



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS  
MODULARES PARA EL EQUIPAMIENTO DE LOS  
LABORATORIOS DE LA CARRERA DE IME**

**ACTIVIDAD DE APOYO A LA DOCENCIA  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
RICARDO NOÉ SANTIAGO GUTIÉRREZ**

**ASESOR:  
M.I. BANJAMÍN CONTRERAS SANTACRUZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.  
 ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 PRESENTE



DEPARTAMENTO DE

ATN: L. A. ARACELY HERRERA HERNANDEZ  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Material Didáctico: \_\_\_\_\_

Diseño y Construcción de Sistemas Modulares para el  
Equipamiento de los Laboratorios de la carrera de IME.

de la Opción de Titulación por Actividad de Apoyo a la Docencia que presenta: el pasante: Ricardo Noé Santiago Gutiérrez  
 con número de cuenta: 300272596 para obtener el título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 4 de Octubre de 2007.

PRESIDENTE	<u>M. I. Benjamín Contreras Santacruz</u>	
VOCAL	<u>Ing. María de la Luz González Quijano</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Juan González Vega</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. José Gustavo Orozco Hernández</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Fernando Fierro Téllez</u>	

## DEDICATORIA

---

*“Para mi familia que fue mi apoyo a lo largo de  
éste camino; y a mis profesores que  
hicieron posible éste logro  
en mi vida”*

## AGRADECIMIENTOS

---

Este trabajo es producto de los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi estancia en ésta mi universidad, la máxima casa de estudios Universidad Nacional Autónoma de México.

Un especial agradecimiento a la Facultad de Estudios Superiores Cuatitlán, que me brindó la oportunidad de formarme como profesionista en sus instalaciones, así como a la comunidad de la carrera de IME y a los profesores que hicieron todo lo posible por transmitirme sus conocimientos y experiencia.

A mi asesor M.I. Benjamín Contreras Santacruz, que me guió en el transcurso de éste proyecto para lograr que se hiciera realidad.

*Ricardo Noé Santiago Gutiérrez*

*Octubre 2007*

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 1      INTRODUCCIÓN** Pág.

---

1. Generalidades.	1
2. Fuentes alternas de energía.	1
3. ¿Por qué generar módulos didácticos para IME?	3
4. Perspectivas futuras del proyecto PAPIME.	3

### **CAPÍTULO 2      OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA.**

---

2.1. Generalidades.	5
2.2. Forma de operación de las plantas eléctricas.	6
2.2.1. Operación automática.	7
2.2.2. Operación manual.	7
2.2.3. Pruebas semanales de operación de las plantas eléctricas.	7
2.3. Rutina de mantenimiento preventivo.	8
2.4. Puntos importantes del mantenimiento para el operador.	9
2.5. Recomendaciones generales para los operadores de plantas eléctricas.	10

### **CAPÍTULO 3      SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL.**

---

3.1. Función del control automático.	12
3.2. Clasificación de los sistemas de control.	13
3.2.1. El lazo realimentado.	13
3.2.2. El actuador final.	14
3.2.3. El proceso.	14

3.3. El controlador automático.	14
3.4. Controlando el proceso.	15
3.5. Selección de la acción del controlador.	16
3.6. Variaciones.	16
3.7. Características del proceso y controlabilidad.	17
3.8. Tipos de respuestas de controlador.	17
3.8.1. El control si/no.	17
3.8.2. Acción proporcional.	18
3.8.3. Acción integral (reset).	19
3.8.4. Acción derivativa.	19
3.9. Instrumentación industrial - definición de instrumentación.	20
3.9.1. Característica de los instrumentos.	20
3.9.2. Clasificación de los instrumentos.	21

## **CAPÍTULO 4      APLICACIONES DE PLC's.**

---

4.1. Introducción a los PLC's.	23
4.1.1. Periféricos y medios auxiliares de los PLC's.	24
4.1.2. Comunicación y redes.	27
4.2. Ventajas y desventajas.	28
4.3. Lenguajes.	29
4.3.1. Los lenguajes gráficos.	29
4.3.2. Los lenguajes literales.	30
4.3.3. Extensión de los lenguajes para su uso en los PLC's.	31
4.3.4. Los lenguajes futuros.	32
4.4. El gráfico de mando etapa-transición: GRAFCET	32
4.5. Chequeo de programas.	35
4.6. Sistemas SCADA (supervisión, control y adquisición de datos).	37

## **CAPÍTULO 5      DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO.**

---

5.1. Construcción de un modulo de PLC's.	40
5.2. Construcción de un modulo de líneas de transmisión.	42
5.3. Construcción de un concentrador solar.	44
5.4. Desarrollo de prácticas de laboratorio para los módulos antes descritos.	46

## **CAPÍTULO 6      EVALUACIÓN DEL PROYECTO.**

---

6.1. Resultados.	93
6.2. Discusión.	94
6.3. Conclusiones.	95
6.4. Bibliografía.	96

## CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.

---

### 1. GENERALIDADES.

El proyecto PAPIME es una realización de varios trabajos enfocados al equipamiento de los laboratorios de IME, lo que se pretende es que haya mas instrumentos así como herramientas para que los alumnos puedan comprender mejor la teoría aplicando los conceptos básicos a módulos mas elaborados.

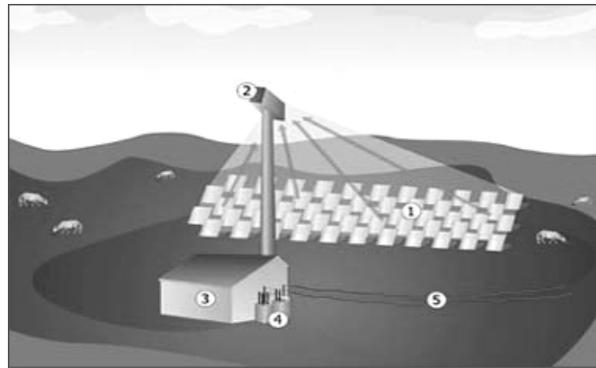
Como es evidente que el principal punto a destacar es el manejo, aplicación, generación y distribución de la energía, este CAPÍTULO abordara de manera resumida la futura importancia de las diferentes fuentes de energía, en particular de las energías solar, eólica y de la biomasa. Ya que los estudiosos del tema están de acuerdo en que los hidrocarburos dejarán de ser la principal fuente de energía en un futuro cercano, aunado a eso existen relativamente pocos estudios que examinen los futuros patrones alternativos de la estructura de la demanda de energía y, sobre todo, las posibilidades de incorporar las energías solar, eólica y de la biomasa en la base energética, sea a nivel mundial, regional o nacional.

### 2. FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA.

Como ya se ha dicho anteriormente sobre la futura demanda de energía y sobre la potencial contribución que las diferentes fuentes de energía, en particular la solar, la eólica y la de la biomasa, harán al suministro energético, por lo que se esperan avances importantes en varias de las tecnologías, avances que puedan implicar menores costos de capital, mayor eficiencia, mayor vida útil, tecnologías más apropiadas para la producción masiva de dispositivos, menores costos de mantenimiento, mejor adaptación de diferentes condiciones de operación, etcétera.

**Energía Solar:** Es la energía que llega a la Tierra proveniente de la estrella más cercana a nuestro planeta: El Sol. Esta energía abarca un amplio espectro de Radiación Electromagnética, donde la luz solar es la parte visible de tal espectro. La energía solar es generada por la llamada Fusión Nuclear que es la fuente de vida de todas las estrellas del Universo.

El hombre puede transformar la energía solar en energía térmica o eléctrica. En el primer caso la energía solar es aprovechada para elevar la temperatura de un fluido, como por ejemplo el agua, y en el segundo caso la energía luminosa del sol transportada por sus fotones de luz, incide sobre la superficie de un material semiconductor (Ej.: el silicio), produciendo el movimiento de ciertos electrones que componen la estructura atómica del material.

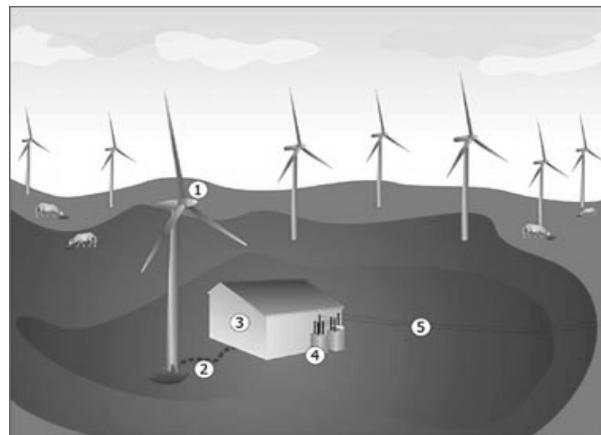


- ① Campo de heliostatos
- ② Receptor
- ③ Caldera
- ④ Transformadores
- ⑤ Líneas de transporte
- ③ Edificio de almacenamiento térmico, generador y alternador

Un movimiento de electrones produce una corriente eléctrica que se puede utilizar como fuente de energía de componentes eléctricos o bien electrónicos.

**Energía Eólica.** Esta energía es producida por los vientos generados en la atmósfera terrestre. Se puede transformar en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas que basan su funcionamiento en el giro de aspas movidas por los vientos. Se puede transformar en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas que basan su funcionamiento en el giro de aspas movidas por los vientos.

Al igual que la energía solar se trata de un tipo de energía limpia, la cual sin embargo presenta dificultades, pues no existen en la naturaleza flujos de aire constantes en el tiempo, más bien son dispersos e intermitentes. Este tipo de energía puede ser de gran utilidad en regiones aisladas, de difícil acceso, con necesidades de energía eléctrica, y cuyos vientos son apreciables en el transcurso del año.



- ① Turbina y generador
- ② Cable conductor
- ③ Edificio de control
- ④ Transformadores
- ⑤ Líneas de transporte

**Biomasa.** Esta energía se obtiene de ciertos compuestos orgánicos que se han producido en el tiempo por procesos naturales, es decir, producto de transformaciones químicas y biológicas sobre algunas especies vegetales o bien sobre ciertos materiales. Un ejemplo de tal proceso lo constituyen los residuos forestales, los residuos de la agricultura y los residuos domésticos. Estos residuos se transforman con posterioridad en combustibles. En el caso de los residuos domésticos es necesario como paso previo a la obtención de energía, un plan amplio para la adecuada clasificación de las basuras y su posterior reciclaje.



### 3. ¿POR QUÉ GENERAR MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA IME?

Estos módulos tienen la finalidad de acercar al alumno a proyectos que en un futuro serán parte fundamental de la vida, llámese hogar, industria, diversión, ganadería, agricultura, etc. Los módulos construidos tienen la ventaja de que son parecidos a los que se usan en la vida real, en pequeña escala, y las prácticas que se realizarán son cien por ciento aplicables en la industria. Otro punto primordial de estos módulos es que el alumno podrá ofrecer soluciones a problemas energéticos que como ya se dijo serán unas de las prioridades en un futuro cercano.

### 4. PERSPECTIVAS FUTURAS DEL PROYECTO PAPIME.

Este proyecto cuenta por el momento con un generador de vapor, calentador solar, que servirá para alimentar a una turbina (en proceso) que a su vez genera un voltaje de corriente alterna que es suministrado a un transformador elevador que alimenta a una línea de transmisión, esto en la vida real sería parecido a una planta termoeléctrica. Lo que se pretende hacer es que se pueda generar energía eléctrica por otros módulos que puedan generar energía a partir de biomasa, el aire, foto celdas, etc. Además de poder controlar todo este proceso por medio de la computadora y de PLC, s.

Es por esto que el proyecto PAPIME, por el momento, tiene una de las mejores propuestas educativas de este plantel y es necesario inyectarle más recursos en un corto plazo, para que poder realizar todo lo anterior descrito.

## **CAPÍTULO 2.- OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA DE EMERGENCIA.**

---

Este capítulo tiene como finalidad presentar en forma resumida los distintos aspectos de interés para la operación de plantas eléctricas, proporcionando un panorama general en cuanto a que partes del equipo requieren de especial atención, las consecuencias al incumplimiento de las reglas y recomendaciones que da el fabricante. Por lo anterior los objetivos que podemos plantearnos en este capítulo son:

- a. Comprender la importancia del buen uso del equipo para asegurar su disponibilidad en el momento requerido.
- b. Conocer el uso, operación y funcionamiento general de la planta eléctrica de emergencia
- c. Describir las rutinas de mantenimiento preventivo

### **2.1.- GENERALIDADES**

En nuestro país por diversas causas la continuidad en el servicio de energía eléctrica por parte de la compañía suministradora, se ve con mucha frecuencia afectada.

Por esta razón en particular, se hace necesario disponer de un generador auxiliar de emergencia (planta eléctrica), como el que se muestra en la figura 2.1, para que en ningún momento se paralicen aquellos servicios que son esenciales en los cuales se requiera dicha planta.

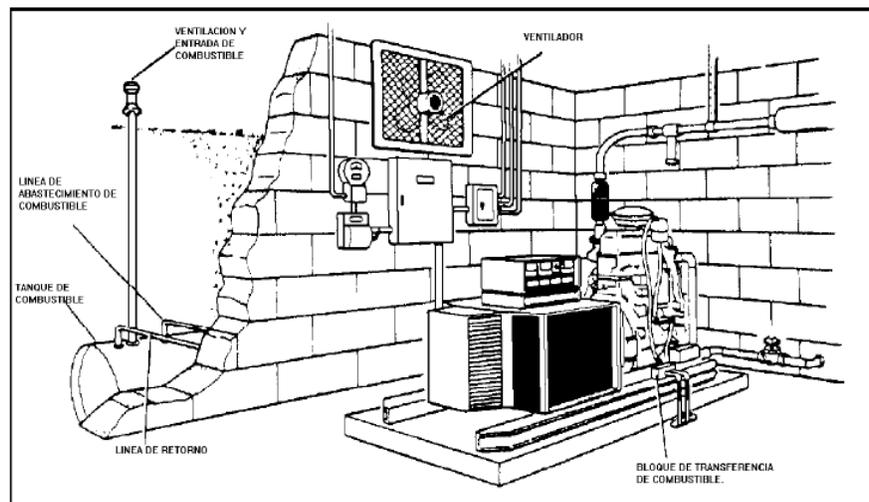
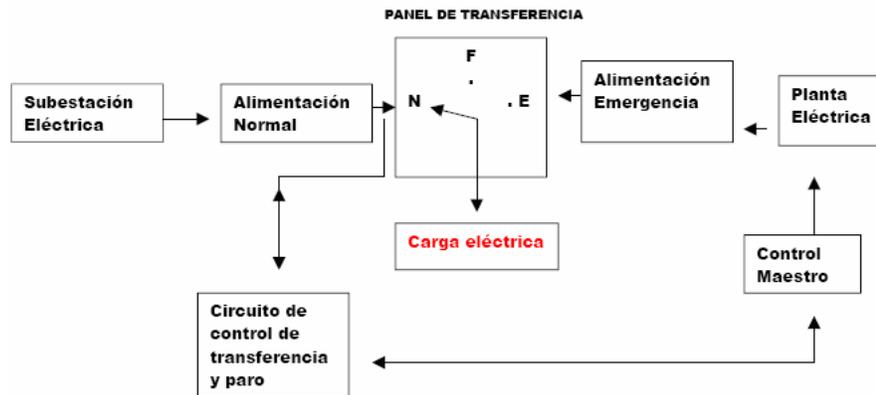


Fig.2.1 Generador auxiliar de emergencia (Planta eléctrica)

Entonces la finalidad de la planta eléctrica de emergencia es la de proporcionar en el sitio la energía eléctrica necesaria cuando existe una falla en el suministro de la red comercial, mediante la disposición de un arreglo con otros dispositivos electromecánicos; como se muestra en la figura 2.2.



**FIGURA 2.2 . Diagrama de Bloques del sistema eléctrico con dos fuentes de alimentación**

## 2.2. FORMA DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS ELÉCTRICAS.

La operación de la planta eléctrica de emergencia es extremadamente sencilla y puede funcionar en dos modalidades:

- Modalidad automática
- Modalidad manual

En el sistema eléctrico nacional existen distintos tipos y marcas de plantas eléctricas. En este capítulo se estudian las modalidades de operación de las plantas que son de mayor existencia:

- plantas marca Detroit de 135 Kw.
- plantas marca Detroit de 275 Kw., y
- plantas marca Dale 170 Kw.

## 2.2.1. OPERACIÓN AUTOMÁTICA

- a) Los selectores del control maestro deben estar ubicados en la posición de automático. El control maestro es una tarjeta electrónica que se encarga de controlar y proteger el motor de la planta eléctrica.
- b) En caso de fallar la energía normal suministrada por la compañía de servicios eléctricos, la planta arrancará con un retardo de 3 a 5 segundos después del corte del fluido eléctrico. Luego la energía eléctrica generada por la planta es conducida a los diferentes circuitos del sistema de emergencia a través del panel de transferencia, a esta operación se le conoce como transferencia de energía.
- c) Después de 25 segundos de normalizado el servicio de energía eléctrica de la compañía suministradora, automáticamente se realiza la retransferencia (la carga es alimentada nuevamente por la energía eléctrica del servicio normal) quedando aproximadamente 5 minutos encendida la planta para el enfriamiento del motor. El apagado del equipo es automático.

## 2.2.2. OPERACIÓN MANUAL

En esta modalidad, se verifica el buen funcionamiento de la planta sin interrumpir la alimentación normal de la energía eléctrica. El selector de control maestro debe colocarse en la posición de “Manual”. Como medida de seguridad para que la planta eléctrica trabaje sin carga (en vacío), se debe colocar el interruptor principal “Main” del generador en posición de apagado off. Recomendación: El arranque manual es solo para realizar pruebas.

## 2.2.3. PRUEBAS SEMANALES DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS ELÉCTRICAS. (MARCA DETROIT Y MARCA DALE).

Planta	DETROIT 275 KW	DETROIT 135 KW	DALE 170 KW
<b>PRUEBA</b>			
Ubicación del control maestro	En planta eléctrica sobre la caja de terminales del generador	En panel de transferencia	En planta eléctrica sobre la caja de terminales del generador
Ubicación correcta de selectores	Selector de control, maestro en posición automático	Selectores de control maestro en posición; uno en automático y otro en ON	Selector del control maestro en posición RUN
Prueba de falla de energía normal.	La falla se simula colocando el interruptor (switch) selector del panel de transferencia en posición TEST, el sistema debe de hacer la transferencia de la carga a emergencia después de aproximadamente 8 segundos.		Se debe poner el MAIN NORMAL 1,200 A/3P en posición de apagado para que el panel de transferencia mande la señal de encendido de la planta y logre así transferir la carga a emergencia después de 8 segundos.
Prueba de retorno de energía normal	Se retorna el switch de prueba del panel de transferencia a la posición normal y después de 25 segundos éste debe hacer la retransferencia de la carga a la posición normal y luego pasados 5 minutos enfriándose la planta debe de apagarse automáticamente.		Se pone el Main Normal, 1200A 3P en posición de encendido (on) y después de 25 seg. El panel de transferencia debe transferir la carga a la posición normal y luego pasados 5 minutos enfriándose la planta debe apagarse automáticamente.
Prueba de planta en vacío "manual"	MAIN de emergencia (en el generador) en posición de apagado colocar selector del control maestro en posición de prueba	Colocar el main de emergencia (en el generador) en posición de apagado y colocar el control maestro en posición uno en prueba y el otro en ON	MAIN de emergencia (en el generador) en posición de apagado. El selector del control maestro arranca similar al encendido de un vehículo.

### **2.3. RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

**1.** Antes de encender la planta eléctrica revisar:

- a) Nivel de agua en el radiador
- b) Nivel de aceite en el cárter

**2.** Colocar el interruptor principal del generador “MAIN “en OFF

**3.** Colocar los selectores de operación en el modo manual para arrancar la planta eléctrica.

**4.** Se pone a funcionar de esta manera por unos 10 minutos y se revisa lo siguiente:

- a) Frecuencia del generador (60 a 61Hz).
- b) De ser necesario se ajusta el voltaje al valor correcto por medio del potenciómetro de ajuste.
- c) Durante todo el tiempo que tarde la planta trabajando se debe estar revisando la temperatura del agua (180°F) presión de aceite (70 PSI) y la corriente de carga del acumulador (1.5 amp.)

**5.** Luego de la revisión preliminar y si todo está correcto simular falla del fluido eléctrico y revisar lo siguiente:

- a) Corriente, voltaje y frecuencia del generador según los parámetros de operación (que pueden variar de un sistema a otro).
- b) Si alguno de estos valores está fuera de su rango de operación, acuda de inmediato al manual de operación.
- c) Si la temperatura del agua es muy alta, con mucha precaución quitar el tapón al radiador, revisar el nivel del agua y reponerla en caso de necesidad (sin parar el motor) si el nivel del agua se encuentra bien, buscar la manera de ventilar el motor por otros medios. También conviene verificar si el generador está muy cargado, ya que esa puede ser la causa, y si ese es el caso, se deberá disminuir la carga eléctrica hasta llegar a la corriente nominal de placa del generador.
- d) Si la presión del aceite es muy baja para el motor, esperar que se enfríe, luego revisar el nivel de aceite y reponerlo en caso de ser necesario (con el motor apagado). Después volver a encender el motor.
- e) Si el amperímetro que señala la carga del alternador al acumulador proporciona una señal negativa, significa que el alternador no está cargando. En este caso se debe verificar el estado del alternador, regulador de voltaje y conexiones.
- f) Si la frecuencia del generador baja a un punto peligroso, personal autorizado debe calibrar al generador del motor a fin de compensar la caída de frecuencia. Es normal que el generador trabajando a plena carga baje un poco su frecuencia.

g) Si el voltaje del generador baja su valor, es posible recuperarlo girando el potenciómetro del regulador de voltaje.

6. Si en el trabajo de la planta llegaran a actuar las protecciones, debe verificar la temperatura del agua y presión del aceite. Si actúa la protección por alta temperatura de agua dejar que el motor enfríe y después reponer el faltante (Ver ítem 5).

7. Para detener el motor, desconecte la carga manualmente y deje trabajar el motor durante tres minutos al vacío.

8. Conviene arrancar el motor por lo menos una vez a la semana por un lapso de 30 minutos, para mantener bien cargado el acumulador, cuando no existe cargador de baterías conectado a la planta; y para mantener el magnetismo remanente del generador en buen rango. También para corregir posibles fallas.

#### **2.4. PUNTOS IMPORTANTES DEL MANTENIMIENTO PARA EL OPERADOR.**

1. Verificar diariamente:

- a) Nivel del agua en el radiador.
- b) Nivel de aceite en el *cárter*
- c) Nivel de combustible en el tanque.
- d) Válvulas de combustible abiertas.
- e) Nivel de agua destilada en las baterías y limpieza de los bornes.
- f) Limpieza y buen estado del filtro de aire.
- g) Que no haya fugas de agua, aceite y/o combustible.
- h) Observar si hay tornillos flojos, elementos caídos, sucios o faltantes en el motor y tableros.

2. Semanalmente, además de lo anterior:

- a) Operar la planta en vacío (ver cuadro 1) y si se puede con carga para comprobar que todos sus elementos operan satisfactoriamente, durante unos treinta minutos por lo menos.
- b) Limpiar el polvo que se haya acumulado sobre la planta o en los pasos de aire de enfriamiento, asimismo los tableros.

