OUT	T 02 300	Base de tiempo 1 ms
ORG	T 00	• No. de timer = 2 dígitos
OUT	50	• Valor ajustado 3 dígitos
ORG	T 01	
OUT	51	
ORG	T 02	
OUT	52	

Figura 5.4 - Ejemplo de la instrucción T (Timer)

- Exactitud del timer:

error del timer de 10 ms = $\pm 0.005 \times \text{valor ajustado} + \text{base de tiempo (10 ms) + 1 scan}$

error del timer de 100 ms/1 s = $\pm 0.005 \times \text{valor ajustado} + \text{base de tiempo (100 ms) + 1 scan}$

Instrucción C (Contador)

- Contadores (C50 - C77) son del tipo de conteo hacia abajo (down-counter). Cuando el contador ve un flanco positivo en la señal de entrada, decrementa el valor de conteo en curso. El valor de conteo en curso es inicialmente puesto al valor ajustado. Cuando el valor de conteo en curso es igual a 000, la salida se energiza. Cuando la entrada de reset es energizada, el contador para de contar y el valor de conteo en curso es puesto al valor ajustado. Refiérase a la figura 5.5.

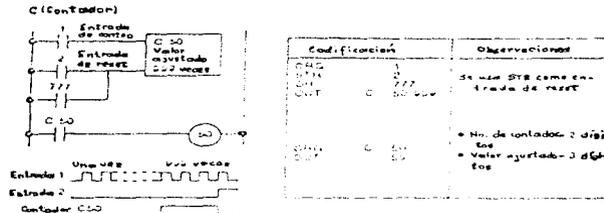


Figura 5.5 - Ejemplo de la instrucción C (Contador)

El valor de conteo en curso es almacenado en memoria retentiva. Se usa la dirección 777 de bobina interna para resetear el valor un scan después del arranque del programa.

- Se introduce un contador, tecleando primero la entrada de conteo y después la entrada de reset. Hay 24 contadores de 3 dígitos numerados del C50 al C77. Los contadores del C70 al C77 pueden ser introducidos como contadores de 4 dígitos. Refiérase a la figura 5.6.

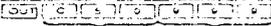
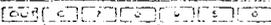
No de contador	Valor de ajuste	Procedimiento de programación
C 50 2	3 dígitos	 <p>No. de contador Ajuste de valor de contador 1 000 000 000</p>
C 70 2	3 dígitos	 <p>No. de contador Ajuste de valor de contador 1 000 000 000</p>
C 77	4 dígitos	 <p>Contador de 4 dígitos Ajuste de valor de contador 1 000 000 000</p> <p>  Los contadores corresponden uno a otro según se muestra en la figura 5.6 </p>

Figura 5.6 Contadores de 4 dígitos

Funciones especiales
 PUN 00 (XL y X)

FUN 01 (XL)
FUN 02 (XL y X)
FUN 03 (XL y X)
FUN 04 (XL y X)
FUN 05 (XL y X)
FUN 06 (XL y X)
FUN 07 (XL y X)
FUN 08 (XL y X)
FUN 09 (XL y X)
FUN 10 (XL)
FUN 11 (XL y X)
FUN 12 (XL y X)
FUN 13 (XL y X)
FUN 14 (XL y X)
FUN 15 (XL)
FUN 16 (XL)
FUN 17 (XL)
FUN 18 (XL)
FUN 19 (XL)
FUN 20 (XL)
FUN 21 (XL)
FUN 22 (XL y X)
FUN 23 (XL)
FUN 24 (XL y X)
FUN 25 (XL y X)
FUN 26 (XL)
FUN 27 (XL)
FUN 28 (XL)
FUN 29 (XL)
FUN 30 (X)
FUN 31 (X)
FUN 32 (X)
FUN 33 (X)
FUN 34 (X)

FUN 35 (L)
 FUN 36 (X)
 FUN 40 (XL y X)
 FUN 45 (XL y X)
 FUN 47 (XL y X)
 FUN 98 (L)
 FUN 99 (L y X)
 Comando IF (S1)

- El puede usar el comando IF para control secuencial.

Proceso paso a paso, operación 1

1. El proceso comienza con el proceso A (estado inicial). Re -
 fiérase a la figura 5.53.

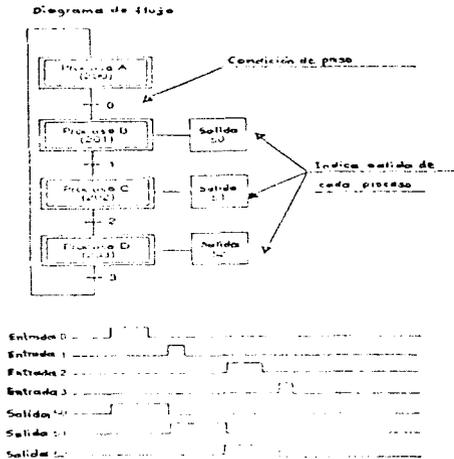


Figura 5.53 - Proceso paso a paso, operación 1

2. Cuando la entrada 0 es prendida, el control se mueve al pro -
 ceso B y enciende la salida 50.

3. Cuando la entrada 1 es prendida, el control se mueve al proceso C y apaga la salida 50. La salida 51 se enciende.
4. Cuando la entrada 2 es prendida, el control se mueve al proceso D y apaga la salida 51. La salida 52 se enciende.
5. Cuando la entrada 3 es prendida, el control se mueve al proceso A y apaga la salida 52.

Proceso paso a paso, operación 2

1. El proceso comienza con la bobina interna 200 (estado inicial). (Refiérase a la figura 5.56)

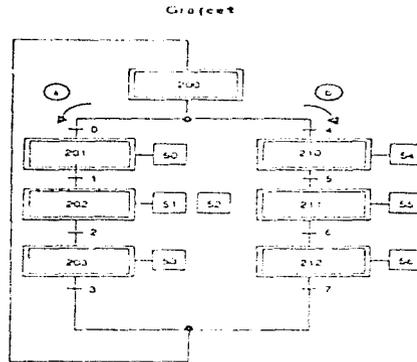


Figura 5.56 - Proceso paso a paso, operación 2

2. Si la entrada 0 es prendida, la secuencia A es ejecutada. Si la entrada 4 es prendida, la secuencia B es ejecutada.
3. La secuencia A controla los procesos 201, 202 y 203. Cuando la entrada 3 es encendida, el control regresa a la entrada 200.
4. La secuencia B controla los procesos 210, 211 y 212. Cuando

la entrada 7 es encendida, el control regresa a la entrada 200.

