



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CAMBIO DE TECNOLOGIA ANALOGICA POR DIGITAL PARA SISTEMAS DE EXCITACION DE PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA ELECTRICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

JUAN MARIANO ATA JIMENEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. ARTURO MORALES COLLANTES



MEXICO, D. F.

2005

m341962



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

148

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
COORDINACIÓN DE SEMINARIOS
Y SERVICIO SOCIAL

NOTIFICACIÓN DE JURADO PARA EXAMEN PROFESIONAL

<u>JURADO</u>		<u>BORRADOR DE TESIS RECIBIDO</u>		<u>BORRADOR DE TESIS AUTORIZADO</u>	
		<u>FIRMA</u>	<u>FECHA</u>	<u>FIRMA</u>	<u>FECHA</u>
PRESIDENTE:	ING. ROBERTO BROWN BROWN		18 feb / 05		22 feb / 05
VOCAJ:	M.I. ARTURO MORALES COLLANTES		2/02/05		03/02/05
SECRETARIO:	ING. JOSÉ RAULL MARTÍN		21 feb / 05		28-2-05
1ER. SPT.:	ING. DAVID VÁZQUEZ ORTIZ		21-II-05		3-III-05
2DO. SPT.:	ING. CESAR MAXILIANO LÓPEZ PORTILLO ALCÉRRECA		19/feb/05		23/feb/05
TESIS: 042/201	"INCORPORACIÓN DE NUEVA TECNOLOGÍA PARA EXCITADORES EN PLANTAS" GENERADORAS"				

FECHA Y HORA DE EXAMEN:
RESPETABLE PROFESOR(A):

Por este conducto, me es grato notificarle que ha sido designado(a) miembro del jurado para el examen profesional del alumno(a) **JUAN MARIANO ATA JIMÉNEZ** con número de cuenta **8823049-8** de la carrera **INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA** solicito de la manera más atenta revise el trabajo de tesis con el fin de que Ud. haga saber por escrito a esta Coordinación en formato adjunto, si considera necesario que el alumno realice modificaciones al mismo en un plazo de 5 (cinco) días hábiles contados a partir de la fecha en que Ud. reciba esta notificación. De no haber observación alguna de su parte, le agradeceré firmar la presente autorizando el trabajo, con lo cual el alumno podrá imprimir definitivamente su tesis.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 16 de Febrero de 2005.

EL COORDINADOR DE SEMINARIOS Y SERVICIO SOCIAL

ING. JOSÉ ARTURO ORIGEL COUTIÑO

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Juan Mariano Ata Jiménez
FECHA: 11/03/05

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres:

Sr. Pedro Ata González
Sra. María Jiménez

Por darme la oportunidad de vivir y esforzarme por cumplir con todos mis objetivos y metas, por su cariño y apoyo en todo momento, por sus consejos y su ejemplo, con los que me acompañan a cualquier lugar siempre.

A mis hermanos:

Sr. Gildardo Ata Jiménez
Sr. Valentín Ata Jiménez
Sra. Berta Ata Jiménez

Por la disciplina que siempre me han inculcado, por su ayuda incondicional y por sus palabras de aliento, que siempre son un aliciente para luchar con dignidad y fortaleza.

A mi alma mater:

La "Universidad Nacional Autónoma de México"

Por soportar el enorme peso de la responsabilidad de formar profesionistas con las necesidades que la humanidad demanda, por la formación académica que recibí de sus catedráticos y por el invaluable entrenamiento que me dió para poder ayudar a mis semejantes.

A mi director de tesis:

M.I. Arturo Morales Collantes

Por ayudarme a concluir con mis estudios y por la confianza que depositó en mí.

A los señores ingenieros del jurado:

Ing. Roberto Brown Brown
Ing. José Raull Martín
Ing. David Vázquez Ortiz
Ing. Cesar Maximiliano López Portillo Alcérrecá

Por su importante participación para la terminación del presente trabajo.

A mi maestro de campo:

Ing. Luis Lechevalier Mignot

Por todas las batallas que hemos librado juntos y en las cuales siempre hemos salido victoriosos, por su paciencia y apoyo para la terminación de este trabajo.

A mis familiares y amigos, por haberme ayudado a no perder la fe y la esperanza en los momentos cruciales y difíciles.

INDICE

	PÁGINA
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema.	2
1.2 Justificación del problema.	9
1.3 Estado del arte.	14
CAPITULO II GENERALIDADES SISTEMA DE EXCITACIÓN	26
2.1 Diagrama a bloques del sistema de excitación.	28
2.1.1 Transformador de excitación.	28
2.1.1.1 Precauciones en la aplicación de los transformadores tipo seco.	29
2.1.1.2 Consideraciones ambientales.	29
2.1.1.3 Accesibilidad para el mantenimiento.	30
2.1.1.4 Seguridad del personal y del público.	31
2.1.1.5 Requerimiento de salas.	31
2.1.1.6 Carga.	31
2.1.1.7 Fuentes de sonido audible.	32
2.1.1.7.1 Control de las fuentes de ruido.	32
2.1.1.7.2 Control de la transmisión del ruido.	32
2.1.1.8 Pruebas.	33
2.1.1.8.1 Inspección previa al energizado del transformador.	33
2.1.1.8.2 Pruebas previas al servicio.	34
2.1.1.8.3 Inspección después de la puesta en servicio.	34
2.1.1.9 Aterrizaje.	35
2.1.1.10 Servicio y mantenimiento.	35
2.1.1.11 Efecto de la humedad.	36
2.1.1.12 Almacenaje.	37
2.1.2 Convertidores (puentes rectificadores).	37
2.1.3 Seccionadores.	38
2.1.4 Interruptor de campo y resistencia de descarga.	39
2.1.5 Sistema de excitación inicial.	41
2.1.6 Circuito supresor de AC.	42
2.1.7 Circuito supresor Clipper.	42
2.1.8 Circuitos supresores de DC.	43

INDICE

2.1.8.1	Circuito RC.	43
2.1.8.2	Resistencia no lineal (Varistor).	43
2.1.8.3	Resistencia Holding.	44
2.1.9	Circuito de faseo de la electrónica.	44
2.2	Especificación del sistema.	45
2.2.1	Objetivo y campo de aplicación.	49
2.2.2	Normas que se aplican.	49
2.2.3	Definiciones.	50
2.2.3.1	Circuito de descarga.	50
2.2.3.2	Circuito de excitación inicial.	50
2.2.3.3	Etapas de potencia.	50
2.2.3.4	Generador con carga.	50
2.2.3.5	Generador en vacío.	50
2.2.3.6	Interruptor de campo.	50
2.2.3.7	Panel de alarmas.	50
2.2.3.8	Protecciones.	51
2.2.3.9	Regulador de voltaje.	51
2.2.3.10	Sistema de excitación.	51
2.2.3.11	Voltaje de techo.	51
2.2.4	Condiciones de diseño.	51
2.2.4.1	Condiciones ambientales.	51
2.2.4.2	Altitud de operación.	51
2.2.4.3	Nivel de ruido.	51
2.2.4.4	Interferencias transitorias.	51
2.2.5	Características.	52
2.2.5.1	Generales.	52
	a) Fuentes internas para el control.	

INDICE

2.2.5.2	Regulador de voltaje.	53
2.2.5.2.1	Canal automático.	53
	a) Referencia del canal automático 90R.	
	b) Compensador de reactivos.	
	c) Limitador de baja excitación.	
	d) Limitador de máxima corriente de campo.	
	e) Limitador Volts/Hertz.	
	f) PSS.	
2.2.5.2.2	Canal manual.	55
	a) Canal analógico de respaldo.	
2.2.5.2.3	Seguidor automático de voltaje.	55
2.2.5.2.4	Lógica de control programable.	56
2.2.5.2.5	Señalización y alarmas.	
2.2.5.3	Protecciones.	56
2.2.5.3.1	Protecciones del Sistema de Excitación.	56
	a) Protección por pérdida de realimentación.	
	b) Protección por sobrecorriente de campo.	
	c) Protección por pérdida de fuentes canal manual.	
2.2.5.3.2	Protección del puente rectificador.	57
	a) Protección por sobrecorriente en los SCR.	
	b) Protección por sobrevoltaje en los SCR.	
	c) Falla pulsos de disparo.	
	d) Falla sistema de enfriamiento.	
	e) Protección por desbalance de corriente en el puente rectificador.	
2.2.5.3.3	Otras protecciones.	57
	a) Protección por falla de excitación forzada.	
	b) Filtro de voltaje de flecha.	

INDICE

c) Crow-Bar.	
2.2.5.4 Gabinetes.	58
2.2.5.4.1 Alambrado de conductores.	59
a) Cables de fuerza.	
b) Cables de instrumentación y control.	
2.2.5.4.2 Mandos de control.	60
2.2.5.5 Software para ajustes y Diagnóstico del sistema de excitación.	60
2.2.6 Empaque y embarque.	61
2.2.7 Control de calidad.	61
2.2.7.1 Pruebas.	61
2.3 Plataforma del Controlador Lógico Programable.	62
2.3.1 Características de la CPU.	63
2.3.2 Instalación.	65
2.3.3 Configuración.	69
2.3.3.1 Descarga de una configuración desde un equipo programador.	69
2.3.3.2 Autoconfiguración.	69
2.3.4 Funcionamiento de la CPU.	71
2.3.4.1 Modos de funcionamiento de la CPU.	71
2.3.4.2 Control de la ejecución de un programa.	75
2.3.5 Elementos del programa de aplicación.	76

INDICE

2.3.5.1	Estructura de un programa de aplicación.	76
2.3.5.2	Subrutinas.	77
2.3.5.3	Formatos de programación	79
2.3.5.4	El juego de instrucciones.	81
2.3.6	Datos del programa.	86
2.3.6.1	Referencias de memoria de datos.	86
2.3.6.2	Utilización de alias y descripciones para referencias en el programa.	88
2.3.6.3	Tratamiento de datos numéricos por las funciones del programa.	93
2.3.6.4	Contactos de señales de tiempo.	95
2.3.7	La función PID.	96
2.3.7.1	Principio de funcionamiento de la función PID.	97
2.3.7.2	Bloque de parámetros para la función PID.	99
CAPITULO III SISTEMA DE CONTROL Y SECUENCIA DE OPERACIÓN.		106
3.1	Sistema de control.	107
3.1.1	Canal automático.	108
3.1.1.1	Algoritmo de protección limitador de máxima excitación y disparo por sobrevoltaje de excitación.	110
3.1.1.2	Algoritmo de protección por sobre corriente de excitación.	111
3.1.1.3	Limitador de mínima excitación (MEL).	111
3.1.1.4	Limitador de máxima excitación (OEL).	112
3.1.1.5	Limitación por la relación Volts/Hertz.	113
3.1.1.6	Compensador de reactivos.	113
3.1.1.7	Estabilizador del sistema de potencia (PSS).	114
3.1.2	Canal manual.	116

INDICE

3.1.2.1	Seguidor automático.	117
3.1.3	Canal de respaldo analógico (CRES).	117
3.2	Secuencia de operación.	123
3.2.1	Lógica programada.	123
3.2.1.1	Secuencia de operación interruptor de campo 41E.	123
3.2.1.2	Secuencia de operación interruptor de excitación inicial 31E.	133
3.2.1.3	Secuencia de operación del Sistema de Excitación.	135
3.2.2	Lógica cableada.	140
3.2.2.1	Transferencia a canal de respaldo analógico (CRES).	140
3.2.2.2	Apertura interruptor de campo por CRES.	141
3.2.2.3	Relevadores de interposición	142
CAPITULO IV SISTEMAS AUXILIARES		147
4.1	Fuentes de alimentación del RAV.	148
4.2	Módulo generador de pulsos.	151
4.2.1	Fuentes de alimentación	151
4.2.2	Circuitos comparadores de disparo.	151
4.2.3	Generador de paro final.	155
4.2.4	Inversor.	156
4.2.5	Unidades de disparo.	158
4.2.6	Protección contra rotación incorrecta de fases.	159
4.2.7	Corrección contra desbalance de fases.	161
4.2.8	Esquema de monitoreo del módulo Generador de Pulsos.	163
4.3	Esquema de amplificación de pulsos (BOOSTERS).	165
4.3.1	Esquema de fuentes BOO-02.	165
4.3.2	Esquema de amplificación de pulsos BOO-01.	166
4.4	Módulo ráfaga de pulsos.	168
4.5	Panel de mando local.	169
4.6	Transductores y acondicionadores de señal.	174
4.6.1	Transductores para corriente y voltaje de excitación.	174
4.6.2	Sensitivo de voltaje de los buses de A.C. (SVTE).	178
4.6.3	Detector de asimetría de corriente en los puentes rectificadores.	178
4.6.4	Transductor para medición de corriente en los puentes.	179

INDICE

4.6.5	Sensitivo de voltaje para la realimentación por transformadores de potencial (SVRA).	179
4.6.6	Medición de voltaje generado, Watts/Vars y Volts/Hertz.	179
4.6.6.1	Transductor de Volts/Hertz.	179
4.6.6.2	Transductor de Watts/Vars.	180
4.6.6.3	Transductor de voltaje del generador.	180
4.7	Facilidades de comunicación.	181
4.8	Interfaz al operador.	188
CAPITULO V PRUEBAS AL SISTEMA		211
5.1	Pruebas al sistema de excitación.	212
5.1.1	INSTRUCCIONES	215
5.1.1.1	Pruebas en vacío, régimen estático.	215
5.1.1.1.1	Características estáticas de 90 R.	215
5.1.1.1.2	Características estáticas del 70 E.	216
5.1.1.1.3	Seguidor automático.	217
5.1.1.2	Pruebas en vacío, régimen dinámico.	218
5.1.1.2.1	Respuesta a escalones.	218
5.1.1.2.2	Respuesta a perturbaciones.	219
5.1.1.2.3	Tiempo de excitación y desexcitación.	219
5.1.1.2.4	Determinación del techo de máxima excitación.	220
5.1.1.3	Pruebas con carga, régimen estático.	221
5.1.1.3.1	Limitador de mínima excitación.	221
5.1.1.3.2	Compensador de reactivos.	222
5.1.1.4	Pruebas con carga, régimen dinámico.	223
5.1.1.4.1	Respuesta a escalones de reactivos.	223
5.1.1.4.2	Respuesta a perturbaciones de reactivos.	224
5.1.1.4.3	Rechazo de reactivos.	225
5.1.1.4.4	Respuesta del estabilizador de potencia.	226
5.2	Resultados de pruebas.	227
5.2.1	Pruebas en vacío régimen estático.	227
5.2.1.1	Características del 90R.	227

INDICE

5.2.1.2	Características del 70E.	228
5.2.1.3	Seguidor automático.	228
5.2.2	Pruebas en vacío régimen dinámico.	229
5.2.2.1	Respuesta a escalones de voltaje.	229
5.2.2.2	Respuesta a perturbaciones de voltaje.	230
5.2.2.3	Tiempo de excitación y desexcitación.	230
5.2.3	Pruebas con carga régimen estático.	231
5.2.3.1	Limitador de mínima excitación.	231
5.2.3.2	Compensador de reactivos.	231
5.2.4	Pruebas con carga régimen dinámico.	232
5.2.4.1	Respuesta a escalones de reactivos.	232
5.2.4.2	Respuesta a perturbaciones de reactivos.	232
5.2.4.3	Rechazo de reactivos.	232
5.3	Conclusiones.	234
ANEXO A	Componentes regularmente utilizados en sistemas de control de excitación.	235
ANEXO B	Gráficas obtenidas durante las pruebas.	238
ANEXO C	Elementos de aplicación.	246

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Al paso de los años la evolución de la tecnología del microprocesador con la consecuente gran capacidad de realización de diseños con alto rendimiento, hardware digital de bajo costo y potentes herramientas de software y la probabilidad de las dificultades producidas en el mantenimiento de los aparatos analógicos, ha dirigido a muchos fabricantes al desarrollo de nuevos RAV's basados en tecnología digital con microprocesador. Muchos beneficios son esperados del uso de microprocesadores como gran flexibilidad, mejoras en el autodiagnóstico y desempeño del control, información valiosa para el operador en forma local y remota.

Después de analizar los problemas generales y las ventajas derivadas del uso de la tecnología con microprocesador, se tiene un panorama amplio de muchos aspectos técnicos a ser considerados en el diseño del RAV digital y muestra las diferencias en la aproximación y los resultados esperados con respecto a la tradicional solución analógica, profundizando en los aspectos de diseño respecto a las arquitecturas de hardware y software, la confiabilidad y la seguridad, la interfaz al operador, las variables que afectan la respuesta dinámica y el criterio para evaluar la alteración dinámica.