3. Mensualmente: Comprobar todos los puntos anteriores, además:

- a) Comprobar la tensión correcta y el buen estado de las fajas del ventilador, alternador, etc.
- b) Limpiar los tableros y contactos de relevadores si es necesario.
- c) Observe cuidadosamente todos los elementos de la planta y tableros para corregir posibles fallas.

4. Cada 150 horas de trabajo, además de lo anterior:

a) Cambiar filtro de aceite.

b) Si el motor está equipado con filtro de aire o tipo húmedo cambiarle el aceite.

5. Cada 300 horas de trabajo, además de lo anterior:

a) Cambiar el elemento anticorrosivo del agua.

b) Cambiar los filtros de combustible.

6. Cada año:

a) Si el filtro de aire es tipo seco, cambiarlo.

7. Para tiempos mayores, consultar el manual de operación y mantenimiento del motor en particular.

NOTA: Los cambios regulares de aceite se deben hacer a las 150 horas de trabajo o a los 6 meses, lo que ocurra primero.

## **2.5. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LOS OPERADORES DE PLANTAS ELÉCTRICAS.**

Diez reglas que deben observarse:

1. Procure que no entre tierra y polvo al motor, al generador y al interior de los tableros de control y transferencia.

2. Cerciórese de que esté bien dosificado el combustible para el motor sin impurezas y obstrucciones

3. Compruebe que al operar la planta se conservan dentro de los valores normales las temperaturas del agua del radiador, de los embobinados del generador, de los tableros, del motor del interruptor de transferencia, etc.

4. Los motores nuevos traen un aditivo que los protege de la corrosión interna. Al igual que en los motores usados, después de algún tiempo necesitan protegerse con aditivos, los cuales duran períodos determinados. Después hay que suministrarle otro que los proteja.

5. Se debe procurar que se tengan siempre los medios de suministro de aire, por ejemplo:

- Aire limpio para la operación del motor.
- Aire fresco para el enfriamiento del motor y generador.

- 6.** Compruebe siempre que la planta gira a la velocidad correcta por medio de su frecuencímetro y tacómetro.
- 7.** Conozca siempre el buen estado de la planta en general.
- 8.** Reportar al personal de mantenimiento las fallas en cuanto aparezcan, por muy sencillas que se vean.
- 9.** Cuando el motor del interruptor de transferencia derrame lubricante, éste deberá sustituirse por grasa nueva.
- 10.** Implantar un programa de mantenimiento. Abra un expediente para anotar todos los datos en la ficha de vida de la planta y por medio de ella compruebe la correcta aplicación del mantenimiento.

## CAPÍTULO 3.- SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL.

---

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana. En la actualidad los lazos de control son un elemento esencial para la manufactura económica y próspera de virtualmente cualquier producto, desde el acero hasta los productos alimenticios. A pesar de todo, este lazo de control que es tan importante para la industria está basado en algunos principios fácilmente entendibles y fáciles.

### 3.1. FUNCIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO.

La idea básica de lazo realimentado de control es más fácilmente entendida imaginando qué es lo que un operador tendría que hacer si el control automático no existiera. La figura 3.1 muestra una aplicación común del control automático encontrada en muchas plantas industriales, un intercambiador de calor que usa calor para calentar agua fría. La señal de medición hacia el controlador desde el transmisor de temperatura (o sea el sensor que mide la temperatura) es continuamente comparada con el valor de consigna (set-point en Inglés) ingresado al controlador. Basándose en una comparación de señales, el controlador automático puede decir si la señal de medición está por arriba o por debajo del valor de consigna y mueve la válvula de acuerdo a esta diferencia hasta que la medición (temperatura) alcance su valor final.

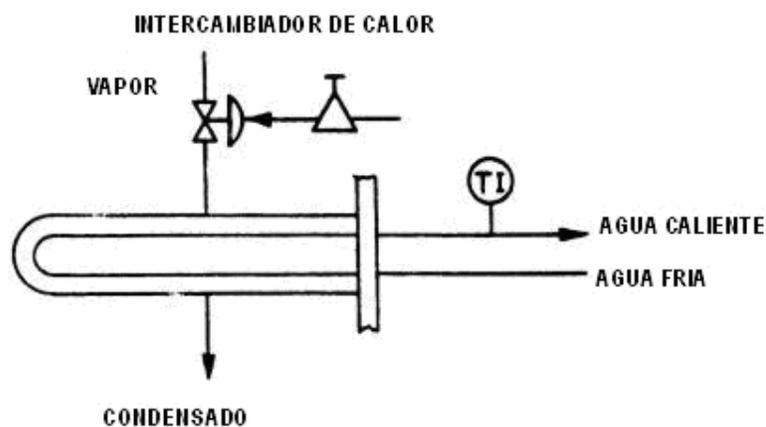


Figura 3.1

### 3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y a lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida. Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida. Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por realimentación (o retroacción). Los sistemas de control a lazo abierto tienen dos rasgos sobresalientes:

- a) La habilidad que éstos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.
- b) Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, que presentan los de lazo cerrado.

Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por realimentación (o retroacción).

#### 3.2.1 EL LAZO REALIMENTADO

El lazo de control realimentado simple sirve para ilustrar los cuatro elementos principales de cualquier lazo de control, (figura 3.2). La medición debe ser hecha para indicar el valor actual de la variable controlada por el lazo. Mediciones corrientes usadas en la industria incluyen caudal, presión, temperatura, mediciones analíticas tales como pH, ORP, conductividad y muchas otras particulares específicas de cada industria.

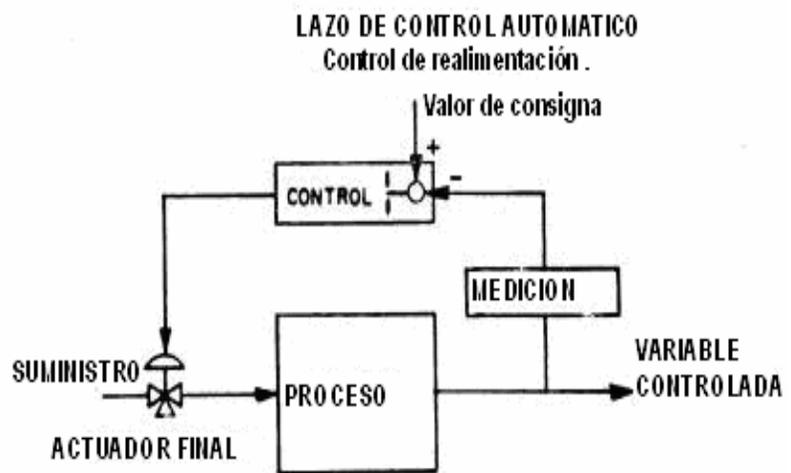


Figura 3.2

**Realimentación:** Es la propiedad de una sistema de lazo cerrado que permite que la salida (o cualquier otra variable controlada del sistema) sea comparada con la entrada al sistema (o con una entrada a cualquier componente interno del mismo con un subsistema) de manera tal que se pueda establecer una acción de control apropiada como función de la diferencia entre la entrada y la salida. Características de la realimentación:

- a) Aumento de la exactitud.
- b) Reducción de la sensibilidad de la salida, correspondiente a una determinada entrada, ante variaciones en las características del sistema.
- c) Efectos reducidos de la no linealidad y de la distorsión.
- d) Aumento del intervalo de frecuencias (de la entrada) en el cual el sistema responde satisfactoriamente (aumento del ancho de banda).
- e) Tendencia a la oscilación o a la inestabilidad.

### **3.2.2. EL ACTUADOR FINAL.**

Por cada proceso debe haber un actuador final, que regule el suministro de energía o material al proceso y cambie la señal de medición. Más a menudo éste es algún tipo de válvula, pero puede ser además una correa o regulador de velocidad de motor, posicionador, etc.

### **3.2.3. EL PROCESO.**

Los tipos de procesos encontrados en las plantas industriales son tan variados como los materiales que producen. Estos se extienden desde lo simple y común, tales como los lazos que controlan caudal, hasta los grandes y complejos como los que controlan columnas de destilación en la industria petroquímica.

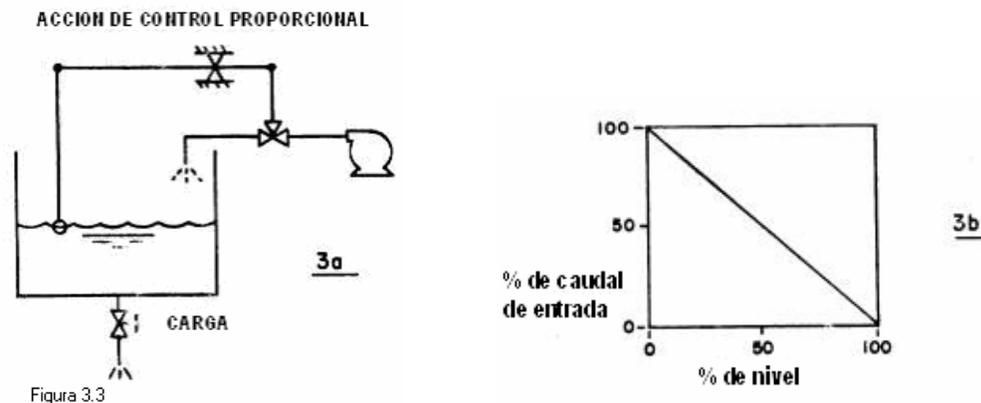
## **3.3. EL CONTROLADOR AUTOMÁTICO.**

El último elemento del lazo es el controlador automático, su trabajo es controlar la medición. “Controlar” significa mantener la medición dentro de límites aceptables. Todos los controladores automáticos usan las mismas respuestas generales, a pesar de que los mecanismos internos y las definiciones dadas para esta respuesta pueden ser ligeramente diferentes de un fabricante al otro.

Un concepto básico es que para que el control realimentado automático exista, es que el lazo de realimentación esté cerrado. Esto significa que la información debe ser continuamente transmitida dentro del lazo. Si la conexión se rompe en cualquier punto, se dice que el lazo está abierto.

### 3.4. CONTROLANDO EL PROCESO.

Al llevar a cabo la función de control, el controlador automático usa la diferencia entre el valor de consigna y las señales de medición para obtener la señal de salida hacia la válvula. La precisión y capacidad de respuesta de estas señales es la limitación básica en la habilidad del controlador para controlar correctamente la medición. Si el transmisor no envía una señal precisa, o si existe un retraso en la medición de la señal, la habilidad del controlador para manipular el proceso será degradada. Al mismo tiempo, el controlador debe recibir una señal de valor de consigna precisa (set-point). Para controlar el proceso, el cambio de salida del controlador debe estar en una dirección que se oponga a cualquier cambio en el valor de medición.



La figura 3.3 muestra una válvula directa conectada a un control de nivel en un tanque a media escala. A medida que el nivel del tanque se eleva, el flotador es accionado para reducir el caudal entrante, así, cuanto mas alto sea el nivel del líquido mayor será el cierre del ingreso de caudal. De la misma manera, a medida que el nivel cae, el flotante abrirá la válvula para agregar más líquido al tanque. La respuesta de éste sistema es mostrada gráficamente.

### **3.5. SELECCIÓN DE LA ACCIÓN DEL CONTROLADOR**

Dependiendo de la acción de la válvula, un incremento en la medida puede requerir incrementos o disminuciones del valor de salida para el control. Todos los controladores pueden ser conmutados entre acción directa o reversa.

- La acción directa significa que cuando el controlador ve un incremento de señal desde el transmisor, su salida se incrementa.
- La acción reversa significa que un incremento en las señales de medición hacen que la señal de salida disminuya.

Para determinar cuál de estas salidas es la correcta, un análisis debe ser llevado a cabo en el lazo. El primer paso es determinar la acción de la válvula. En la figura 3.1, por razones de seguridad la válvula debe cerrar si existe un fallo en el suministro de aire de la planta. Por lo tanto, esta válvula deber ser normal abierta con aire, o normal cerrada sin aire. Segundo, considere el efecto de un cambio en la medición. Para incrementar la temperatura el caudal de vapor hacia el intercambiador de calor debería ser reducido, por lo tanto, la válvula deberá cerrarse. Para cerrarse ésta válvula, la señal del controlador automático hacia la válvula debe disminuir, por lo tanto el controlador requiere acción de disminución/incremento reversa. Si se eligiera la acción directa el incremento de señales desde el transmisor daría como resultado en un aumento del caudal de vapor, haciendo que la temperatura se incremente aún más.

### **3.6. VARIACIONES**

Cualquiera de los siguientes tres eventos podría ocurrir requiriendo un caudal diferente para mantener el nivel en el tanque. Primero, si la posición de la válvula manual de salida fuera abierta ligeramente, entonces un caudal mayor saldría del tanque, haciendo que el nivel caiga. Este es un cambio bajo demanda, y para restaurar el balance, la válvula de entrada de caudal debe ser abierta para proveer un mayor ingreso de líquido. Un segundo tipo de condición de desbalance sería un cambio en el valor de consigna. El tercer tipo de variación sería un cambio en el suministro, si la presión de salida de la bomba se incrementara, aún si la válvula de entrada se mantuviera en su posición, el incremento de presión causaría un mayor caudal, haciendo que el nivel comience a elevarse.

### 3.7. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO Y CONTROLABILIDAD.

El controlador automático usa cambios en la posición del actuador final para controlar la señal de medición, moviendo el actuador para oponerse a cualquier cambio que observe en la señal de medición. La controlabilidad de cualquier proceso es función de lo bien que una señal de medición responde a éstos cambios en la salida del controlador. La figura 3.4 ilustra la respuesta de la temperatura del intercambiador de calor cuando la válvula es abierta incrementando manualmente la señal de salida del controlador. En resumen, cuanto mayor sea la constante de tiempo de la capacidad comparada con el tiempo muerto, mejor será la controlabilidad del proceso.

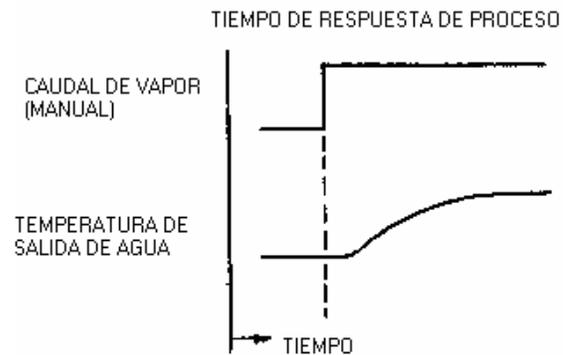


Figura 3.4

### 3.8. TIPOS DE RESPUESTAS DE CONTROLADOR.

La primera y más básica característica de la respuesta del controlador ha sido indicada como la acción directa o reversa. Una vez que esta distinción se ha llevado a cabo, existen varios tipos de respuestas que pueden ser usadas para controlar un proceso. Estas son:

- Control Si/No (ó On/Off con sus siglas en Inglés), o control de dos posiciones.
- Control proporcional.
- Acción integral (reset)
- Acción derivativa.

#### 3.8.1. EL CONTROL SI/NO.

El controlador Si/No tiene dos salidas que son para máxima apertura y para apertura mínima, o sea cierre. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae debajo del valor de consigna, la válvula debe estar cerrada para hacer que se abra. A medida que la medición cruza el valor de consigna la salida del controlador va hacia el 0%.

Esto eventualmente hace que la medición disminuya y a medida que la medición cruza el valor de consigna nuevamente, la salida vaya a un máximo. Este ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no puede balancear el suministro contra la carga. La continua oscilación puede, o puede no ser aceptable, dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. El control SI/No es mostrado en la figura 3.5.

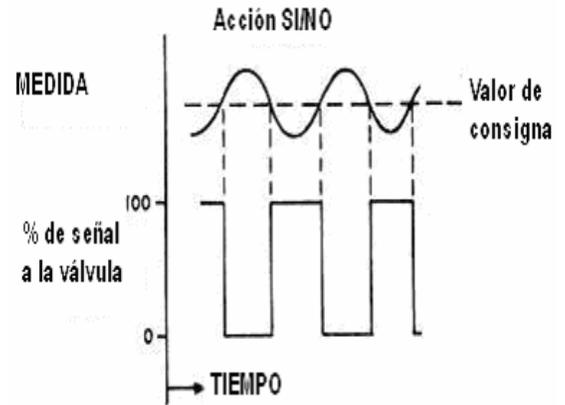


Figura 3.5

### 3.8.2. ACCIÓN PROPORCIONAL.

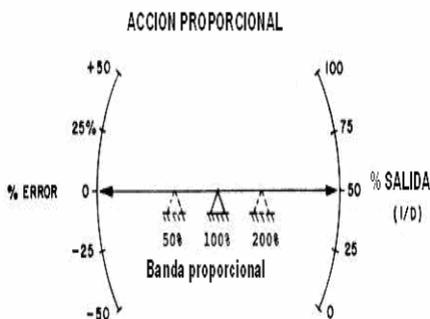


Figura 3.7

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, acción integral (reset) y acción derivativa están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. “Proporcional” significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje de cambio en la medición.

Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una “banda proporcional”. Ambos tienen los mismos propósitos y efectos. La figura 3.7 ilustra la respuesta de un controlador proporcional por medio de un indicador de entrada/salida pivotando en una de estas posiciones.

La gráfica de la figura 3.8 muestra cómo la salida del controlador responderá a medida que la medición se desvía del valor de consigna. Cada línea sobre el gráfico representa un ajuste particular de la banda proporcional. Dos propiedades básicas del control proporcional pueden ser observadas a partir de éste gráfico: a) Por cada valor de la banda proporcional toda vez que la medición se iguala al valor de consigna, la salida es del 50% y b) cada valor de la banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida. Por cada valor de medición existe un valor específico de salida.

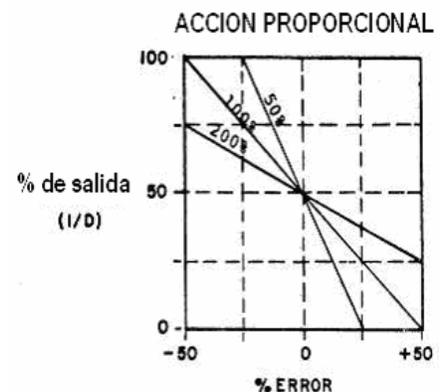


Figura 3.8

### 3.8.3. ACCIÓN INTEGRAL (RESET).

Esta función es llamada acción integral o reset. La respuesta del lazo abierto del modo reset es mostrada en la figura 3.9., que indica un escalón de cambio en algún instante en el tiempo. En tanto que la medición estuviera en su valor de consigna, no existiría ningún cambio en la salida debido al modo de reset en el controlador.

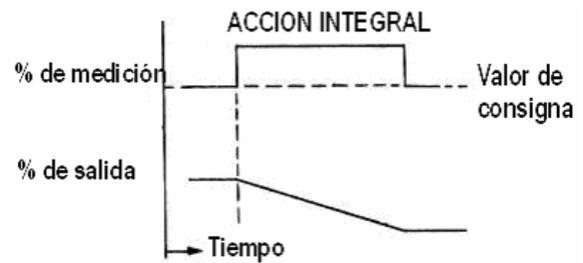


Figura 3.9

Sin embargo, cuando cualquier error exista entre la medición y el valor de consigna, la acción de reset hace que la salida comience a cambiar y continúe cambiando en tanto el error exista. Esta función, entonces, actúa sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el valor de consigna a varias cargas sea alcanzado.

### 3.8.4. ACCIÓN DERIVATIVA.

La tercera respuesta encontrada en controladores es la acción derivativa. Así como la respuesta proporcional responde al tamaño del error y el reset responde al tamaño y duración del error, el modo derivativo responde a la cuan rápido cambia el error. En la figura 3.10, dos respuestas derivativas son mostradas.

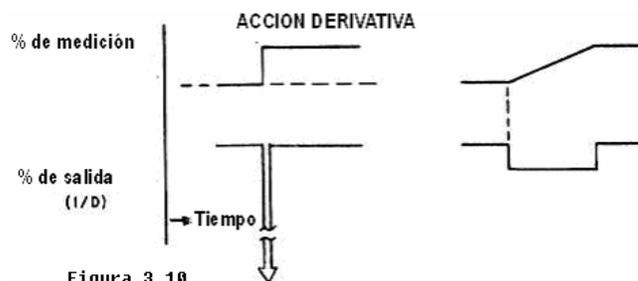


Figura 3.10

La primera es una respuesta a un corte en la medición alejada del valor de consigna. Para un escalón, la medición cambia en forma infinitamente rápida, y el modo derivativo del controlador produce un cambio muy grande y repentino en la salida, que muere inmediatamente debido a que la medición ha dejado de cambiar luego del escalón. La segunda respuesta muestra la respuesta del modo derivativo a una medición que está cambiando a un régimen constante. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa. La acción derivativa mantiene ésta salida mientras la medición esté cambiando.

### 3.9. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL – DEFINICIÓN DE INSTRUMENTACIÓN.

Instrumentación: es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. En otras palabras, la instrumentación es la ventana a la realidad de lo que está sucediendo en determinado proceso, lo cual servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, y de no ser así, podremos usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva.

#### 3.9.1. CARACTERÍSTICA DE LOS INSTRUMENTOS.

De acuerdo con las normas SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), PMC20, las características de mayor importancia, para los instrumentos son:

**Campo de medida o rango (range).** Es el conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable. Por ejemplo, un termómetro de mercurio con rango de 0 a 50 grados Celsius

**Alcance (Span).** Es la diferencia entre el valor superior e inferior del campo de medida. Para el caso del termómetro del ejemplo, el SPAN será de 50 grados Celsius.

**Error.** Es la diferencia que existiría entre el valor que el instrumento indique que tenga la variable de proceso y el valor que realmente tenga esta variable en ese momento.

**Precisión.** Esto es la tolerancia mínima de medida que permitirá indicar, registrar o controlar el instrumento. En otras palabras, es la mínima división de escala de un instrumento indicador. Generalmente esta se expresa en porcentaje (%) del SPAN.

**Sensibilidad.** Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.

**Repetibilidad.** Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición.

**Campo de medida con supresión de cero.** Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por encima del cero real de la variable.

**Campo de medida con elevación de cero.** Es aquel rango de un instrumento cuyo valor mínimo se encuentra por debajo de cero de las variables.

### 3.9.2 CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

De acuerdo a su función en el proceso estos serán:

**Instrumentos indicadores:** son aquellos que como su nombre bien dice, indican directamente el valor de la variable de proceso. Ejemplos: manómetros, termómetros, etc.

**Instrumentos ciegos:** son los que cumplen una función reguladora en el proceso, pero no muestran nada directamente. Ejemplos termostatos, presostatos, etc.

**Instrumentos registradores:** en algunos casos podrá ser necesario un registro histórico de la variable que se estudia en un determinado proceso

**Elementos primarios:** algunos elementos entran en contacto directo con el fluido o variable de proceso que se desea medir, con el fin de recibir algún efecto de este (absorben energía del proceso), y por este medio pueden evaluar la variable en cuestión. (Placa orificio).

**Transmisores:** estos elementos reciben la variable de proceso a través del elemento primario, y la transmiten a algún lugar remoto. Estos transmiten las variables de proceso en forma de señales proporcionales a esas variables.

**Transductores:** son instrumentos fuera de línea (no en contacto con el proceso), que son capaces de realizar operaciones lógicas y/o matemáticas con señales de uno o más transmisores.

**Convertidores:** en ciertos casos, la señal de un transmisor para ser compatible con lo esperado por el receptor de esa señal, en ese caso se utilizara un elemento convertidor para lograr la antes mencionada compatibilidad de señal.