Proceso paso a paso, operación 3

1. El proceso comienza con la entrada 200 (estado inicial).
(Refiérase a la figura 5.58).

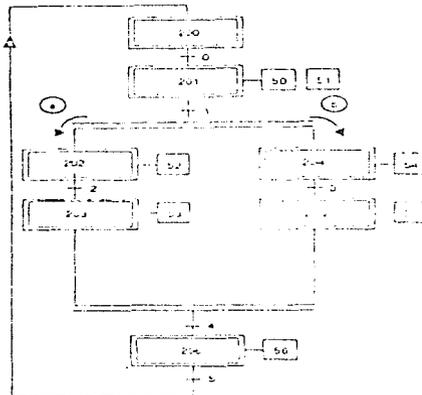


Figura 5.58 - Proceso paso a paso, operación 3

2. Cuando la entrada 0 es encendida, el control avanza al proceso 201 y las salidas 50 y 51 son prendidas.
3. Cuando la entrada 1 es encendida, el control avanza al proceso 202 y 204 simultáneamente. Ambas secuencias se ejecutan simultáneamente.
4. En la secuencia A, cuando la entrada 2 es prendida, el control avanza al proceso 203.
5. En la secuencia B, cuando la entrada 3 es prendida, el control avanza al proceso 205.
6. Cuando la entrada 4 es prendida, el control avanza simultá

neamente de los procesos 203 y 205 al proceso 206.

7. Cuando la entrada 5 es prendida, el control regresa a la entrada 200.

NOTA FINAL: Estos procesos se efectúan, programando principalmente las funciones especiales: FUN 02 y FUN 03.

RESPUESTAS CORRECTAS A LOS CUESTIONARIOS PREVIOS DE LAS PRACTICAS 2,
3 Y 4.

Copiar los programas estipulados en los cuestionarios previos respectivos, que vienen en el manual del PLC Shark XL, referentes a diferentes instrucciones (básicas y especiales del PLC).

RESPUESTAS CORRECTAS AL CUESTIONARIO PREVIO DE LA PRACTICA 5.

Ejemplo.

STEP 0

ORG 0

STEP 1

OR 50

STEP 2

AND NOT 1

STEP 3

OUT 50

STEP 4

ORG 50

STEP 5

AND 2

STEP 6

OUT T/C 00 01.0

STEP 7

OUT T/C 01 02.0

STEP 8

OUT T/C 02 03.0

STEP 9

ORG T/C 0

STEP 10

OUT 51

STEP 11

OUT 52

STEP 12

ORG T/C 1

STEP 13

OUT 53

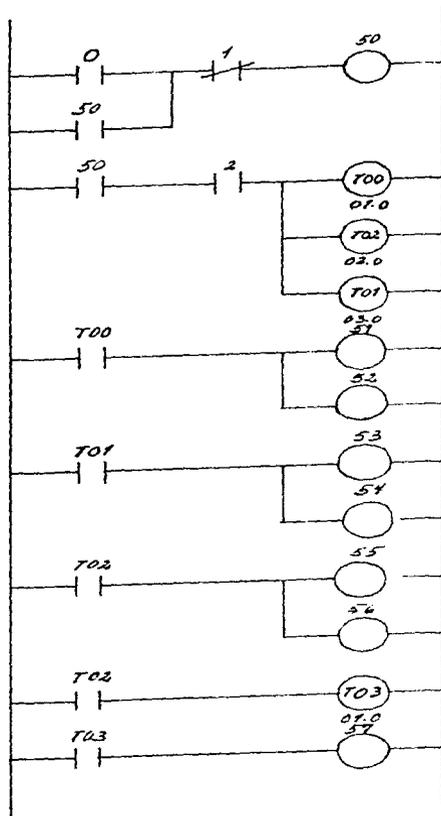
STEP 14

OUT 54

STEP 15

ORG T/C 2

STEP 16
OUT 55
STEP 17
OUT 56
STEP 18
ORG T/C 2
STEP 19
OUT T/C 03 01.0
STEP 20
ORG T/C 3
STEP 21
OUT 57



Al cerrarse el contacto 0 (accionarse el switch 0 del panel) y mantenerse el contacto 1 abierto (sin accionarse el switch 1 del panel), se energiza la bobina (salida) 50 (se puede visualizar porque se prende el foco 50 en el panel) que a su vez cierra el contacto 50, por lo cual se provoca un enclavamiento, ya que al estar la salida 50 energizada, se mantendrá prendida hasta que se abra el contacto 1, no importando el estado del contacto 0.

A su vez, al energizarse la bobina 50, se cierra el contacto 50 del siguiente rung y si se cierra el contacto 2 (mediante el switch 2 del panel), comienza un timer (TO0) a contar 1 segundo, otro (TO1) a contar 2 segundos y un tercero (TO2) a contar 3 segundos.

Al momento de llegar el timer TO0 a 1 segundo, simultáneamente se cierra el contacto TO0, lo cual provoca que se energicen las salidas o bobinas (focos del panel) 51 y 52.

Lo mismo ocurre con los timers TO1 y TO2, al terminar de contar sus respectivos timers (2 y 3 segundos, respectivamente), accionan sus contactos respectivos, energizando en 2 segundos las salidas o bobinas (focos) 53 y 54 y en 3 segundos las salidas o bobinas (focos) 55 y 56.

Finalmente, simultáneo al paso anterior, al cerrarse el contacto TO2, se activa el timer TO3, el cual cuenta 1 segundo. Al terminar de contar, cierra el contacto TO3 y activa la salida o bobina (foco) 57.

NOTA: En realidad, lo que hace este programa es jugar con las instrucciones más básicas (sin incluir funciones especiales) tales como: instrucciones ORG, OR, AND NOT, AND, las cuales interactúan entre sí, a la vez de que retardan señales de entrada en base a TIMERS, para ser desplegadas señales de salida, dependientes de las entradas mismas (switches del panel), en los focos del mismo panel, usando un PLC Shark X, en este caso.