Con el paso de los años en todos los sectores industriales se ha suscitado un rápido crecimiento en las aplicaciones basadas en tecnología con microprocesador. También en las aplicaciones de control para sistemas de excitación la tradicional prudencia en servicio y manufactura no permiten reconocer los avances de los excitadores con un sistema de control digital. La tendencia de la tecnología con microprocesador se ha encaminado de una forma continua a incrementar el desempeño, en términos de rapidez de cálculos y funcionalidad por medio de la integración de un chip con una gran capacidad de actividades, que en el pasado representaban un gran número de componentes externos. Además los convenios entre fabricantes electrónicos sobre especificaciones de carácter no propietario para buses estándar abiertos como VMEbus, Multibus, STDbus, PCI, etc., los cuales hoy día tienden a considerar referencias internacionales respecto al tema, tienen estimulados a los fabricantes electrónicos a desarrollar tarjetas con microprocesadores de una alta densidad de integración, que poseen una gran variedad de dispositivos como memoria, temporizadores, puertos paralelos y seriales, puertos ethernet, controladores para bus de campo, etc. y diferentes tipos de tarjetas de entrada/salida (I / O) para satisfacer los estándares internacionales. Una evolución similar a tenido lugar también en el campo del software: muchos desarrollos de ambientes poderosos han sido ofrecidos al mercado por casas de software especializadas. Semejantes ambientes incluyen un gran número de herramientas (como depuradores, autodiagnóstico, analizadores, gráficos, librerías de funciones matemáticas y lógicas sofisticadas, etc.) para desarrollar el código de operación rápido y fácil, además de permitir independencia del Hardware. En resumen, la posibilidad de realizar productos de Software y Hardware junto con su alto rendimiento y el asociado bajo costo, hacen conveniente el uso de la tecnología digital y factible también para el control de excitación de generadores síncronos, tradicionalmente reservado a soluciones analógicas.

Con lo expuesto anteriormente pueden obtenerse aplicaciones de funciones de control y el mejoramiento del desempeño del Regulador Automático de Voltaje (RAV).

A continuación se enlistan los beneficios adquiridos por el uso de la tecnología con microprocesador:

- Gran flexibilidad y adaptabilidad a diferentes necesidades prácticas.
- Reducción del número de tarjetas electrónicas a utilizarse en la realización práctica.
- Mejoramiento en el uso de interfaces al usuario, las cuales presentan gráficos e interacción amigable.
- Mejoras en los algoritmos de control, alarmas y funciones de protección.
- Sofisticadas tarjetas electrónicas de autodiagnóstico.
- Fácil y exacta configuración para cambio de valores de parámetros de control, independencia de las condiciones del medio ambiente; además la tecnología con microprocesador hace fácil la adición de nuevos elementos funcionales para el sistema tales como:
 - El control adaptivo o no lineal.
 - La comunicación de datos con el sistema de supervisión de la planta de potencia.
 - El monitoreo en línea y el registro de importantes variables de control, proceso y hasta transitorios.
 - La simulación de la unidad generadora bajo control del RAV, para un chequeo preliminar de los valores de los parámetros de control sin interferir con la planta.

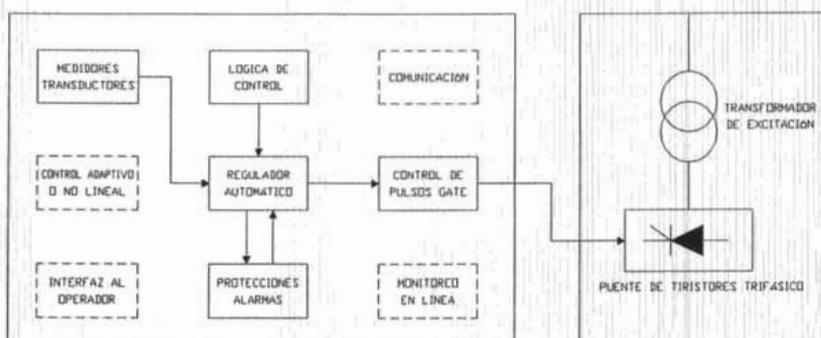
En el mercado internacional ha crecido la atención de fabricantes electromecánicos, de accesorios para RAV's basados en microprocesador y en general para controladores de plantas (como convertidores de frecuencia estáticos, bombas y controladores de ventiladores, etc.) en el uso de la tecnología digital.

En el futuro se puede pronosticar que la tecnología con microprocesador dominará el mercado del control de excitación para pequeños y grandes generadores.

Sistemas de control de excitación para generadores síncronos.

El esquema general de un sistema de excitación moderno se muestra en la siguiente figura. Esta consiste en dos partes respectivamente denominadas *unidad de control* y *unidad de potencia*.

ESQUEMA PRINCIPAL DE UN SISTEMA DE EXCITACIÓN ESTÁTICO MODERNO



En la unidad de control los bloques marcados con líneas continuas representan las funciones convencionales como lo son: medición y transducción de cantidades del proceso, lógica de control, regulación automática, alarmas y protecciones, control por fase y pulsos de disparo. Los bloques marcados con línea punteada muestran las funciones adicionales, que pueden ser fácilmente implementadas usando sistemas de control digital. Los elementos de la unidad de potencia son la corriente de excitación para el devanado de campo del alternador y consiste principalmente de un puente de tiristores trifásico totalmente controlado.

A continuación se da una breve descripción de las características y desempeño de la unidad de control analógica convencional, esto como referencia para la especificación requerida y el correcto diseño de uno digital. Refiriéndonos a la figura anterior:

- El primer bloque a la izquierda arriba incluye circuitos para medición de las siguientes cantidades del proceso: potencia activa y reactiva, voltaje generado en terminales de la máquina, voltaje y corriente de excitación, velocidad y frecuencia del generador. La mayor parte de estas mediciones requiere alta resolución (12 bits para transductores digitales) y respuesta rápida (respuesta menor a 20 ms).
- El segundo bloque denominado *Regulador Automático* está constituido por diversos lazos de control. El voltaje en el estator es el lazo de regulación principal y esta provisto de realimentaciones adicionales para mejorar la estabilidad electromecánica (Sistema de Estabilización de potencia, cuyas siglas en inglés son PSS) y para compensar la baja carga reactiva (compaund). Los lazos auxiliares limitan el punto de trabajo del generador dentro de rangos seguros de operación para subexcitación, sobreexcitación y para máximo flujo en el estator. Un posible lazo auxiliar provisional, que se traslapa con el anterior, regula la potencia reactiva de la máquina. El lazo principal requiere un ancho de banda de 5 a 10 rad/s.

- El bloque que se encuentra a la derecha del anterior controla la fase de los pulsos de disparo de los tiristores, manteniendo el ángulo de disparo dentro del rango permitido, compensa las variaciones de ganancia y hace la característica del puente rectificador lineal.
- Los dos bloques restantes con línea continua, representan el control y la lógica de protección. Ellos manejan los diferentes modos de operación del RAV, detectando fallas o condiciones de operación incorrecta y proveen señales de alarma propias en orden para mejorar la seguridad e integridad del sistema.

Pasando de la tecnología analógica a la microprocesada, los problemas más críticos que requieren un cuidado especial en la fase de diseño son:

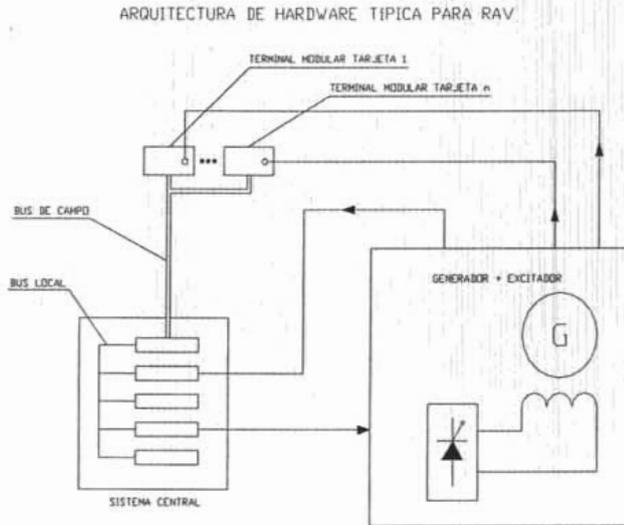
- La exactitud, resolución, tiempo de respuesta de mediciones, transductores y modulador de fase de pulsos de disparo para los tiristores del puente rectificador.
- El desempeño dinámico de los lazos de control, tomando en cuenta la alteración dinámica debida al tratamiento de muestreo y retención de los datos de las entradas analógicas digitalizadas.
- La viabilidad y posibilidad de las realizaciones prácticas.

Tópicos de diseño del RAV.

Muchos aspectos diferentes tienen que ser analizados en la planeación y el desarrollo de RAV's basados en microprocesadores, estos se mencionan a continuación: las características de las funciones de regulación y su desempeño dinámico, la complejidad y organización de las alarmas, protecciones y lógica de supervisión, la velocidad y la precisión de las mediciones, el autodiagnóstico, el ajuste de los valores de los parámetros de control, la complejidad y el nivel de interacción de la interfaz al operador, la viabilidad y disponibilidad de la operación del sistema de control, la compatibilidad electromagnética y climática de los aparatos digitales, etc. Otros aspectos a ser considerados a fondo durante la fase de diseño son: La selección del Hardware, la cual puede ser de propósito general o propietario, su arquitectura y la disponibilidad de un ambiente desarrollado en un software poderoso, para revisar fácilmente alguna corrección en el código de aplicación, así como, para simplemente ejecutarla en las diferentes plataformas. Diferentes filosofías de diseño caracterizan el desarrollo del sistema de control digital. La mayoría de los RAV's construidos basan su diseño de sistema de control digital en la replica de la probada y digna de confianza versión analógica, en lugar de desarrollar un proyecto completamente nuevo en la nueva estructura tecnológica con microprocesador.

Arquitectura del hardware del RAV.

Uno de los primeros pasos es determinar que se desarrollará dentro y que se desarrollará fuera del proyecto. Se han seguido diferentes soluciones. Grandes compañías las cuales venden un gran número de sistemas de excitación por año, desarrollaron software y hardware de propósito específico en el pasado, mientras que otras únicamente el software y empleaban hardware de propósito general y herramientas de desarrollo. Donde hardware, software y herramientas de desarrollo fueron diseñados para manejar sistemas electrónicos de potencia en general, allí es donde el RAV es una de las aplicaciones más rentables. El hardware de propósito específico teóricamente da algunos contratiempos al proyecto, pero usualmente da altos costos. Las experiencias del pasado muestran que los proyectos basados en hardware de propósito general no presentan contratiempos y hace fácil la interfaz con sistemas externos (compatibilidad). En adición, estos productos no requieren esfuerzos de innovación y mantenimiento para el hardware y el software, gracias a los continuos adelantos de las herramientas en el mercado para software de análisis y tarjetas de prueba. Sin embargo, el uso de hardware comercial para funciones críticas puede ser económicamente conveniente. Las compañías evalúan todas las posibles soluciones con atención porque una gran estrategia económica puede comprometer el futuro del producto. Desafortunadamente una buena solución no es fácil de encontrar, esta depende de conocimiento interno, participación en el mercado, presupuesto y otras consideraciones económicas. La configuración de hardware de los novedosos RAV'S digitales, en el caso de arquitectura descentralizada, consiste de un sistema central y de un rack modular con tarjetas plug-in con jacks externos para medición de puntos de interés. El sistema central, ver siguiente figura, consiste principalmente de un CPU y tarjetas de conversión A/D y D/A, las cuales se comunican entre sí por medio de un bus local. Estas ejecutan tareas como medición, filtrado, regulación, lógica y comunicación, así como muestreo y retención de las mediciones y variables de control que requieren un gobernador rápido. Cada vez menos datos críticos son manejados por las tarjetas terminales modulares, las cuales llevan a cabo una distribución de las entradas y salidas. Estos periféricos en tarjetas se comunican con el sistema central por un bus de campo.



Organización del software y desarrollo del medio ambiente de programación del RAV.

El software del RAV, se ejecuta por las tarjetas CPU del sistema central, implementa medición y filtrado, regulación, lógica, disparos, monitoreo y funciones de comunicación. El software es normalmente organizado en tareas, caracterizado por frecuencias de ejecución diferentes, para optimizar los recursos del hardware y llevar a cabo el rendimiento dinámico requerido. Por ejemplo las funciones de filtrado se ejecutan con frecuencias grandes para evitar la introducción de posibles alteraciones dinámicas de los asociados lazos rápidos de control, mientras que la comunicación con el MMI (interfaz hombre máquina) puede ser ejecutado con bajas prioridades, sin decrementar el rendimiento general. Para controlar el tiempo de la CPU y la ejecución de tareas, son adoptados, bases de datos de propósito específico, elementos de tiempo real o sistemas operativos. Estos dan el control a la CPU para realizar tareas con la frecuencia correcta de acuerdo a su nivel de prioridad. El itinerario de la base de datos de propósito específico, se realiza para ser optimizado pero representa una solución rígida: pocos cambios en el software son necesarios para generar una nueva lista para el nuevo itinerario. Los sistemas operativos son más flexibles, estos permiten realizar un plan y estructurar una solución, pueden manejar también recursos complejos, como manejadores y protocolos para la comunicación con LAN (Local Area Networks). Si el sistema operativo es estándar su ventaja es que es portátil, pero presenta la desventaja de que sus recursos no se pueden optimizar y por lo tanto se requiere de un hardware digital poderoso. Los

elementos de tiempo real son una solución intermedia, a pesar del bajo uso de los recursos del CPU es posible abastecer primitivas herramientas para organizar la ejecución del software.

Consideraciones similares caracterizan la organización del software: lenguajes de programación de bajo nivel nos conducen a soluciones optimizadas, mientras que los lenguajes de programación de alto nivel y sus programas estructurados nos conducen a soluciones sencillas. Ambientes en tiempo real de propósito general, son actualmente desarrollados y presentados al mercado para proveer útiles herramientas para escribir, compilar, y para examinar el software. Algunos de ellos pueden instalarse en PC's y permitir una depuración remota, tienen la capacidad de bajar el código máquina en las memorias de las tarjetas del CPU y monitorean la ejecución como depuradores normales, mostrando el alto o bajo nivel de procesamiento del código.

Confiabilidad y seguridad.

Típicamente el cuidado en la selección del hardware consiste en la posibilidad de mejorar para sistemas de tiempo real. El hardware digital es capaz de correr códigos residentes en EPROM o flash EPROM y almacenar parámetros operativos en EEPROM. Los circuitos Watch dog son usualmente requeridos en las tarjetas para detectar mala operación de la CPU y otras condiciones de fallo que pudieran ser fatales. El software también puede mejorar la confiabilidad. Este verifica la coherencia de las mediciones, filtra las entradas digitales y monitorea el correcto trabajo de los periféricos. Otras precauciones son por ejemplo la revisión redundante cíclica y los check-sums, que son usados para controlar y recobrar errores en datos. Diversas configuraciones de RAV'S son utilizadas para diferentes tamaños de plantas. Los grandes generadores son controlados por excitadores que tienen dos y en algunas ocasiones hasta tres sistemas centrales. Una de las más populares configuraciones de redundancia consiste de dos sistemas centrales idénticos (canales), uno está activo mientras que el otro está en espera, listo para activarse cuando el primero tenga alguna falla.

Interfaz al operador.

Una efectiva y amigable interfaz al operador debe ser fácil de implementar. Esta permite ajustes fáciles y exactos de datos para el usuario, parámetros de regulación y despliegue en línea de las variables más importantes del proceso. Un amplio grupo de diferentes Interfaz hombre Máquina (en inglés Man Machine Interfaces, **MMI**) son posibles, pasando de un simple display LCD y botones dedicados a un monitor gráfico a colores con un estándar o un teclado dedicado sobre una PC portátil. El intercambio de datos con el cuarto de control del sistema supervisorio es posible a través de una LAN.

Rendimiento dinámico.

Factores críticos afectan el comportamiento dinámico de los sistemas de control digital, entre ellos tenemos: el método de integración numérica y la duración del paso de integración. Analizando la dinámica de comportamiento de los sistemas discretos, se

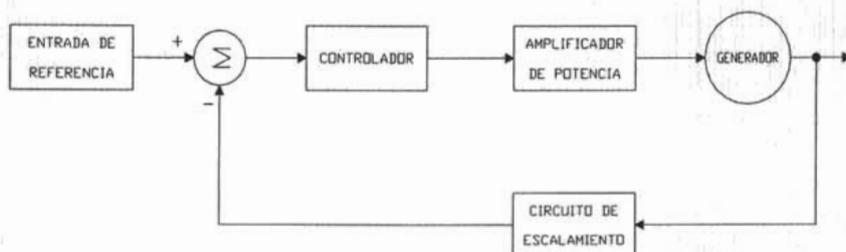
garantiza, que en los modos de operación que llevan un algoritmo de integración son estables y convergentes en el tiempo. El valor del paso de integración τ afecta fuertemente los polos dominantes del sistema dinámico, el valor más bajo en la mayoría de los sistemas discretos aproxima el correspondiente modelo continuo y el valor alto es el rendimiento requerido por el hardware digital, el cual controla tales dinámicas.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Los métodos empleados para proveer el control de la excitación a generadores síncronos están desarrollándose. Hay una creciente tendencia hacia el uso de electrónica digital para llevar a cabo el control y las funciones de protección de los sistemas de excitación modernos. Estos sistemas de excitación digital o Reguladores Automáticos de Voltaje (RAV), no son justamente versiones digitales de su contraparte analógica, pero contienen sofisticadas funciones de control que no son disponibles en los sistemas analógicos. El uso de medios digitales en el control primario de los sistemas de excitación se ha considerado recientemente factible. A continuación se define un sistema de excitación básico para direccionar las características, funciones y beneficios de la tecnología de excitación digital sobre la analógica.