**Receptores:** son los instrumentos que generalmente son instalados en el panel de control, como interfase entre el proceso y el hombre. Estos reciben la señal de los transmisores o de un convertidor.

**Controladores:** este es uno de los elementos más importante, ya que será el encargado de ejercer la función de comparar lo que esta sucediendo en el proceso, con lo que realmente se desea que suceda en él, para posteriormente, en base a la diferencia, envié una señal al proceso que tienda a corregir las desviaciones.

**Elemento final de control:** será este elemento quien reciba la señal del controlador y quien estando en contacto directo con el proceso en línea, ejerza un cambio en este, de tal forma que se cambien los parámetros hacia el valor deseado. Ejemplo: válvulas de control, compuertas, etc.

**De acuerdo a la variable de proceso que miden:** Esta clasificación, como su nombre lo indica, se referirá a la variable de proceso que tratemos de medir. En la actualidad, se pueden medir, casi sin excepción, todas las variables de proceso existentes, sin embargo, algunas se medirán de forma directa y otras indirectamente.

## CAPÍTULO 4.- APLICACIONES DE PLC'S

---

Originalmente los PLC's fueron diseñados para mejorar los controles de encendido y apagado de las máquinas. Esto significa que podían detener y arrancar motores eléctricos o energizar solenoides o mandos de control de válvulas de potencia hidráulica. En el control de procesos esto significa se podían controlar variables como temperatura, usando termostatos como interruptores.

Ahora los PLC's están teniendo un desarrollo continuo en el control de procesos y el de servomecanismos. Las aplicaciones de los PLC's se han diversificado mucho. Algunas de ellas se muestran a continuación:

- Control de robots
- Líneas de transferencia automatizadas
- Control ambiental dentro de edificios
- Máquinas de carga y descarga
- Máquinas ensambladoras
- Transportación de material

### 4.1. INTRODUCCIÓN A LOS PLC's.

Los controladores programables hacen que los sistemas de control automático sean mucho más eficaces que los antiguos sistemas electromecánicos. Además de remplazar la lógica estándar de controles accionados por relés, los controladores pueden realizar muchas tareas, entre estas destacan:

- El reemplazo de relés, contadores, medidores y dispositivos análogos electromecánicos con circuitos de estado sólido más confiables.
- Operaciones aritméticas como sumas y restas que son esenciales para controlar ciertas operaciones.
- La ubicación de fallas, alarmas, y el reglaje de dispositivos que requieren muy poca atención.
- El reglaje de dispositivos peligrosos o de dispositivos en un ambiente peligroso.

#### 4.1.1. PERIFÉRICOS Y MEDIOS AUXILIARES DE LOS PLC's.

La estructura básica de cualquier autómata es la siguiente:

**Fuente de alimentación.** Es la encargada de convertir la tensión de la red, 220v c.a., a baja tensión de c.c, normalmente 24 v. Siendo esta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el Autómata.

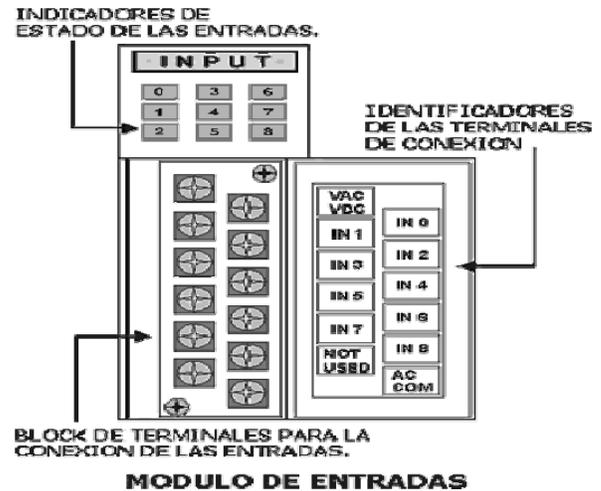
**CPU.** La Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Se encarga de recibir las ordenes, del operario por medio de la consola de programación y el modulo de entradas. Posteriormente las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso.

**Módulos de salida y módulos de entrada.** Los módulos de entrada/salida se dividen en:

- Módulos de entrada discretos
- Módulos de entrada analógicos.
- Módulos de salida discretos.
- Módulos de salida analógicos.

**Módulos de entradas y/o salidas discretas.** En los módulos de entrada encontramos el bloque de terminales, donde podemos conectar los cables que llevan las señales eléctricas de control, provenientes de los distintos dispositivos de entrada del proceso, directo al archivo de entrada de datos de la memoria del procesador, para que éste, de acuerdo al programa que tenga almacenado, actualice las salidas. Si estas señales eléctricas provienen de algún sensor o detector, de un botón pulsador o interruptor o indica alguna posición mecánica; entonces, entendemos que la entrada es de tipo DISCRETO o DIGITAL y por lo tanto el módulo que estaremos usando para recibir estas señales debe de ser del mismo tipo. Recordemos que las señales de tipo discreto SOLO tienen dos estados, presencia o no presencia de voltaje, y los valores mas comunes son: de **0 - 5 Vdc**, de **0 - 10 Vdc**, y de **0 - 24 Vdc** que es el mas utilizado a nivel industrial, la siguiente figura muestra el estilo clásico de un modulo de entradas:

Los módulos de salida discreta pueden ser de salida a **relevador** o de salida a **transistor**. En los de salida a relevador, cuando la salida se habilita, se energiza la bobina de un relevador interno del módulo, y este conmuta el estado de su contacto auxiliar. Los de salida a transistor conmutan cargas inductivas, generalmente de 24 VCC. El uso de supresores de sobretensión es muy recomendable ya que al conectarlos a través de la carga inductiva, alargan la vida útil de los contactos del relevador.



Los dispositivos de entrada más comunes son:

- Sensores inductivos, capacitivos o fotoeléctricos.
- Interruptores selectores.
- Finales de carrera.
- Interruptores flotadores.
- Contactos de rele.

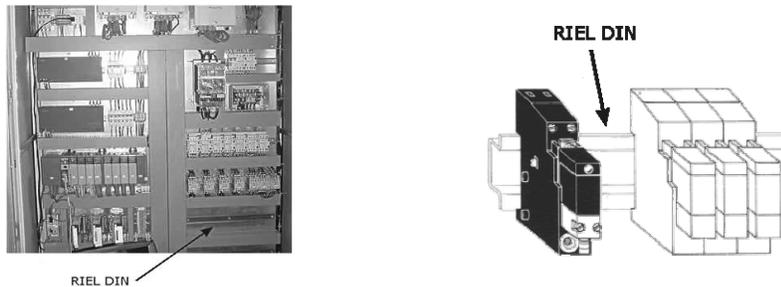
Al igual que los módulos de entrada, los módulos de salida discretos tienen sus puntos de atención. Sabemos que estos módulos controlan el estado de un dispositivo, que puede ser activado o desactivado o ON/OFF y algunos dispositivos de salida típicos son:

- Relevadores
- Arrancadores de motor
- Solenoides
- Indicadores
- Motores

**Módulos de entradas y/o salidas analógicas.** Cuando en nuestro proceso existen variables físicas por controlar, como temperatura, presión o flujo, requerimos del manejo de señales ANALÓGICAS, y por lo tanto también de módulos de entrada y/o salida que puedan manejar este tipo de señales. Los rangos de las señales más utilizadas por estos módulos son:

- En corriente de 4 mA a 20 mA.
- En voltaje de 0Vcc a 5Vcc y de 0Vcc a 10Vcc

Todos estos módulos así como la mayoría de los dispositivos o hardware que se utiliza en proyectos de automatización se montan sobre riel DIN. En la siguiente ilustración observamos diferentes dispositivos montados sobre rieles normalizados DIN.



**Terminal de programación.** La Terminal o consola de programación es la que permite comunicar al operario con el sistema. Como consolas de programación pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el autómatas, tipo calculadora o bien un ordenador personal, PC, que soporte un software especialmente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.



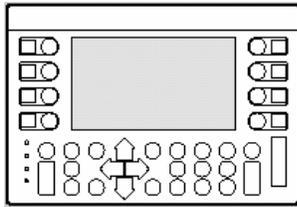
Terminal de programación portátil



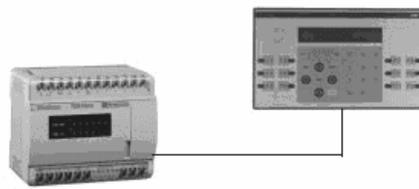
Terminal de programación compatible con PC.

**Periféricos.** Los periféricos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómatas, pero sin embargo facilitan la labor del operario. Los más utilizados son:

- Grabadoras a cassettes.
- Impresoras.
- Cartuchos de memoria EPROM.
- Visualizadores y paneles de operación OP



Panel de operación



Conexión de un visualizador a un autómata

#### 4.1.2. COMUNICACIÓN Y REDES.

Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas en tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida. Una de las alternativas para esto, es la incorporación de módulos de comunicaciones individuales para comunicación punto a punto, multipunto o para la integración a una Red de Computadores. Los más comunes son:

**Módulos de Comunicación Asíncrona:** Estos módulos están destinados a la comunicación del PLC con dispositivos periféricos que puedan soportar un enlace de comunicaciones de tipo serial. Podemos distinguir en esta categoría dos tipos de interfaces:

***Módulo de Comunicación Asíncrona Punto a Punto RS-232:*** con la cual podemos comunicarnos con cualquier dispositivo que soporte la norma RS-232, tales como: Computadores personales, pantallas de dialogo, otros PLC, impresoras seriales, etc. Este tipo de comunicación se caracteriza por estar diseñado para enlaces de tipo punto a punto y a distancias relativamente pequeñas, generalmente para un máximo de 18 mts., los parámetros que caracterizan este tipo de comunicaciones son:

- Velocidad
- Paridad
- Bits de datos
- Bits de Parada
- Distancia
- Control de Flujo

**Módulos de comunicación Multipunto:** Estos se caracterizan por soportar la conexión de varias estaciones trabajando en un esquema Maestro-Esclavo. Las velocidades de transferencia son muy elevadas, 1 Mbps, y las distancia abarcadas son cercanas a 1 kilómetro. Se distinguen dos tipos:

La **RS-422** es una interfaz multipunto que puede soportar hasta 32 estaciones con una velocidad de transferencia de 1 Mbps, hasta una distancia de aprox. 1 kilometro en 2 o 4 hilos (half-duplex, full-duplex ). La **RS-485** es una mejora de la RS-422 en una versión Half-duplex (2 hilos) que tiene un mejor performance en sus características eléctricas.

**Módulos de Red Propietarias:** Los módulos de Red propietarias son módulos de comunicaciones destinados a la comunicación de PLC de una marca en particular, no están regidos por ninguna norma internacional y son diseñados por el fabricante para sus propios dispositivos.

**Módulo de Red Comerciales:** Los módulos de Red comerciales, son módulos de comunicaciones con normas internacionales que incorporan los fabricantes de PLC para la integración de sus propios sistemas como también para la integración con sistemas de redes comerciales y de otros fabricantes.

#### **4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.**

Estas son muy mencionadas, una ventaja del PLC sobre los sistemas de relevadores convencionales es la facilidad de su reprogramación. Aquí hay otras tres ventajas que son muy aprovechadas en la industria: 1. *bajos costos*, los PLC's reducen los costos de tener que adquirir más relevadores al modificar algún proceso, ya que en un solo componentes se pueden manejar una gran cantidad de señales sin necesidad de más equipo. 2. *Pequeño tamaño*, los PLC's requieren de una fracción de espacio muy pequeña a comparación con los brumosos tableros de control de relevadores que hacen el mismo trabajo. 3. *Funciones más avanzadas*, la memoria y las capacidades del software del PLC's le permite contar con funciones adicionales para poder tener de ellos reportes de producción, o sencillas estadísticas, así como contadores diversos más sofisticados del de los relevadores.

Y entre las desventajas:

- Adiestramiento de técnicos.
- Costo.

### 4.3. LENGUAJES.

Hasta el momento existen tres tipos de representaciones de lenguajes como las más difundidas a nivel mundial, las cuales cada fabricante la (s) emplea para su programación, estas son:

- Lista de instrucciones
- Plano defunciones y
- Diagrama contactos o plano de contactos

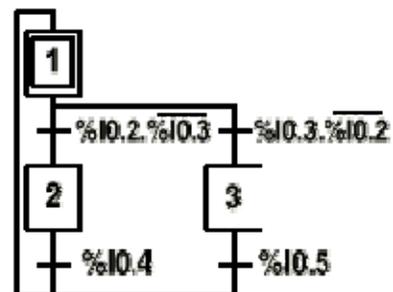
Es obvio, que la gran diversidad de lenguajes de programación da lugar a que cada fabricante tenga su propia representación, originando cierta incomodidad al usuario cuando programa más de un PLC. Con el objetivo de uniformizar estas representaciones, se ha establecido una norma internacional IEC 1131-3 que se encarga de estandarizar los lenguajes de programación. Esta norma contempla dos tipos de lenguajes de programación

- Lenguajes Gráficos
- Lenguajes Literales

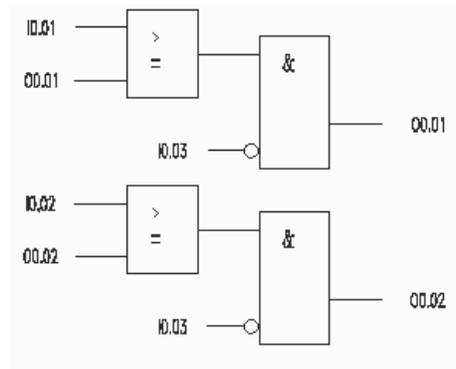
#### 4.3.1. LOS LENGUAJES GRÁFICOS.

Se denomina lenguaje gráfico a la representación basada en símbolos gráficos, de tal forma que según la disposición en que se encuentran cada uno de estos símbolos Y en conformidad a su sintaxis que lo gobierna, expresa una lógica de mando y control. Dentro de ellos tenemos:

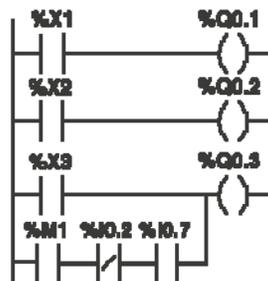
**Carta de Funciones Secuéciales o Grafcet.** El Grafcet es una representación de análisis gráfico donde se establecen las funciones de un sistema secuencial. Este lenguaje consiste en una secuencia de etapas y transiciones, asociadas respectivamente con acciones y condiciones. Las etapas representan las acciones a realizar y las transiciones las condiciones que deben cumplirse para ir desarrollando acciones. La Etapa - Transición es un conjunto indisociable.



**Plano de Funciones.** Es una representación gráfica orientada a las puertas lógicas AND, OR y sus combinaciones. Las funciones individuales se representan con un símbolo, donde su lado izquierdo se ubica las entradas y en el derecho las salidas. Los símbolos usados son iguales o semejantes a los que se utilizan en los esquemas de bloques en electrónica digital.



**Diagrama de Contactos o Plano de Funciones.** Es la representación gráfica que tiene cierta analogía a los esquemas de contactos según la norma Nema (USA). Su estructura obedece a la semejanza que existe con los circuitos de control con lógica cableada, es decir, utiliza la misma representación de los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, con la diferencia que su interpretación es totalmente diferente.



#### 4.3.2. LOS LENGUAJES LITERALES.

Este tipo de lenguaje se refiere básicamente al conjunto de instrucciones compuesto de letras, códigos y números de acuerdo a una sintaxis establecida. Existen dos lenguajes diferentes en nivel y tipo de aplicación, ellos son:

**Lista de Instrucciones.** Son instrucciones del tipo Booleanas, utilizando para su representación letras y números. Dado que se usan abreviaturas nemotécnicas, no se requiere gran memoria para tareas de automatización. La desventaja radica en la magnitud del trabajo que es necesario para su programación, especialmente si el programa consta de unos cientos de instrucciones. Representación de un programa en lista de instrucciones para diferentes marcas de PLCs.

<b>Siemens (Simatic)</b>	<b>Telemecanique</b>	<b>General Electric</b>
U E0.1	L I0.01	LD %I0001
U E0.2	A I0.02	AND %I0002
O E0.3	O I0.03	OR %I0003
= A3.1	= O3.01	OUT %Q0031

**Texto Estructurado.** Es un lenguaje del tipo booleano de alto nivel y estructurado, incluye las típicas sentencias de selección (IF-THEN-ELSE) y de interacción (FOR, WHILE Y REPEAT). Su uso es ideal para aplicaciones en las que se requiere realizar cálculos matemáticos, comparaciones, emular protocolos, etc. Programa en texto estructurado para un PLC marca Telemecanique TSX-07:

```
LD [%MW10>100]
ST %Q0.3
AND [%MW20<%MW35]
ST %Q0.2
LD %I0.2
OR [%MW30>=%MW40]
ST %Q0.4
```

#### 4.3.3. EXTENSIÓN DE LOS LENGUAJES PARA SU USO EN LOS PLC's.

Los lenguajes precedentes, gráficos o literales, no permiten en general utilizar en la forma que acabamos de exponer todas las herramientas del PLC. Por ejemplo en un lenguaje de relés, la inicialización y el lanzamiento de un contador o de un temporizador no se desprende directamente del simbolismo usado si no que los lenguajes son completados de manera que se utilicen sencillamente todas las funciones de los PLC. Para ello si son gráficos, los constructores han introducido bloques de función normalizados: contador, temporizador, etc. parametrizables cuyo disparo se obtiene por una variable y cuyo resultado es explotable como una variable de la misma naturaleza. En los lenguajes literales se encuentran funciones normalizadas o que se utilizan dentro las instrucciones como una cualquiera de ellas.

#### 4.3.4. LOS LENGUAES FUTUROS.

Parece necesario considerar una cierta convergencia de los lenguajes para satisfacer lo que esperan los usuarios y sobre todo utilizar la evolución de las arquitecturas y de las funciones ofrecidas. Se puede indicar que los lenguajes gráficos ampliarán las posibilidades de los bloques-funciones antes mencionados; todavía más bloques funcionales normalizados, más ricos, pero también la posibilidad de que el usuario defina los suyos (idea procedimiento).

Así mismo evolucionarán los lenguajes literales que dispongan de funciones más completas y nuevas en el campo de los PLC, tales como las utilizadas por los lenguajes informáticos. Muy probablemente los lenguajes permitirán que el programador defina sus tipos de variables y sus procedimientos, facilitando la redundancia así introducida a los controles estático y dinámico por el software básico. El salto de complejidad del problema a resolver obliga a uno en el diseño y programación de estos sistemas, acercándose a la estructura de composición de un sistema complejo. Esto conlleva obligatoriamente, a adecuar los lenguajes de programación a las nuevas aplicaciones, o sea, a los lenguajes orientados a objeto para PLCs.

#### 4.4. EL GRÁFICO DE MANDO ETAPA – TRANSICIÓN: GRAFCET.

El **GRAFCET** (**GRA**Fica de **Control** de **Etapas** de **Transición**) es un grafo o diagrama funcional normalizado, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones. Para programar un autómata en GRAFCET es necesario conocer cada uno de los elementos propios de que consta. En la siguiente tabla se muestran los comunes.

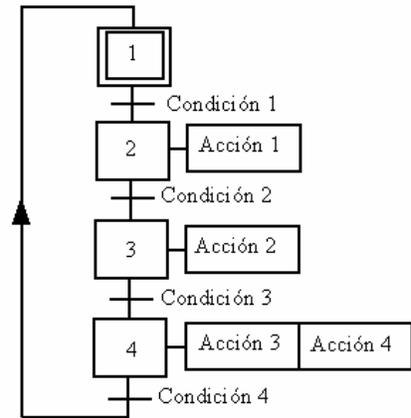
Elementos GRAFCET de programación		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Etapas inicial	Indica el comienzo del esquema GRAFCET y se activa al poner en RUN el autómata. Por lo general suele haber una sola etapa de este tipo.
	Etapas	Su activación lleva consigo una acción o una espera.

	Unión	Las uniones se utilizan para unir entre sí varias etapas.
+	Transición	Condición para desactivarse la etapa en curso y activarse la siguiente etapa, Se indica con un trazo perpendicular a una unión.
—	Direccionamiento	Indica la activación de una u otra etapa en función de la condición que se cumpla.
==	Proceso simultáneo	Muestra la activación o desactivación de varias etapas a la vez.
-□□	Acciones asociadas	Acciones que se realizan al activarse la etapa a la que pertenecen.

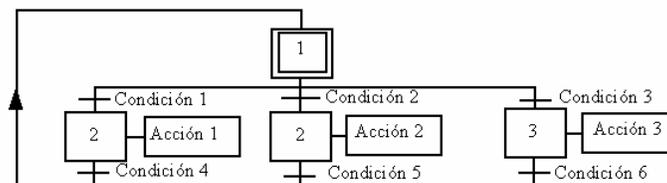
En un GRAFCET podemos encontrarnos con tres tipos de secuencias:

**Lineales.** En las secuencias lineales el ciclo lo componen una sucesión lineal de etapas como se refleja en el siguiente GRAFCET de ejemplo:

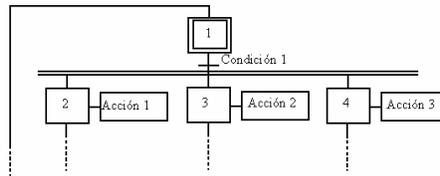
El programa irá activando cada una de las etapas y desactivando la anterior conforme se vayan cumpliendo cada una de las condiciones. Las acciones se realizarán en función de la etapa activa a la que están asociadas. Por ejemplo, con la etapa 1 activa tras arrancar el programa, al cumplirse la "Condición 1", se activará la etapa 2, se desactivará la 1, y se realizará la "Acción 1".



**Con direccionamiento.** En un GRAFCET con direccionamiento el ciclo puede variar en función de la condición que se cumpla. En el siguiente ejemplo a partir de la etapa inicial se pueden seguir tres ciclos diferentes dependiendo de cual de las tres condiciones (1, 2 ó 3) se cumpla, (sólo una de ellas puede cumplirse mientras la etapa 1 esté activa):



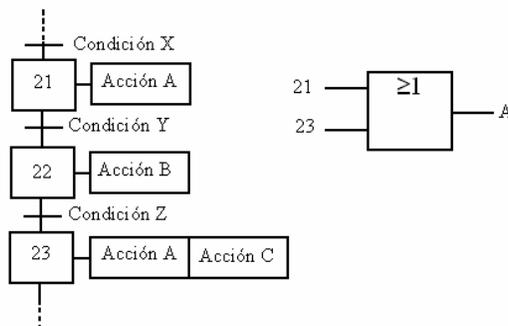
**Simultáneas.** En las secuencias simultáneas varios ciclos pueden estar funcionando a la vez por activación simultánea de etapas. En el siguiente ejemplo, cuando se cumple la condición 1 las etapas 2, 3 y 4 se activan simultáneamente:



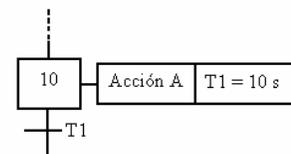
### Clasificación de las acciones

En un GRAFCET nos podemos encontrar con alguna o varias de las acciones asociadas a una etapa que se describen seguidamente.