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 1.**Reporte de lo visto en clase.**

RESPUESTAS CORRECTAS A LAS PRACTICAS 2 y 3.

Copiar los programas estipulados en las prácticas respectivas y hacer algún comentario sobre ellos y/o en general sobre la práctica en cuestión.

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 4.Programa:

STEP 0

ORG 0

STEP 1

AND 1

STEP 2

FUN 98

STEP 3

ORG 224

STEP 4

FUN 10 040

STEP 5

FUN 21 260

STEP 6

ORG 15

STEP 7

AND 13

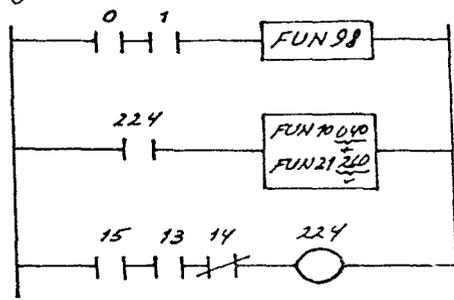
STEP 8

AND NOT 14

STEP 9

OUT 224

Diagrama de escalera:



- Inicia programa (operación del motor) cuando ambos contactos 0 y 1 son energizados

- Al accionarse la bobina 224 (siguiente rung), se activan las funciones específicas FUN 10 y FUN 21 secuencialmente:

FUN 10: Entrada analógica (8 bit BNE) →
→ RA (8 bit)

FUN 21: RA (8 bit BNE) →
→ Salida analógica

Al accionarse 15 y 13 (no 14) se energiza la bobina (Salida) 224

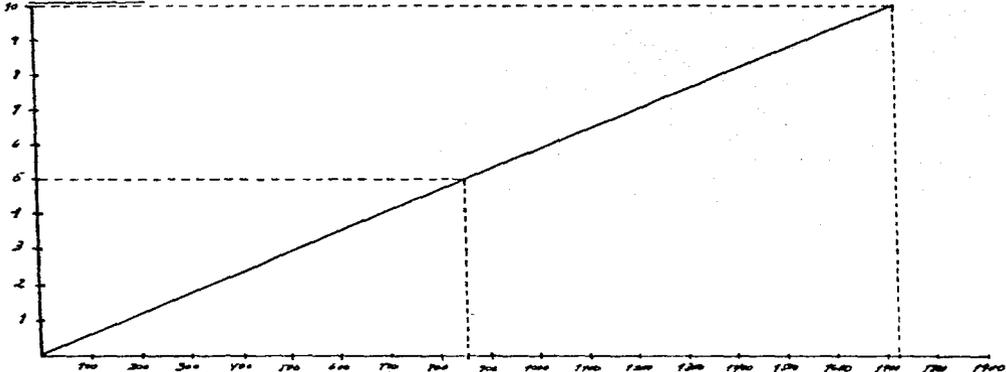
- (+) Los bytes de entrada externa 40 y 41 son cargados dentro del registro aritmético (3E slot - entrada analógica - 45C 992)
- (v) Los contenidos del registro aritmético son transferidos a los bytes de salida externa 260 y 261 (4E slot - salida analógica - 45C 994)

A grandes rasgos, la explicación del programa es la siguiente: El programa de operación del motor (y el arranque mismo) comienza cuando se cierran los contactos (o switches en el panel) 0 y 1. Con FUN 98 (=STA-start-comienzo) se inicializa. Al cerrarse los contactos (o switches del panel) 15 y 13, y mantenerse el contacto (o switch) 14 cerrado, se energiza la bobina (salida) 224, lo cual provoca que se active FUN 10 (=WLOAD-word load-carga de palabra), que a su vez provocará que se cargue una palabra (ya muestreada, discretizada y digitalizada) desde la entrada analógica en el registro aritmético (RA). Paso seguido, este dato es transferido a una salida analógica (ya convertido), vía FUN 21 (=WOUT-word out-descarga de palabra), desde el registro aritmético (RA). Así pues, este programa convierte la señal analógica del motor (VCD), desde el potenciómetro del panel, en un dato digital binario (BNR), como dato de trabajo del procesador, para posteriormente convertirla de nuevo de BNR a señal analógica (VCD) y con ella controlar el motor.

Esta es una manera muy sencilla de ejemplificar el control de velocidad de un motor mediante PLC, pero a la vez es un tanto cuanto innecesaria, ya que esto se podría realizar exclusivamente vía el drive acoplado al sistema, pero dado que la finalidad o lo que se pretende (por fines didácticos) es realizarlo vía PLC, pues se puede considerar perfectamente válido y hasta relevante el haberlo llevado a cabo así, desde este punto de vista.

Tabla:

<u>VOLTAJE</u>	<u>VELOCIDAD</u>
0 VCD	0 RPM
5 VCD	862.50 RPM
10 VCD	1725 RPM

Gráfica:Comentario (Conclusiones):

La velocidad del motor se regula analógicamente (vía voltaje), haciendo uso del reóstato del panel, esta velocidad es prácticamente lineal, yendo desde una velocidad 0 (RPM) para 0 VCD hasta la velocidad nominal del motor de 1725 (RPM) para un voltaje de 10 VCD. Esto es sin carga (en vacío). Con carga pueden haber variaciones.

Nota:

Es importantísimo mencionar que esta relación voltaje-velocidad puede variar (o se puede variar) dependiendo de la ganancia del reóstato y de la programación de la(s) E/S (I/O) analógica(s).

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 5.**No se entrega reporte de la práctica.**

RESPUESTAS CORRECTAS AL CUESTIONARIO PREVIO DE LA PRACTICA 1.

- 1. ii
- 2. i
- 3. i
- 4. i
- 5.a ii
- 5.b iii
- 5.c iii
- 5.d ii
- 6. iii
- 7.a 1
 - 5
 - 3
- 7.b iii
- 7.c i
- 8. ii
 - i
- 9. i
 - ii
- 10. i
- 11. iii
- 12.a iii
- 12.b ii
- 13. ii
- 14. i
- 15. i
- 16.a i
 - ii
- 16.b ii
- 17.a i
- 17.b i
 - iv
 - iii
 - ii

- 13.a ii
- 13.b ii
- 19. i
 - ii
 - iii
 - iv
- 20. ii
- 21. ii
 - i
- 22. ii
- 23. ii
- 24. iii
- 25. ii

RESPUESTAS CORRECTAS AL QUESTIONARIO PREVIO DE LA PRACTICA 3.