Diagrama a bloques de comparación

El diagrama a bloques simplificado de un sistema de excitación analógico tradicional para generadores síncronos se muestra en la siguiente figura:



La figura anterior muestra una entrada de referencia que es comparada por un amplificador sumador con un muestreo escalado de las variables de salida importantes del generador. La salida del amplificador sumador es modificada por el control, amplificada y proveída como una entrada al campo del generador. Las funciones de transferencia de

los diversos bloques son designadas de tal forma que se obtenga la respuesta deseada del generador. Estos bloques han sido tradicionalmente implementados vía circuitos electrónicos analógicos. La tendencia de la industria hoy día es hacia una implementación digital. El diagrama a bloques de un sistema de excitación digital simple se muestra en la siguiente figura :



Los bloques dentro de la línea punteada son típicamente implementados por tecnología digital, en particular por uno o más microprocesadores. Los bloques de interfaz denominados A/D y D/A se utilizan para convertir las señales de analógicas a digitales y de digitales nuevamente a analógicas respectivamente.

Descripción del sistema de excitación digital.

La referencia de entrada para un excitador digital es típicamente una palabra digital mantenida en la memoria de acceso aleatorio (RAM) del microprocesador. Esta referencia es comparada con una palabra digital representativa de las salidas del generador. El voltaje de salida del generador se usa típicamente, pero otras variables como la corriente de línea, frecuencia, potencia real y reactiva, etc. pueden también utilizarse en el esquema de control. Las variables de salida del generador son escaladas bajo niveles apropiados y convertidos a palabras digitales por el convertidor A/D. La comparación de las variables controladas contra la referencia se realiza también digitalmente por una rutina matemática en el microprocesador. El resultado actúa entonces sobre la lógica del control, la cual consiste de un grupo de ecuaciones implementadas por una serie de instrucciones dentro de la memoria de programa del microprocesador. Estas instrucciones ejecutan el algoritmo de control diseñado para conseguir una operación estable. Los

métodos clásicos de control pueden ser utilizados, ejemplos de ellos son, el proporcional, proporcional integral (PI), proporcional integral y derivativo (PID). En adición, nuevos esquemas pueden ser utilizados como son control por lógica difusa y control adaptivo. El resultado de la rutina de control es convertida entonces a una señal analógica apropiada para manejar el estado de los amplificadores de potencia del sistema de excitación. Esta tarea es realizada por un convertidor D/A para generar los pulsos de puerta para los amplificadores de potencia directamente del microprocesador. El estado de los amplificadores de potencia proveen la cantidad requerida de voltaje de DC y corriente para el generador o campo de excitación.

Características de un sistema de excitación digital y sus funciones.

Hay muchas características disponibles adicionales en sistemas de excitación tanto analógicos como digitales. Aquí se describen algunas de estas características que son características exclusivamente digitales y que no se encuentran comúnmente en los sistemas de excitación analógicos.

Algoritmos de control sofisticados:

Los sistemas digitales tienen la capacidad de implementar sofisticadas ecuaciones para control denominadas algoritmos. Estos esquemas de control pueden ser no lineales, basados en grupos difusos, adaptivo, o algún otro tipo de control. Las ecuaciones de control pueden incluir otras funciones como son:

- Control de excitación discontinua (DEC) o Control de excitación Transitoria (TSEC): Esta es una función de control que amplifica la excitación siguiendo severas fallas en el sistema de potencia. Esta característica puede mejorar la estabilidad después de haber ocurrido la falla, forzando la excitación para que la salida de voltaje se vaya al techo por un largo periodo que normalmente ocurre por debajo del control del RAV. DEC puede ser utilizado problemas específicos asociados con un sistema o planta de generación también específico. DEC también se ha utilizado para incrementar el voltaje en terminales del generador para prevenir que se atasque el motor de la bomba de refrigerante durante ciertos eventos del sistema.
- Estabilizador del sistema de potencia (PSS): Es un control suplementario que modifica la excitación para amortiguar las oscilaciones en ángulo del rotor. Este control esta disponible como un dispositivo por separado en los sistemas de excitación analógica. Estos dispositivos PSS pueden ser basados en electrónica analógica o digital. Los sistemas de excitación digital pueden tener el PSS construido en una parte del código del microprocesador previsto para un sistema compatible. Los algoritmos de control del PSS digital pueden incluir sofisticadas funciones de control que son difíciles de realizar con circuitos analógicos.
- Control por Factor de Potencia o por VAR's: Este es un modo de operación que permite mantener la salida de VAR's o de Factor de Potencia por debajo o igual a un valor preajustado. Este control puede ser implementado vía regulación directa del

Factor de Potencia o de los VAR's por medio de un punto de ajuste fijo o la modificación de dicho punto de ajuste a través del Regulador Automático de Voltaje. Este control esta típicamente disponible en sistemas analógicos, pero es fácil de implementar en sistemas digitales y resulta además mucho mejor el desempeño.

- Limitadores de Subexcitación y Sobreexcitación: (UEL/OEL): Son funciones de control que operan para limitar el nivel de excitación para evitar sobrecalentamiento en el sistema de control de excitación o pérdida de sincronismo del generador. Estas funciones están disponibles en los sistemas de excitación analógicos como dispositivos por separado, pero son típicamente integrados dentro de los sistemas digitales. La implementación digital permite más sofisticadas acciones de limitadores, que se aproximan más a la curva de capacidad de la máquina. Es posible tomar en cuenta estos sofisticados límites para tomar la temperatura del devanado del generador, permitiendo cerrar e igualar con el limitador, la capacidad del generador.
- Limitadores de corriente en el estator (SCL): Son otras funciones de limitadores que actúan para limitar la salida de corriente del generador vía control de excitación. Estos controles están normalmente provistos como dispositivos separados en los sistemas analógicos. Los sistemas digitales pueden incluir esta función como parte de su algoritmo de control normal, provisto para mejorar rendimiento mientras que este operando el limitador y estabilizar transitorios dentro y fuera del limitador.
- Capacidad de comunicaciones: Los sistemas de excitación digital tienen disponible alguna forma de comunicación para el usuario. La forma más simple es a través de teclado local con display. Esquemas más sofisticados están disponibles como son; enlace serial local, enlace serial remoto, modem, red de área local, etc., los datos disponibles a través de estos enlaces incluyen: valores de entrada, valores de salida, ajustes, señales internas, límites, estado de los relevadores de control, condiciones de entrada entre otras. Las capacidades de comunicación pueden usarse para intercambiar datos con otros controladores en el sistema, tales como, el gobernador de velocidad o un control supervisorio.

Las características de las comunicaciones pueden permitir el control directo de los relevadores del sistema de excitación, para forzar estados de operación específicos.

- Ajustes del punto de operación de forma estática: Los sistemas digitales típicamente trabajan con palabras digitales para la variación controlada de parámetros, tales como; voltaje en terminales del generador, nivel de excitación manual, punto de ajuste para control por VAR'S o por Factor de Potencia, entre otros. El cambio de estos parámetros es realizado fácilmente vía contactos de entrada subir y bajar (Raise/Lower) para el microprocesador o mando directo desde la computadora de la planta generadora.

Los sistemas analógicos típicamente usan voltajes analógicos de nivel bajo, para controlar parámetros y el control de operación requerido para el motor (Raise/Lower) o un separado ajuste de punto de operación estático remoto.

- Almacenamiento y grabado de datos: Los equipos reguladores de la excitación poseen la habilidad de grabar varios parámetros asociados con su operación. Estos parámetros pueden ser externos provenientes del generador o internos al sistema de excitación tales como la contribución del estabilizador del sistema de potencia. Esta característica permite proveer datos directamente del sistema de excitación a un grabador de datos externo vía convertidores D/A.
- Medición: Muchos sistemas analógicos requieren dispositivos externos para medición de los diversos parámetros del sistema. Los sistemas digitales permiten el despliegue de varios parámetros del sistema de generación, que no están disponibles normalmente en un sistema analógico, sin incluir algunos transductores adicionales. El sistema de excitación puede ser enlazado a una computadora principal para proveer la medición de estas cantidades, esto reduce el cableado requerido para la función de medición.

Beneficios de los sistemas de excitación digital.

Los sistemas digitales presentan muchas ventajas sobre los sistemas analógicos del pasado. Los sistemas digitales son relativamente inmunes a la variación del valor de sus componentes, y los problemas asociados con la tolerancia de los componentes y el cambio de temperatura. Cualquier cambio o variación en las señales de control, usualmente ocurren cuando hay componentes pasivos en el formato analógico. Si únicamente digitalizamos las señales, desaparece el problema de la susceptibilidad a la variación de componentes.

Los sistemas digitales proveen mucha más información y capacidad de control que muchos sistemas analógicos. Muchas de las características mencionadas están disponibles también en los sistemas de excitación analógicos, pero la gran exactitud y precisión de la implementación digital marca la pauta como un beneficio más al usuario. Debido al costo reducido de la implementación digital, estos tipos de controles son usados más frecuentemente. La implementación de estos controles internos para el sistema de excitación básico incrementa el rendimiento sobre los sistemas analógicos viejos, los cuales utilizan generalmente módulos por separado. La adición de estos controles a un sistema digital no presenta ningún problema pues no se requiere ninguna adición de hardware para su implementación.

La seguridad y protección de la excitación del generador síncrono se logra fácilmente utilizando un segundo procesador que ejecuta el mismo algoritmo pero con puntos de ajuste holgados en relación con los del procesador principal. Cuando el costo de un sistema de excitación digital es comparado con un sistema analógico, el costo por función es típicamente bajo, pero el sistema digital representa más valor al comprador.

- Autodiagnóstico y sistema de diagnóstico: Los sistemas de excitación digital típicamente poseen diagnósticos en línea. Estas características son benéficas al usuario, pues le permiten la detección temprana de fallas y permiten un paro seguro

de la unidad generadora de ser necesario por la detección de fallas en módulos o sectores del sistema de excitación.

- Ajuste y carga de datos en línea: Los sistemas de excitación digital poseen la característica de cambiar datos de manera exacta y precisa sin necesidad de la operación del generador o sofisticados procedimientos de ajuste. Dado que los parámetros del controlador son a menudo definidos en unidades de ingeniería como volts, amperes, en por unidad, o en porcentaje del valor de escala completa, el ajuste de una función es realizado fácilmente vía una computadora como interfaz. El usuario puede simplemente conectarse a una terminal remota o computadora dentro del sistema de excitación y ajustar diversos parámetros prioritarios o la necesidad de ajuste que se presente. Esta característica reduce el tiempo de ajuste para un sistema de excitación específico. El uso de valores en por unidad permiten la fácil coordinación de los ajustes de los limitadores. Los ajustes pueden ser catalogados a través de datos proporcionados por los fabricantes del generador.
- Sistemas de seguridad: La seguridad en los ajustes de los sistemas de excitación ha sido una preocupación desde hace mucho tiempo. Los sistemas digitales ofrecen muchos estilos de seguridad para los ajustes, desde un panel frontal de seguridad hasta sofisticados códigos de seguridad multinivel.

Los sistemas de excitación tradicional utilizan electrónica analógica, la tecnología ha evolucionado tanto que la implementación digital de sistemas de excitación es ahora posible. Las características encontradas en los sistemas de excitación pueden ser implementadas vía ambas tecnologías. La excitación digital ha empezado a ser preferida por sus complejos sistemas multicaracterísticas, además de la tendencia de simplificar los sistemas en general.

1.3 ESTADO DEL ARTE

El sistema eléctrico nacional ha venido evolucionando en un crecimiento constante de centrales generadoras, para corresponder de una manera equilibrada con la demanda producida por los usuarios industriales y domésticos.

A partir de la década de los 80's el impulso tecnológico se ha encausado hacia una aplicación en todos los campos de ingeniería, de herramientas electrónicas y operadas por medio de computadoras (microprocesadores) que han hecho propicio un avance tecnológico en el campo del control y la automatización de procesos utilizando microprocesadores de alta respuesta y por ende con posibilidades de manejar mayor número de señales de control.

No podría excluirse el uso de estas herramientas de control de sistemas eléctricos de potencia, en donde ha sido de gran impacto la aplicación para el control de rectificadores estáticos de gran capacidad (arriba de 1KA de CD).

Los rectificadores controlados por medio de microprocesador se han introducido para auxiliar en el funcionamiento de reguladores de voltaje y son aplicados en gran medida en las actuales centrales generadoras que operan en todo el mundo.

Reguladores de voltaje para generadores síncronos.

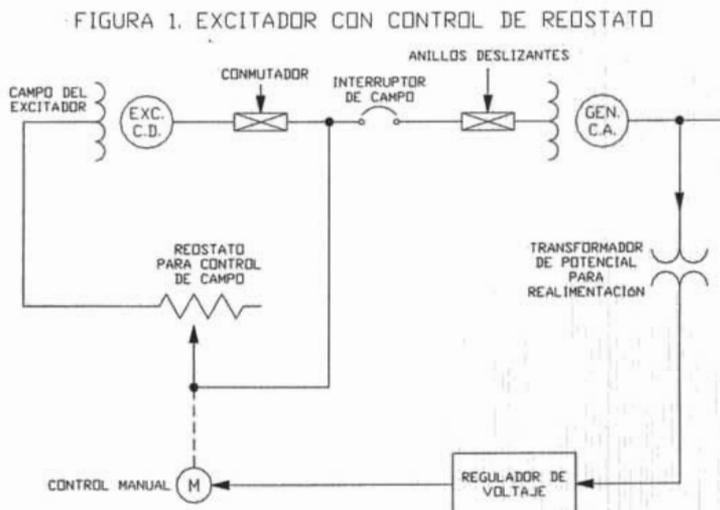
Los primeros reguladores de voltaje fueron totalmente manuales. El operador observaba el voltaje en terminales del generador y ajustaba por medio de un reóstato que formaba parte del propio regulador de voltaje, para obtener el voltaje en terminales de la máquina deseado.

En los sistemas modernos de voltaje es un controlador que sensa el voltaje en las terminales del generador y la corriente para iniciar la acción correctiva excitando o desexcitando según lo requiera el sistema. La velocidad de respuesta influye en la estabilidad del sistema.

Primeros sistemas de excitación.

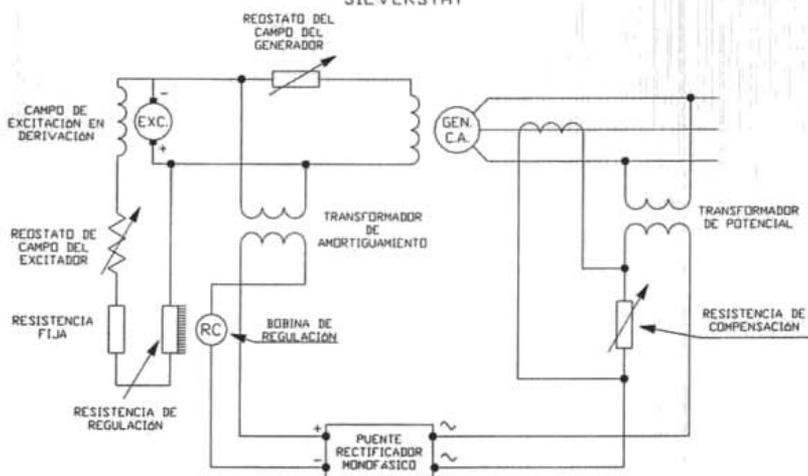
Los siguientes diagramas presentan sistemas típicos de excitación.

Se consideran los clasificados como de "respuesta lenta". La siguiente figura muestra el esquema de un sistema de excitación basado en un excitador principal con un control manual o automático de campo. El regulador en este caso detecta el nivel de voltaje e incluye un dispositivo mecánico para cambiar la resistencia del reóstato de control.



En la siguiente figura un incremento en el voltaje de salida del generador causará un aumento de voltaje a la salida del rectificador, lo que ocasionará un incremento en la corriente de la bobina reguladora, la cual opera mecánicamente una solenoide para mover los elementos resistivos del campo del excitador, esto reduce la corriente y el voltaje de excitación, por tanto reduce el voltaje del generador. Este sistema tiene dos elementos adicionales, el transformador para amortiguamiento y el compensador de corriente.

FIGURA 2. REGULADOR DE VOLTAJE AUTOEXCITADO CON REGULADOR SILVERSTAT



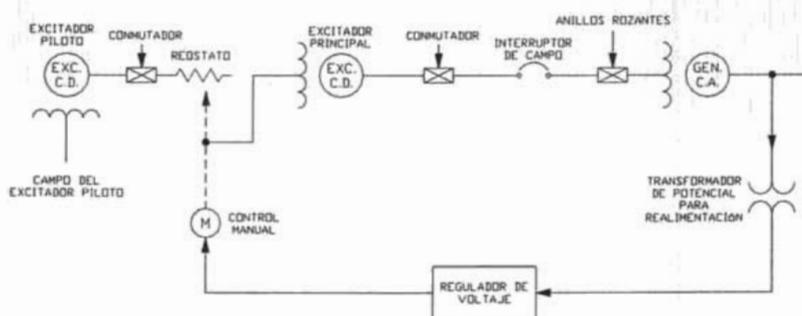
El transformador de amortiguamiento impide eléctricamente un movimiento excesivo de los elementos mecánicos, logrando así un control más fino. El compensador de corriente es utilizado para control y distribución de potencia reactiva cuando operan dos o más generadores en paralelo. El transformador de corriente y la resistencia de compensación producen una caída de voltaje en el circuito, proporcional a la corriente de línea.