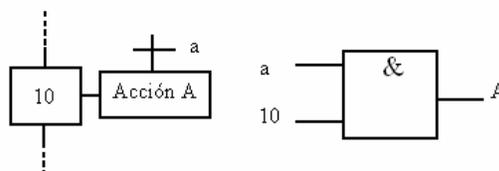
**Acciones asociadas a varias etapas.** Una misma acción puede estar asociada a etapas distintas. Así en el siguiente ejemplo la acción A se realiza cuando está activa la etapa 21 ó la 23 (función O):



**Acciones temporizadas.** Es un caso particular de las acciones condicionales que se encuentran en multitud de aplicaciones. En este caso, el tiempo interviene como una condición lógica más. En el siguiente ejemplo la acción A se realizará durante 10 segundos:



**Acciones condicionales.** La ejecución de la acción se produce cuando además de encontrarse activa la etapa a la que está asociada, se debe verificar una condición lógica suplementaria (función Y):



#### 4.5. CHEQUEO DE PROGRAMAS.

Desde el punto de vista del Procesador, un programa es un conjunto de instrucciones o proposiciones bien definidas que le dicen lo que tiene que hacer. Cada instrucción le indica:

- qué operación realizará a continuación.
- de dónde obtendrá los datos que necesita para realizarla
- dónde guardará los resultados de la operación.

Desde el punto de vista del usuario, un programa, son las especificaciones de un conjunto de operaciones que debe llevar a cabo el computador para lograr resolver una determinada tarea.

**Clasificación de los programas.** Parte del programa lo escriben los usuarios para ejecutar tareas que deseamos automatizar, pero además existen otros programas ya escritos que permiten procesar los programas del usuario. A continuación, se definirán estos dos tipos de programas.

**Programas del sistema.** Existen cierto número de otros programas que proporcionan servicios vitales a los programas del usuario, esto es, realizan funciones operativas internas del controlador; estos programas, incluyendo los traductores de lenguaje reciben la denominación colectiva de programas del sistema o software del sistema. Un elemento notable de éste es el sistema operativo, cuyos servicios incluyen el manejo de los dispositivos de entrada y salida del PLC, el almacenamiento de la información durante largos períodos, organizar el procesamiento de los programas del usuario o aplicación, etc. Estos programas están almacenados en memoria EPROM dentro de la CPU, por lo tanto no se pierden ni alteran en caso de pérdida de alimentación al equipo. El usuario No tiene acceso a ellos.

**Programas de aplicación del usuario.** Es el conjunto de instrucciones o proposiciones que programa el usuario, con el fin de resolver tareas de automatización específica. Para ello, el usuario escribe el programa de acuerdo a la representación del lenguaje de programación que mejor se adapte a su trabajo, en todo caso, tenga un mejor dominio. Es importante señalar, que algunos fabricantes no emplean todos los tipos de representaciones de los lenguajes de programación, no obstante, el usuario tendrá que adaptarse a la representación que se disponga.

**Estructura del programa de aplicación.** Los Programas de aplicación se estructuran de acuerdo al modo como se procesan los programas (tareas), éstas pueden ser de dos tipos:

**Programación lineal.** Se emplea para aplicaciones simples de automatización, su procesamiento es cíclico o secuencial y es suficiente programar las diferentes instrucciones en un solo bloque o sección de programación. Un procesamiento cíclico o secuencial, consiste en la lectura, interpretación y ejecución de instrucción por instrucción, respetando el orden en que se han programado, salvo las instrucciones de salto. Sin embargo, esta forma de procesamiento dificulta notablemente el trabajo, y en algunos casos es casi imposible estructurar los programas debido a las siguientes desventajas:

- Incremento del tiempo de barrido, que es proporcional a la complejidad del programa.
- En extensos programas es muy tedioso su diagnóstico. Modificación y puesta a punto.
- Dificultad para la concepción del programa resultando complejo y difícil interpretarlo y actualizarlo.
- En muchos casos es indispensable el cumplimiento en tiempo real defunciones avanzadas tales como:
  - \* Medición analógica y regulación
  - \* Servoposicionamiento
  - \* Comunicación para el diálogo operador y control
  - \* Funciones de monitoreo, etc.

**Programación estructurada.** Consiste en la división del programa de aplicación en bloques que se caracterizan por una independencia funcional, donde cada bloque del programa realiza una tarea específica claramente definida. Las ventajas que se obtienen programando en forma estructurada son:

- La comprensión, solución, simulación y pruebas es mucho más fácil cuando un problema muy complejo es tratado por partes.
- El diagnóstico de fallas y por ende su solución es también más fácil, dado que una vez identificado el bloque del programa donde se encuentra la falla, su corrección resulta más rápido que si se afrontara el programa global.
- Los programas parciales pueden ejecutarse independientemente por equipos de programadores, cada grupo elaborando bloques individuales; además se pueden usar reiteradamente durante el escaneo del programa, o formar parte de otro programa de aplicación.
- Se emplea mejor la capacidad de la memoria dado que pueden llamarse los bloques de programas las veces que se requiera sin que se tenga que programar repetidas veces.

#### 4.6. SISTEMAS SCADA (SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS).

**SCADA**, acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos). Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso, tales como:

Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador):

Estado actual del proceso. Valores instantáneos;

Desviación o deriva del proceso. Evolución histórica y acumulada;

Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador):

Generación de alarmas;

HMI Human Machine Interface (Interfaces hombre-máquina);

Toma de decisiones:

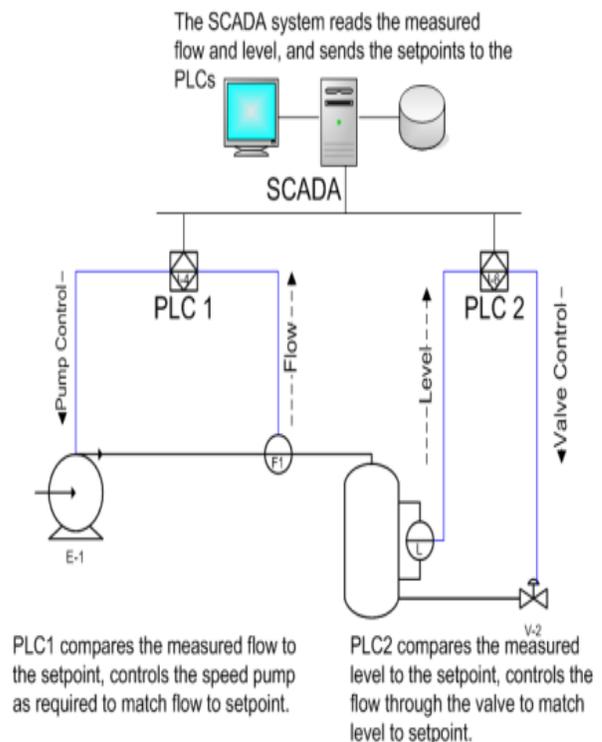
Mediante operatoria humana;

Automática (mediante la utilización de sistemas basados en el conocimiento o sistemas expertos).

etc.

Este gráfico es un ejemplo de la aplicación del sistema SCADA en áreas industriales. Estas áreas pueden ser:

- Monitorizar procesos químicos, físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, para controlar la generación y distribución de energía eléctrica, de gas o en oleoductos y otros procesos de distribución.
- Gestión de la producción (facilita la programación de la fabricación);
- Mantenimiento (proporciona magnitudes de interés tales para evaluar y determinar modos de fallo, MTBF, índices de Fiabilidad, entre otros);



- Administración (actualmente pueden enlazarse estos datos del SCADA con un servidor ERP (Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales), e integrarse como un módulo más);
- Tratamiento histórico de información (mediante su incorporación en bases de datos).

### **Concepto del sistema**

El termino SCADA usualmente se refiere a un sistema central que monitorea y controla un sitio completo o un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas). La mayor parte del control del sitio es en realidad realizada automáticamente por una Unidad Terminal Remota (RTU) o por un Controlador Lógico Programable (PLC).

La adquisición de datos se inicia al nivel de la RTU o del PLC e incluye lecturas de medidores y estado de equipos que están comunicados con el SCADA según sea necesario. Los datos son compilados y formateados de tal manera que un operador del centro de control usando la interfaz hombre-máquina (HMI) puede tomar decisiones de supervisión apropiadas que pueden ser requeridas para ajustar o revalidar controles normales del RTU (o PLC).

### **Interface hombre – máquina**

Una interfase Hombre - Maquina o HMI (*Human Machine Interface*) es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso. La obtención de los datos por el sistema SCADA parte desde el PLC o desde otros controladores y se realiza por medio de algún tipo de red, posteriormente esta información es combinada y formateada. Un HMI puede tener también vínculos con una base de datos para proporcionar las tendencias, los datos de diagnostico y manejo de la información, incluso sistemas expertos con guía de resolución de problemas.

### **Componentes del sistema**

Los tres componentes de un sistema SCADA son:

1. Múltiples Unidades de Terminal Remota (también conocida como RTU o Estaciones Externas).
2. Estación Maestra y Computador con HMI.
3. Infraestructura de Comunicación.

**Unidad de Terminal Remota (RTU).** La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como los estados abierto/cerrado desde una válvula o un intercambiador, lee las medidas como presión, flujo, voltaje o corriente. Por el equipo el RTU puede enviar señales que pueden controlarlo: abrirlo, cerrarlo intercambiarlo la valvular o configurar la velocidad de la bomba.

**Estación Maestra.** El termino "Estación Maestra" se refiere a los servidores y el software responsable para comunicarse con el equipo del campo (RTUs, PLCs, etc) en estos se encuentra el software HMI corriendo para las estaciones de trabajo en el cuarto de control, o en cualquier otro lado.

**Infraestructura y Métodos de Comunicación.** Los sistemas SCADA tienen tradicionalmente una combinación de radios y señales directas seriales o conexiones de MODEM para conocer los requerimientos de comunicaciones, incluso Ethernet e IP sobre SONET es también frecuentemente usada en sitios muy grandes como ferrocarriles y estaciones de poder.

## **CAPÍTULO 5.- DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO.**

---

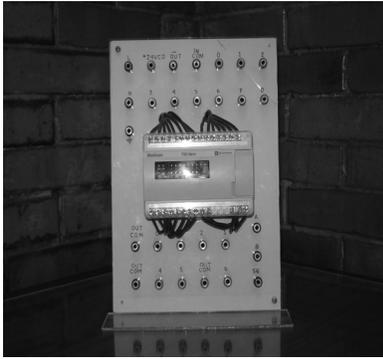
En el periodo destinado a la realización del proyecto PAPIME, la principal actividad fue la implementación de un modulo de PLC'S, un modulo de SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN y experimentación con un CONCENTRADOR SOLAR.

El proyecto PAPIME tiene como finalidad la implementación de un modulo de PLC'S (controladores lógicos programables), esto como medio para poder realizar practicas con este tipo de sistemas, ya que a lo largo de la carrera no contamos con la instrucción en este conocimiento, y en el ámbito industrial es un conocimiento que se requiere ampliamente ya que todo sistema automatizado o de producción en línea esta basado en este tipo de controladores y su programación. Este es el principal motivo de la implementación de este modulo y sus posibles aplicaciones en un concentrador solar y una subestación eléctrica. Se eligieron el concentrador solar por la posibilidad de aplicar energía natural a cualquier sistema que lo requiera, desde una casa hasta sistemas de gran potencia, de una manera eficiente y económica.

Y la subestación eléctrica se eligió por la necesidad de controlar este tipo de estaciones de una manera ágil y eficiente, pues este tipo de sistemas son los que proporcionan la energía que ocupamos en cualquier lugar cotidianamente.

### **5.1. CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DE PLC's.**

El modulo de PLC'S este modulo se realizo con una carcaza de acrílico con la finalidad de que los alumnos puedan ver en el interior del modulo como esta compuesto, este modulo consta de 2 PLC (ALLEN BRADLEY y FESTO), estos dos PLC se alambraron a sus respectivas salidas (terminales para conectar motores, luces, o cualquier elemento a controlar) y entradas (interruptores y botones donde entran las señales que controlan). Así como también constan de dos bobinas relevadoras, también alambradas. Todas estas terminales (entradas, salidas, alimentación) salen a las caras del acrílico.

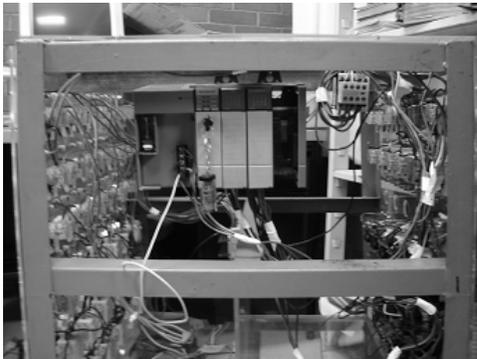


Forma física de un plc dentro del modulo realizado

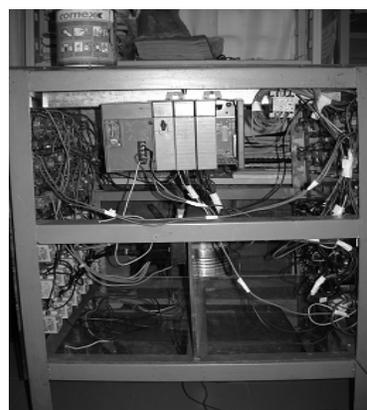


Elaboración y alambrado del PLC

Las caras del modulo se encuentran marcadas con cada una de las funciones que representa cada botón y cada par de pluggs. Esto con la finalidad de una mejor utilización y comprensión del equipo.



En esta imagen se puede apreciar la forma real de alambrear un PLC, conectando su respectivo relevador de control.

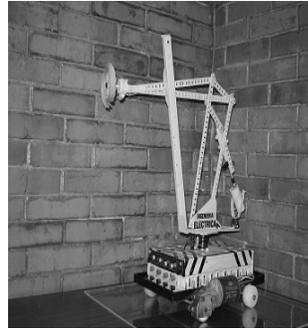


Vista frontal y lateral del modulo realizado mostrando las entradas y salidas del PLC.

Este modulo también es utilizado o se puede utilizar para el funcionamiento de un brazo mecánico que se encuentra en el  **cubículo**, el cual consta de 3 motores que se pueden controlar con los PLC'S para programar el tipo de trabajo que se quiere realizar, ya que puede girar sobre su eje, elevarse y acercarse a un objetivo, puede desplazarse con un motor que da movimiento a las llantas de su base y un ultimo motor que determina el movimiento de la “mano” del brazo, que es la que se encarga de realizar la tarea ya sea taladrar, sostener, etc.



Modulo didáctico de un brazo mecánico



Modulo mostrando su panel de conexiones para su activación

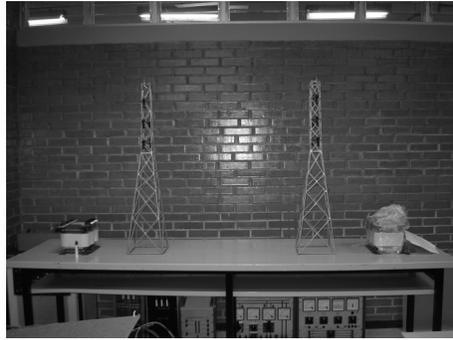
## 5.2. CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

El modulo de sistema de distribución se implemento mediante dos torres de transmisión de energía eléctrica a escala, dos transformadores en forma elevadora y reductora, y un generador de gasolina.

Este sistema representa la forma en la que la energía eléctrica es transmitida diariamente y como llega hasta nuestros hogares o empresas, esto es, se coloca el generador de gasolina este genera energía eléctrica que después manda a un transformador que eleva esa energía para tener menos perdidas en las líneas de transmisión, esta energía es mandada a las torres y de ahí a las líneas



de transmisión que conecta a la torre, después es mandado a un transformador reductor y de este transformador manda la energía a donde se le requiera.



Torres y transformadores en fase previa a la instalación.

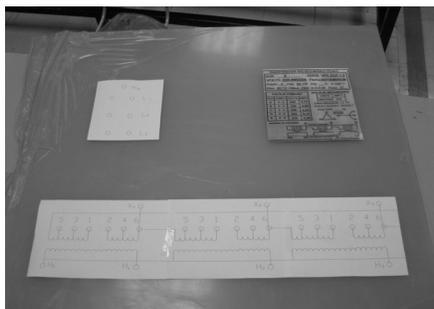
Este sistema muestra en pequeña escala todo el proceso de generación, transmisión y recepción de energía eléctrica, esto sirve para que los alumnos se den una clara idea de lo que es un sistema de distribución. A este modulo primero que nada se le hicieron pruebas de conexión y transmisión, es decir, se reviso que los transformadores estuvieran conectados de forma correcta así como también que las líneas de distribución estuvieran funcionando correctamente y que también estuvieran trabajando en fase ambos extremos de la línea.



Presentación de las dos torres con los dos transformadores trifásicos sin instalar.



Acercamiento para observar el tablero con su transformador y torre para conexión lado generación.



Se puede ver un tablero con las plantillas para ser perforadas y colocar los bornes de conexiones.



Trabajo de colocación de bornes para conexiones.

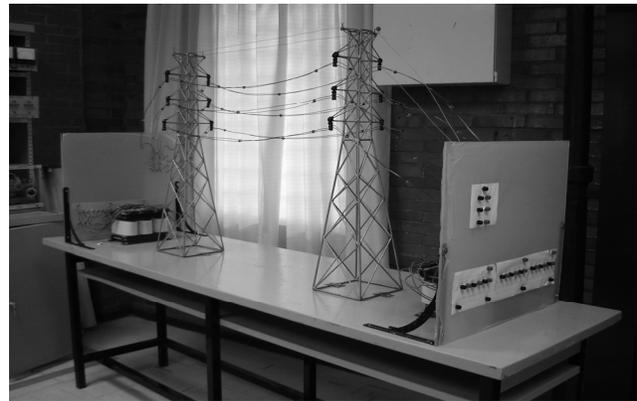


Conexión del transformador al tablero.



Se presenta la conexión parcial de un transformador al tablero.

A este sistema se le pueden hacer practicas de corto circuito, circuito abierto y circuito cerrado con módulos que se encuentran en los laboratorios de lime IV. Para probar el funcionamiento del sistema se le aplicaron las pruebas antes mencionadas y se realizaron satisfactoriamente.



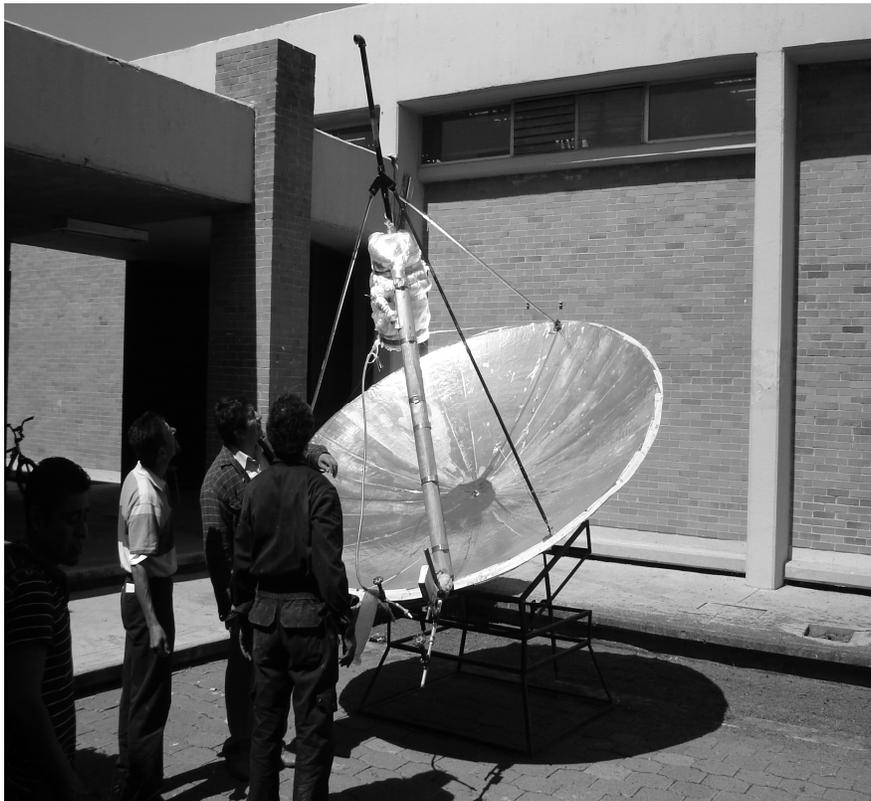
### 5.3. CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR.

Concentrador solar.- a este concentrador solar se le aplicaron pruebas de funcionamiento y se aplico a una caldera que se adquirió en el transcurso del periodo de servicio social. El concentrador es un disco parabólico de resina forrado con papel metálico color plateado, este color es para una mejor reflexión de los rayos solares, y consta de una base de metal que puede ser movida para darle al disco diferentes posiciones y ángulos para captar mejor los rayos solares.

Este concentrador solar esta basado en el concepto matemático de que todos los rayos incidentes en una parábola se reflejan en un solo punto llamado foco, al concentrarse todos los rayos solares incidentes en el foco en este punto se alcanzan temperaturas tan elevadas capaces de fundir metales (esto con un acabado excelente), en este caso esa energía se utilizo para la generación de vapor a través de una pequeña caldera.

Al recibir toda la energía del concentrador, la caldera comienza a calentar el agua dentro contenida generando vapor que al manipular las llaves de salida provocan una presión muy elevada.

Este funcionamiento se puede utilizar en la generación de energía eficaz y económica tanto en los hogares como en industrias, otra ventaja que se tiene es que es energía permanente, renovable y no contaminante.



## **5.4. DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LOS MÓDULOS ANTES DESCRITOS.**

---

### **PRÁCTICA No.1**

#### **TÍTULO: REGULACIÓN DE VOLTAJE Y LAS ARMÓNICAS**

#### **OBJETIVO:**

- a) Conocer el comportamiento de los elementos lineales y no lineales en un sistema de potencia.
- b) Determinar la regulación de voltaje en un sistema de potencia.

#### **INTRODUCCIÓN**

Se presenta una caída de tensión en un sistema de potencia desde la generación hasta los consumidores, cuando estos se encuentran en uso, siendo muy importante no permitir que se rebasen los valores de caída de tensión permitidos por la norma oficial mexicana, las cuales permite un máximo de un 5% tomando en cuenta desde los circuitos alimentadores hasta los circuitos derivados.

Hasta hace unos pocos años no se tomaba en cuenta los efectos producidos por los elementos no lineales como los capacitores, bobinas, diodos, transistores y demás elementos electrónicos, ya que los elementos lineales como los resistivos constituidos principalmente por alumbrado incandescente, hornos resistivos, planchas, etc. participaban más ampliamente en los consumidores en comparación con los elementos electrónicos.

En la actualidad se ha tenido un incremento exponencial en el uso de los elementos no lineales, principalmente por el uso masivo de los sistemas de cómputo, lo que ha generado la aparición de las armónicas que ocasionan efectos de distorsión de la onda fundamental, además de generar campos magnéticos de dirección opuesta a la dirección de rotación de la mayoría de los motores, por lo que esto reduce en gran manera el tiempo de vida útil no solo de los motores, sino de los demás elementos por donde circulan éstas corrientes con armónicas.