- 1.a i
- 1.b iii
- 2. ii
- 3. ii.
 - ii
 - i
- 4. i
- 5. ii
- 6. i

RESPUESTAS CORRECTAS AL CUESTIONARIO PREVIO DE LA PRACTICA 3.

1. ii
2. i
3. iii

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 1.CASO 1

6. t = 30 seg

7. f = 50 Hz

9. t = 40 seg

10.

6. t = 30 seg

7. f = 50 Hz

9. t = 40 seg

A pesar de haber variado sobre la marcha la frecuencia de operación del drive (de 50 Hz a 40 Hz), y por ende la velocidad del motor, al parar y rearrancar el convertidor, el ajuste de frecuencia (PO9) se mantuvo, debido a haber ajustado PO4 en OO3.

11.

6. t = 30 seg

7. f = 50 Hz

9. t = 40 seg

10.

6. t = 30 seg

7. f = 40 Hz

9. t = 40 seg

Al haber variado sobre la marcha la frecuencia de operación del drive (de 50 Hz a 40 Hz), y por ende la velocidad del motor, al parar y rearrancar el convertidor, el ajuste de frecuencia (PO9) cambió al nuevo (40 Hz), debido a haber ajustado PO4 en OO5.

CASO 26. t_{ret} = VARIABLE

t = 30 seg

7. f = 40 Hz

9. t = 40 seg

10.6. t_{ret} = VARIABLE (PERO IGUAL AL ANTERIOR)

t = 30 seg

7. f = 40 Hz

9. t = 40 seg

A pesar de haber variado sobre la marcha la frecuencia de operación del drive (de 40 Hz a 45 Hz), y por ende la velocidad del motor, al parar y rearrancar el convertidor, el ajuste de frecuencia (PO9) se mantuvo, así como también la razón de cambio de la frecuencia fija, y es por ello que la frecuencia no se incrementó después de unos cuantos segundos. Todo esto debido a haber ajustado PO4 en 004.

11.6. t_{ret} = VARIABLE

t = 30 seg

7. f = 40 Hz

9. t = 40 seg

10.6. t_{ret} = VARIABLE (PERO IGUAL AL ANTERIOR)

t = 30 seg

7. f = 45 Hz

9. t = 40 seg

Al haber variado sobre la marcha la frecuencia de operación del drive (de 40 Hz a 45 Hz), y por ende la velocidad del motor, al parar y rearrancar el convertidor, el ajuste de frecuencia (PO9) cambió al nuevo (45 Hz), además de que se mantuvo la razón de cambio de la frecuencia fija, y es por ello que la frecuencia no se incrementó después de unos cuantos segundos. Todo esto debido

a haber ajustado PO4 en 006.

12. Las diferencias percibidas con el CASO 1 son muy claras. En el CASO 1 no hay una razón de cambio de la frecuencia fija y en este CASO 2 sí.

+ - En este caso y en todos los demás casos, se entenderá por VA-
RIABLE, el que un dato puede variar entre una tema de resulta
dos y otra, p.ej. debido a su interpretación. Esto no querrá
decir, que el dato variara en la misma tema de resultado.

CASO 3

12. t = VARIABLE

13. f = (70 Hz) X 0.8 = 56 Hz

14. t = VARIABLE

16. El control analógico es más fino. Proporciona un control de velocidad más controlable o regulable, manualmente.

CASO 4

12.t = VARIABLE

13.f = (100 HZ) X 0.8 = 80 Hz

14.t = VARIABLE

15.Como ya se mencionó, mediante el control analógico se tiene un control más fino y regulable, manualmente.

16.Indistinto.

CASO 5

7. $t = 10$ seg

8. $f = 80$ Hz

10. $t = 15$ seg

11. En este caso el arranque/paro se efectúa por botones (o simulación de éstos) y en el tipo común, ya visto en los casos anteriores, se efectúa por interruptor. Además, en este caso el frenado se lleva a cabo vía rampa.

CASO 6

8. $t = 100 \text{ seg}$

9. $f = 50 \text{ Hz}$

11. $t = \text{VARIABLE}$

12. En este caso, el tipo de paro es libre (por inercia) y en el caso anterior el tipo de paro es por rampa (por tiempo).

CASO 7A

7. $f_{\text{disparo}} = 50 \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = 200 \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = 220 \text{ v}$

10.

7. $f_{\text{disparo}} = 87 \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = 200 \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = 220 \text{ v}$

11.

7. $f_{\text{disparo}} = 60 \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = 200 \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = 220 \text{ v}$

12.

7. $f_{\text{disparo}} = 70 \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = 200 \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = 220 \text{ v}$

$V = 90 \text{ v}$

13.

7. $f_{\text{disparo}} = 70 \text{ Hz}$

$V_{\text{disparo}} = 200 \text{ v}$

$V_{\text{tope}} = 220 \text{ v}$

$V = 50 \text{ v}$

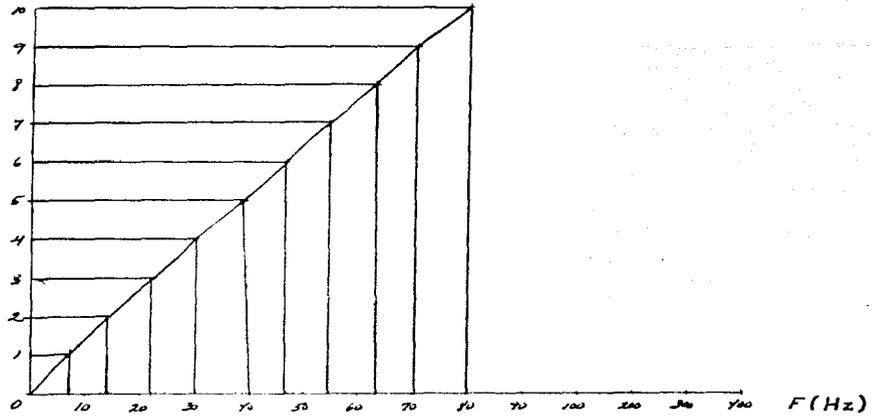
14. En la primera pregunta (P16=000) se genera una curva lineal que rompe en 70 Hz. En la segunda pregunta (P16=001) se genera una curva exponencial que rompe también en 70 Hz.