La relación de fase para una corriente generada atrasada (Potencia reactiva generada +) aumenta la caída de voltaje a través de las resistencias de compensación (potencial del transformador), haciendo bajar el voltaje de excitación por el aumento en el atraso de corriente (aumento en la potencia reactiva) proporcionando una característica que permite asegurar la distribución de potencia reactiva en proporción con las máquinas conectadas en paralelo.

El siguiente sistema de excitación es el formado por un excitador principal y un excitador piloto como se muestra en la siguiente figura.

Este sistema tiene una respuesta más rápida que el del excitador con autoexcitación. El control de campo del excitador es independiente de la salida del excitador principal. El control es muy similar al utilizado en el caso de la autoexcitación; porque el posicionador del reóstato es electromecánico, la respuesta es baja comparada con los sistemas modernos, aunque más rápido que el sistema autoexcitado.

FIGURA 3. SISTEMA DE EXCITACIÓN CON EXCITADOR PILOTO



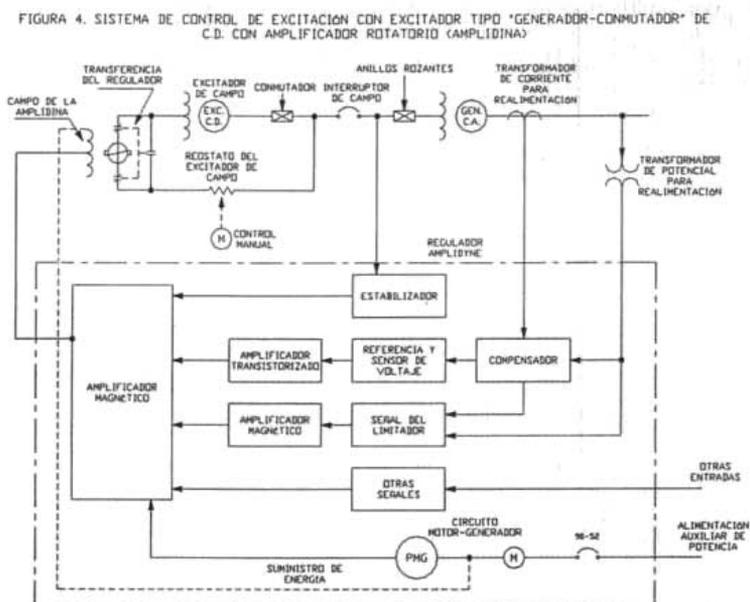
Los sistemas anteriormente descritos son ejemplos de sistemas antiguos que comparados con los actuales son muy lentos en su respuesta debido a la fricción en sus partes mecánicas, banda muerta grande y baja sensibilidad.

Un avance importante en el diseño de los reguladores se realiza al incluir retroalimentación y el uso de amplificadores, los cuales reciben la señal de error y la amplifican para producir cambios rápidos en la excitación. Gradualmente los generadores han aumentado su capacidad y su operación interconectada se ha hecho común, por lo que se han requerido sistemas de excitación cada vez más complejos.

Sistemas de control de excitación del tipo generador conmutador de c.d.

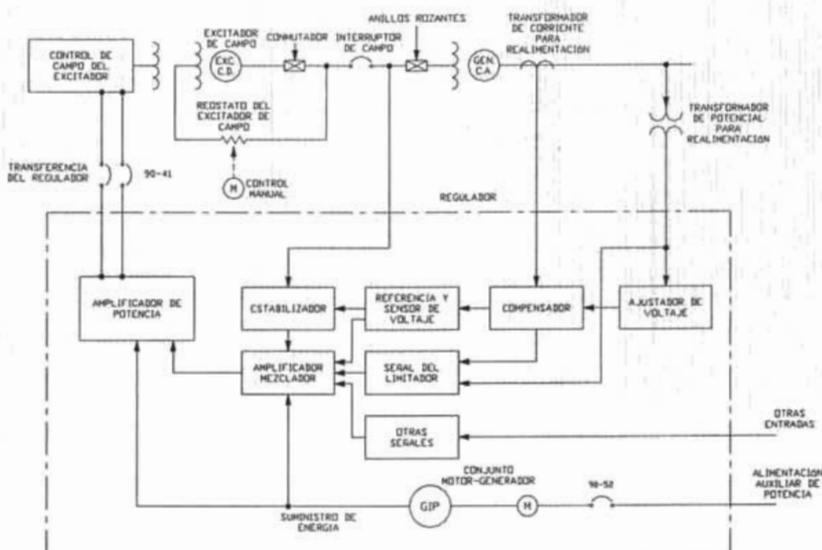
Dos sistemas han sido fabricados del tipo excitador generador de CD conmutador, ambos tienen amplificadores con retroalimentación, un amplificador giratorio y un amplificador magnético.

En la siguiente figura se muestra un sistema que incluye un amplificador rotatorio o amplidina en el circuito excitador de campo. Este amplificador es usado para forzar la excitación del campo en la dirección deseada resultando con esto una respuesta más rápida que el sistema autoexcitado anteriormente visto.



Otro sistema con excitación similar es presentado en la siguiente figura, donde el amplificador es del tipo magnético estático, obteniendo su alimentación de un generador de imanes permanentes. Ordinariamente la frecuencia de esta fuente de suministro es de 420Hz para incrementar la respuesta del amplificador.

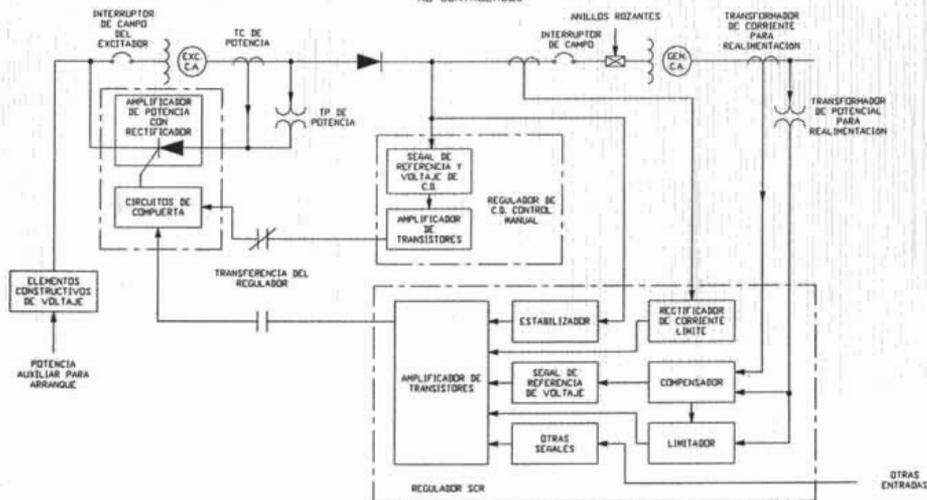
FIGURA 5. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACIÓN CON EXCITADOR TIPO "GENERADOR-CONMUTADOR" DE C.D. CON AMPLIFICADOR MAGNÉTICO ESTÁTICO



Observe que el excitador en este sistema tiene dos controles del campo uno para reforzar y otro para corrección más fina. Un tercer campo proporciona autoexcitación para operación en modo manual cuando el amplificador está fuera de servicio.

Con el advenimiento de la tecnología de estado sólido así como la disponibilidad y confiabilidad de rectificadores de alta corriente, otros tipos de sistemas han sido posibles. En el sistema que se muestra a continuación, el excitador es un generador de CA su salida es rectificadora para proporcionar la corriente directa requerida por el campo del generador. Los circuitos de control de estas unidades son también de estado sólido y su respuesta tan rápida como la constante de tiempo del generador lo permita. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este tipo de excitador.

FIGURA 6. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACIÓN CON EXCITADOR ALTERNADOR RECTIFICADOR UTILIZANDO RECTIFICADORES ESTACIONARIOS NO CONTROLADOS



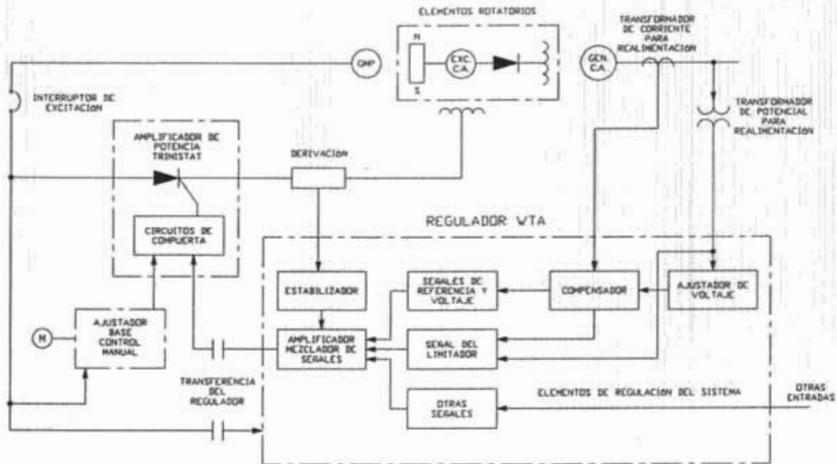
En este sistema la salida del alternador es rectificadora y conectada al campo del generador por anillos rozantes. El alternador-excitador es autoexcitado en derivación y controlado electrónicamente variando el ángulo de disparo de los tiristores (Rectificadores controlados de Silicio SCR). Esta característica permite que el control sea rápido por la facilidad de ajustar el ángulo de disparo de los SCR'S comparado con otras constantes de tiempo involucradas.

En la siguiente figura se muestra otro ejemplo del sistema alternador-rectificador. Este sistema es único sin escobillas por lo tanto no necesita anillos rozantes entonces el alternador excitador y los diodos rectificadores están girando con la flecha. El generador incluye un generador de imanes permanentes piloto (PMG) con un campo magnético permanente para suministrar el campo (estacionario) al alternador-excitador.

Así todo está acoplado electromagnéticamente entre componentes estacionarios y rotativos.

Obsérvese que es imposible medir directamente el campo del generador debido a que estos componentes están en movimiento con el rotor y los anillos deslizantes no son usados.

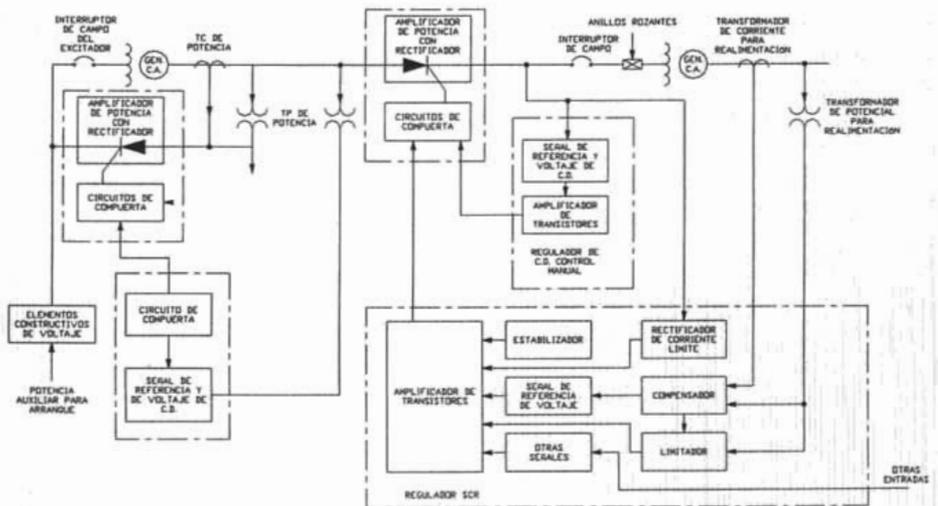
FIGURA 7. SISTEMA DE EXCITACION CON EXCITADOR TIPO ALTERNADOR RECTIFICADOR EMPLEANDO RECTIFICADORES ROTATORIOS



Sistemas de control de excitación con alternador y rectificadores controlados de silicio (SCR).

Un importante desarrollo en los sistemas de excitación ha sido el alternador SCR presentado en la siguiente figura.

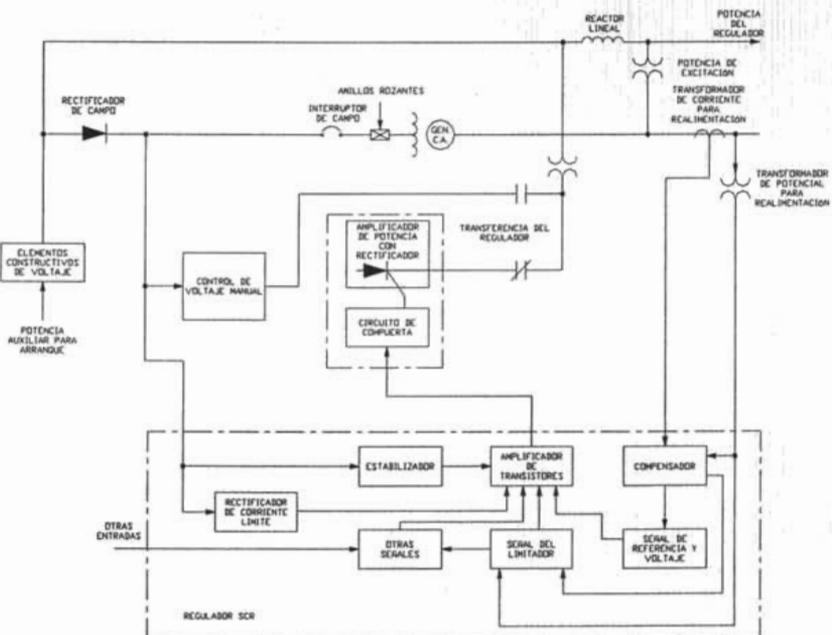
FIGURA 8. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACION CON EXCITADOR ALTERNADOR-SCR



En este sistema la excitación del alternador es suministrada directamente de un sistema de rectificadores controlados de silicio (SCR'S) con un alternador como fuente. Entonces solamente es necesario ajustar el ángulo de disparo de los SCR'S para cambiar el nivel de excitación y esto no implica retraso de tiempo. Esto requiere que para excitar se necesiten alternadores de gran capacidad para operar a voltaje de techo. En sistemas lentos el voltaje de techo es alcanzado después de un retardo de tiempo y la operación sostenida a este nivel no es deseada.

La siguiente clasificación del sistema de excitación es conocida como "Excitación con rectificación compuesta", el diagrama a bloques se presenta en la siguiente figura.

FIGURA 9. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACIÓN CON EXCITADOR RECTIFICADOR COMPUESTO



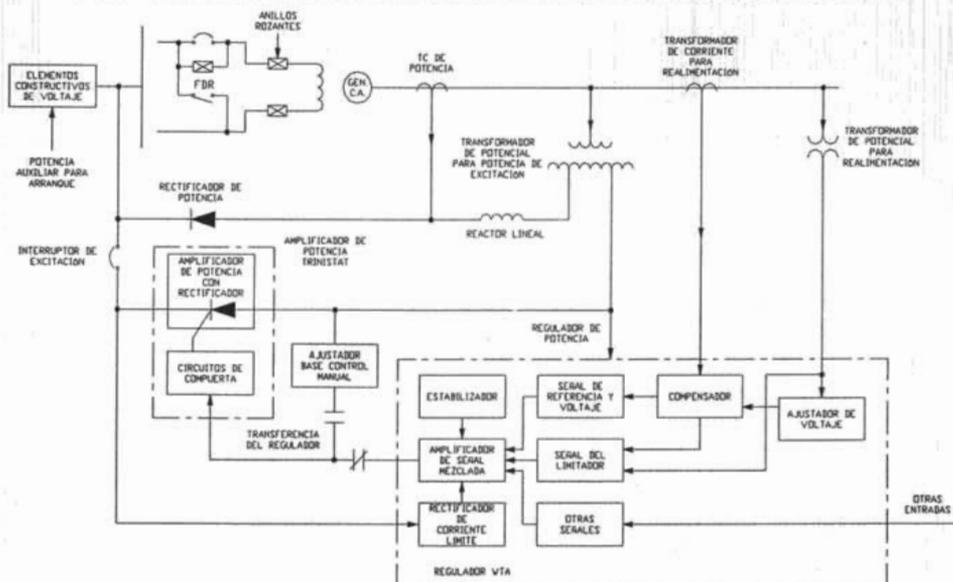
Este sistema puede ser visto como una forma de autoexcitación del generador principal. Obsérvese que la entrada al excitador viene de las terminales eléctricas de salida del generador y no de la flecha como en los ejemplos anteriores. Esta realimentación eléctrica es controlada por reactores saturables, el control, el cual es arreglado para usar ambas salidas de CA y valores del excitador como fuentes inteligentes.