## MATERIAL Y EQUIPO:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Módulo de sistema de potencia              |          |
| 2. Módulo de ampérmetros de c.a.              | EMS 8425 |
| 3. Módulo de watts-vars trifásicos            | EMS 8446 |
| 4. Módulo de vóltmetros de c.a.               | EMS 8426 |
| 5. Módulo de fuente de alimentación trifásica | EMS8821  |
| 6. Módulo de resistencias                     | EMS8311  |
| 7. Módulo de inductancias                     | EMS 8321 |
| 8. Módulo de capacitancias                    | EMS 8311 |
| 9. Módulo de cables de conexión               | EMS 894  |

## PROCEDIMIENTO:

- 1.- Observe el sistema de potencia considerando las partes constitutivas principales, como son la generación, subestación elevadora, línea transmisión, subestación reductora y los sistemas de carga como consumidores.
- 2.- Tome los datos de placa de los elementos de generación transformadores elementos de la carga.
- 3.- Cuide de no rebasar los valores de corrientes, voltajes y potencia para evitar que sean dañados los equipos y calcule el valor de la carga requerida para obtener la corriente a plena carga.
- 4.- Haga el diagrama de conexiones mostrado en la figura No.1.1

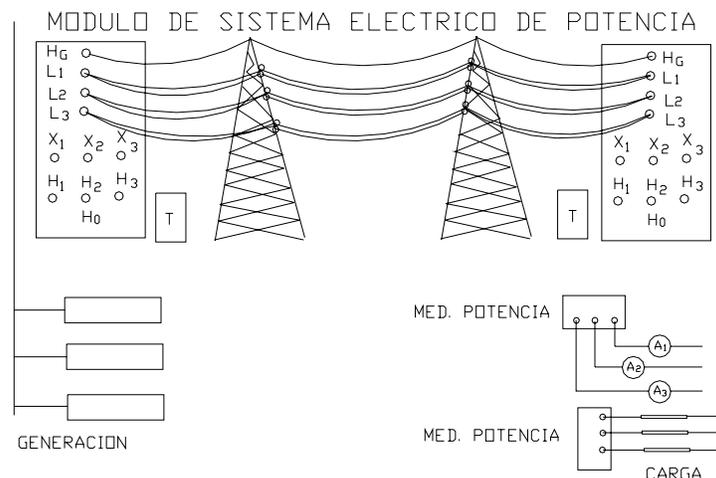


FIGURA No.1.1

5.- Ajuste la fuente de alimentación hasta que se tenga un voltaje de 220 volts entre líneas en la carga conectada en estrella, cuidando de no conectar el neutro de la carga para que el sistema opere en vacío.

6.- Tome las siguientes lecturas:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

6.- Desconecte la fuente de alimentación y conecte el neutro de la carga para que el sistema quede a plena carga.

7.- Conecte la fuente de alimentación y tome las siguientes lecturas:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

8.- Determine el porcentaje de regulación de voltaje con la fórmula siguiente.

$$\% \text{Reg.} = \frac{V_0 - V_{pc}}{V_0} \times 100$$

9.- Explique lo sucedido \_\_\_\_\_

10.- Repita los puntos 4 a 8 pero sustituyendo la carga resistiva por una inductiva.

11.- Mida y anote en vacío:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

12.- Mida y anote a plena carga:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

13.- Explique lo sucedido: \_\_\_\_\_

13.- Repita los puntos 4 a 8 pero sustituyendo la carga resistiva por una capacitiva.

14.- Mida y anote en vacío:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

15.- Mida y anote a plena carga:

$V_1$  \_\_\_\_\_,  $V_2$  \_\_\_\_\_,  $W$  \_\_\_\_\_,  $Q$  \_\_\_\_\_,  $A_1$  \_\_\_\_\_,  $A_2$  \_\_\_\_\_.  $A_3$  \_\_\_\_\_

16.- Explique lo sucedido.

### CUESTIONARIO:

1.- ¿Qué entiende por regulación de voltaje?

2.- ¿Por qué los wáttmetros indican un valor aunque sea pequeño cuando se conectan elementos inductivos?

- 3.- ¿Por qué hay que cambiar la polaridad de los vámetros cuando se efectúan mediciones con inductancias y después con capacitancias?
- 4.- ¿Por qué se denominan elementos lineales a las resistencias?
- 5.- ¿Por qué se denominan elementos no lineales a los elementos electrónicos sin incluir a las resistencias?
- 6.- ¿Qué son las armónicas y como se generan?
- 7.- ¿Por qué se sobrecalientan los motores cuando se presentan las armónicas?
- 8.- ¿Cómo se contrarrestan los efectos de las armónicas en los sistemas de energía?
- 9.- ¿Cuáles son los instrumentos principales para la medición de las armónicas?
- 10.- ¿Cuáles son factores principales que se deben tener en cuenta para seleccionar equipos que contengan elementos de fabricación para contrarrestar los efectos de las armónicas?

## **PRÁCTICA No.2**

### **TÍTULO: LA PLANTA DE EMERGENCIA**

#### **OBJETIVOS:**

- a).- Conocer los pasos a seguir para poner en operación una planta de emergencia.
- b).- Aprender a sincronizar una planta de emergencia con la compañía suministradora de energía.
- c).- Entender como se efectúa la transferencia automática de la planta con la Red.

#### **INTRODUCCIÓN**

Una planta de emergencia se usa principalmente cuando es necesario que no existan interrupciones del servicio al estar operando el equipo de trabajo, por lo que los criterios generales de selección de una planta de emergencia son en función a la carga que se requiere mantener en servicio, que por lo regular no se considera toda la carga instalada, sino la de suma importancia.

Cuando la planta de emergencia se encuentre en perfecto estado, debe arrancar de inmediato al primer intento, pero si después de los cuatro intentos programados no arranca la planta, esta se bloquea haciendo sonar una alarma por lo que será necesario revisar y corregir el desperfecto.

Cuando la planta arranca el control da el tiempo (denominado T de transferencia) para que se estabilice y el suministro de energía sea sin perturbaciones. Algunas plantas tienen programado un tiempo de desfogue que sirve para enfriar el motor y además de moverlo un tiempo para que sus partes no sean afectadas por la falta de uso.

La planta de emergencia tiene un control automático que permite detener la planta si no arranca o genera o no tiene la velocidad adecuada o por falta de lubricante, indicando la falla en forma particular, activando en forma general el sonido de alarma siendo este interrumpido al colocar el selector en la posición de FUERA y luego de solucionar el problema presentado, se puede colocar a la posición MANUAL O AUTO.

El modo MANUAL es usado para probar que la planta arranque y que genere, pero habría transferencia de alimentación de energía si se presentara una falla en la red de suministro de energía.

#### **MATERIAL Y EQUIPO:**

1. Módulo de control EPC2
2. Planta de emergencia
3. Fuente de alimentación
4. Cables de conexión
5. Multímetro

#### **PROCEDIMIENTO:**

1.- Antes de arrancar la planta cerciórese de que no existan objetos extraños dentro de la misma, que el lugar se encuentre con ventilación y salida de gases adecuados. Lea toda la práctica antes de llevarla a cabo para que esté preparado y tomar las lecturas que se piden, sin tener que volver a repetir algunos pasos de la secuencia de operación.

- 2.- Revise los niveles de aceite, combustible y que esté debidamente conectada.
- 3.- Revisar el valor del voltaje de la red eléctrica de alimentación.
- 4.- Cerrar el contactor de control de suministro normal, que se encuentra a la izquierda.
- 5.- Espere unos segundos hasta que se encienda el piloto verde con letrero VOLTAJE ADECUADO.
- 6.- Después de 6 minutos aproximadamente se deben iluminar los pilotos de LINEA NORMAL (verde) y LISTO (ámbar).
- 7.- Si se selecciona la operación automática (AUTO), la planta arrancará solamente si el voltaje cae por debajo del nivel predeterminado en el control en una, dos o tres fases según el tipo de planta que se tenga.
- 8.- Se tiene seleccionado de FABRICA el nivel de voltaje, pero se puede ajustar levemente (preset denominado BV).
- 9.- Con las condiciones antes mencionadas disminuya el voltaje a la mitad de la fuente de alimentación de la red de energía eléctrica y tome el tiempo de arranque de la planta de emergencia.
- 10.- Después de transcurrido este tiempo el control automático debe cerrar el contactor de transferencia de carga ubicado del lado derecho.
- 11.- Cheque que la planta de emergencia esté generando energía eléctrica, si esta no genera, el control debe pararla al concluir la secuencia de cuatro intentos de arranque programado, iluminándose el foco piloto respectivo, ¿diga cuál sería? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 12.- Si todo está correcto la planta de emergencia trabajará hasta que se termine el combustible o se le mande la orden de paro o cuando se halla corregido la falta o disminución de voltaje por parte de la compañía suministradora de energía.
- 13.- Después de que la planta esté correctamente operando, el sensor de voltaje decide si se encuentra todo estable, permitiendo que transcurra el retardo de tiempo programado mediante el potenciómetro denominado R.
- 14.- Observe que el tiempo de retardo programado con R es con la finalidad de que no se efectúen muchas transferencias innecesarias, al regresar el suministro con parpadeos o inestabilidades.
- 15.- La planta está programada con el potenciómetro (D) para que opere en vacío durante un tiempo conocido como desfogue.

16.- Tome el tiempo de desfogue y explique lo sucedido. \_\_\_\_\_

17.- Se debe de encender el foco piloto denominado como LISTO y la planta se detendrá, esperando otra nueva operación.

### **CUESTIONARIO.**

- 1.- ¿Qué precauciones se deben de tener antes de arrancar la planta de emergencia?
- 2.- Para que se usa la operación MANUAL y ¿Cuáles son las diferencias con la operación automática?
- 3.- ¿En que casos especiales suena la alarma y como se desconectaría?
- 4.- ¿Cuáles son los criterios fundamentales para seleccionar una planta de emergencia?
- 5.- ¿Por qué es conveniente programar varios intentos de arranque de una planta de emergencia?
- 6.- ¿Qué entiende por T de transferencia y cual es su función principal?
- 7.- ¿Cómo se enfría la planta de emergencia después de un tiempo de operación?
- 8.- ¿Qué tipos de plantas de emergencia existen y donde se utilizan?
- 9.- ¿Cuáles son las características fundamentales que proporciona el fabricante de plantas de emergencia?
- 10.- ¿Cuáles son las partes constitutivas de la planta de emergencia utilizada en esta práctica?

### **PRÁCTICA No.3**

#### **TÍTULO: SINCRONIZACION DE ALTERNADORES**

#### **OBJETIVOS:**

- a) Aprender a sincronizar una máquina síncrona con la red de suministro de energía.
- b) Conocer los diversos problemas que se pueden presentar por la falta de sincronismo.

## INTRODUCCIÓN

La frecuencia puede variar por la diferencia entre la potencia consumida y la potencia generada, Para la sincronización se puede hacer uso de un instrumento llamado sincronizador que indica la diferencia de fases entre los voltajes de la red y del alternador que se vaya a poner en paralelo, se muestra también si se tiene ya la velocidad correcta o si está fuera de sincronismo, siendo mejor este método al de lámparas aunque el sincronizador también puede tener el juego de lámparas.

La sincronización se lleva a cabo cuando el voltaje de la compañía suministradora de energía y el de la planta generadora a conectar son de valor igual y las lámparas se apagan, cuando esto sucede se puede conectar el interruptor que pone en paralelo el sistema y la planta generadora.

El sistema de control puede ser muy simple como el llevado a cabo en pequeñas turbinas que solo son controladas con una válvula de admisión. Puede ser muy complejo como el existente en grandes unidades donde los sistemas hidráulicos o válvulas piloto regulan constantemente la velocidad de las turbinas, según varíe la carga.

Se tiene la siguiente fórmula:  $F = \frac{pn}{2 \times 60}$  donde F es la frecuencia en ciclos por segundo; p es el número de polos y n es la velocidad en revoluciones por minuto.

## MATERIAL Y EQUIPO:

- |                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 1. 2 Módulos motor/generador síncrono | EMS 8241 |
| 2. Módulo de sincronización           | EMS 8621 |
| 3. Módulo de fuente de alimentación   | EMS 8821 |
| 4. Módulo de medición de vóltímetros  | EMS 8426 |
| 5. Módulo de medición de ampérmegos   | EMS 8425 |
| 6. Tacómetro de mano                  | EMS 8920 |
| 7. Cables de conexión                 | EMS 8941 |
| 8. Banda de acoplamiento              | EMS 8942 |

## PROCEDIMIENTO:

1.- Haga el diagrama de conexiones de la figura No.3.1 siguiente.

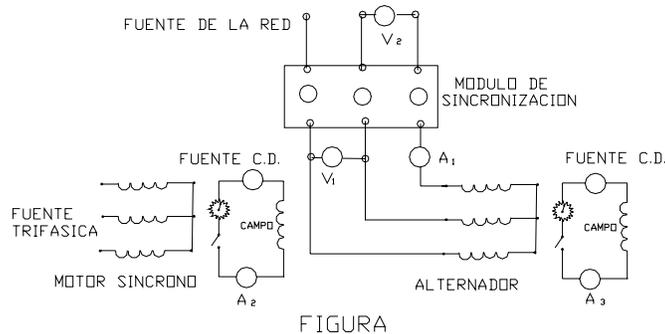


FIGURA No.3.1

2.- Tenga cuidado de que se tenga la máxima resistencia en los devanados de campo de lo moto/generadores síncronos.

3.- Tenga cuidado de que el interruptor del módulo de sincronización se encuentre en posición abierto.

4.- Conecte la fuente de alimentación y ajuste la perilla del control del voltaje de la fuente de alimentación hasta alcanzar una el voltaje del dato de placa del motor, para que este arranque como motor de inducción.

5.- Con el tacómetro de mano colocado en el rotor del motor, ajuste la perilla del control del campo del motor hasta alcanzar una velocidad aproximada 1800 RPM.

6.- Mida el voltaje que presenta la compañía suministradora de energía.

7.- Tome el voltaje generado bajo estas condiciones por el alternador y explique porque es tan bajo. \_\_\_\_\_

8.- Ajuste el control del campo del alternador hasta obtener el mismo voltaje que presenta la compañía suministradora de energía.

9.- Observe que las luces de las lámparas parpadean encendiendo y apagando con intermitencia.

10.- Cheque con el secuencímetro tanto en la red como en la salida del alternador las secuencias de fases.

11.- Intercambie dos de las tres fases en el lado de la generación del alternador y observe lo ocurrido, explicando. \_\_\_\_\_

12.- Ajuste con cuidado la velocidad del motor hasta que las tres luces aumenten y disminuyan con lentitud, teniéndose ambas frecuencias muy semejantes.

- 13.- Cuando se hayan apagado por completo las luces se tendrán voltajes iguales en ambos lados de las dos fuentes.
- 14.- Compruebe que se tenga un voltaje de cero volts en las terminales de las lámparas, y cuando esto suceda se puede cerrar el interruptor del módulo de sincronización.
- 15.- Si se presenta luz continua en todas las lámparas, se tiene que existe un defasamiento de  $180^\circ$ , no cierre el interruptor.
- 16.- Abra el interruptor del módulo de sincronización.
- 17.- Reduzca el voltaje de la fuente de alimentación hasta llega a cero y desconecte la fuente de alimentación.
- 18.- Invierta dos de las tres terminales del motor para que este gire en dirección opuesta.
- 19.- energice la fuente de alimentación y arranque el motor síncrono como de inducción, manteniendo la máxima resistencia en el devanado de campo.
- 20.- Ajuste la excitación del campo del motor hasta alcanzar una velocidad de 1800 RPM trate nuevamente de sincronizar.
- 21.- Explique que cambios se han presentado? \_\_\_\_\_
- 22.- Abra el interruptor del módulo de sincronización.
- 23.- Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

### **CUESTIONARIO:**

- 1.- ¿Qué entiende por sincronización?
- 2.- ¿Cuáles son los pasos fundamentales para arrancar un motor síncrono?
- 3.- ¿Qué sucede cuando la secuencia de fases no corresponde en el alternador con la de la red de alimentación?
- 4.- ¿Con qué otro tipo de motor se podría sustituir al motor síncrono en esta práctica?
- 5.- ¿Se puede cerrar el interruptor del módulo de sincronización cuando las luces de las lámparas están encendidas muy tenuemente?, explique el porque.
- 6.- ¿Cuál es la ventaja de conectar alternadores en paralelo?
- 7.- ¿Cuáles son las causas principales de sobrecalentamiento de los alternadores?
- 8.- Explique el procedimiento para la sincronización de alternadores.
- 9.- ¿Se pueden sincronizar alternadores de diferente potencia en KVAs?
- 10.- ¿En qué se diferencia una máquina rotatoria de inducción de una síncrona?

## PRÁCTICA No.4

### TÍTULO: IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA, NEGATIVA Y CERO DE ALTERNADORES.

#### OBJETIVOS:

- a).- Aprender a obtener las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero de los alternadores por medio de pruebas.
- b).- Conocer las diferencias entre impedancias

#### INTRODUCCIÓN

Para efectos de cálculos de corto circuito, es necesario conocer los valores de las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero las cuales se pueden obtener por medio de pruebas o haciendo uso de tablas y gráficas. La característica de corto circuito se obtiene experimentalmente haciendo funcionar la máquina a velocidad de régimen con sus terminales en corto circuito y colocando un amperímetro para medir la corriente de corto circuito, esto se hace haciendo que la corriente alcance un valor entre el 125 al 150% de la corriente a plena carga. La curva de corto circuito obtenida es una recta que pasa por el origen, esto es debido a que la excitación es muy pequeña, que no existe saturación que pueda influir en los valores de resistencia y reactancia del inducido en corto circuito.

Si se divide el valor del voltaje a circuito abierto entre la corriente de corto circuito para la misma excitación, el cociente debe ser la impedancia (o reactancia) de sincronismo, se debe repetir este proceso para diferentes valores de corriente de campo y así se podrá obtener la curva de la impedancia de sincronismo.

$$Z_s = \sqrt{R_a^2 + X_s^2} = \frac{V(\text{circuito abierto})}{I(\text{corto circuito})}$$

Al variar la excitación varía la impedancia de sincronismo al existir la saturación y solo se puede usar un valor que tenga un valor tan aproximado a la excitación media con carga. Con esto se puede seleccionar la impedancia de corto circuito usando el valor mayor de la corriente de corto

circuito sin que se caliente demasiado el devanado del inducido. Todo lo anterior es considerando un circuito magnético no saturado, por lo que cuando se tenga un circuito saturado aún moderado los resultados de impedancia no suelen ser confiables.

Las componentes de secuencia negativa producen una fuerza magnetomotriz del inducido que gira a la velocidad de sincronismo en sentido opuesto a la del rotor, se tendrán de esta manera fuerzas electromotrices y corrientes de doble frecuencia en el devanado de excitación, en el devanado amortiguador y por donde circulan las corrientes parásitas.

### **MATERIAL Y EQUIPO:**

1. Módulo motor/generador síncrono	EMS 8241
2. Módulo de fuente de alimentación	EMS 8821
3. Módulo de medición de voltímetros	EMS 8426
4. Módulo de medición de ampérmetros	EMS 8425
5. Tacómetro de mano	EMS 8920
6. Cables de conexión	EMS 8941
7. Banda de acoplamiento	EMS 8942
8. Máquina de corriente directa	EMS 8211

### **PROCEDIMIENTO:**

#### **IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA.**

- 1.- Para determinar la reactancia subtransitoria en un alternador síncrono, poner primero en corto circuito los devanados de excitación.
- 2.- Aplicar un voltaje monofásico a dos arrollamientos de fase del inducido, quedando en serie, ya que el alternador se conecta en estrella, conectar un ampérmetro para medir la corriente que se tendrá, ver figura (b).
- 3.- El rotor de la máquina síncrona debe estar bloqueada o en reposo, la reactancia subtransitoria será igual a la mitad del valor del voltaje aplicado dividida por la corriente que se obtiene en el inducido.

Nota: como se menciona en la introducción, la impedancia de secuencia positiva y negativa son casi de valor igual, dependiendo de si la máquina es o no de polos salientes.

#### **IMPEDANCIA DE SECUENCIA NEGATIVA**

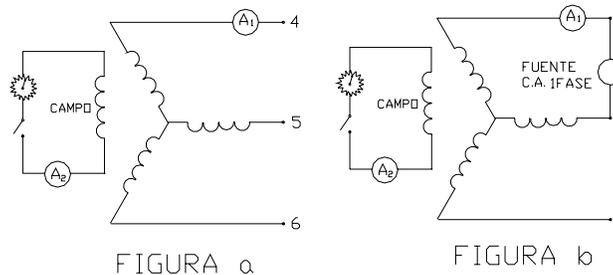
- 4.- Para obtener la impedancia de secuencia negativa, se aplica un voltaje simétrico de secuencia negativa a las terminales del inducido, conectando a la vez un ampérmetro.

5.- Hacer girar la máquina síncrona a la velocidad de régimen.

6.- Conectar los devanados del campo en corto circuito.

7.- Calcular la impedancia de secuencia negativa con:  $Z_2 = \frac{\text{voltaje aplicado}}{\text{corriente a plena carga}}$

8.- Observe el diagrama de la figura (a) y efectúe sus conexiones correspondientes, cuidando de no exceder el valor de la corriente nominal.



9.- Mida y anote:  $V =$  ;  $I =$

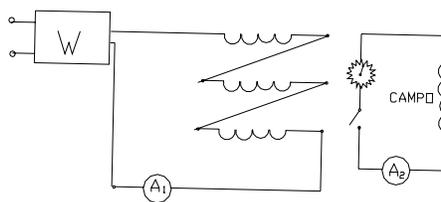
10.- Calcule el valor de la impedancia de secuencia negativa \_\_\_\_\_

### IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO

11.- Para obtener la impedancia de secuencia cero, mover la máquina a velocidad nominal.

12.- Conectar en corto circuito los devanados del campo.

13.- Conectar en serie los devanados de la máquina como se muestra en la figura c, pero sin conectar el wáttmetro.



14.- Aplicar un voltaje monofásico con lentitud a las terminales restantes, hasta obtener el valor de la corriente a plena carga, según los datos de placa de la máquina.

15.- Determinar el valor de la impedancia de secuencia cero con:

$$Z_0 = \frac{V_{\text{aplicado}}}{3(\text{corriente a plena carga})}$$

16.- Repetir los puntos 11 a 15 pero con la máquina en reposo.

17.- Varían mucho los resultados o son aproximadamente iguales. \_\_\_\_\_

18.- Repita los puntos 12 a 17, conectando el wáttmetro, y tome las siguientes lecturas:

$V =$  ;  $I =$  ;  $W =$

19.- Repita el procedimiento anterior con la máquina a velocidad nominal y en reposo.

20.- ¿varían los resultados? \_\_\_\_\_

21.- Determine el valor de la resistencia, la impedancia y la reactancia.

### **CUESTIONARIO:**

- 1.- ¿Qué diferencia existe entre la impedancia de secuencia positiva y negativa?
- 2.- Explique como se obtiene la impedancia de secuencia positiva
- 3.- Explique como se obtiene el valor de la impedancia de secuencia negativa
- 4.- Explique como se obtiene la impedancia de secuencia cero.
- 5.- ¿Cual es el uso principal que se le da a las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero?
- 6.- ¿Qué cuidados se deben tener al efectuar una prueba de corto circuito?
- 7.- ¿Para que tipo de máquinas suele ser diferente la impedancia de secuencia positiva a la negativa?
- 8.-¿Por qué las corrientes de secuencia cero están en fase?
- 9.- ¿Cómo se puede resolver un sistema trifásico asimétrico?
- 10.- ¿Qué diferencia existe entre impedancia subtransitoria, transitoria y síncrona?