15. Es posible obtener aproximadamente las curvas $V - F$ que aparecen en el parámetro PO6 de la sección "Descripción de los parámetros" del manual.

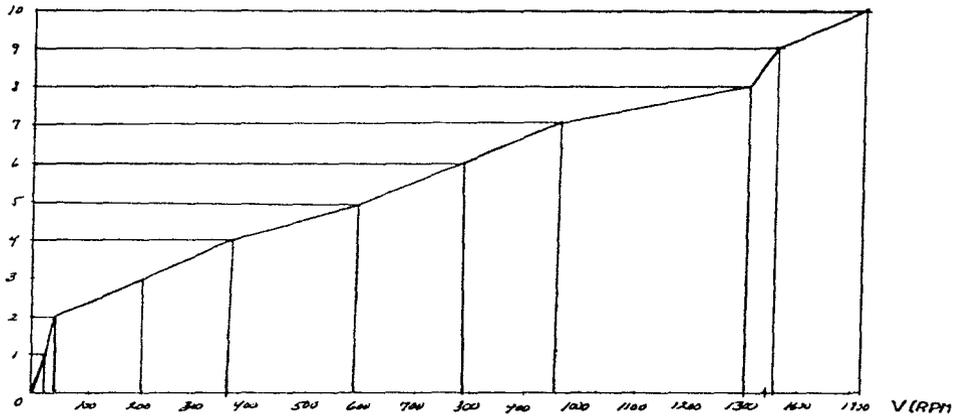
CASO 7B

Vc (Vca)	F (Hz)	V (RPM)	Im (A)	Vm (V)
0	0	0	0	0
1	7.1	20	1.25	10
2	14.1	40	1.75	25
3	22.2	200	1.95	50
4	30.0	360	1.90	108
5	38.3	570	1.95	138
6	46.6	790	2.00	170
7	54.3	960	2.10	195
8	63.7	1300	1.95	220
9	70.5	1560	1.60	220
10	80.0	1720	1.30	220

$V_c (V_{c0})$

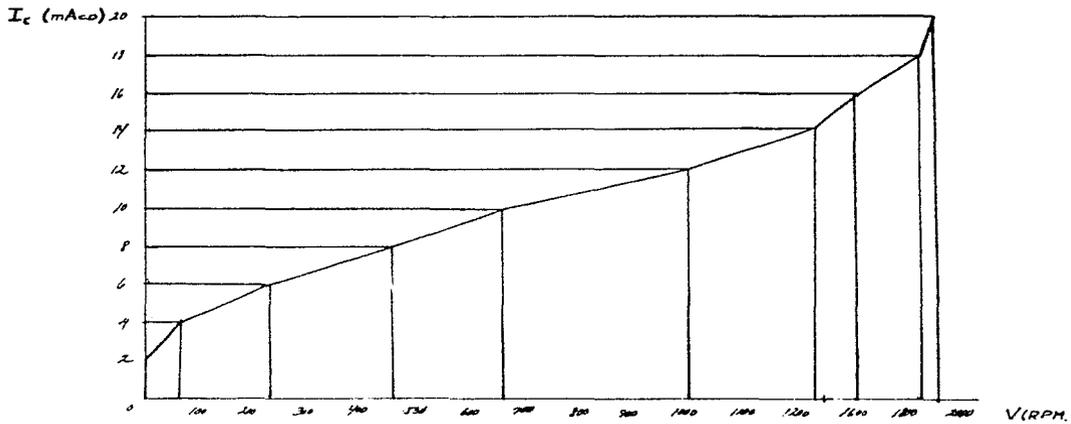
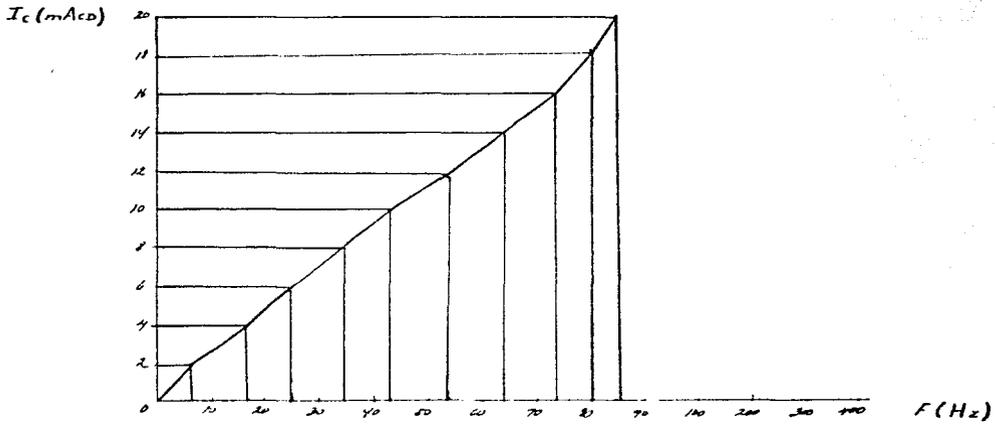


$V_c (V_{c0})$



CASO 7C

Ic (mAcd)	F (Hz)	V (RPM)	Im (A)	Vm (V)
0	0	0	0	0
2	6.5	0	0.10	0
4	16.8	60	0.80	2
6	25.6	230	1.10	15
8	35.0	460	1.40	70
10	43.0	660	1.60	132
12	54.0	1000	1.80	185
14	64.0	1260	1.80	220
16	73.8	1600	1.60	220
18	81.3	1840	1.40	220
20	85.0	1900	1.40	220



CASO 8

$$7. V_{\text{inic}} = 0 \text{ V}$$

$$V_{\text{final}} = 220 \text{ V}$$

$$I_{\text{inic}} = 0 \text{ A}$$

$$I_{\text{final}} = 2 \text{ A}$$

El voltaje de armadura comenzó a elevarse paulatinamente desde 0 V hasta 220 V. La corriente de armadura comenzó a elevarse paulatinamente desde 0 A hasta 2 A.