Este sistema es totalmente estático y esta característica es importante. Aunque originalmente diseñado para usarse en unidades pequeñas, este mismo principio se ha utilizado en unidades grandes.

Las unidades autoexcitadas tienen la desventaja que la salida de voltaje de CA es baja y al mismo tiempo el excitador intenta corregir el bajo voltaje. Esto puede parcialmente compensarse por el uso de la corriente de salida también como voltaje en el esquema de control, de manera que la realimentación sea todavía suficiente para llevar a cabo un adecuado control.

Una variación del rectificador compuesto en el cual un segundo rectificador es agregado en la realimentación para la autoexcitación a fin de obtener un mejor control de la excitación, se presenta en la siguiente figura.

FIGURA 10. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACION CON EXCITACION DE RECTIFICADOR COMPUUESTO MAS FUENTE DEL EXCITADOR RECTIFICADA



Una vez más el esquema de un generador principal, básicamente, autoexcitado es evidente aquí, sin embargo el regulador de voltaje controla un segundo sistema rectificador. (denominado Amplificador de potencia Trínistat) para obtener el control de excitación deseado.

El sistema es totalmente estático y muy rápido solamente limitan las constantes de tiempo del reactor y del regulador.

La última categoría de los sistemas de excitación son aquellos donde el generador es autoexcitado y la rectificación es efectuada por SCR'S en lugar de diodos.

Dos sistemas son presentados a continuación en las siguientes figuras.

FIGURA 11. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACIÓN CON FUENTE DE POTENCIA RECTIFICADA

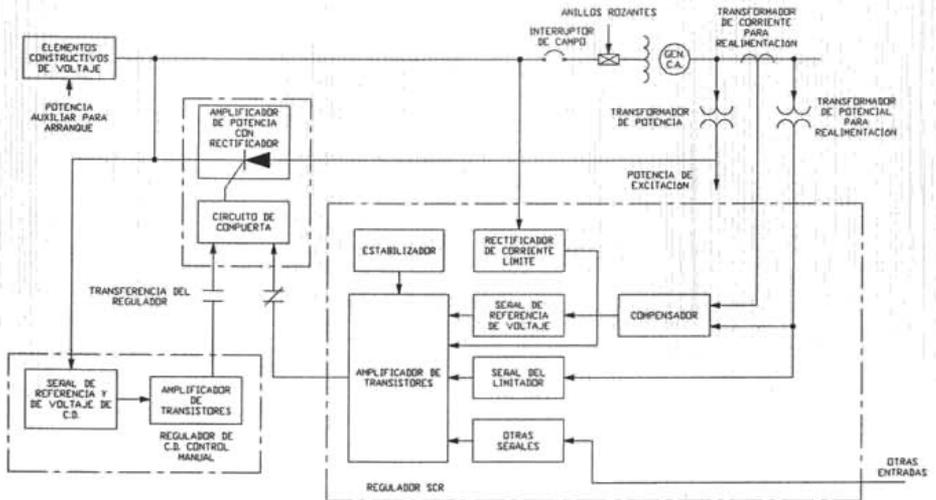
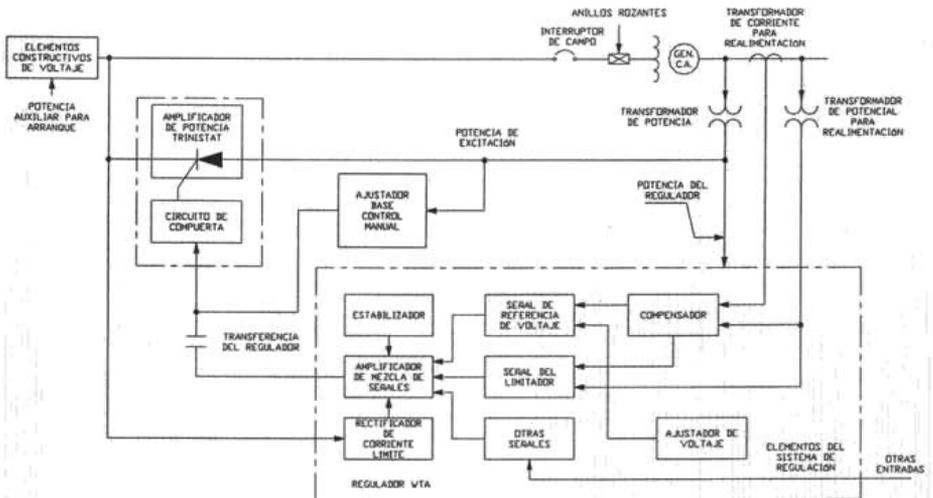
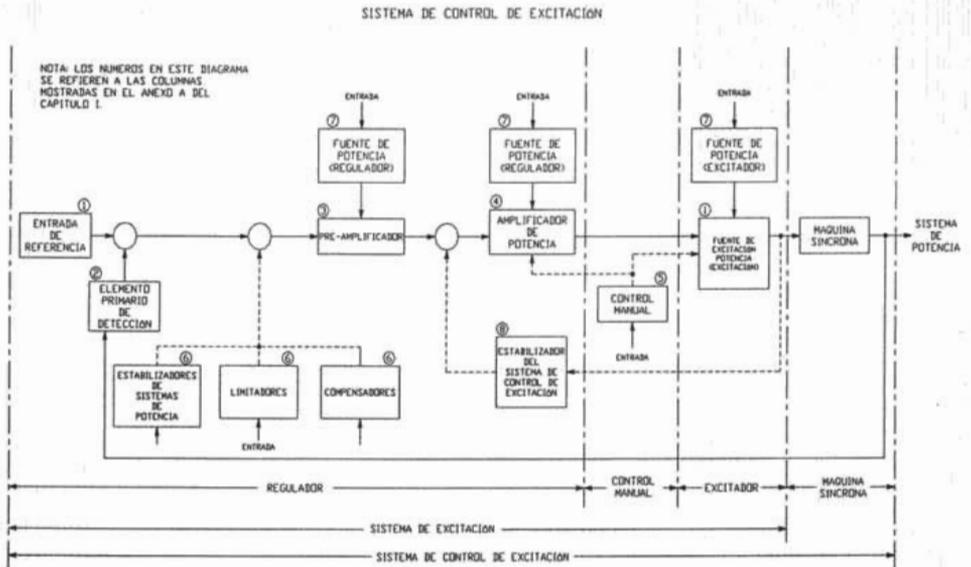


FIGURA 12. SISTEMA DE CONTROL DE EXCITACIÓN CON EXCITADOR DE POTENCIAL FUENTE-RECTIFICADOR



Ambos circuitos tienen reguladores estáticos de voltaje que sensan potencial y corriente, y los niveles de excitación para generar una señal de control a la compuerta de los SCR'S. Este tipo de control es muy rápido debido a que no hay retraso de tiempo en el control del ángulo de disparo de los SCR'S.

Todos los sistemas de excitación pueden visualizarse como sistemas de control automático con elementos de control anticipado y realimentación. Un arreglo general de los sistemas de excitación sería como el mostrado en la siguiente figura.



Detallándose la descripción en la tabla 1 del anexo A. Observe que la máquina síncrona es considerada parte del sistema de control de excitación, pero los elementos de control están referidos por simplicidad como "el sistema de excitación".

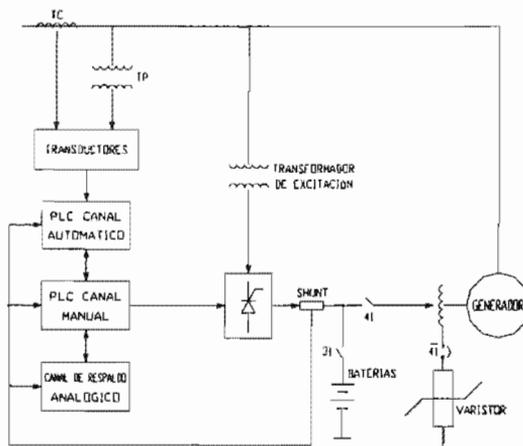
CAPITULO II GENERALIDADES SISTEMA DE EXCITACIÓN

El sistema estático de excitación, es un sistema diseñado para operar en generadores eléctricos de potencias desde algunos MVAS hasta 475 MVAS o mayores, no importando la característica del rotor del generador.

El sistema esta formado básicamente de un transformador de excitación que se conecta en derivación con el bus conectado a las terminales de salida del generador, la electrónica de regulación, los convertidores de potencia, los dispositivos auxiliares de medición TP's y TC's, así como la lógica remota de control por parte del usuario.

Como se muestra en la siguiente figura el transformador de excitación alimenta al excitador a través del voltaje en terminales del generador. El voltaje del secundario del transformador se calcula para alcanzar el máximo voltaje rectificado por los convertidores de potencia que correspondería al voltaje de techo permitido dadas las características del generador.

CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN AL REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE (RAV).

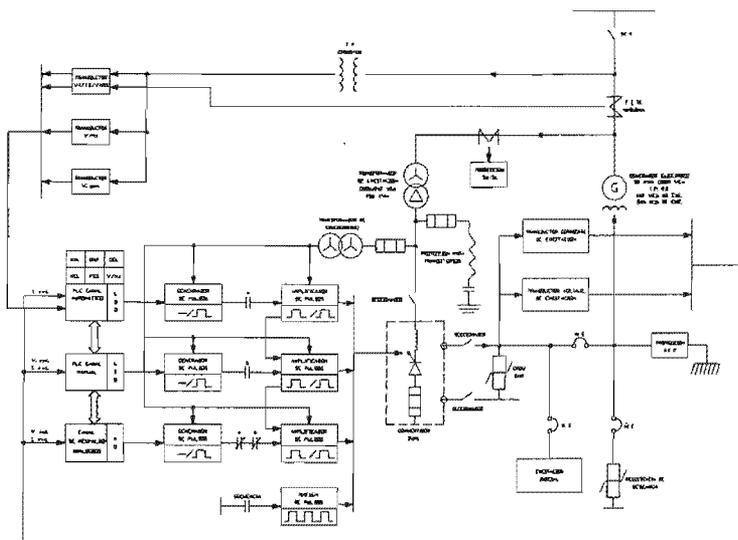


El excitador está formado de varios módulos funcionales, que realizan las siguientes tareas:

- Excitar el generador a partir del voltaje de baterías de la central generadora, ajustando el voltaje del generador al valor nominal en forma controlada en un tiempo mínimo.
- Rectificar en forma controlada el voltaje del transformador de excitación para aplicarla al rotor del generador a fin de controlar el voltaje en sus terminales de salida, (canal automático) o la corriente de excitación (canal manual o canal de respaldo analógico CRES).

- Mantener al generador dentro de sus límites normales de capacidad operativa controlando la excitación.
- Estabilizar las condiciones dinámicas de los sistemas interconectados y participar en la regulación de voltaje de los mismos.
- Supervisar el estado funcional del sistema de excitación tomando criterios de alarma y disparo si las condiciones operativas del equipo no son las normales.

2.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN



2.1.1 TRANSFORMADOR DE EXCITACIÓN

El transformador de excitación es un transformador de potencia. Este transformador por lo regular se suministra en un gabinete por separado del gabinete del excitador y puede ser instalado en interiores o exteriores. Si el transformador de excitación se va a instalar en interiores la construcción del devanado del primario puede ser realizada con aluminio o con cobre, el devanado del secundario se puede construir con devanado abierto (open wound) o cubierto con resina epoxica, si la instalación es en exteriores el transformador se debe suministrar con una estructura o gabinete resistente al agua.

La potencia para el transformador de excitación puede obtenerse de las terminales de salida del generador o de una estación de bus auxiliar. El propósito de este transformador es pasar del alto voltaje del bus utilizado a un voltaje por debajo del nivel requerido por

el sistema de excitación. El transformador es diseñado para soportar con seguridad el incremento de temperatura resultado de la operación normal del generador en su rango de VA, voltaje y factor de potencia, debe ser capaz de resistir corrientes de campo inducidas por cortos circuitos en el generador u otras anomalías en el sistema.

Para transformadores de capacidad pequeña las conexiones del primario y secundario deben tener la posibilidad de realizarse por arriba o por abajo del gabinete del transformador usando cable. Para las aplicaciones que requieren conexiones a bus, este debe poder rematarse a los devanados del primario o del secundario del transformador de excitación sin dificultad.

Para los transformadores de montaje en interiores y exteriores, se suministran transformadores de corriente para protección diferencial y/o protección de sobrecorriente instantánea. El rango de operación del transformador se asigna para entregar al excitador el rango requerido para la aplicación en un 105% del rango de voltaje en terminales del generador sobre una operación continua base.

El transformador de excitación se especifica principalmente en base a su capacidad en KVA, tensiones de cada uno de sus devanados (primario y secundario), conexión de los devanados, nivel básico de aislamiento al impulso, medio refrigerante e impedancia.

Los dos medios principales de refrigeración utilizados en los transformadores de excitación son el aceite y el aire, aunque también existe el agua, que se utiliza para enfriar al aceite en transformadores de gran potencia.

2.1.1.1 PRECAUCIONES EN LA APLICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE EXCITACIÓN TIPO SECO.

La mayoría de la literatura indica que los equipos eléctricos que utilizan sistemas aislantes tipo seco, deben ir acompañados de apartarayos o supresores de voltaje capacitivos, debido a que dieléctricamente son más débiles comparados con un transformador del mismo voltaje, pero con líquido aislante. Es necesario entonces verificar la correcta operación de dichos equipos supresores de voltaje para que cumplan con su función de proteger al transformador.

2.1.1.2 CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Los transformadores del tipo seco no deben de estar localizados en ambientes que contengan contaminantes tales como: polvos, fertilizantes, excesiva humedad, químicos, gases corrosivos, aceites, o vapores químicos.

Los transformadores de tipo seco normalmente son diseñados en su aislamiento para ambientes secos, sin embargo pueden ser diseñados para instalaciones externas con una protección adicional contra el medio ambiente.

Ambos diseños operan con éxito donde la humedad es elevada, sin embargo bajo esta condición puede ser necesario tomar precauciones para conservarlos secos si son desenergizados durante un largo tiempo y alcanzan la temperatura ambiente. Los lugares donde existan caídas o conductos de agua o nieve, deben de ser eliminados como posible lugar para colocar un transformador del tipo seco. Si esto no es posible se debe adecuar una protección de tal forma que prevenga la entrada de humedad en la cubierta del transformador. Cuando los transformadores tipo seco se instalan en interiores, las precauciones que se deben de tomar son: protegerlos contra la entrada accidental de agua como podría ser el resultado de abrir una ventana, una fuga de agua o de vapor, o por el uso de agua cerca del transformador.

2.1.1.3 ACCESIBILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO

Al planear la localización del área donde se instalará el transformador, se debe de tomar en cuenta la accesibilidad para poder llevar acabo el mantenimiento. Los transformadores deben de estar localizados en lugares con suficientes distancias a paredes y otras obstrucciones y con espacios suficientes entre transformadores para permitir sin restricción la apertura de puertas removibles o con bisagra, cubiertas y paneles con el propósito de inspección, mantenimiento y pruebas. Un espacio adecuado debe de ser provisto para acomodar barreras y guardas que sean necesarias para proteger al personal que desarrolle estas funciones.

Cuando están localizados en el interior de edificios, salas con transformadores, o en salas cubiertas se deben de proporcionar medios para permitir el movimiento en caso de una falla. Se debe de disponer de una ruta provista con entradas, puertas y pasajes con suficiente distancia para permitir el cambio del transformador.

Las conexiones eléctricas y mecánicas del transformador a otro equipo eléctrico, debe de ser de un tipo tal que permita la desconexión del transformador sin remover o hacer un desensamble mayor del otro equipo.

Los transformadores del tipo seco localizados en lugares muy elevados representan un problema muy particular de accesibilidad. En todo momento una atención en el diseño del transformador puede permitir el uso de un elevador para remover o emplazar las unidades dañadas. El movimiento de las cubiertas del transformador y un desensamble parcial del núcleo y las bobinas puede aumentar firmemente las medidas de una unidad que puede ser movida con los elevadores de los edificios. En muchos casos las grúas móviles pueden ser una alternativa. Cuando las grúas móviles no estén disponibles o la altura del lugar es mayor que la de la grúa, se deben de considerar plumas o grúas montadas en el techo del lugar temporal o permanentes.

2.1.1.4 SEGURIDAD DEL PERSONAL Y DEL PÚBLICO

Los transformadores secos deben ser especificados para tener toda la protección necesaria y guardas de seguridad de tal forma que no represente un peligro para el público en general, trabajadores en el área o personal trabajando en los transformadores. En este punto es práctico que en las salas y espacios en los cuales los transformadores son instalados sean arreglados con cercas, protecciones, particiones o paredes, u otros medios para prevenir la entrada de personas no autorizadas. Se deben colocar señales de advertencia en todas las entradas.