### **PRÁCTICA No. 5**

#### **TÍTULO: IMPEDANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA NEGATIVA Y CERO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.**

#### **OBJETIVOS:**

- A) demostrar que las corrientes de cualquier secuencia ocasionan en una línea de transmisión, caídas de voltaje de igual secuencia.
- b) Cálculo de los parámetros de una línea de transmisión.

## INTRODUCCIÓN

El método de las componentes simétricas es útil cuando se requiere resolver un sistema asimétrico trifásico, el cual se aplica sustituyendo el sistema desbalanceado trifásico, por tres sistemas trifásicos balanceados:

El sistema trifásico balanceado de secuencia cero es:  $I_{a0}, I_{b0}, I_{c0}$

El sistema trifásico balanceado de secuencia positiva es:  $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$

El sistema trifásico balanceado de secuencia negativa es:  $I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}$

la suma de los tres sistemas, da como resultado, tres vectores desbalanceados:

El sistema trifásico desbalanceado es:  $I_a, I_b, I_c$  (ver figura 5.1).

$$I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$I_b = I_{b0} + I_{b1} + I_{b2} = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$I_c = I_{c0} + I_{c1} + I_{c2} = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2}$$

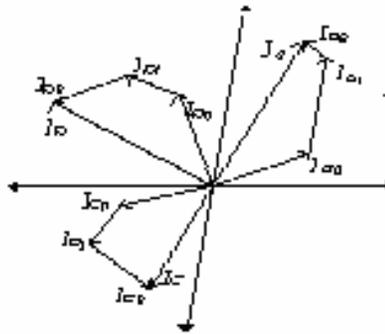


FIGURA 5.1

Lo anterior es debido a que las componentes de todas las fases se pueden representar en función de una sola fase y que fue tomada la fase "a" como referencia, teniendo en cuenta que:

$$I_{b1} = 1 \angle 240^\circ I_{a1} = a^2 I_{a1}; \quad I_{b2} = 1 \angle 120^\circ I_{a2} = a I_{a2}$$

$$I_{c1} = 1 \angle 120^\circ I_{a1} = a I_{a1}; \quad I_{c2} = 1 \angle 240^\circ I_{a2} = a^2 I_{a2}$$

(VER FIGURA 5.2)

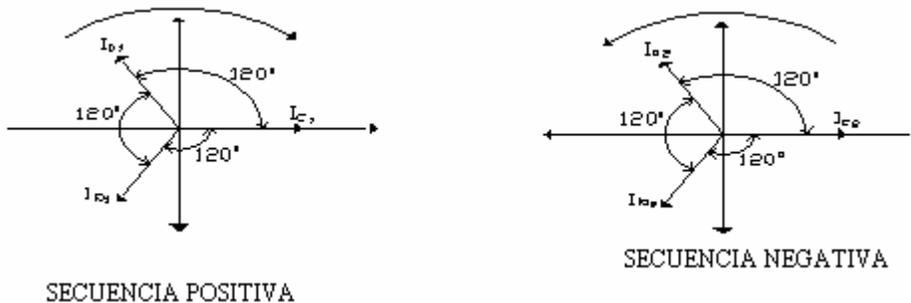


FIGURA 5.2

Por lo que "a" es un operador con un valor de  $1 \angle 120^\circ$

Las componentes de secuencia cero se refieren a las corrientes o voltajes existentes por el desequilibrio, y que aparecen a través del neutro o tierra del sistema desbalanceado o lo que es lo mismo desequilibrado. Las componentes de secuencia cero tienen igual fase por que se encuentran todos manifestándose en un mismo conductor, es decir; no están defasados como los de secuencia positiva y negativa. Estos tres vectores tienen igual magnitud y fase por lo que se les considera iguales para que sea un sistema trifásico balanceado, y de esta manera:

$$I_{b0} = I_{c0} = I_{a0}$$

Las componentes de corrientes de cualquier secuencia dan lugar en una línea de transmisión a caídas de voltaje de igual secuencia o sea que:

$$V_{aa'1} = I_{a1} Z_a ; V_{aa'2} = I_{a2} Z_a ; V_{aa'0} = I_{a0} Z_a$$

Cuando:  $Z_a = Z_b = Z_c$

Pero cuando  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  ; se tiene :

$$V_{aa'1} = 1/3 I_{a1} ( Z_a + Z_b + Z_c ) + 1/3 I_{a2} ( Z_a + a^2 Z_b + a Z_c ) + 1/3 I_{a0} ( Z_a + a Z_b + a^2 Z_c )$$

$$V_{aa'2} = 1/3 I_{a1} ( Z_a + a Z_b + a^2 Z_c ) + 1/3 I_{a2} ( Z_a + Z_b + Z_c ) + 1/3 I_{a0} ( Z_a + a^2 Z_b + a Z_c )$$

$$V_{aa'0} = 1/3 I_{a1} ( Z_a + a^2 Z_b + a Z_c ) + 1/3 I_{a2} ( Z_a + a Z_b + a^2 Z_c ) + 1/3 I_{a0} ( Z_a + Z_b + Z_c )$$

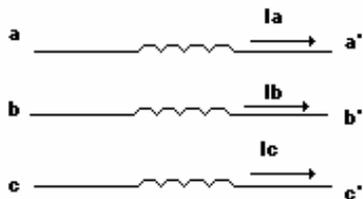


FIGURA 5.3

### MATERIAL Y EQUIPO:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Módulo de sistema elect. de potencia |          |
| 2. Módulo de amperímetros de C.A.       | EMS 8425 |
| 3. Módulo de voltímetros de C.A.        | EMS 8426 |
| 4. Módulo de inductancias               | EMS 8321 |
| 5. Módulo de alimentación               | EMS 8321 |
| 6. Módulo de conexión                   | EMS 8821 |

**PROCEDIMIENTO:**

1.0.- TOMA DE DATOS Y CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO SIMÉTRICO.

1.1.- Tomar los datos de placa de la línea de transmisión.

1.2.- Armar el siguiente diagrama de conexiones, asegúrese de que los transformadores estén conectados en la posición de (tap) 4-5 para obtener 224volts, cuide de que los cables de la línea de transmisión y transformadores no hagan corto circuito.

1.3.- Asegúrese de que la perilla de control del voltaje de la fuente de alimentación este en cero, y que  $Z_L = 48$  ohms.

1.4.- Cierre la fuente de alimentación y haga girar la perilla de control del voltaje hasta que los amperímetros

Marquen el valor de la corriente que indica la placa de datos de la línea de transmisión (5 Amp).

1.5.- Varían mucho los valores de  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  o son aproximadamente iguales, explique.\_\_\_\_\_

1.6.- Repita 1.3, 1.4, 1.5 para los datos que indica la tabla 1.0 y llénela: Tabla 1.0

$Z_L$ ( $\Omega$ )	$V_F$ (Volts)	$I_a$ (Amp.)	$I_b$ ( Amp. )	$I_c$ ( Amp. )
48				
72				

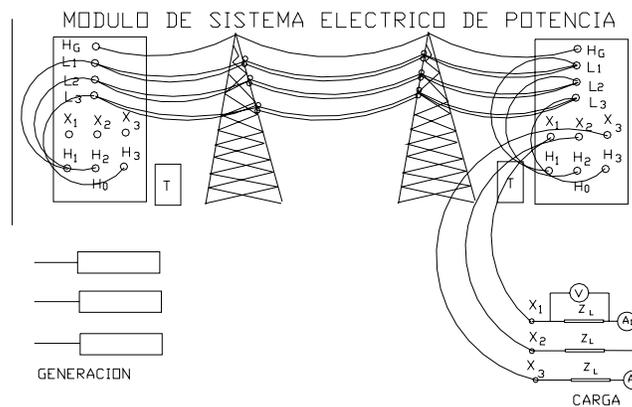


FIGURA 5.4

2.0.- Corto circuito trifásico asimétrico.

2.1.- LLenar la tabla 2:

**Tabla 2**

	Za (Ω)	Zb (Ω)	Zc (Ω)	Ia (a)	Ib (a)	Ic (a)	$V_{x1-x3}$ (v)	$V_{x1-x2}$ (v)	$V_{x2-x3}$ (v)
(a)	48	48	72						
(b)	48	72	48						
(c)	72	48	48						
(d)	24	48	72						

3.2.- Al terminar de llenar la tabla sin reducir el voltaje de la fuente de alimentación.

3.3.- Quite los amperímetros y el corto circuito y conecte la fuente de alimentación, para que el sistema quede en vacío.

3.4.- tome las siguientes lecturas:

$$V_{x1-x3} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad V_{x1-N} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{x1-x2} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad V_{x2-N} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_{x1-x2} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad V_{x3-N} = \underline{\hspace{2cm}}$$

**CUESTIONARIO:**

- 1.- ¿Bajo qué condiciones un corto circuito trifásico es simétrico?
- 2.- Encuentre  $V_{aa'1}$ ,  $V_{aa'2}$ , y  $V_{aa'0}$  para  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$ .
- 3.- Encuentre  $V_{aa'1}$ ,  $V_{aa'2}$ , y  $V_{aa'0}$  para  $Z_a = Z_b = Z_c$ .
- 4.- ¿De que dependerá la caída de voltaje de cualquier secuencia, al calcular componentes simétricas de corriente desequilibradas en una carga en estrella equilibrada?
- 5.- En líneas de longitud considerables, ¿en qué afecta la inductancia mutua entre fases y como se reduce?, explique.
- 6.- Calcule el % de regulación con los datos del inciso 3.4 y (d) de la tabla 2, y con el punto 1.6, compare los resultados.

7.- Si la línea de transmisión tuviera el siguiente diseño: (ver figura ); 400 kv, ascr, diámetro exterior del cable = 32 mm. Flecha = 16 m. calcular las longitudes de línea y las reactancias inductivas y capacitivas considerando  $z_l = 120\Omega$ .

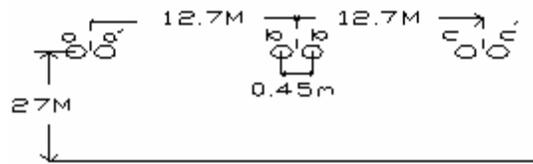


FIGURA 5.5

- 8.- ¿Que entiende por parámetros concentrados en las líneas de transmisión?
- 9.- ¿Que diferencia existe entre radio medio geométrico y distancia media geométrica?, explique.
- 10.- ¿Qué entiende por efecto corona y que repercusiones tiene en las líneas de transmisión?

## PRÁCTICA No. 6

### TÍTULO: “IMPEDANCIAS DE SECUENCIA POSITIVA Y NEGATIVAS DE TRANSFORMADORES”

#### OBJETIVO:

- Encontrar los valores de las impedancias de secuencia positiva y negativa de los transformadores, en forma practica.
- Comparar los diagramas de secuencia positiva y negativa de transformadores.

#### INTRODUCCIÓN

Un sistema está constantemente funcionando con secuencia positiva ; para determinar el circuito equivalente de thevenin de un transformador de dos devanados, basta con una prueba de circuito abierto, que consiste en aplicar un voltaje primario “ $v_p$ ” y medir el voltaje secundario en vacío “ $v_s$ ”, y otra prueba de corto circuito que consiste en poner en corto circuito el devanado primario y aplicar al devanado secundario un voltaje pequeño  $v_s$ , de tal forma que fluya por el devanado primario y secundario las corrientes de plena carga respectivamente.

La relación voltaje reducido, aplicado al secundario, (estando cortocircuitado el lado primario) a la corriente nominal al lado secundario) ; indica la impedancia vista desde el lado secundario del transformador, o sea que es la impedancia existente en el diagrama de thevenin. Así pues :

$$ZT_s = \frac{V''_s}{I_s}$$

Donde:

$Z_{ts}$  es la impedancia de dispersión o de corto circuito, vista desde el lado secundario. Puesto que :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p Z_p}{I_s Z_s} ; V_p I_s Z_s = V_s I_p Z_p ; \frac{I_s}{I_p} \frac{V_p}{V_s} = \frac{Z_p}{Z_s} : a^2 = \frac{Z_p}{Z_s} ; Z_p = a^2 Z_s$$

Cuando se desea obtener los circuitos equivalentes de secuencia positiva y negativa, se aplica al transformador un sistema de voltaje trifásico equilibrados, de secuencia positiva y negativa, respectivamente. Las impedancias de corto circuito de secuencia positiva y negativa son iguales.

Las corrientes de secuencia cero, circulan por un mismo conductor (tierra), por lo que se encuentra en fase.

Cuando un circuito esta conectado en estrella, sin conexión del neutro a tierra o a otro punto neutro del circuito, la suma de las corrientes que van hacia el neutro en las tres fases, es igual a cero.

### **MATERIAL Y EQUIPO:**

- Transformadores EMS 8348
- Secuencímetro
- Amperímetro EMS 8425
- Multímetro
- Cables de conexión

## DESARROLLO:

Verificación de secuencia positiva y negativa.

- 1.1.-Conecte el secuencímetro a las terminales de la fuente de alimentación variable.
- 1.2.-Energice la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje hasta que el disco del secuencímetro empiece a girar.
- 1.3.-Si el disco del secuencímetro no gira en la dirección marcada, intercambie dos de las terminales del secuencímetro.
- 1.4.- ¿Si el secuencímetro gira, según lo indica, que secuencia se le considera?
- 1.5.- elabore la tabla 1.0 y ponga la secuencia que tiene

**Tabla 1.0**

V	456	465	546	654	564
50					
100					
150					
200					

2.0 Prueba de circuito abierto para secuencia positiva

2.1 Conecte el circuito de la figura 6.1

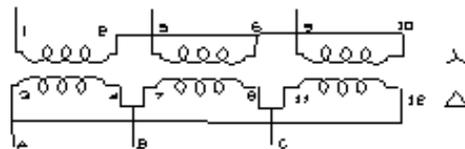


Figura 6.1

2.2.-energice la fuente de alimentación y alimente el valor del voltaje nominal del transformador.

2.3.- mida y anote:  $v_{3-4} =$  \_\_\_\_\_  $v_{7-8} =$  \_\_\_\_\_  $v_{11-12} =$  \_\_\_\_\_

3.0 Prueba de corto circuito para la secuencia positiva.

3.1 Arme el diagrama mostrado en la figura 6.2.

3.2 anote el valor de la corriente nominal de cada transformador y mida el voltaje de la fuente variable estando la perilla en cero.

3.3 Asegúrese que la perilla de control de voltaje de la fuente de alimentación este en cero.

3.4 Energice la fuente de alimentación y tan lento como sea posible, gire la perilla del control de voltaje hasta que  $a_1$  y  $a_2$  marquen el valor de la corriente nominal, mida y anote el voltaje aplicado. Con 2.0 volts aprox. Se obtiene la corriente a plena carga.

4.0 Repita el procedimiento 2.0, para secuencia negativa.

5.0 Repita el procedimiento 3.0, para secuencia negativa

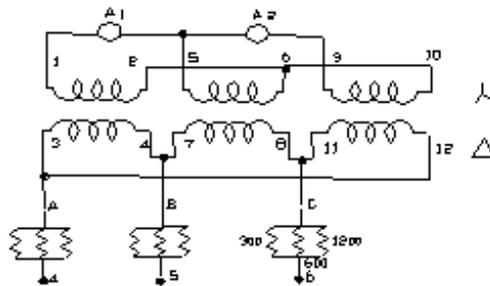


Figura 6.2

6.0 Repita los procedimientos 2.0 y 3.0, para un solo transformador, con 2.0 volts, se obtiene aproximadamente la corriente nominal, estando en corto circuito cada transformador.

### CUESTIONARIO:

- 1.- Defina secuencia positiva y negativa.
- 2.- Encontrar el valor de la impedancia de corto circuito para secuencia positiva y negativa.
- 3.- Encontrar el valor de la impedancia de corto circuito para un solo transformador. ¿Varían los valores de la impedancia o son iguales que el punto 2? Explique.
- 4.- Varían los valores de las impedancias de secuencias positivas y negativas, explique.
- 5.- ¿Cual es el objeto de obtener los valores de las impedancias de secuencia positiva y negativa?
- 6.- Diga como se obtienen las impedancias de secuencia positiva y negativa, de un transformador. Explique.
- 7.- Ponga los valores de impedancias obtenidas (sec. Positiva, negativa y transformador monofásico solo), a valores por unidad.
- 8.- Repita el punto anterior, pero para tres bases diferentes que ud. Estime conveniente.
- 9.- Conociendo los valores de impedancia, ¿diga como obtendría los valores de las reactancias, así como de sus resistencias?, haga los diagramas de conexión necesarios (sugiera, en forma practica).
- 10.- Explique como encontraría los valores de impedancias de secuencia positiva y negativa, para un motor de rotor devanado, (en forma práctica).

## PRÁCTICA No.7

### TÍTULO: IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO DE TRASFOMADORES.

#### OBJETIVO:

Obtener la impedancia de secuencia cero de transformadores, aplicando las pruebas de circuito abierto y de corto circuito.

#### INTRODUCCIÓN

La impedancia de secuencia cero de un transformador trifásico, se obtiene efectuando una prueba de circuito abierto y otra de corto circuito, aplicando al transformador tres voltajes de secuencia cero, o sea voltajes de igual fase y magnitud. Se pueden presentar diversas conexiones en un transformador, tomándose en cuenta además si sus neutros están conectados a tierra directamente o a través de impedancias, o si están abiertos.

Las impedancias de corto circuito de secuencia cero de cada fase, está dada por:

$$Z_0 = \frac{V_{a0}}{I_{a0}} = \frac{V_{b0}}{I_{b0}} = \frac{V_{c0}}{I_{c0}}$$

#### MATERIAL Y EQUIPO:

- Amperímetros de c.a. (dos módulos) Ems 8425
- Banco de transformadores monofásicos Ems 8348
- Multímetro simpson
- Inductancias EMS 8311
- Resistencias de 24 ohms (italo didacta)
- Cables de conexión

## PROCEDIMIENTO:

1.0.- Diagrama equivalente de secuencia cero de transformadores conectados en y-y (prueba de circuito abierto).

1.1.- Haga el diagrama de conexiones de la figura 7.1.

1.2.- Observe que se han aplicado tres voltajes de secuencia cero al banco de transformadores monofásicos, igual módulo y ángulo de fase.

1.3.- Coloque la perilla de control de voltaje en la posición de cero volts.

1.4.- Oprima el botón de arranque de la fuente de alimentación.

1.5.- Haga girar la perilla de control de voltaje, hasta obtener 120 volts de c.a.

1.6.- Mida y anote las siguientes lecturas:  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$   
 $\text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$ ;  $V_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$

$V_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_{n} = \text{-----}$ ;  $i_{n} = \text{-----}$

1.7.- ¿Cuál es la relación de transformación? -----

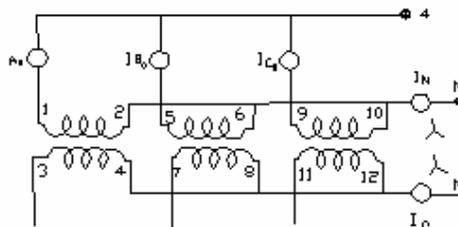


Figura 7.1

2.0 Diagrama equivalente de secuencia cero de transf. Conectados en y-y (prueba de corto circuito).

2.1.- Haga el diagrama de conexiones de la figura 7. 2.

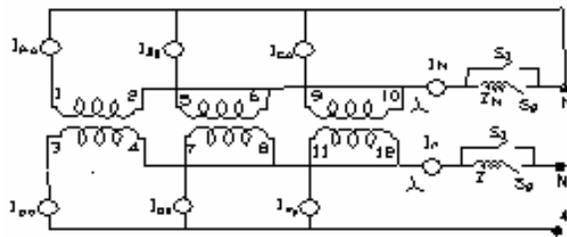


Figura 7.2

2.2.- Conecte los neutros de los transformadores directamente a tierra, es decir;  $x_n = 0$  (conecte los interruptores  $s_1$  de la fig. 4.2).

2.3.- Aplique un sistema de voltajes de secuencia cero, lentamente, cuidando de no exceder los voltajes nominales de corriente.

2.4.- Mida y anote las siguientes lecturas:  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$ ;  $V_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $v_{b0} = \text{-----}$ ;  $v_{c0} = \text{-----}$

$i_n = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$

2.5.- Elimine los puentes, o lo que es lo mismo los interruptores  $s_1$  de la figura 4.2, quedando de esta manera, conectadas las resistencias de 24 ohms cada una.

2.6.- Mida y anote las siguientes lecturas:  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$ ;  $V_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $v_{b0} = \text{-----}$ ;  $v_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $v_{zn} = \text{-----}$ ;  $v_{zn} = \text{-----}$

2.7.- Desconecte el amperímetro  $i_n$  de la figura 4.2, eliminando el cable que va de la terminal 10 del transformador al amperímetro.

2.8.- Mida y anote:  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$ ;  $V_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $v_{b0} = \text{-----}$ ;  $v_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $v_{zn} = \text{-----}$

2.9.- Desconecte el amperímetro  $i_n$  de la figura 4.2, conectando el amperímetro  $i_n$  nuevamente.

2.10.- Mida y tome las siguientes lecturas:  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_{a0} = \text{-----}$ ;  $i_{b0} = \text{-----}$ ;  $i_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $V_{b0} = \text{-----}$ ;  $V_{c0} = \text{-----}$ ;  $V_{a0} = \text{-----}$ ;  $v_{b0} = \text{-----}$ ;  $v_{c0} = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $i_n = \text{-----}$ ;  $v_{zn} = \text{-----}$

### CUESTIONARIO:

- 1.- Calcule los valores de los voltajes y corrientes del inciso 1.6 en valores por unidad y en por ciento.
- 2.- Explique porque en una falla trifásica simétrica, no aparecen componentes de secuencia negativa y cero.
- 3.- ¿Por qué es conveniente colocar impedancias entre el neutro y tierra de los equipos?
- 4.- Cuando la corriente de corto circuito es de valor superior en una falla monofásica, en comparación con la trifásica, ¿que se tiene que hacer para que no sea superior a la trifásica?
- 5.- ¿Para un transformador conectado en y-y, con el lado primario conectado a través de impedancia y el lado secundario con neutro abierto, cual es su diagrama de impedancias?, explique.
- 6.- ¿Qué valor tiene la impedancia de corto circuito de secuencia cero, de transformadores formados por tres monofásicos del tipo de cinco columnas?.

- 7.- ¿Qué valor tiene la impedancia de corto circuito de secuencia cero, de un transformador trifásico de tres columnas?
- 8.- ¿Cómo se representa un motor conectado en delta en un diagrama de secuencia cero?
- 9.- ¿Cómo se calcula la  $z_n$  que se conecta de neutro a tierra?
- 10.- ¿qué entiende por sistema de tierras?, explique.

## **PRÁCTICA No.8**

### **TÍTULO: IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO DE TRANSFORMADORES (CONTINUACIÓN)**

#### **OBJETIVO:**

- Obtener la impedancia de secuencia cero de transformadores, aplicando las pruebas de circuito abierto y de corto circuito.

#### **INTRODUCCIÓN**

Al efectuar los cálculos de corto circuito, es necesario conocer la forma en que los neutros de los transformadores y máquinas rotativas están conectados, ya que estos pueden estar conectados directamente a tierra, a través de impedancias, o abiertos, esto afecta al plantear el diagrama de impedancias de secuencia cero, por lo que es importante poder distinguir entre una y otra forma de conectar el transformador, principalmente para efectos de cumplir con los objetivos de esta práctica.