$$8. f = 20 \text{ Hz}$$

10.

$$7. V_{\text{inic}} = 22 \text{ V}$$

$$V_{\text{final}} = 220 \text{ V}$$

$$I_{\text{inic}} = 0 \text{ A}$$

$$I_{\text{final}} = 2 \text{ A}$$

El voltaje de armadura se elevó drásticamente hasta 22 V aproximadamente y luego paulatinamente hasta 220 V. La corriente de armadura se elevó drásticamente hasta 5 A aproximadamente, bajando después y manteniéndose en 2 A.

$$8. f = 20 \text{ Hz}$$

11. En situación normal (POL - 0 %) el voltaje y la corriente de armadura aumentan paulatinamente hasta estabilizarse. En el otro caso (POL - 10 %) aumentan drásticamente hasta estabilizarse, producto de la utilización de la característica de elevación de voltaje a baja frecuencia y que incide también en el disparo de la corriente inyectada al motor.

CASO 9

4. $I_{\text{lim. sobrecarga}} = P17 \times P18 = 3.2 \text{ A} \times 1.0 = 3.2 \text{ A}$

8. a) La corriente va aumentando en pasos (escalones) hasta llegar al tope (5 A), apareciendo a la vez en el DISPLAY (FOO) - CAL. Cuando ya se hizo el ajuste automático, arranca el motor (desapareciendo CAL y mostrándose la frecuencia de operación) y la corriente se estabiliza (aproximadamente a 2 A).
- b) Paulatinamente, después de unos segundos se eleva hasta 190 V, estabilizándose ahí.

9. $t = 15 \text{ seg}$ (aproximadamente)

10. $f = 50 \text{ Hz}$

12. Al arrancarlo nuevamente, el drive ya no calibra, dado que el ajuste está hecho.

14. $EAV = 1.8$ (o 1.9) %

CASO 10

11. Existe una inyección de CD para el frenado del motor.

13.

AJUSTE DE P11 (%)	VOLTAJE DE ARMADURA (V)	CORRIENTE DE ARMADURA (A)	TIEMPO DE PARO DE MOTOR (SEG)	TIEMPO DE INYECCION DE CD (SEG)	FRECUENCIA (HZ)	OBSERVACIONES
5	185	2.0	10	11	50	
10	185	2.0	-	-	50	FALLA (POO) EL LED SE ENCIENDE
8	185	2.0	7	11	50	

NOTA: La falla es debida a un ajuste demasiado alto de P11, lo cual provoca a su vez una sobrecorriente y por ende el disparo del drive. Sin embargo, de darse el caso, no existe mayor problema, dado que al estar programado P42 en 001, la unidad intentará resetear la falla y de no ser posible, será fácilmente anulada, ya sea desconectando y conectando el drive (BRPA - - KER), o bien, el switch "ARRANCAR".

CASO 11

9. $t = 25 \text{ seg}$

$f = 50 \text{ Hz}$

12. $t = 15 \text{ seg}$

14. Arranca y para.

15. En este caso (jog) el arranque y paro es instantáneo.

CASO 12

8. DISPLAY = $f_{\text{salida}} = 64 \text{ Hz}$

9. Mayor.

12.

8. DISPLAY = $i_{\text{salida}} = 1.3 \text{ A}$

13. $f_{\text{salida}} = 64 \text{ Hz}$

P13 (Compensación de deslizamiento) = 10 Hz

Corriente de carga medida (DISPLAY) = 1.3 A

P17 (Límite de corriente) = 3.2 A

15. $f_{\text{salida}} = 60 + (10 \times 1.3/3.2) = 64 \text{ Hz}$

16. Da la misma frecuencia, la tomada en la Parte I y la calculada en la Parte II.

CASO 13

7. t = 20 seg

8. f = 22 Hz

9. t = 1 seg

10. f = 24 Hz

12. f = 22 Hz

14. f = 26 Hz

15. f = 22 Hz

17. f = 28 Hz

18. f = 22 Hz

20. Mediante este procedimiento se obtiene la primera tabla que aparece en el parámetro P24 de la sección "Descripción de los parámetros" del manual.

21. t = 20 seg

23.

9. t = 1 seg

10. f = 24 Hz

12. f = 21 Hz

14. f = 26 Hz

15. f = 21 Hz

17. f = 28 Hz

18. f = 21 Hz

20. Mediante este procedimiento se obtiene la segunda tabla que aparece en el parámetro P24 de la sección "Descripción de los parámetros" del manual.

CASO 148. 25 Hz12. 27 Hz

14. Se debió a que por característica de P29 (frecuencia de salto), al estar programada P09 en 25 Hz, aumenta en +2 Hz ésta, dando por resultado 27 Hz.

(Si P29 no se empata con P09, el funcionamiento es a la frecuencia de P09)

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 2.CASO 15

6. Factor de escala = 984

7. $f = 40 \text{ Hz}$

RESPUESTAS CORRECTAS A LA PRACTICA 3.CASO 168. $f = 50 \text{ Hz}$

BIPLIOGRAFIA GENERAL

Autor/Título/Editorial/Edición/Lugar y/o fecha.