2.1.1.5 REQUERIMIENTO DE LAS SALAS

La sala en la cual están localizados los transformadores debe ser dimensionada para permitir la colocación de los transformadores con suficientes distancias a paredes y otras obstrucciones para permitir la libre circulación de aire alrededor de cada unidad. También debe de proveerse un espacio suficiente para permitir la inspección de rutina y el mantenimiento.

Un aire filtrado o arriba de la presión atmosférica puede reducir el mantenimiento si el polvo y otros contaminantes presentan un problema en particular. Cuando los transformadores se encuentran instalados en espacios restringidos se debe de proveer la suficiente ventilación para mantener la temperatura del aire dentro de los límites establecidos, o cuando dicha temperatura sea medida cerca de las entradas del transformador. Estas normalmente requerirían de aproximadamente 100 pies cúbicos/minuto de aire por cada kilowatt de pérdida del transformador. El área de ventilación abierta requerida depende de la altura de la sala, la localización de las aberturas y las cargas máximas que son conducidas o manejadas por el transformador.

Cuando sea posible, el aire que entra a la sala debe de estar cercano al piso con la salida en el lado opuesto superior de la sala. El aire extraído no debe de exceder de 15°C arriba de la temperatura del aire de entrada. Cuando sea necesario se debe de colocar un extractor de aire para mantener esta diferencia próxima.

2.1.1.6 CARGA.

En general, los transformadores tipo seco están diseñados para operar continuamente a su capacidad en KVA de placa. La ANSI C57.96-1959 proporciona:

- Temperaturas ambientales superiores o inferiores de operación.
- Los tiempos cortos de sobrecarga en exceso de los KVA de placa que pueden

alterar la vida normal esperada.

- Cargas que dan lugar a la reducción de la vida esperada del transformador.

Las clases de aislamientos del sistema más comúnmente usados para los transformadores tipo seco son: 150°C, 185° y 220°C para una sobrelevación promedio de temperatura en los devanados de 80°C, 115°C y 150°C respectivamente. Las consideraciones que deben de ser tomadas antes de especificar la clase de aislamiento a ser usado son: La clase de carga que alimentara el transformador, el espacio disponible para su instalación y cualquier restricción de peso.

2.1.1.7 FUENTES DE SONIDO AUDIBLE.

El ruido producido por los transformadores es debido a la energización del núcleo por el voltaje alterno aplicado a los devanados. Estas fuentes de sonido tienen una frecuencia fundamental de dos veces la frecuencia del voltaje aplicado. Esto ocasiona sonido audible ocasionado por vibraciones que pueden estar ocurriendo en el núcleo, bobinas, montaje o en la cubierta o gabinete. La transmisión del sonido del transformador puede ser por varios medios tales como: aire, metal, concreto, madera o cualquier combinación.

2.1.1.7.1 CONTROL DE LAS FUENTES DE RUIDO.

Los tornillos del montaje, núcleos–bobinas deben de ser ajustados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Otros tornillos y dispositivos de sujeción deberán de ser examinados como posibles fuentes de ruido.

La cubierta del transformador debe ser considerada como una posible fuente de generación de ruido.

2.1.1.7.2 CONTROL DE TRANSMISIÓN DEL RUIDO.

Se deben de usar conexiones flexibles tanto en las líneas de entrada como de salida, con el objeto de reducir la transmisión de las vibraciones. Se debe de montar un material acústico absorbente para recubrir paredes, para reducir la transmisión del ruido y una posible amplificación. Los transformadores deberán de ser montados en un soporte firme teniendo una masa tan grande como sea posible. Las cubiertas o rellenos para la vibración o resortes adecuadamente diseñados reducirán la transmisión de ruido en una forma considerable.

2.1.1.8 PRUEBAS.

2.1.1.8.1 INSPECCIÓN PREVIA AL ENERGIZADO DEL TRANSFORMADOR.

Cuando el transformador es desempacado después de un viaje por carretera o cualquier otro medio de transporte al lugar de la puesta en servicio o si esta almacenado, antes de su instalación, se deberá de realizar una inspección antes de ponerlo en servicio.

- Después de que el transformador es colocado en su posición permanentemente se deben de quitar los empaques y tornillos de embarque cuando se presenten de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- Antes de la puesta en servicio se debe de realizar la operación de ventiladores, motores, reveladores y otros dispositivos auxiliares. Se debe verificar la selección de los taps.
- Verificar que todas las conexiones eléctricas estén apretadas y con la distancia adecuada.
- Verificar que las conexiones de alto voltaje estén firmemente apretados para evitar falsos contactos que ocasionarían calentamiento y pérdidas por efecto Joule.
- Conectar firmemente el neutro al sistema de tierras.
- Si el transformador estuvo un tiempo sin operar, será necesario presecar para eliminar la humedad superficial sobre los devanados, para esto, debe energizarse en vacío el transformador durante aproximadamente 24 horas para eliminar la humedad que pudieran tener los devanados.
- Durante la energización del transformador se escucha un zumbido que es normal, debido a la magnetización del núcleo, que debe ser uniforme, si se presentan ruidos extraños ocasionados por vibraciones, se deben revisar de nuevo las conexiones, ya que alguna puede estar floja.

El factor de potencia del sistema de aislamiento de un transformador tipo seco esta en función del tipo de diseño del devanado y del tipo de materiales aislantes usados en los devanados mas otras posibles variables en el diseño. Como resultado de esto no es posible especificar un solo valor de factor de potencia satisfactorio. Sin embargo, los daños en los cambios del factor de potencia en un periodo de tiempo puede probar su uso, particularmente cuando es considerado en conjunto con otros datos de pruebas de mantenimiento tales como la resistencia de aislamiento. Se debe tener cuidado de

registrar las condiciones atmosféricas (humedad, temperatura), la temperatura del sistema de aislamiento, el tiempo que tiene el transformador de energizado y cuando se le realice el último mantenimiento y todo lo que puede influir en el factor de potencia.

2.1.1.8.2 PRUEBAS PREVIAS AL SERVICIO.

Se recomienda que se realicen las siguientes pruebas antes de la puesta en servicio de un transformador nuevo para determinar si las condiciones de operación son satisfactorias y para obtener datos para comparaciones futuras, también se recomiendan como pruebas de mantenimiento preventivo antes de la reinstalación de un transformador tipo seco que ha estado fuera de servicio.

- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de voltaje aplicado (para transformadores de medición y potencia).
- Prueba de relación de transformación.

Cuando la unidad ha sido reparada es recomendable hacer las siguientes pruebas, o si desea, se pueden realizar como pruebas periódicas.

- Medición de resistencia óhmica en los devanados.
- Relación de voltaje.
- Pérdidas en vacío y corriente de excitación.
- Polaridad y ángulo de fase.
- Prueba de voltaje inducido.
- Prueba de factor de potencia.

Si se realizan cualquiera de estas pruebas es recomendable que se realicen antes de la prueba de potencial aplicado.

2.1.1.8.3 INSPECCIÓN DESPUÉS DE LA PUESTA EN SERVICIO.

Al igual que otros equipos eléctricos, el transformador requiere de un mantenimiento para asegurar su operación continua. La inspección deberá de ser realizada en intervalos

regulares se tomarán las medidas correctivas cuando sea necesario para asegurar la mas satisfactoria operación de este equipo. Deberá vigilarse de que no exista evidencia de polvo, corrosión y deterioración del aislamiento, barniz o pintura y luego tomar las medidas correctivas cuando sea necesario.

Cuando se realice la inspección del transformador se deberá de aprovechar para revisar los equipos auxiliares para darles también mantenimiento.

Vigilar que los devanados no contengan señales de suciedad especialmente en las superficies aislantes o donde pudiera tender a obstruir los ductos para el flujo del aire, también se debe de observar si no existen terminales flojas, la condición de los cambiadores de derivaciones, terminales de salida, vigilando además la condición general del transformador. Observar si no existen señales de sobrecalentamiento en superficies aislantes así como la evidencia de rotura o carbonización de aislamientos.

La frecuencia con la cual los transformadores tipo seco deberán de ser inspeccionados dependerá de las condiciones de operación. Para locales limpios y secos es suficiente una inspección anual, sin embargo, para otros locales donde el aire esta contaminado con polvos o vapores químicos deberá de ser requerida una inspección mas frecuente. Normalmente, después de los primeros periodos de inspección, se debe de establecer un programa de inspección definitivo basado en las condiciones existentes.

2.1.1.9 ATERRIZAJE

Se debe aterrizar el transformador permanente y efectivamente por medio de los dispositivos que se tengan para este fin.

Si el equipo no es aterrizado adecuadamente, bajo ciertas condiciones puede existir un voltaje peligroso entre el transformador y tierra.

Una persona que toque el equipo, puede sufrir una descarga peligrosa, debido a esto, la red de tierras en subestaciones y mallas de un sistema eléctrico es de vital importancia para la seguridad del personal de mantenimiento.

El valor de la resistencia de la red de tierra deberá de ser de 5 OHMS como máximo y es necesario que se mida periódicamente con el fin de tener la certeza de que se tiene un valor seguro.

2.1.1.10 SERVICIO Y MANTENIMIENTO.

Se debe tener la precaución antes de entrar o trabajar en el transformador de que esté desenergizado y posteriormente aterrizado para evitar posibles descargas estáticas. La tierra

deberá de ser conectada a las terminales de todos los devanados del transformador. Quitando esta antes de que el transformador vuelva a colocarse en servicio.

Cabe mencionar, que los materiales utilizados en transformadores del tipo seco, clase térmica "H" tienen vida útil mayor que un transformador en aceite, siempre y cuando la operación de dicho equipo sea normal.

Los transformadores tipo seco se utilizan en lugares interiores, resguardados de toda excesiva humedad, por lo que la única actividad de mantenimiento que hay que realizar, es cuidar que no se acumule demasiado polvo en los devanados.

Es necesario que se realicen pruebas antes de la instalación o puesta en servicio de transformadores nuevos para determinar su utilidad y los resultados se deberán de registrar para comparaciones futuras. Se deben de realizar pruebas periódicas como un procedimiento de mantenimiento preventivo. También se deben de hacer pruebas antes de la reinstalación de un transformador que ha estado fuera de servicio o que ha sido reparado.

Si se nota que un transformador está húmedo o si ha estado sujeto a condiciones anormales de humedad debe de ser secado antes de probarlo.

Las acumulaciones de suciedad en devanados o aisladores de transformadores tipo seco deben de ser removidas o eliminadas para permitir la libre circulación del aire y para protegerlo contra la posibilidad de perforaciones en el aislamiento. Se debe de poner especial atención para la limpieza en la parte superior e inferior de los ensambles de los devanados y al limpiar los ductos de ventilación.

Los devanados pueden ser limpiados con una aspiradora, un soplador o con aire comprimido. El uso de la aspiradora es preferido como el primer paso en la limpieza, seguido por el uso de aire comprimido o nitrógeno. Cuidando de mantener una ventilación adecuada durante la limpieza. El aire o nitrógeno comprimido, deberá de ser limpio y seco y debe de ser aplicado a una presión relativamente baja (no más de 25 libras/pulgada²). Los soportes, cambiadores de derivaciones y terminales de salida, boquillas y otras superficies aislantes mayores, deben de ser cepilladas o limpiadas con un trapo seco libre de pelusa. El uso de limpiadores líquidos no es recomendable, dado que algunos de ellos tienen un efecto solvente o deteriorante en la mayoría de los materiales aislantes.

2.1.1.11 EFECTO DE LA HUMEDAD.

Mientras el transformador está en servicio, las condiciones de la humedad generalmente no son importantes. En el momento en que un transformador es desenergizado y se enfría a la temperatura ambiente se deberán tomar consideraciones para posibles efectos de la humedad.

Si un transformador excede más de 24 horas desenergizado especialmente en condiciones atmosféricas que pueden causar condensación dentro de la cubierta del transformador, se deberán de tomar las precauciones pertinentes. Se pueden instalar pequeñas resistencias calefactoras en la base del transformador poco después de haberlo desenergizado para mantener su temperatura unos pocos grados arriba de la temperatura del aire ambiente. Si no son tomadas en cuenta estas precauciones, el transformador debe de ser inspeccionado por una posible presencia de humedad, además se debe de checar la resistencia de aislamiento. Si existe evidencia de humedad o si la resistencia de aislamiento es baja el transformador deberá de ser sacado.

2.1.1.12 ALMACENAJE.

Durante el almacenaje, se deberá de proveer la condensación y la absorción de humedad. Estos transformadores deben de ser almacenados en un lugar con calor y seco.

Los orificios de ventilación deben de estar cerrados para proteger al transformador contra la entrada de polvos.

Si solo se pueden almacenar en lugares expuestos a la intemperie, estos serán protegidos para evitar la entrada de humedad, agua y otros materiales extraños. Pueden ser instalados calefactores eléctricos dentro de cubierta del transformador para prevenir la condensación durante el almacenaje.

2.1.2 CONVERTIDORES (PUENTES DE RECTIFICADORES).

Los convertidores se encuentran localizados en cubículos, son exactamente iguales y son calculados de acuerdo a los voltajes y corrientes previstos.

Cada puente es construido en un gabinete desmontable que aloja todos los componentes principales, por lo que se puede sustituir cada una de sus partes o todo en conjunto.

Los componentes principales del puente se encuentran al frente del gabinete protegidos con una cubierta de policarbonato transparente.

Todos los convertidores poseen los mismos elementos SCR, fusibles y circuitos supresores para los semiconductores.

El sistema es un puente rectificador trifásico con 6 SCR en paralelo con otro grupo igual haciendo un total de 12 (convertidor completamente controlado). La alimentación del voltaje de C.A al convertidor es suministrado por el devanado secundario del transformador de excitación a través del seccionador de cada convertidor.

La alimentación a los convertidores antes y después de los seccionadores esta protegido por circuitos supresores de picos en la red, estos circuitos están alojados en el gabinete del interruptor de campo.

Cada SCR que compone el puente rectificador viene protegido por un circuito RC (circuito snubber montado en paralelo con cada SCR), el cual sirve para suprimir los picos de voltaje dv/dt que se presentan en el momento del bloqueo propio del SCR o durante los transitorios inductivos en la red.

Para la limitación de corriente y el mejoramiento de la conmutación de los SCR cada rama del puente rectificador cuenta con una inductancia. Así mismo cada SCR cuenta con un fusible de operación ultra rápida para protección propia del SCR contra corto circuito. En caso de falla de un fusible, un circuito de detección de fusible abierto permite sacar de operación al convertidor correspondiente.

Los convertidores son enfriados por aire, para lo cual se utilizan extractores que obligan a que el aire fresco del ambiente fluya por todos los componentes del puente rectificador (convertidor). En caso de falla de un extractor de aire se mandará una alarma al panel de mando local y remoto, además se eliminan los pulsos de disparo correspondientes a dicho convertidor. En caso de que no se restaure la operación del primer extractor, si por algún motivo llegara a fallar el segundo extractor, la secuencia de operación del sistema de excitación manda la instrucción de paro total de la unidad generadora.

El disparo o mando de paro total de la unidad generadora se presenta por diversas condiciones, por tener los dos convertidores fallados ya sea por falla fusibles o por sobrecorriente de extractores o por secuencia sin importar la similitud en ambos convertidores en cuanto a fallas por los elementos mencionados.

Cada convertidor cuenta con un seccionador que esta conectado directamente en las barras de C.A Y C.D, este permite aislar fácilmente un convertidor fallado sin afectar el funcionamiento del resto del equipo.

En las líneas de alimentación al convertidor se encuentran 3 transformadores de corriente (uno en cada línea) con conexión delta para alimentar los detectores de corriente para medición de corriente de cada convertidor.

Todos los SCR empleados tienen la capacidad de conducir 1200 amperes y un voltaje de ruptura en directa y en inversa de 1200.

2.1.3 SECCIONADORES

Los seccionadores usados en el sistema de excitación, se usan para separar un convertidor de los buses de C.A y C.D, permitiendo así mas flexibilidad en la operación del regulador por su sistema de redundancia.

Cada seccionador cuenta con un mecanismo mecánico de cierre y apertura, el cual es accionado por una palanca.

En el mecanismo de operación se encuentra dos microswitches de posición que se adelantan a la operación de cierre y apertura del seccionador para la detención de su posición.

Los PLC toman esta señal a través de los módulos de interfaz digital para conocer el estado en que se encuentran los seccionadores.

Cualquiera de los seccionadores que este abierto manda a los PLC suprimir pulsos al convertidor correspondiente, permitiendo el arranque con un convertidor por su sistema redundante. Para restablecer la operación del convertidor bloqueado (esta vez por seccionador abierto), cerrar el seccionador y aplicar la orden de restablecer alarmas en el panel de mando local conectándose así automáticamente el convertidor.

En cada convertidor se encuentra un relevador de interposición que tiene la función de habilitar y deshabitar los pulsos de disparo para los SCR, de cada convertidor.

Lo anterior es con el fin de que cuando se realice alguna operación de apertura del seccionador, estando el regulador energizado y en operación, el seccionador no separe el convertidor de los buses de alterna y directa con carga, protegiendo así al operario contra una posible descarga.