#### **MATERIAL Y EQUIPO:**

- |   |          |
|---|----------|
| 8. Ampérmegos de c.a. (dos módulos)         | EMS 8425 |
| 9. Banco de transformadores monofásicos     | EMS 8348 |
| 10. Multímetro simpson                      |          |
| 11. Inductancias                            | EMS 8311 |
| 12. Resistencias de 24 ohms (italo didacta) |          |
| 13. Cables de conexión                      |          |

**PROCEDIMIENTO:**

1.0.- Circuito equivalente de secuencia cero de un transformador conectado en delta- delta.

1.1.- Haga el diagrama de conexiones de la figura 8.1 y alimente tres voltajes secuencia cero, al lado conectado en estrella sin exceder la corriente nominal del transformador.

1.2.- Sin conectar  $s_1$  y  $s_2$  mida y anote:

$I_{a0} = \text{-----}; i_{b0} = \text{-----}; i_{c0} = \text{-----}; \dot{i}_{a0} = \text{-----}; \dot{i}_{b0} = \text{-----}; \dot{i}_{c0} = \text{-----}$

$V_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}; v_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}$

$i_n = \text{-----}; v_{Z_n} = \text{-----}$

1.3.- repita el punto 1.2 pero conectando  $s_1$ , tomando lecturas:

$I_{a0} = \text{-----}; i_{b0} = \text{-----}; i_{c0} = \text{-----}; \dot{i}_{a0} = \text{-----}; \dot{i}_{b0} = \text{-----}; \dot{i}_{c0} = \text{-----}$

$V_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}; v_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}$

$i_n = \text{-----}; v_{Z_n} = \text{-----}$

1.4.- Repita el punto 1.2, pero conectando  $s_2$  y desconectando  $s_1$ , mida y anote:

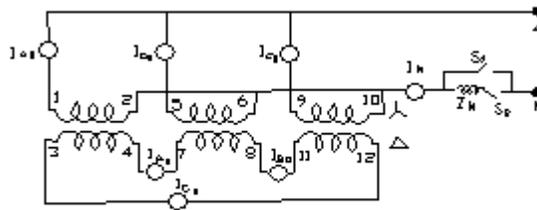


FIGURA 8.1

$I_{a0} = \text{-----}; i_{b0} = \text{-----}; i_{c0} = \text{-----}; \dot{i}_{a0} = \text{-----}; \dot{i}_{b0} = \text{-----}; \dot{i}_{c0} = \text{-----}$

$V_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}; v_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}$

$i_n = \text{-----}; v_{Z_n} = \text{-----}$

2.0.- Hacer las conexiones como se muestran en la figura 8.2

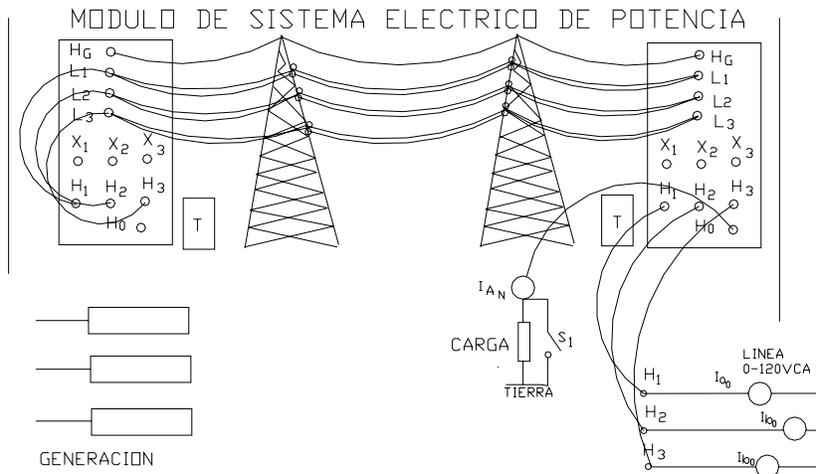


Figura 8.2

2.1.- Tomar las mediciones siguientes: cuidando de no exceder en este caso de no exceder el valor de corriente de 5 amperes para las corrientes en cada fase y de 15 amperes en la corriente de neutro a tierra.

$I_{a0} = \text{-----}; i_{b0} = \text{-----}; i_{c0} = \text{-----}; i_{a0} = \text{-----}; i_{b0} = \text{-----}; i_{c0} = \text{-----}$

$V_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}; v_{a0} = \text{-----}; v_{b0} = \text{-----}; v_{c0} = \text{-----}$

$i_n = \text{-----}; v_{Z_n} = \text{-----}$

3.0 Circuito equivalente de secuencia cero de un transformador trifásico conectado en delta-delta.

3.1.- ¿Se puede hacer en forma práctica para delta-delta?, explique. \_\_\_\_\_

3.2.- Que diferencias muestra al conectar, respecto a la figura 5.1

3.3.- En que punto del transformador conectado en delta-delta conectaría el neutro de la fuente, explique.

## CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué se requiere para aplicar una fuente de tres voltajes de secuencia cero a un transformador o cualquier equipo?
- 2.- En un transformador conectado en delta-estrella aterrizado, si el lado de la delta se considera abierto, ¿por qué puede circular corriente tanto en el lado primario como secundario de un transformador?
- 3.- Si la corriente en el neutro es inesperadamente alta, las armónicas triples probablemente existan, ¿cómo se podría comprobar?
- 4.- Si al medir la frecuencia, se tiene 180 hz, ¿que armónica estará presente?
- 5.- ¿Qué diferencias existen entre los transformadores comunes con los diseñados para soportar armónicas, con un factor  $k = 4$ ?
- 6.- Para edificios comerciales, el factor  $k$  puede variar de 1 a 9, ¿qué indica cuando el factor  $k = 1$ ?
- 7.- ¿Cuáles son las recomendaciones principales para evitar la generación de armónicas?
- 8.- ¿Cuáles son los efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos?
- 9.- Explique las ecuaciones siguientes:

$$Va_1 = +jV_{A1} \quad ; \quad Ia_1 = +jI_{A1} \quad ; \quad Va_2 = -jV_{A2} \quad ; \quad Ia_2 = -jI_{A2}$$

- 10.- Un transformador conectado en delta - estrella tiene conectadas del lado estrella, tres resistencias iguales conectadas en estrella, con valores de 13.8 kv y 650 kva. Los voltajes en la carga son:  $|V_{ab}| = 12.420Kv$ . ;  $|V_{ca}| = 13.8Kv$  ;  $|V_{bc}| = 15.180Kv$ . Si se toma como base 13.8 kv, 650 kva, calcular las corrientes y voltajes en las líneas por unidad, en lado delta del transformador, el neutro de la carga no está a tierra.

## PRÁCTICA No.9

### TÍTULO: PRÁCTICA DE FACTOR DE POTENCIA

#### OBJETIVOS:

- 1.- Conocer los problemas principales por un bajo factor de potencia.
- 2.- Conocer varios métodos para corregir el factor de potencia

## INTRODUCCIÓN

El factor de potencia afecta no solamente a la industria, sino también a la compañía suministradora de energía.

Por ejemplo siendo las principales causas de afectación las siguientes:

Al haber un bajo factor de potencia en una instalación industrial habrá pérdidas en los conductores por efecto Joule, así como en los embobinados de los transformadores de inducción y dispositivos de operación y protección.

También se genera un aumento en la caída de voltaje resultando un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); y como consecuencia estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida, aunque también son afectados los embobinados de los transformadores de inducción y dispositivos de operación y protección.

Ahora, como consecuencia de todo esto las instalaciones industriales no pueden ser usadas a toda su capacidad resultando altos costos de depreciación.

Así como hay noticias malas a la hora de tener un bajo factor de potencia, existen también noticias buenas en la inversión de corregir el factor de potencia, como la disminución del costo de la energía consumida en una instalación industrial.

## MATERIAL Y EQUIPO:

- |   |          |
|---|----------|
| 1. Módulo de sistema de potencia              |          |
| 2. Módulo de ampérmetros de c.a.              | EMS 8425 |
| 3. Módulo de watts-vars trifásicos            | EMS 8446 |
| 4. Módulo de vótmetros de c.a.                | EMS 8426 |
| 5. Módulo de fuente de alimentación trifásica | EMS8821  |
| 6. Módulo de resistencias                     | EMS8311  |
| 7. Módulo de inductancias                     | EMS 8321 |
| 8. Módulo de capacitancias                    | EMS 8311 |
| 9. Módulo de cables de conexión               | EMS 894  |

## OPCIONES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

**1.- Con unidades fijas.-** Estas serán aplicables para cuando las cargas sean constantes o con ligeras variaciones, en la entrada y salida de estas en la línea.

**2.- Con unidades automáticas.-** Este tipo de bancos se aplicaran cuando las fluctuaciones, de entrada y salida de las cargas, sean muy grandes y muy frecuentes. Para ver si se requiere este tipo de cargas en la planta se necesitara hacer un estudio previo donde se observara que tanta potencia requieren a la hora de ser alimentadas.

**3.- Con unidades fijas y automáticas.** La combinación de unidades fijas y automáticas se requerirá cuando haya cargas estables y cargas fluctuantes.

## BENEFICIOS AL CORREGIR FACTOR DE POTENCIA.

- Liberación de potencia del transformador.
- Reducción de corriente en alimentadores.
- Reducción de perdidas en alimentadores.
- Disminución de caída de tensión.
- Evitar pago de multas.
- Bonificación.

### a) Conexión Delta.

Una ventaja que podríamos encontrar en este tipo de sistema es que no tiene salida a tierra para armónicas, la otra es que la recuperación de voltaje en el equipo de desconexión no es excesiva y por ultimo se pueden usar fusibles limitadores de corriente para la limitación de la corriente de falla.

Ya hablando de las desventajas no hay salida a tierra para sobre-tensiones, requiere un aislamiento igual al del nivel básico de impulso de la línea.

### b) Conexión estrella con neutro a tierra.

Se tiene una economía sobre los aterrizados y tierra a falta de aislamiento de impulso del sistema, también al encontrarse el neutro aterrizado las sobre-tensiones tienen baja impedancia a tierra.

Por otra parte este tipo de conexión facilita el accionamiento de los fusibles en la conexión y desconexión de los bancos instalados.

c) Conexión estrella con neutro flotante.

El echo de tener el neutro flotante significa tener baja impedancia a tierra para armónicas esto quiere decir que tendremos la eliminación de problemas de interferencia inductiva. Las desventajas de este tipo de circuito, es que no se tiene salida a tierra para sobre-tensiones y que bajo condiciones desbalanceadas cambiaría el voltaje al neutro.

## PROCEDIMIENTO.

1.- Conecte el circuito mostrado en la siguiente figura No.9.1 y alimente el voltaje solicitado.

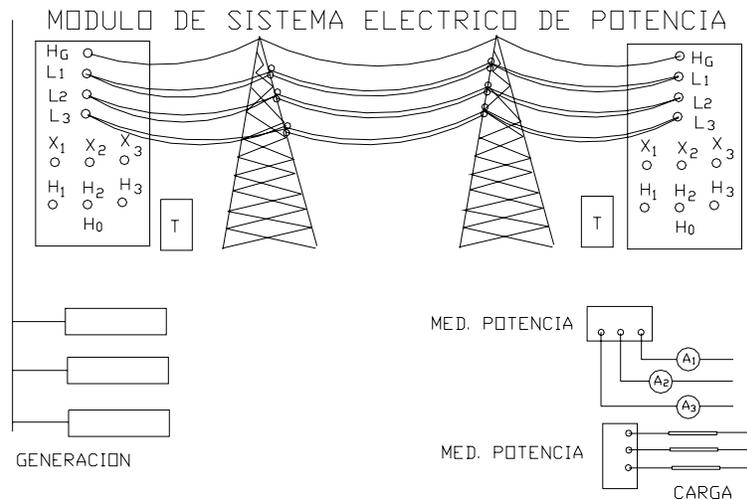


FIGURA No.9.1

- 2.- Mida y anote la corriente de línea en cada fase \_\_\_\_\_
- 3.- Mida y anote la potencia real y calcule la potencia aparente, la potencia reactiva y el factor de potencia \_\_\_\_\_
- 4.- Compruebe los resultados con los valores de los instrumentos y diga si son aproximadamente iguales.
- 5.- Desenergice y conecte poco a poco en paralelo (en estrella) al motor de inducción los capacitores del módulo, observe los valores de las corrientes y demás instrumentos y haga una tabla del comportamiento del factor de potencia.
- 6.- Sustituya las cargas de capacitores por un motor síncrono y observe el factor de potencia obtenido.

## **CUESTIONARIO:**

- 1.- ¿Qué es el factor de potencia?
- 2.- ¿Qué significa un factor de potencia unitario, adelantado y atrasado?
- 3.- ¿Por qué se pueden generar armónicos al corregir el factor de potencia con capacitores?
- 4.- ¿Qué es una onda fundamental de corriente alterna?
- 5.- ¿Qué entiende por corriente nominal?
- 6.- ¿Que ventajas presenta al instalar un banco de capacitores automático?
- 7.- ¿Qué diferencia existe entre un condensador síncrono y un motor síncrono?
- 8.- ¿Por qué los motores síncronos deben operar en vacío y sobreexcitados para ser usados como elementos para corregir el factor de potencia?
- 9.- ¿Por qué un motor síncrono requiere de mayor cobre en los devanados de campo al ser usado como condensador síncrono?
- 10.- Mencione tres aplicaciones de un motor síncrono y diga cuales son las formas mas comunes para arrancarlo.

## **PRÁCTICA No.10**

### **TÍTULO: MANEJO DE POTENCIA TRIFÁSICA**

#### **OBJETIVOS:**

- a).- Conocer el comportamiento de la polaridad reactiva, positiva, negativa y real.
- b).- Conocer las diferencias fundamentales entre potencia trifásica y la monofásica.
- c).- Conectar adecuadamente circuitos trifásicos en estrella y en delta

#### **INTRODUCCIÓN**

El propósito principal de un circuito eléctrico es el de suministrar una potencia para desarrollar un trabajo. En circuitos energizados con C.D. la potencia proporcionada a una carga es igual al producto del voltaje entre las terminales de la carga por la corriente que circula por el mismo ( $V \times I$ ) y este resultado es expresado en watts. Pero para el caso de circuitos energizados de corriente alterna el producto anterior es expresado en Volts-Ampers y se define como potencia aparente proporcionada a una carga, mientras que se define como potencia real o activa como aquella proporcionada solo a la parte resistiva de dicha carga en watts.

Para tener corrientes reactivas dentro de un circuito o instalación eléctrica, se necesitan tener cargas reactivas, estas almacenaran la energía eléctrica en forma de campo eléctrico o magnético durante un corto tiempo o periodo, y se devolverá a la red en un tiempo idéntico al que tardo en almacenarse repitiéndose periódicamente. Por lo tanto estas corrientes reciben el nombre de corrientes reactivas.

## MATERIAL Y EQUIPO:

1. Módulo de sistema eléctrico de potencia
2. Carga resistiva
3. Carga inductiva
4. Carga capacitiva
5. Motor síncrono
6. Motor de inducción trifásico.
7. Instrumentos de medición
8. Cables de conexión.

## PROCEDIMIENTO:

1.- Arme un circuito de tres resistencias iguales conectadas en estrella como se muestra en la figura No.10.1

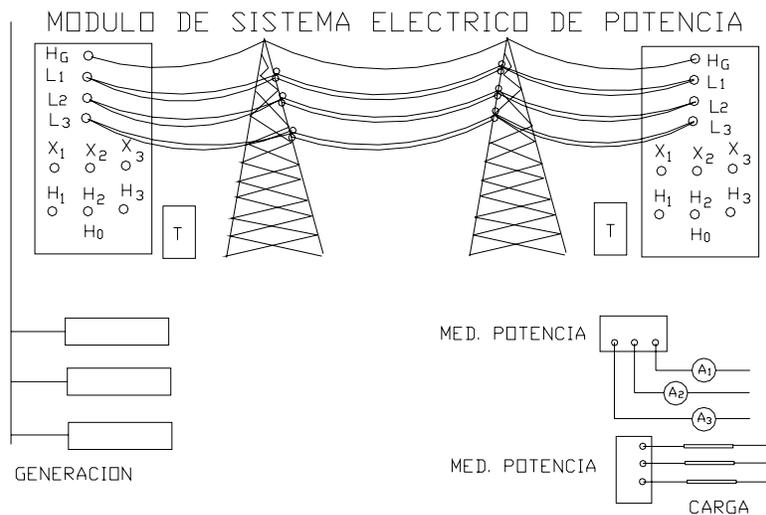


FIGURA No.10.1

- 2.- Tome las medidas de voltajes y corrientes en cada fase y entre líneas y compruebe resultados.
- 3.- Arme un circuito de tres resistencias iguales conectadas en delta.
- 4.- Tome las medidas de voltajes y corrientes en cada fase y entre líneas y compruebe resultados.
- 5.- Repita el punto uno y dos pero con cargas inductivas
- 6.- Repita el punto tres y cuatro pero con cargas inductivas.

### **CUESTIONARIO:**

- 1.- ¿En qué se diferencia una conexión estrella a la delta?
- 2.- ¿En qué se diferencia una carga resistiva a una inductiva?
- 3.- Demuestre que la potencia trifásica consumida en una carga conectada en estrella es la misma que si esta se conectara en delta.
- 4.- Mencione tres aplicaciones de una carga resistiva.
- 5.- mencione tres aplicaciones de una carga inductiva.
- 6.- ¿Cómo funciona un wáttmetro?
- 7.- ¿Cuál es la diferencia entre un ampémetro y un vóltmetro?
- 8.- ¿Qué diferencia existe entre un wáttmetro y un Watthorímetro
- 9.- ¿Cómo se toman las lecturas de la energía consumida en un medidor de la compañía suministradora de energía eléctrica?
- 10.- ¿Qué entiende por campo magnético y como se forma?

### **PRÁCTICA No.11**

#### **TÍTULO: PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LOS PLC'S**

#### **OBJETIVOS:**

- a).- Conocer los conceptos fundamentales de los plc's.
- b).- Manejar los comandos principales del plc TSX07.
- c).- Conocer las conexiones básicas de un plc.

## **INTRODUCCIÓN**

Los controladores lógicos programables (PLC's) tienen un sistema base de microprocesador que es usado para controlar procesos y máquinas en una infinidad de líneas industriales. El primer controlador fue diseñado por la corporación Gould en 1968 para la General Motors, para reemplazar las líneas de eléctricas de los relevadores usados en el control automático de sus líneas de transferencia. La razón por la que se implemento esta tecnología fue para hacer más fácil los cambios de secuencias de las operaciones de las máquinas en su reprogramación.

Los componentes básicos del controlador lógico programable son relativamente pocos. Este consiste en una unidad de control de procesos y de un número definido de módulos de entradas y salidas. La unidad de control contiene la memoria, el procesador y el alimentador de energía de corriente directa. El controlador programable ejecuta programas tomando las señales del módulo de entrada las cuales pueden venir de botones de presión, sensores o de interruptores mecánicos. Estas entradas son usadas por el programa para determinar que salidas van a ser activadas. Las salidas están conectadas a solenoides, mandos o luces indicadoras, control de motores, sistemas de potencia fluida u otros procesos.

### **MATRERIAL Y EQUIPO:**

- Fuente de alimentación
- Plc TSX07 con Terminal TFXS07
- Modulo de entradas y salidas
- Cables de conexión

### **PROCEDIMIENTO:**

Prueba de las entradas del plc TSX07

1. Haga el diagrama de conexiones de la figura 1.1 (cerciórese que se conecte el puerto de terminales IN / COM con - / Out del PLC).
2. Alimente el tablero con 125v a las terminales NL y pruebe con el multímetro entre las terminales +IN para que se tenga una salida de voltaje de 24Vcd (el PLC convertirá el voltaje de 125Vca a un voltaje de 24Vcd).



- 7.- ¿Qué entiende por editar un programa?
- 8.- ¿Qué entiende por elementos retentivos?
- 9.- ¿Qué entiende por interfaz?
- 10.- Explique con sus propias palabras el concepto de automatización.

## **PRÁCTICA No. 12**

### **TÍTULO: OPERACIÓN DE DIAGRAMAS DE ESCALERA**

#### **OBJETIVOS:**

- a).- Conocer los diagramas de escalera.
- b).- Trabajar con las instrucciones mas comunes y analizar la secuencia con la cual se realizan estas.
- c).- Analizar el uso de parámetros para obtener la respuesta deseada.
- d).- Introducir un programa al PLC y realizar las conexiones físicas para comprobar su funcionamiento.

#### **INTRODUCCIÓN**

Antes del uso de los microprocesadores, los circuitos eléctricos han sido usados para el control automático para muchos tipos de mecanismos industriales. Estos circuitos usan relevadores electromecánicos que funcionan tomando decisiones de accionamiento, que ahora se hacen en la lógica interna del control de los microprocesadores. Esta lógica interna es similar a la lógica de escalera usada en los circuitos eléctricos de relevadores.

Todos los diagramas de escalera deben de tener uno ó más interruptores de entrada. Estos son requeridos para dar inicio y continuidad a las actividades de los mecanismos que se vayan a controlar. Se pueden utilizar una variedad muy grande de interruptores y estos pueden ser clasificados por su tipo de accionamiento como manuales y automáticos. Los interruptores manuales son accionados por el hombre directamente y los automáticos por alguna condición del ambiente en el que se encuentre y estos son sensores interruptores de temperatura, presión, posición, flujo de algún líquido y nivel. Estos pueden ser de tipo normalmente cerrado o normalmente abierto, por su condición o estado inicial.

Existen tres tipos de mecanismos o accesorios de salida que son los más comúnmente usados. Uno de estos tipos son las lámparas o luces, otro de tipo es la alarma sonora o trompeta, y el tercer tipo y el más importante de ellas son los solenoides. Los solenoides son salidas que utilizadas en el sistema de control, activan u operan mecanismos de cierre o apertura de contactos o accionamientos. Estos pueden ser usados para operar motores eléctricos o válvulas hidráulicas o neumáticas. Un solenoide consiste básicamente en una bobina eléctrica y una barra de hierro. Cuando una corriente eléctrica pasa a través de la bobina, esta genera un campo magnético que fuerza a moverse a la barra de hierro, siendo esta el elemento mecánico de accionamiento que se desea generar para el control.