1. CIDAC/TREJO. EDUCACION PARA UNA ECONOMIA COMPETITIVA: HACIA UNA ESTRATEGIA DE REFORMA. DIANA. S/EDICION. MEXICO, 1991.
2. UNAM. ACTUALIZACION DE PLANES DE ESTUDIO DE LAS CARRERAS QUE SE IMPARTEN EN LA FACULTAD DE INGENIERIA. PUUNAM. S/EDICION. MEXICO, 1993.
3. UNAM. PROGRAMAS DE ESTUDIO (ACTUALES Y ANTERIORES) DE LAS MATERIAS DEL AREA ELECTRICA Y DE LOS LABORATORIOS QUE SE IMPARTEN EN EL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM. PUUNAM. S/EDICION. MEXICO. (PROGRAMAS SUELTOS).
4. VER BIBLIOGRAFIA SOBRE CATALOGOS Y FOLLETOS (APELLIDICE).
5. RELIANCE DE MEXICO, S.A. LABORATORIO DE PRUEBAS PARA LAS MAQUINAS ELECTRICAS ROTATORIAS. S/EDITORIAL. S/EDICION. MEXICO. (FOLLETO).
6. SINALP. INTRODUCCION AL SISTEMA. S/EDITORIAL. S/EDICION. MEXICO.
7. DEPARTMENT OF DEFENSE. UNITED STATES OF AMERICA. MILITARY STANDARD. GENERATOR SETS, ENGINE DRIVEN. METHODS OF TESTS AND INSTRUCTIONS. MIL-STD-705C. 1989. USA.
8. IEEE. IEEE GUIDE: TEST PROCEDURES FOR SYNCHRONOUS MACHINES. IEEE STD 115-1983. USA.
9. IEEE. IEEE GUIDE: TEST PROCEDURES FOR DIRECT - CURRENT MACHINES. IEEE STD 113-1985. USA.
10. IEEE. IEEE STANDARD TEST PROCEDURE FOR POLYPHASE INDUCTION MOTORS AND GENERATORS. IEEE STD 112-1991. USA.
11. DGN. NORMA OFICIAL MEXICANA. "PRODUCTOS ELECTRICOS - MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA - TIPO JAULA DE ARDILLA, EN POTENCIAS MAYORES DE 373 KW (500 CP)". NOM-J-433-1987. MEXICO.
12. DGN. NORMA OFICIAL MEXICANA. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA. NOM-J-075. MEXICO.
13. DGN. NORMA OFICIAL MEXICANA. MOTORES DE INDUCCION DEL TIPO DE

- ROTOR EN CIRCUITO CORTO O DE JAULA EN POTENCIAS HASTA DE 37.5 W DE POLOS SOBREADADOS, DE CAPACITOR PERMANENTE CONECTADO Y UNIVER SALES, HASTA 750 W. DGN-J-226-1977. MEXICO.
14. RELIANCE DE MEXICO, S.A. GRUPO FUERZA/PHEPLES ELECTRICAL MACHINES. NEL PHEPLES LTD. EL USO DE LA FRECUENCIA VARIABLE (P.V.) PARA PRUEBAS DE TEMPERATURA EN MOTORES DE INDUCCION. S/EDITORIAL. PUNRE 1029. MEXICO. (FOLLETO).
 15. MIT. BULLETIN 1994 - 1995. COURSES AND DEGREE PROGRAMS ISSUE. MIT. VOLUME 129, NUMBER 1. USA, 1994.
 16. MIT. ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE AT MIT. RESEARCH AND GRADUATE STUDY. MIT. S/EDICION. USA.
 17. FELDER M. RICHARD. AMERICAN ENGINEERING EDUCATION: CURRENT ISSUES AND FUTURE DIRECTIONS. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION. TELPUS PUBLICATIONS. VOL. 9, NO. 4. GREAT BRITAIN, 1993. (ARTICULO).
 18. SIEMENS, S.A. DE C.V. ACCIONARIOS DE VELOCIDAD VARIABLE. S/EDITORIAL. S/EDICION. MEXICO.
 19. CHAPMAN J. STEPHEN. MAQUINAS ELECTRICAS. MCGRAW HILL INTERAMERICANA. 2a. EDICION. MEXICO, 1993.
 20. LUCA M. CARLOS. MAQUINAS ELECTRICAS. 1a. PARTE. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA. 7a. EDICION. MEXICO, 1976.
 21. DAWES L. CHESTER. TRATADO DE ELECTRICIDAD. TOMO PRIMERO. CORRIENTE CONTINUA. GUSTAVO GILI. VERSION ESPANOLA DE LA 4a. EDICION NORTEAMERICANA. ESPAÑA, 1976.
 22. UNAK. DIVISION Y CENTRO DE EDUCACION CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA. MOTORES ELECTRICOS PARA LA INDUSTRIA. FIUNAK. S/EDICION. MEXICO, 1985.
 23. FITZGERALD/HIGGINTON/GRABEL. FUNDAMENTOS DE INGENIERIA ELECTRICA. MCGRAW HILL. 4a. EDICION. MEXICO, 1988.
 24. WEBB/GRESHOCK. INDUSTRIAL CONTROL ELECTRONICS. MERRILL/MACHILLAN PUBLISHING COMPANY. 2a. EDICION. USA, 1993.
 25. RODRIGUEZ/CARRAJAL/MATE/GARITAY. INTRODUCCION A LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES. SOCIEDAD DE INSTRUMENTISTAS DE AMERICA. S/EDICION. MEXICO, 1993.

26. ALLEN-BRADLEY, S.A. DE C.V. CONTROLES PROGRAMABLES FAMILIA PLC-2. MATERIAL DE ENTRENAMIENTO PARTE 1. CONTROLMATIC. CEMTRO DE ENTRENAMIENTO. MEXICO, 1988.
27. MANDADO/MARCOS/PEREZ. CONTROLADORES LOGICOS Y AUTOMATAS PROGRAMABLES. MARCOMBO. 2a. EDICION. ESPAÑA, 1992.
28. SILVA M. LOGICAL CONTROLLERS. IFAC LOW COST AUTOMATION. ITALIA, 1989. (ARTICULO).
29. RELIANCE ELECTRIC. INSTALLING, OPERATING, AND MAINTAINING MENPAK PLUS D-C VS DRIVE AND MODIFICATION KITS. S/EDITORIAL. INSTRUCTION MANUAL D-3838-2. USA, 1982.
30. RELIANCE ELECTRIC. S/TITULO. S/EDITORIAL. INSTRUCTION MANUAL E-3622-10. USA, 1980.
31. RELIANCE ELECTRIC. INDUSTRIAL CONTROLS. SHARK. XL SERIES. PROGRAMMABLE CONTROLLER. S/EDITORIAL. INSTRUCTION MANUAL J-3802. USA, 1987.
32. RELIANCE ELECTRIC. INDUSTRIAL CONTROLS. SHARK. UNIVERSAL PROGRAMMER (M/N 45C951). S/EDITORIAL. S/EDICION. USA, 1987.
33. RELIANCE ELECTRIC. INDUSTRIAL CONTROLS. SHARK. X SERIES. PROGRAMMABLE CONTROLLER. S/EDITORIAL. S/EDICION. USA, 1987.
34. RELIANCE ELECTRIC. INDUSTRIAL CONTROLS. SHARK. STANDARD PROGRAMMER (M/N 45C950). S/EDITORIAL. INSTRUCTION MANUAL 8803. USA, 1987.
35. LAROUSSE. GRAN DICCIONARIO DE LAS CIENCIAS EN COLOR. LAROUSSE. S/EDICION. MEXICO, 1987.
36. MATSCH W. LEANDER. MAQUINAS ELECTROMAGNETICAS Y ELECTROMECHANICAS. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA. 1a. EDICION. MEXICO, 1974.
37. GINGRICH W. H. MAQUINAS ELECTRICAS. PRENTICE-HALL, 1a. EDICION. MEXICO, 1980.
38. GRAJALES ROMAN HUGO A. PRACTICAS DE LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRI. CO. FIUNAM. S/EDICION. MEXICO, 1991.
39. REEVES A. E. VADEMECUM DE ELECTRICIDAD. REVERTE. EDICION UNICA (1a.). ESPAÑA, 1978.
40. ALLEN-BRADLEY. ENERGY SAVINGS WITH ADJUSTABLE FREQUENCY DRIVES.