Debido a que durante la operación del regulador los seccionadores están prácticamente sin movimiento, su mantenimiento es casi nulo. Se recomienda que siempre que sea posible se revisen cada uno de los polos del seccionador, así mismo es recomendable revisar el mecanismo de cierre y apertura.

2.1.4 INTERRUPTOR DE CAMPO 41 Y RESISTENCIA DE DESCARGA

El interruptor de campo (41) usado en el regulador automático de voltaje, cuenta con dos polos para el devanado de campo y un polo para la resistencia de descarga .

La función principal del interruptor de campo (41) es de suministrar el voltaje de excitación al devanado de campo de la maquina síncrona.

El interruptor de campo cumple con las siguientes características de selección.

➤	Voltaje nominal.
➤	Voltaje nominal de tiempo corto.
➤	Corriente nominal.

➤	Corriente de cortocircuito.
➤	Corriente de interrupción.
➤	Voltaje de recuperación.

El voltaje nominal de placa del interruptor de campo (41) excede el voltaje nominal del circuito de campo.

El voltaje nominal de tiempo corto excede el voltaje de techo de excitación, este voltaje se presenta generalmente en pocos segundos.

La corriente nominal en régimen continuo del interruptor de campo (41) por los contactos principales, excede la máxima corriente de campo de la máquina; la máxima temperatura ambiente y condiciones de servicios inusual son considerados sobre el efecto de la capacidad de conducción de corriente del interruptor de campo.

La máxima corriente de corto circuito que el interruptor de campo (41) puede soportar, esta basada sobre 10 veces el rango de corriente de la fuente de excitación. Se cuida el punto donde la inductancia total de la fuente de excitación al punto de la falla no exceda la inductancia sobre la cual el rango de interrupción de corriente esta basado.

El rango de interrupción de corriente de los contactos principales del interruptor de campo (41) o el rango máximo de interrupción de voltaje excede 5 veces la máxima corriente de campo de la máquina para una falla en el circuito de CA.

El voltaje de recuperación de CD es el voltaje de CD que aparece a través de la apertura de los contactos del interruptor de campo en el instante inmediatamente después de la interrupción de corriente por dichos contactos.

La apertura del interruptor de campo inmediatamente después de una falla en la armadura de la máquina puede ocasionar un alto voltaje de recuperación debido a la relativa alta caída de potencial a través de la resistencia de descarga. Este voltaje es determinado por los parámetros del circuito de campo. El rango máximo de interrupción del voltaje de los contactos principales del interruptor de campo excede la capacidad de voltaje de recuperación del circuito de campo.

Una resistencia de descarga se usa con el interruptor de campo para limitar el voltaje inducido cuando el voltaje es abierto con la corriente fluyendo en el devanado de campo.

Cuando el interruptor de campo es abierto, los contactos de descarga del interruptor cortocircuitan el devanado de campo a través de la resistencia de descarga en el instante precedente a la apertura de los contactos principales del interruptor. La corriente (energía

magnética almacenada) es descargada a través de la resistencia de descarga y se reduce a cero después de un tiempo.

El rango de decaimiento de la corriente de campo durante un falla en la armadura de la máquina síncrona es un factor para limitar el daño al punto de la falla.

La resistencia de descarga es un importante factor en la limitación de la capacidad interruptiva y el esfuerzo del aislamiento en el sistema de excitación.

La interrupción de la excitación de la máquina síncrona por la resistencia de descarga bajo condiciones de disturbio ayuda para disminuir los esfuerzos torcionales sobre la flecha del generador, estos disturbios incluyen operaciones de interruptores asociados con sincronización, switcheos en las líneas, fallas aisladas y recierres, todos estos eventos rompen el balance entre el torque mecánico de cada control de turbina y los torques electromagnéticos del control del generador. Esto hace que se ponga especial atención en la selección de la resistencia de descarga. La resistencia de descarga utilizada es del tipo varistor.

2.1.5 SISTEMA DE EXCITACIÓN INICIAL

El sistema de excitación inicial esta compuesto por un interruptor (31) que conecta el banco de baterías de la central de generación momentáneamente al campo del generador y de un módulo electrónico capaz de enviar pulsos de alta frecuencia Ráfaga de Pulsos, que permiten la conducción libre de los SCR de los convertidores de potencia.

Durante una secuencia normal de excitación el voltaje de baterías es conectado y controlado por el interruptor 31, que esta comandado por la secuencia programada en los PLC.

Dicho voltaje es aplicado al campo a través de un diodo de potencia, con el fin de evitar retorno de voltaje al banco de baterías cuando el voltaje de excitación es mayor. Una resistencia montada en la parte superior del tablero limita la corriente de demanda del banco de baterías cuando se habilita el interruptor de excitación inicial.

El consumo de corriente sobre el banco de baterías durante una excitación es menor de 100 amperes durante 3 segundos, con esto el generador alcanza un voltaje mayor o igual al 30% de su voltaje nominal, punto en el cual la excitación con voltaje del banco de baterías es desconectado por medio de la secuencia programada en los PLC al detectar voltaje del generador mayor al 30% o por haber transcurrido 3 segundos después de la orden de arranque.

Al momento de la excitación inicial, el módulo Ráfaga de Pulsos es habilitado desde un inicio, motivo por el cual el voltaje en terminales del generador es incrementado aun más por la inyección de pulsos de alta frecuencia sobre los bancos de SCR, (como un esquema de rectificación a base de diodos).

El módulo Ráfaga de Pulsos es desconectado cuando el nivel del 90% de el voltaje en las terminales de salida del generador es alcanzado, habilitándose el control de regulación del canal previamente seleccionado.

La excitación inicial tiene un tiempo de duración de aproximadamente 10 segundos, mismo que saca de operación al excitador si el voltaje en terminales no es igual o mayor al 90% bloqueando el regulador seguido de una señalización en el panel de mando local "falla AVR las siglas utilizadas para la descripción del RAV son debidas a su nombre en inglés (Automatic Voltage Regulator), que nos indica que el regulador automático de voltaje ha diagnosticado alguna falla en el sistema de excitación.

El módulo Ráfaga de Pulsos controla la corriente de excitación para la construcción de el voltaje en terminales del generador. Esta es posible de ajustar de acuerdo a una referencia de corriente preestablecida como limite durante el proceso de excitación inicial.

2.1.6 CIRCUITO SUPRESOR DE AC

Para la protección contra sobretensiones extras, es decir provenientes del transformador de excitación es necesario proveer un circuito RC entre cada fase.

La función de este circuito es eliminar las sobretensiones de alta frecuencia provenientes del primario del transformador de excitación y son transmitidos por las capacitancias distribuidas entre sus devanados primario y secundario. Estos picos de voltaje se pueden originar cuando se cierra el interruptor principal en el primario del transformador de excitación o en caso de la apertura.

El circuito esta formado por resistencias y capacitores, este circuito se acopla a los buses de AC por medio de fusibles que sirven para limitar la corriente de drenaje.

2.1.7 MÓDULO CLIPPER

La función de los módulos clipper es proteger a los SCR de los puentes de las sobretensiones entre fases provenientes del transformador de excitación además de disminuir la distorsión de las tensiones entre línea que ocurren por efecto de la conmutación. Dichas distorsiones pudieran producir flancos elevados de voltaje en los SCR con el consiguiente mal funcionamiento del convertidor.

Por consiguiente el módulo Clipper es diseñado como un filtro que suprime los transitorios de alta frecuencia producidos entre las fases de alimentación del puente minimizando las pérdidas a frecuencia nominal.

Los circuitos supresores Clipper son exactamente iguales y pueden reemplazarse indistintamente en un sistema de excitación.

Cada convertidor posee un circuito de supresión conectado a la entrada de AC del convertidor a través de fusibles.

Al abrir el seccionador del convertidor, el circuito supresor queda desenergizado, esto permite la posibilidad de verificar sus componentes con la unidad en línea.

2.1.8 CIRCUITOS SUPRESORES DE DC

Los circuitos supresores colocados en el lado de la salida de DC del RAV tienen como función proteger a los convertidores y al campo del generador de sobretensiones transitorias de picos elevados.

Estas sobretensiones pueden ocurrir cuando el generador pierde sincronismo, en transitorios producidos en el primario del transformador de excitación, como consecuencia de la conmutación de los SCR o por la interrupción de la corriente de excitación a la carga inductiva del campo del generador por la apertura del interruptor de campo.

Los circuitos empleados son de dos tipos y se conectan en paralelo a la salida de DC del Sistema de Exciación:

- Circuito RC.
- Resistencia no lineal.

2.1.8.1 CIRCUITO RC

El circuito esta formado por resistencias y capacitores no polarizados en aceite conectados en los buses de DC. El circuito es un filtro que deja pasar las frecuencias altas disminuyendo la amplitud de los transitorios.

La salida de DC del RAV es una señal diente de sierra formada por seis pulsos por ciclo (16.6 milisegundos) debido a la inductancia del campo.

Los elementos del circuito son calculados considerando las perdidas provocadas por el voltaje pulsante.

2.1.8.2 RESISTENCIA NO LINEAL (VARISTOR)

El varistor protege al RAV y al generador de transitorios de voltaje, limitando los picos de voltaje a niveles aceptables cuando por ejemplo el interruptor de campo es abierto con una corriente máxima en el rotor.

Los varistores son resistencias no lineales en los cuales la corriente varía en relación a la potencia del voltaje aplicado.

Su construcción se basa en discos conectados en serie o en paralelo. Los discos son montados en forma horizontal en una barra con resortes de seguridad en los extremos.

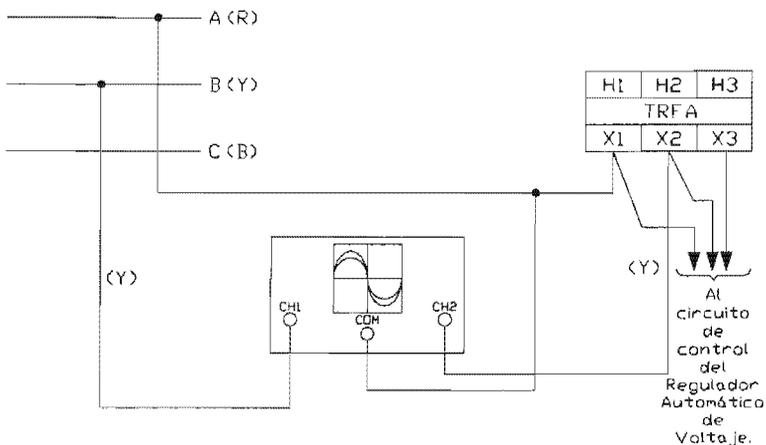
2.1.8.3 RESISTENCIA HOLDING

Es una resistencia de elevada capacidad en potencia que permite el drenaje de una corriente mínima para la excitación en vacío de los SCR, de la misma forma que proporciona un retorno para la descarga de los capacitores empleados en los supresores.

2.1.9 CIRCUITO DE FASEO DE LA ELECTRÓNICA

El circuito de faseo de la electrónica esta formado por un transformador de sincronismo (TRFA) conectado al secundario del transformador de excitación a través de fusibles, el cual suministra 120 VCA que salen por el devanado secundario del transformador TRFA para el sincronismo de pulsos de los canales de regulación de la siguiente manera: se conectan las terminales H1, H2 y H3 a las fases R, Y, B respectivamente. Se verifica que las señales X1, X2, y X3 correspondan con R, Y, B, verificando la fase de las señales de acuerdo al esquema siguiente.

CONEXIÓN PARA FASEO DEL SINCRONISMO DE LA ELECTRÓNICA.



Se debe considerar un transformador de aislamiento entre la alimentación de alterna del osciloscopio y el del contacto de conexión a la red eléctrica para su alimentación.

2.2 ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA.

CONTENIDO

- 2.2.1 Objetivo y campo de aplicación.
- 2.2.2 Normas que se aplican.
- 2.2.3 Definiciones.
 - 2.2.3.1 Circuito de descarga.
 - 2.2.3.2 Circuito de excitación inicial.
 - 2.2.3.3 Etapa de potencia.
 - 2.2.3.4 Generador con carga.
 - 2.2.3.5 Generador en vacío.
 - 2.2.3.6 Interruptor de campo.
 - 2.2.3.7 Panel de alarmas.
 - 2.2.3.8 Protecciones.
 - 2.2.3.9 Regulador de voltaje.
 - 2.2.3.10 Sistema de excitación.
 - 2.2.3.11 Voltaje de techo.

- 2.2.4 Condiciones de diseño.
 - 2.2.4.1 Condiciones ambientales.
 - 2.2.4.2 Altitud de operación.
 - 2.2.4.3 Diseño por sismo.
 - 2.2.4.4 Nivel de ruido.
 - 2.2.4.5 Interferencias transitorias.
- 2.2.5 Características.
 - 2.2.5.1 Generales.
 - a) Fuentes internas para el control.
 - 2.2.5.2 Regulador de voltaje.
 - 2.2.5.2.1 Canal automático.
 - a) Referencia del canal automático 90R.
 - b) Compensador de reactivos.
 - c) Limitador de baja excitación.
 - d) Limitador de máxima corriente de campo.
 - e) Limitador Volts/Hertz.
 - f) PSS.
 - 2.2.5.2.2 Canal manual.
 - a) Canal analógico de respaldo.
 - 2.2.5.2.3 Seguidor automático de voltaje.

- 2.2.5.2.4 Lógica de control programable.
- 2.2.5.2.5 Señalización y alarmas.
- 2.2.5.3 Protecciones.
 - 2.2.5.3.1 Protecciones del RAV.
 - a) Protección por pérdida de realimentación.
 - b) Protección por sobrecorriente de campo.
 - c) Protección por pérdida de fuentes canal manual.
 - 2.2.5.3.2 Protección del puente rectificador.
 - a) Protección por sobrecorriente en los SCR.
 - b) Protección por sobrevoltaje en los SCR.
 - c) Falla pulsos de disparo.
 - d) Falla sistema de enfriamiento.
 - e) Protección por desbalance de fases.
 - 2.2.5.3.3 Otras protecciones.
 - a) Protección por falla de excitación forzada.
 - b) Filtro de voltaje de flecha.
 - c) Crow-Bar.
- 2.2.5.4 Gabinetes.
 - 2.2.5.4.1 Alambrado de conductores.
 - a) Cables de fuerza.
 - b) Cables de instrumentación y control.

- 2.2.5.4.2 Mandos de control.
- 2.2.5.5 Software para ajustes y Diagnóstico del sistema de excitación.

- 2.2.6 Empaque y embarque.

- 2.2.7 Control de calidad.

- 2.2.7.1 Pruebas.

2.2.1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta especificación establece las características y los requerimientos que debe reunir el equipo para la modernización del sistema de excitación estático para generadores eléctricos de centrales del usuario.

2.2.2 NORMAS QUE SE APLICAN

- CFE D8500-01-1999 Guía de selección y aplicación de recubrimientos anticorrosivos.
- CFE D8500-02-1999 Recubrimientos anticorrosivos.
- CFE E0000-24-1991 Conductores para alambrado de tableros eléctricos con aislamiento termofijo libres de halógenos para 90 grados centígrados.
- CFE E0000-25-1991 Conductores con aislamiento y cubierta termofijos libre de halógenos, para instalaciones hasta 600 V 90 grados centígrados.
- CFE E0000-26-1991 Cables de control con aislamiento termofijo libre de halógenos para 90 grados centígrados.
- CFE K0000-17-1999 Transformadores del tipo seco para excitación de generadores eléctricos.
- CFE L0000-11-1988 Empaque, Embarque, Recepción, Manejo y Almacenamiento de bienes adquiridos por CFE.
- CFE L0000-31-1993 Requisitos de aseguramiento de calidad para proveedores de bienes y servicios.
- CFE L0000-32-1989 Manuales técnicos.
- CFE L0000-36-1990 Servicios de supervisión de montaje y puesta en servicio.
- CFE MPSR0-01-1998 Pruebas de comportamiento del sistema de control de excitación del alternador en centrales eléctricas.
- NOM-008-SCFI-1993 Sistema general de unidades de medida.
- ANSI C37.1-1994 Standard definition, specification and analysis of systems used for supervisory control, data acquisition, and automatic control.
- ANSI C37.20-1987 Metal-Enclosed Power Switchgear.
- ANSI C37.23-1987 Guide for Metal-Enclosed Bus and Calculating Losses in isolated-Phase Bus.
- ANSI C37.90-1989 Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus.
- ANSI C57.110-1986 Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents.
- ANSI C84.1-1989 Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hz).
- IEEE 421.1-1986 Standard Definitions for Excitations Systems for Synchronous Machines.
- IEEE 421.2-1990 Guide for Identification, Testing and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems.
- IEEE 802.2-1994 Logical Link Control.
- IEEE 802.3-1996 Carriwe Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer.
- IEEE 802.4-1990 Token-Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications.

SS 436-15-03-1986 Electronic Equipment for Industry and Trade Immunity to Conducted Electromagnetic Interference Environmental Classification and Test.

NOTA: En caso de que los documentos anteriores sean revisados o modificados, debe tomarse en cuenta la edición en vigor o la última edición en la fecha de apertura de las propuestas de la licitación, salvo que el cliente indique otra cosa.