**MATERIAL Y EQUIPO:**

- Fuente de alimentación
- Plc TSX07 con Terminal TFXS07
- Modulo de entradas y salidas
- Cables de conexión

**PROCEDIMIENTO:**

12.1. Haga el diagrama de conexiones de la figura 12.1

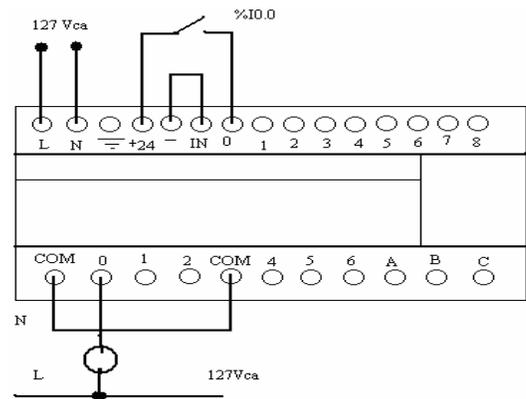


FIGURA 12.1

12.2. Observe el diagrama de la figura 12.2 (diagrama de escalera).

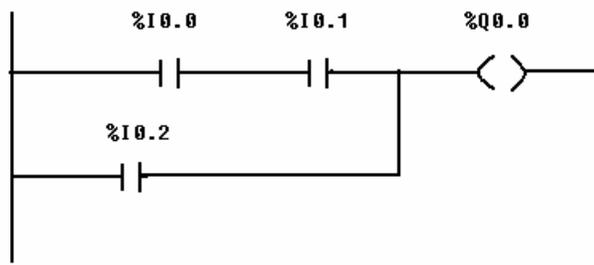


FIGURA 12.2

**Instrucciones:**

```

000 LD    %I0.0
001 AND   %I0.1
002 OR    %I0.2
003 ST    %Q0.0
004 END

```



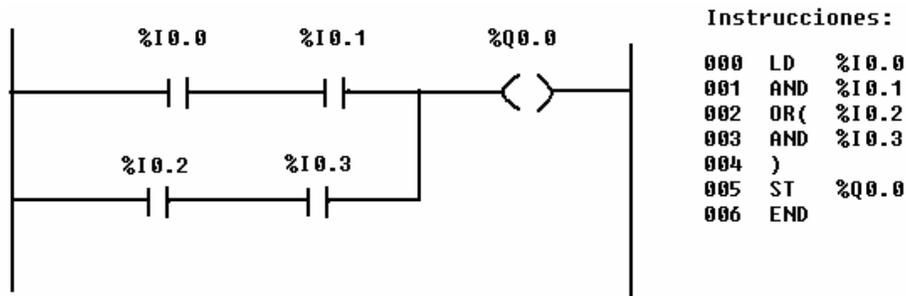


FIGURA 12.4

12.16. Introduzca las instrucciones del programa de la figura 12.4 al PLC.

12.17. Siga las instrucciones de los puntos anteriores para correr el programa.

### CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Qué representan las líneas verticales en un diagrama de escalera?
- 2.- Explique que es un flanco ascendente y descendente.
- 3.- Describa la forma de construir un circuito de control, usando diagramas de escalera.
- 4.- Por que se dice que no siempre se puede dibujar peldaños en el circuito en el mismo orden que van a ser energizados en la secuencia de control.
- 5.-Diseñe mediante diagramas de escalera un sistema de control que sea capaz de poner en funcionamiento un motor trifásico en sus dos sentidos posibles (horario y antihorario); una a la vez. Utilizando el PLC como sistema de control.
- 6.- Diseñe mediante diagramas de escalera un circuito que active tres motores monofásicos, pero que también tome las medidas de I y V de cada motor. Donde A = amperímetro y V = voltímetro; M = motor monofásico.
- 7.- Diseñe mediante diagramas de escalera un circuito que tenga las siguientes características:
  - Con un relevador de control (R.C) activar un arrancador, y este a su vez activa un motor trifásico.
  - Con un R.C desactivar o activar, según sea el caso, un foco rojo que indique que el motor este parado.
- 8.- ¿Qué es una instrucción de carga?
- 9.- ¿Qué es una instrucción de asignación?
- 10.- Mencione cuales son los tipos de funciones booleanas y señale lo que representan dentro del PLC TFXS07.

## **PRÁCTICA No.13**

### **TÍTULO: TEMPORIZADORES**

#### **OBJETIVOS:**

- a).- Conocer los temporizadores (TIMER) de los PLC'S.
- b).- Estudiar el recurso de temporizadores para PLC'S.
- c).- Aprender la manera de configurar los TIMER y programarlos.
- d).- Desarrollar un programa que ejemplifique cada uno de los diferentes TIMER.

#### **INTRODUCCIÓN**

En numerosas aplicaciones se necesita medir el tiempo que transcurre desde que se cumple una determinada condición lógica y cuando ese tiempo predeterminado se cumple, esperamos que se devuelva una señal para informar del hecho. La señal que recibe un temporizador es por lo tanto una función lógica que hay que resolver, como en el caso de cualquier preaccionador. La señal que devuelve un temporizador es una variable, porque a partir de ella se pueden tomar decisiones. En el programa de este apartado encontrará la simulación de varios temporizadores eléctricos cuyo funcionamiento es similar al de los relés, por lo tanto, la bobina será la función y los contactos serán la variable.

Los temporizadores pueden ser programados o ser componentes físicos, pero en todos los casos, los más utilizados son de retardo a la conexión de la señal que los activa o bien de retardo a la desconexión de la señal que los activa. El temporizador con retardo a la conexión mide el tiempo que es verdadera la señal que lo activa, luego el tiempo a medir comienza desde la "conexión" de dicha señal. El de retardo a la desconexión mide el tiempo que es falsa la señal que lo activa, luego el tiempo a medir comienza desde la "desconexión" de dicha señal.

#### **MATERIAL Y EQUIPO:**

- Fuente de alimentación
- Plc TSX507 con Terminal TFXS07
- Modulo de entradas y salidas
- Cables de conexión

## PROCEDIMIENTO:

13.1. Haga el diagrama de conexiones según la figura 13.1.

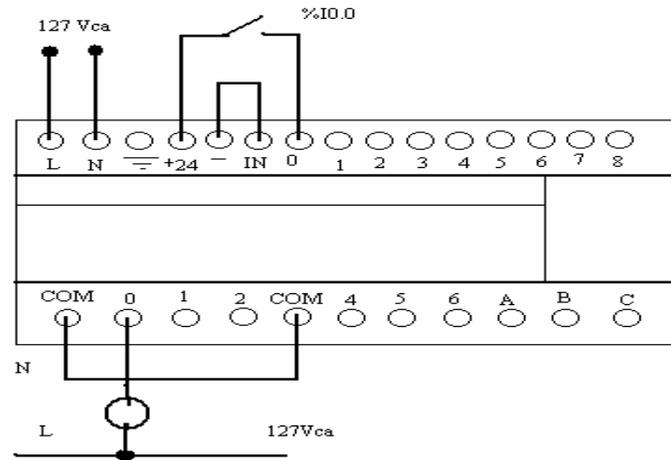


FIGURA 13.1

13.2. Configuración del TIMER.

13.3. Presione la tecla EDIT seguido de 4CNF, luego oprima MENU para que aparezca el bloc de TIMER, luego seleccione el TIMER ya sea 0, 1, 2, etc. En este caso se seleccionara el TIMER número 1; para esto estando el cursor en oprima la tecla con el número 1. Con la flecha vertical baje el cursor para seleccionar el tiempo base, en este caso sera en segundos (use flechas horizontales) deje el modo segundos, oprima la flecha vertical para seleccionar el tiempo requerido de operación del TIMER, observe que se tiene un numero 9999, presione el numero 8 para establecer este tiempo en segundos.

Use flechas verticales para bajar el cursor y seleccionar el tipo de temporizador.

13.4. Mueva la flecha horizontal hasta obtener todos los tipos de temporizadores usados en este PLC, TP, TON y TOF.

13.5. Seleccione el temporizador TP, revise la pantalla de la Terminal del PLC y si es valido lo que se tiene escrito, confirme con ENTER y de esta manera quedara configurado con el primer TIMER.

13.6. Introduzca la siguiente lista de instrucciones al PLC configurando de diferente manera cada uno de los TIMER (TP, TON y TOF). Analice lo que sucede.

## CUESTIONARIO:

- 1.- ¿Cuáles son las dos formas principales de capturar la instrucción Q?
- 2.- ¿Haga un diagrama de la operación de un temporizador tipo TP y explíquelo?
- 3.- Repita la pregunta 5 para tipo TOF.
- 4.- Repita la pregunta 5 para tipo TON.
- 5.- Haga un diagrama en escalera haciendo uso de 2 ton, 2 TOF, y 2 TP explique la operación.
- 6.- Si se quiere medir el tiempo que está abierta una puerta, ¿qué tipo de temporizador sería el más práctico? (se supone que hay un captador que se acciona con la puerta abierta).
- 7.- Si se quiere medir el tiempo que un motor está funcionando, para pararlo cuando ha pasado, ¿qué tipo de temporizador será el más práctico?
- 8.- Si un ventilador debe funcionar el tiempo que esté conectado un calefactor y al desconectarlo debe mantenerse el ventilador un determinado tiempo, ¿qué tipo de temporizador será el más práctico?
- 9.- Si una cinta transportadora debe pararse sola cuando ha pasado cierto tiempo sin llegar piezas (hay captador de piezas), ¿qué tipo de temporizador será el más práctico?
- 10.- Si en el caso anterior llegan varias piezas muy juntas (tiempo menor que el ajustado en el temporizador), ¿comenzará la cuenta del tiempo con cada pieza o terminará el tiempo que comienza con el paso de la primera pieza?

## Instrucciones:

000	BLK	%TM0
001	LD	%I0.0
002	ANDN	%TM6.Q
003	IN	
004	END	BLK
005	LD	%TM0.Q
006	ST	%Q0.0
007	BLK	%TM1
008	LD	%Q0.0
009	IN	
010	EN	BLK
011	LD	%TM1.Q
012	ANDN	%Q0.0
013	ST	%Q0.1
014	BLK	%TM2
015	LD	%Q0.1
016	IN	
017	EN	BLK
018	LD	%TM2.Q
019	ANDN	%Q0.1
020	ST	%Q0.2
021	BLK	%TM3
022	LD	%Q0.2
023	IN	
024	EN	BLK
025	LD	%TM3.Q
026	ANDN	%Q0.2
027	ST	%Q0.3
028	BLK	%TM4
029	LD	%Q0.3
030	IN	
031	EN	BLK
032	LD	%TM4.Q
033	ANDN	%Q0.3
034	ST	%Q0.4
035	BLK	%TM5
036	LD	%Q0.4
037	IN	
038	EN	BLK
039	LD	%TM5.Q
040	ANDN	%Q0.4
041	ST	%TM5
042	BLK	%TM6
043	LD	%Q0.5
044	IN	
045	EN	BLK
046	LD	%TM6.Q
047	ANDN	%Q0.5
048	ST	%TM6
049	END	

## PRÁCTICA No.14

### TÍTULO: MOVIMIENTO DE UN ROBOT

#### OBJETIVOS:

- a).- Conocer los principios básicos del funcionamiento de un robot.
- b).- Estudiar el recurso de PLC'S en la aplicación de robots.

## INTRODUCCIÓN

Los robots son usados hoy en día para llevar a cabo tareas sucias, peligrosas, difíciles, repetitivas o embotadas para los humanos. Esto usualmente toma la forma de un robot industrial usado en las líneas de producción. Otras aplicaciones incluyen la limpieza de residuos tóxicos, exploración espacial, minería, búsqueda y rescate de personas y localización de minas terrestres. La manufactura continúa siendo el principal mercado donde los robots son utilizados. En particular, robots articulados (similares en capacidad de movimiento a un brazo humano) son los más usados comúnmente. Las aplicaciones incluyen soldado, pintado y carga de maquinaria. La Industria automotriz ha tomado gran ventaja de esta nueva tecnología donde los robots han sido programados para reemplazar el trabajo de los humanos en muchas tareas repetitivas.

## MATERIAL Y EQUIPO:

- 
- Fuente de alimentación
- Plc TSX507 con Terminal TFXS07
- Modulo de entradas y salidas
- Cables de conexión
- Modulo de un brazo

## PROCEDIMIENTO:

14.1. Con la fuente de C.D. variable, terminales +7 y -N, ajuste un voltaje de 12Vcd y desconecte la fuente de alimentación.

14.2. Conecte el motor M1 como se muestra en la figura 1.

14.3. Antes de activar la fuente de alimentación, asegúrese de que al moverse el motor M1 no exista obstrucción alguna.

14.4. Active la fuente de alimentación y especifique en que dirección gira el motor M1\_\_\_\_\_ y después de dos vueltas desactive la fuente de alimentación.

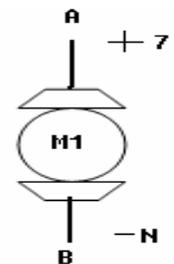
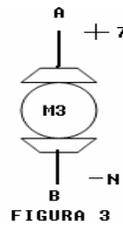
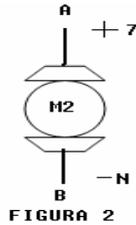


FIGURA 1

14.5. Invierta las terminales del motor M1 y active la fuente de alimentación, hasta que de dos vueltas, especifique la dirección del giro del motor M1, enseguida desactive la fuente de alimentación.

14.6. Alimente el motor M2 como se muestra en la figura 2 y observe que es lo que sucede (actívelo por unos 20 segundos) y desactive la fuente de alimentación



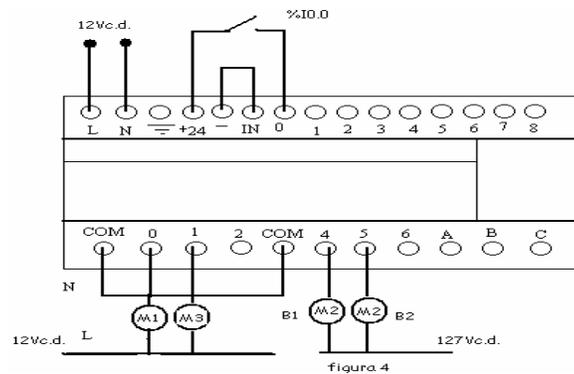
14.7. Invierta las terminales del motor M2 durante unos 2 segundos. Explique lo que sucedió y desconecte la fuente de alimentación. \_\_\_\_\_

14.8. Alimente al motor M3 como se muestra en la figura 3 y observe que es lo que sucede y desactive la fuente de alimentación. \_\_\_\_\_

14.9. Invierta las terminales del motor M3 y explique lo sucedido, desactivando la fuente de alimentación después de 20 segundos aproximadamente.

14.10. Ajuste la fuente de alimentación terminales +7 y -N a 12Vcd.

14.11. Haga el diagrama de conexiones de la figura 4.



14.12. La figura 5 muestra que si se energiza la bobina B1 del motor M2 queda conectado a la terminal A con polaridad positiva y la terminal B con polaridad negativa.

14.13. La figura 5 también muestra que una vez desactivada la bobina B2, el motor M2 queda conectado con polaridades contrarias.

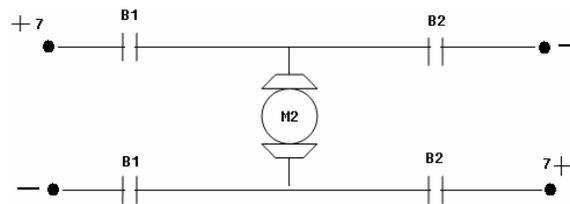


FIGURA 5

14.14. La figura 6 muestra tanto el diagrama de escalera como la lista de instrucciones y vea que es una secuencia de operación de 4 salidas (M1, M2, M3 y B2).

14.15. Introduzca la lista de instrucciones al PLC y configure cada uno de los temporizadores.

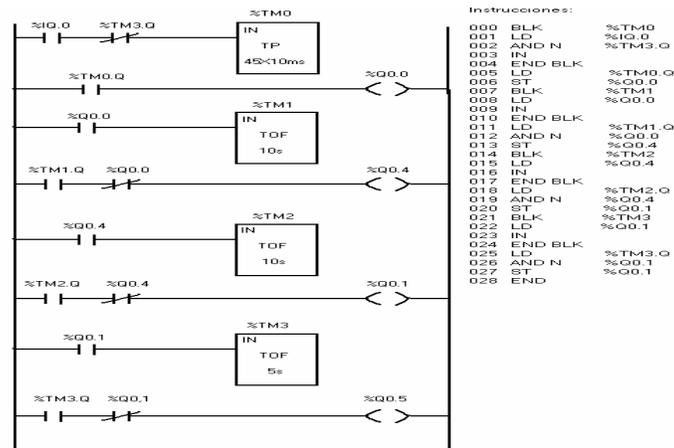


FIGURA 6

### CUESTIONARIO:

- 1.- Al colocar en run el plc ¿como se puede localizar en que línea o líneas se tiene algún error de programación?
- 2.- ¿Que es un programa y como esta constituido?
- 3.- ¿Que es grafcet y cual es su utilidad?
- 4.- Mencione que son los interruptores inteligentes o interruptores programables.
- 5.- Defina con sus propias palabras lo que entiende por robot.
- 6.- Mencione algunas de las aplicaciones donde se ocupen los robots.
- 7.- ¿Que entiende por automatización flexible?
- 7.- ¿Que función tiene el sistema de E/S de un PLC industrial?
- 8.- Cuales son los diferentes tipos de memoria que utiliza un PLC.
- 9.- Plantee un programa de ahorro de energía eléctrica usando diferentes tipos de sensores.
- 10.- Plantee un diagrama de escalera así como las distribuciones correspondientes para la automatización de un sistema de riego de 48 árboles frutales separados 3 metros uno de otro con 4 filas de 12 árboles cada una.

## **CAPÍTULO 6.- EVALUACIÓN DEL PROYECTO.**

---

Para el desarrollo de la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (IME), en donde se ha planteado este proyecto PAPIME, que tiene como fin aplicar los principios de interdisciplinariedad y multidisciplinariedad, que realmente estos principios han tenido una aplicación de poco porcentaje hasta hoy, por lo que la interrelación de áreas como lo es la eléctrica con termofluidos y termodinámica, lo que demuestra tales principios que maneja dicho proyecto.

### **6.1. RESULTADOS.**

Se hicieron tres módulos que describen detalladamente en el capítulo cinco y prácticas para cada uno de ellos. En donde se llevo a cabo un compendio fotográfico que fue desarrollado en etapas parciales sin considerar muchos detalles de los avances, pero creemos que con esta serie de fotos se tiene una idea clara de la forma de los avances durante todo el proceso de construcción. Lo cual se pretende que sirvan como una memoria para emplearse en cursos, ponencias, seminarios, apuntes, etc.

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios ya que al concluir el modulo de plc's se espera abrir cursos para la explicación del funcionamiento y programación de los sistemas plc. También se realizaron practicas de programación en la computadora que resultaron satisfactorias, pues el modulo cumplía con la programación que se ingresaba a la computadora. A este modulo solo se le hicieron pruebas de programación y respuesta.

Al modulo de sistemas de distribución como ya se menciona antes se le hicieron pruebas de corto circuito, secuencia cero, secuencia positiva y secuencia negativa, estas pruebas se hicieron sin carga y con carga (capacitiva, resistiva e inductiva), y de acuerdo a los conocimientos teóricos se obtuvieron las respuestas esperadas del equipo. Mostró la sincronía de fases correcta y por lo tanto satisfactoria. A este sistema se le van a realizar prácticas para que los alumnos tengan una visión más amplia y practica de este tipo de sistemas.

Las prácticas que se realizaron con el concentrador solar se llevaron a cabo satisfactoriamente ya que se pudo obtener vapor a gran presión y por lo tanto crea una energía térmica muy fuerte. Si mandamos ese vapor a un sistema que lo convierta en energía eléctrica tendremos una fuente de energía termoeléctrica prácticamente gratuita y de gran eficiencia.

Este tipo de sistemas da la pauta para la implementación de tecnologías de distribución o/y uso de energía permanente y limpia. Esta energía también puede ser utilizada para sistemas de calefacción o simplemente como calentador de agua sin necesidad de gastar gas para alimentar un calentador de gas de uso doméstico u otros sistemas de ese tipo.

En general los resultados obtenidos en cada uno de los anteriores sistemas fueron satisfactorios ya que dieron los resultados esperados. Y también es satisfactorio por que todo eso se va a utilizar para darles a los alumnos una mejor preparación académica y poder dar como resultados ingenieros más integrales.

## **6.2. DISCUSIÓN.**

El objetivo es que se utilice como complemento de todas las materias que tengan que ver con el proyecto, también se esta viendo la opción de abrir cursos extracurriculares para todo aquel que este interesado en el tema de fuentes alternas de energía.

Como se ha mencionado anteriormente este proyecto no se enfoca en una aplicación específica sino que trata de interrelacionar varias asignaturas de la carrera de IME por lo que tiene la función de presentar la sinergia de diversas materias de su plan de estudios, como antes definimos las áreas de aplicación. Ya que el tema en el que podemos decir se centra es la generación de fuentes alternativas de energía, utilizando módulos didácticos en su generación.

Si bien es muy conocido por la comunidad estudiantil y académica de la carrera de IME, asignaturas como Teoría Electromagnética, Análisis de circuitos, Transformadores y Motores de Inducción, Maquinas Sincronías, Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia, Termodinámica, Maquinas Térmicas, probablemente para un amplio porcentaje de alumnos y otro menor de profesores, el presentarles la interrelación de asignaturas es algo si bien novedoso, también les

será muy interesante, ya que la simulación de grandes sistemas de generación de potencia Térmica y Eléctrica como lo presentamos en este proyecto con el fin didáctico de la carrera de IME, no existe en nuestras actuales instalaciones de laboratorios en la FESC.

### **6.3. CONCLUSIONES.**

Es conveniente mencionar que la realización del PAPIME dentro de la facultad fue de mucha ayuda para poder poner en marcha mis conocimientos teóricos de la carrera, ya que los proyectos que realizamos en él son prácticos y enfocados al área en la que estoy actualmente que es la eléctrica.

El proyecto que se esta desarrollando como ya se dijo es uno de los mas interesantes que hay en la escuela, este tiene la particularidad de que en su desarrollo se toma muy en cuenta la participación de los alumnos ya sea como medio titulación, servicio social, complemento de otras materias relacionadas y como actividades extracurriculares.

A las conclusiones que se han llegado es que los módulos realizados serian altamente efectivos en la impartición de clases y de excelente apoyo para diferentes cursos de ingeniería, pero todavía falta realizar más de estos módulos didácticos para lo cual se requiere que la institución ofrezca más recursos y espacios para su construcción. Cabe mencionar que varios alumnos se han sumado a este tipo de proyectos y han sugerido mas; prueba de que este tipo de proyectos son indispensables puesto que despiertan el interes de los alumnos por estos los mismos.

En el ámbito industrial se podido verificar que el calentador solar controlado por medio del PLC es una opción viable pero que al momento todavía es de un costo económico elevado, en parte por que la tecnología de los PLC y los materiales para recubrir el colector solar son caros. Aun así los alumnos que hemos participado en este proyecto estamos convencidos de que serán de gran ayuda para las generaciones futuras de esta institución pues ya se esta tomando en cuenta fuentes de energía alternas como una asignatura mas y paro nosotros un conocimiento que ya pusimos en practica en el proyecto y que esperemos que pronto lo pongamos en practica ya como ingenieros.

## BIBLIOGRAFÍA.

---

- BALCELLS, J. & Romeral, J.L. *Autómatas Programables*. Alfaomega-Marcombo. 5ª edición. Barcelona España 2004.
- B.C. Kuo, *Sistemas automáticos de control*. CECSA, 1995.
- OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de Control Moderna*. Ed. Prentice-Hall.Inc. 2ª edición. 1993.
- PRORRAS, C. A., & Montanero M.A. *Automatas Programables: Fundamentos, manejo, instalación y prácticas*, Mc. Graw- Hill. México 1994.
- SMITH, Carlos A.; Corripio, Armando B. *Control Automático de Procesos. Teoría y Práctica*. Ed. Limusa. 1994.

## MANUALES

---

- Manual de Instalación, operación y mantenimiento de planta eléctricas Jhonson y Tower.
- Manual de planta eléctrica DALE.
- Manuales de programación e instalación de ALLEN BRADLEY.
- Manuales de programación e instalación de FESTO.
- Manuales de programación e instalación de TSX17-20 telecomuniqué.
- Plantas eléctricas SELMEC.
- SQUARE "D" diagramas de alambrado.