S/EDITORIAL. PUBLICATION DGI-2.1. USA, 1984.

41. CANALES/BARRERA. ANALISIS DE SISTEMAS DINAMICOS Y CONTROL AUTOMATICO. LIMUSA. 1a. EDICION. MEXICO, 1980.
42. OGATA KATSUHIKO. INGENIERIA DE CONTROL MODERNA. PRENTICE-HALL HIS PANOAMERICANA. 1a. EDICION. MEXICO, 1980.
43. MALONEY J. TLOTHY. ELECTRONICA INDUSTRIAL. DISPOSITIVOS Y SISTEMAS. PRENTICE-HALL. 1a. EDICION (ING. Y ESP.). MEXICO, 1983.
44. SIEMENS. 4700 POWER METER/4300 POWER METER. S/EDITORIAL. BULLE^TIN SG6038-01 (NEW) 28092MP. USA, 1992.
45. SIEMENS. SIMOVERT P. TRANSISTORISED VOLTAGE-SOURCE DC-LINK CONVERTERS. SERIES 6SE21. SINE-WAVE PWM CONVERTERS WITH MICROPROCESSOR FOR SINGLE MOTOR AND MULTI-MOTOR DRIVES USING STANDARD AC MOTORS. SIEMENS PLC 1991. ENGLAND.
46. SIEMENS. SIMOVERT P. TRANSISTORISED VOLTAGE-SOURCE DC-LINK INVERTERS. SERIES 6SE21. SINE-WAVE PWM INVERTERS WITH MICROPROCESSOR FOR SINGLE MOTOR AND MULTI-MOTOR DRIVES USING STANDARD AC MOTORS. SIEMENS PLC 1993.
47. MCGRAW-HILL. DICCIONARIO MCGRAW-HILL DE COMPUTACION. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MEXICO. 1a. EDICION (ING. Y ESP.). MEXICO, 1992.
48. BLACK BOX CORPORATION. CATALOGO BLACK BOX. S/EDITORIAL. 1a. EDICION. MEXICO, 1995.
49. CEBALLOS SIERRA FRANCISCO JAVIER. ENCICLOPEDIA DEL LENGUAJE C. ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA. EUA, 1993.
50. RALLCELLS/DAURA/ESPARZA/PALLAS. INTERFERENCIAS ELECTROMAGNETICAS EN SISTEMAS ELECTRONICOS. MARCOMBO. MEXICO, 1992.
51. SIEMENS. SIMOVIS FOR 6SE21 - SOFTWARE INSTALLATION NOTES. SIEMENS PLC 1995. (INCLUDES SOFTWARE).
52. BLACK BOX CORPORATION. RS-232 \leftrightarrow 485/422 CONVERTER PLUS. S/PDI-TORIAL. S/EDICION. USA, 1995.
53. OCKENFELDS RALF. EL GRAN LIBRO DE LAS IMPRESORAS DE PC. MARCOMBO. EDICION ORIGINAL EN ESPAÑOL (1a.). ESPAÑA, 1991.
54. MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. HARDWARE MANUAL. MELSEC-F. FXO/FXON SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLER. S/EDITORIAL. S/EDICION. JA-

PAN, 1995.

55. MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. PROGRAMMING MANUAL. WELSEC F1 SERIES. HIGH FUNCTION VERSION. S/EDITORIAL. S/EDICION. JAPAN, 1987.
56. WILDI THEODORE. SISTEMAS DE TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA. LIMUSA. 1a. EDICION. MEXICO, 1991.
57. UNAM/ACUÑA/CARBAJAL/GUERRERO. APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA PARA REALIZAR PRUEBAS EN ALTA TENSION. S/EDITORIAL. S/EDICION. MEXICO, 1989. (TESIS).
58. VER BIBLIOGRAFIA SOBRE SOFTWARE (APENDICE).
59. VER BIBLIOGRAFIA SOBRE ARTICULOS (APENDICE).

ERRATA

Por causas de fuerza mayor, principalmente debido a una falla en la tarjeta lógica del drive SIMOVERT P 6SE2102-13A00, fue necesario sustituirlo, cambiándolo de paso por uno nuevo y más moderno, el SIMOVERT P 6SE2102-1AA01. El trabajo, sin embargo, estaba hecho y no se modificó. No obstante, prácticamente los drives son los mismos (chequear datos de placa) y sólo cambian en algunas características y en unos cuantos parámetros. Entre las ventajas conseguidas al hacer el cambio, fue posible mejorar la práctica referente al control por realimentación, y se creía también sería posible hacer lo mismo con la práctica de control por PC. Esto, sin embargo, no se pudo lograr, ya que este equipo tiene aún un software y un hardware bastante rudimentario y deficiente (en lo que respecta al control por PC). No obstante, la práctica se pudo, y de hecho, se puede realizar, aunque no muy adecuadamente. Por tal motivo, se ha propuesto la adquisición de un nuevo drive (de los más actuales), el MICROMASTER, también manufacturado por SIEMENS, con miras a resarcir estas deficiencias e implementar este control de manera óptima y definitiva. Esto, sin embargo, dependerá sin más en que se pueda adquirir o no este equipo.