2.2.3 DEFINICIONES.

Para esta especificación se consideran las siguientes definiciones:

2.2.3.1 Circuito de Descarga

Son los dispositivos que permiten cortocircuitar el devanado de campo del generador a través de un elemento de descarga, acción posterior a la apertura del interruptor de campo.

2.2.3.2 Circuito de Excitación Inicial

Son los dispositivos que permiten la inicialización de la excitación del generador a través de fuentes externas de alimentación.

2.2.3.3 Etapa de Potencia

Es el equipo que suministra la corriente de campo para la excitación de la máquina síncrona (generador). La cual se compone por: el transformador de excitación, puente de rectificación, y barras y/o buses de potencia de CD y ACD (Norma IEEE 421.1).

2.2.3.4 Generador con carga

Es cuando el generador está conectado a un sistema eléctrico de potencia.

2.2.3.5 Generador en Vacío

Es cuando el generador está funcionando a velocidad y voltaje en sus terminales nominales, sin carga.

2.2.3.6 Interruptor de Campo

Es el equipo que permite la conexión y desconexión entre la etapa de potencia del sistema de excitación y el devanado de campo del generador.

2.2.3.7 Panel de Alarmas

Es el dispositivo que contiene la señalización e indicación del estado operativo del sistema de excitación.

2.2.3.8 Protecciones

Son los equipos que protegen dispositivos del sistema de excitación ante una operación incorrecta y/o fallas.

2.2.3.9 Regulador de Voltaje

Es un regulador de máquina síncrona (generador) que funciona para mantener el voltaje terminal del generador a un valor predeterminado (Norma IEEE 421.1)

2.2.3.10 Sistema de Excitación

Es un sistema de control realimentado que proporciona al campo del generador la corriente necesaria para mantener el voltaje del generador (V_g), en un valor previamente fijado por una señal de referencia de voltaje de generador o de corriente de campo, además protege al generador y transformador de máquina de operar en condiciones que estén fuera de sus curvas de operación.

2.2.3.11 Voltaje de techo

Es el voltaje máximo en CD (positivo y negativo) que el sistema de excitación puede suministrar en sus terminales bajo condición de generador en vacío.

2.2.4 CONDICIONES DE DISEÑO

2.2.4.1 Condiciones Ambientales

El tablero de excitación y el equipo que contiene debe diseñarse para operar a una temperatura ambiente en el interior del mismo entre -15 y 70°C y humedad relativa del 10 al 95 % sin condensación. Todo el equipo debe estar diseñado para operar en un ambiente corrosivo.

2.2.4.2 Altitud de operación

El tablero de excitación debe diseñarse para operar a una altitud de 25 msnm.

2.2.4.3 Nivel de Ruido

El máximo nivel de ruido permitido es 75 dB a una distancia de un metro del tablero de excitación.

2.2.4.4 Interferencias Transitorias

El sistema de excitación se debe diseñar para tolerar campos electromagnéticos de alta frecuencia, descargas electrostáticas, transitorios de radiointerferencia y sobretensiones

transitorias de acuerdo a las condiciones establecidas bajo las normas RFI-EMI, RFI-LEMC, ANSI C-371, IEC-255-22-4, IEC-1000-4-4, IEC-255-22-2, Y/O IEC 61000-4-2.

2.2.5 CARACTERÍSTICAS

2.2.5.1 Generales.

El sistema de excitación se debe proporcionar en gabinetes y todos sus componentes y materiales deben ser retardadores de fuego. Además la operación de todas sus partes debe ser continua y en forma adecuada en las condiciones de diseño indicadas en el capítulo anterior.

Debe ser capaz de proporcionar las tensiones de techo que se especifiquen en las Características Particulares.

Debe contar con puntos de prueba para toma de señales requeridas para realizar las pruebas establecidas en el procedimiento CFE MPSR0-01.

Todos los contactos de los dispositivos de protección, auxiliares de reserva y los incluidos en los circuitos de control, protección, alarmas remotas y transductores se deben alambrear a tabllas terminales agrupadas para conexión externa.

Los circuitos impresos incluidos en el sistema de excitación, deben de ser de tecnología probada. No se acepta ninguna tecnología diferente que no haya sido probada previamente por el proveedor, demostrando su confiabilidad durante la operación en otras centrales por un tiempo no menor de 1 año, esta información la debe entregar en el momento del concurso.

Límites máximos y mínimos de voltaje y variación de frecuencia

Alimentaciones de 220 VCA, 127 VCA , 250 VCD.

Para 220 VCA Voltaje máximo de 240 y Voltaje mínimo de 190

Para 125 VCA Voltaje máximo de 132 y Voltaje mínimo de 96

Para 250 VCD Voltaje máximo de 320 y Voltaje mínimo de 190

Variación de frecuencia en % ± 5

a) Fuentes internas para control.

El proveedor debe incluir todos los filtros reguladores, inversores transformadores, fuentes CA/CD, convertidores CD/CD y todo lo necesario para acondicionar las alimentaciones proporcionadas por la Comisión a los valores requeridos internamente, tanto de corriente alterna como de corriente directa.

Las tensiones en corriente directa a partir de la alimentación en corriente alterna de la Comisión, debe obtenerse mediante rectificación directa.

2.2.5.2 Regulador de Voltaje.

El regulador de voltaje debe basar su diseño en tecnología digital basado en microprocesador, debe contar con:

a) Dos canales de operación controlados por procesador, Canal Automático y Canal Manual con la capacidad de excitar y desexcitar al generador, que deben cubrir el intervalo que comprende la curva de capacidad del generador (Capability Curve) y contar con los dispositivos que permitan la transferencia de forma automática al Canal Manual en caso de falla del Canal Automático y tener como respaldo un Canal de Respaldo Analógico de regulación de corriente de campo para el caso de falla de los procesadores (CPU), deberá tener indicación local y remota de la condición de operación en que se encuentre.

b) Bus de comunicación a nivel superior a través de puertos seriales RS-232 Y RS-485 en protocolo ModBus para integrarse a la red local de la central.

c) La programación necesaria para el diagnóstico, el monitoreo y la indicación correspondiente en caso de falla y la programación (Software) para transferir la información de memoria volátil a memoria EEPROM.

d) Dispositivos necesarios para realizar la programación de los ajustes de ganancias y constantes de tiempo del regulador de voltaje, los cuales deben tener los puntos de prueba y señalizaciones necesarias para verificar su correcto funcionamiento:

2.2.5.2.1 Canal automático

El canal automático debe ser de tecnología digital totalmente independiente del canal manual, por lo que debe contar con su propio proceso de la señal de control, fuentes de alimentación (CA/CD Y CD/CD) generador de pulsos de disparo, para cumplir con la regulación de voltaje en terminales del generador con una exactitud mayor del 99 %. Debe responder continuamente a cualquier variación de voltaje del generador manteniéndola estable y sin oscilaciones en todo el intervalo de operación del generador.

a) Referencia del canal automático (90R).

Debe ser capaz de controlar continuamente en forma local y remota el voltaje nominal del generador entre el 80% y 100% desde una operación en vacío hasta plena carga con una resolución no mayor del 0.5% del valor de ajuste y de cubrir este intervalo linealmente aproximadamente 1 minuto. Debe contar con señalización al panel de alarmas local y remoto cuando llegue a sus límites de operación máximo y mínimo.

No se permite que el control sea a través de motores eléctricos.

b) Compensador de reactivos.

Debe ser ajustable en forma accesible para cualquier valor entre 0% y 12% de reactivos (En base a los datos nominales del generador) para poder variar la característica de compensación de reactivos de acuerdo a las necesidades de cada instalación.

c) Limitador de baja excitación o limitador de ángulo.

En la región de subexcitación debe limitar la operación del generador de acuerdo al intervalo permitido por la curva de capacidad (Capability Curve) del generador en cuestión. Debe ser accesible de ajustarse. La conexión y desconexión de éste debe ser a través de un interruptor, programación o ambos. Cuando este dispositivo opere debe mandar una señal al panel de alarmas local y remoto.

d) Limitador de máxima corriente de campo.

En la región de sobreexcitación debe prevenirse el sobrecalentamiento del devanado del rotor de acuerdo al intervalo de operación permitido por la curva de capacidad del generador. Debe operar con una característica de tiempo inverso y una vez que alcance el límite de tiempo de la sobrecorriente en el campo debe bajar gradualmente la excitación en forma de rampa a una región de operación en la cual no exista sobrecalentamiento en el rotor. La conexión y desconexión de éste debe ser a través de un interruptor, programación o ambos. Cuando este dispositivo opere debe mandar una señal al panel de alarmas local y remoto.

e) Limitador de Volts/Hertz.

Debe operar reduciendo el voltaje del generador en proporción a la frecuencia si la velocidad esta debajo de un valor predeterminado o prevenir un excesivo voltaje para velocidad constante sin permitir que se rebase la relación V/Hz establecida. Este limitador protege al transformador y al generador de condiciones de altas relaciones Volts/Hertz. Debe ser accesible de ajustarse. La conexión y desconexión de éste debe ser a través de un interruptor, programación o ambos. Cuando este dispositivo opere debe mandar una señal al panel de alarmas local y remoto.

f) Estabilizador del sistema de potencia (PSS).

Debe funcionar cuando se presenten disturbios en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), ayudando a mantenerlo dentro de los intervalos permitidos de estabilidad, como se indica en la Norma IEEE 421.2. Este dispositivo introducirá una señal adicional al proceso de la señal de control. La señal de entrada al estabilizador de potencia puede provenir de la velocidad del rotor (ω), de la frecuencia (Hz) o de la potencia eléctrica (MW) tomadas del generador en cuestión.

Estando en operación el estabilizador de potencia, este no debe tener acción durante la operación del variador de carga (65P), el compensador de frecuencia (FC), el control de grupo (Joint Control) y otras que el proveedor recomiende. Además este dispositivo debe ser accesible de ajustarse así como también la conexión y desconexión de éste, debe ser a

través de un interruptor, programación o ambos. Debe mandar señalización de estar dentro o fuera de servicio al panel de alarmas local y remoto.

2.2.5.2.2 Canal manual.

El canal manual debe ser de tecnología digital y totalmente independiente del canal automático, por lo que debe tener su propio proceso de la señal de control, fuente de alimentación (CA/CD, CD/CD) y generador de pulsos de disparo para cumplir con la función de regulación de corriente de campo del generador.

Debe contar con un dispositivo de referencia manual (70E) capaz de controlar en forma local y remota el voltaje del generador desde un 30% de voltaje nominal en vacío hasta el máximo voltaje requerido por el generador en condiciones de carga.

Además debe de cumplir con señalización al panel de alarmas local y remoto cuando llegue a sus límites de operación máximo y mínimo, no se permite que el control de éste dispositivo sea a través de motores eléctricos.

Este canal debe tener una lógica adecuada para que cuando la unidad opere en manual y haya una apertura del interruptor de máquina, la referencia de corriente se ajuste automáticamente al valor de corriente correspondiente al voltaje nominal de vacío.

a) Canal Analógico de Respaldo.

El regulador de voltaje deberá tener en base a la medición de la corriente de campo un regulador analógico como respaldo para la falla de los canales automático y manual controlados por procesador, y deberá controlar la corriente necesaria para mantener la unidad excitada a 1.07 P.U. de voltaje en vacío, y en condiciones de máquina sincronizada mantener la corriente de campo necesaria para proporcionar al menos el 70% de potencia activa. La existencia de este regulador permitirá controlar la carga de la unidad para desconectarla de la red de manera controlada y evitar un disparo por falla del o los procesadores.

2.2.5.2.3 Seguidor automático de voltaje.

El regulador de voltaje debe contar con seguidor automático de voltaje en ambos canales para que en caso de transferencia del canal automático al canal manual o viceversa, no se produzcan perturbaciones en el voltaje del generador. La transferencia de canal manual al canal automático o viceversa debe ser automática en caso de falla del canal que se encuentra en operación o podrá ser realizada por el operador, ya sea localmente o en forma remota.

En caso de transferencia por falla debe indicarse (alarma) el tipo de falla. Debe contar con dos medidores de balance (con cero al centro) localizados uno en el gabinete del regulador de voltaje y el otro en el tablero remoto.

2.2.5.2.4 Lógica de control programable.

Debe de contar con los dispositivos y el software necesarios para realizar la programación de las secuencias lógicas de control requeridas en la operación del regulador de voltaje. El software debe ser de fácil manejo.

2.2.5.2.5 Señalización y alarmas.

Debe contar con los dispositivos necesarios para la señalización visual de alarmas y señalización de condiciones operativas.

2.2.5.3 Protecciones.

El sistema de excitación debe de contar con protecciones que vigilen su adecuada operación y lo protejan en caso de fallas en el mismo, con señalización en el panel de alarmas local y remoto.

2.2.5.3.1 Protecciones del regulador automático de voltaje.

Debe tener protecciones que vigilen la operación correcta de los dispositivos que conforman al regulador de voltaje.

Cuando ocurra transferencia del canal automático al canal manual por la operación de alguna protección se debe proporcionar una señalización indicando que la transferencia fue en forma automática, para el caso de transferencias realizadas manualmente por el operador no se debe proporcionar la señalización antes mencionada. Como mínimo se deben tener las siguientes protecciones:

a) Protección por pérdida de retroalimentación.

Protege para que en caso de falla en el circuito de retroalimentación por algún desequilibrio de fases o pérdida de una fase, se realice la transferencia a canal manual.

b) Protección por sobrecorriente de campo.

Esta protección opera cuando por alguna razón la corriente de campo detectada en CD sobrepasa los límites permitidos por el rotor y esta no puede ser controlada por los dispositivos propios de los canales automático y manual.

Cuando se esté operando en canal automático y opere esta protección, se realizará la transferencia al canal manual, y cuando se esté operando en canal manual y opere esta protección se realizará una transferencia al canal de respaldo analógico.

- c) Protección por pérdida de fuentes de alimentación del canal manual.

Esta protección debe mandar transferencia de operación al canal de respaldo analógico, cuando la fuente o fuentes de alimentación del canal manual fallen y el canal automático este fuera de servicio.

2.2.5.3.2. Protección del puente rectificador.

Los puentes rectificadores deben tener protecciones que vigilen y protejan la adecuada operación de éste. Con el generador en línea si se presenta una falla de un puente rectificador, el puente fallado debe tener bloqueo automático para quedar fuera de servicio sin causar efecto alguno en la operación del o de los otros puentes que quedaron conectados. Las protecciones mínimas que debe tener cada puente son:

- a) Protección por sobrecorriente para los SCR.

Esta protección evita que existan corrientes excesivas que afecten la operación de los SCR, debe hacerse a través de fusibles ultrarrápidos instalados en cada tiristor, provistos de contactos para alarmas y señal para el circuito de protección por falla de SCR. La operación de esta protección debe entrar en la secuencia de disparo en función de la lógica de protección dada por el fabricante.

- b) Protección por sobrevoltaje de SCR.

Esta protección limita sobretensiones que afecten la operación de los SCR.

- c) Protección por falla de pulsos de disparo de los SCR.

Esta protección supervisa que los pulsos de disparo de los SCR lleguen en forma adecuada. La operación de esta protección debe mandar bloqueo al puente fallado.

- d) Protección por falla del sistema de enfriamiento.

La operación de esta protección debe mandar bloqueo al puente o los puentes que quedan sin enfriamiento.

- e) Protección por desbalance de corriente en el puente rectificador.

Esta protección opera cuando existe un desbalance en la corriente entre los puentes rectificadores que estén en operación, de acuerdo al diseño del fabricante.

2.2.5.3.3 Otras protecciones.

Se consideran como otras protecciones aquellas que quedan fuera del regulador de voltaje y que protegen al generador, como mínimo deben ser las siguientes:

- a) Protección por tiempo largo de excitación forzada.

La finalidad de esta protección es mantener la integridad del sistema de excitación y debe operar cuando el tiempo de excitación inicial es muy largo, este tiempo debe ser definido por el fabricante.

- b) Filtro de voltaje de flecha.

Este dispositivo protege a las chumaceras del generador contra las corrientes de flecha ocasionadas por el sistema de excitación.

- c) Protección supresor de sobretensiones (Crow Bar).

Tiene como función proteger a los puentes rectificadores y al campo del generador de sobretensiones transitorias de picos elevados producidos por la conmutación de los SCR, por la apertura del interruptor de campo por transitorios producidos en el primario del transformador de excitación.

2.2.5.4 Gabinetes.

Los gabinetes del sistema de excitación (gabinetes del regulador de voltaje, de puentes rectificadores, de interruptor de campo, de circuitos de excitación y desexcitación) deben formar un solo tablero, autosoportado, rígido, diseñado para instalación interior, teniendo paneles con puertas para acceso a todo el equipo, entradas para los cables de control por la parte inferior y una base hecha de hierro canal para su montaje. Las puertas deben ser herméticas al polvo, y para los gabinetes de los puentes rectificadores e interruptor de campo, deben ser además a prueba de explosión.

Deben interconectarse a la red de tierras en un solo punto mediante un conector para cable de cobre calibre 2/0 a 4/0 AWG.

Deben tener su acabado exterior e interior tropicalizado, con el recubrimiento adecuado y seleccionado de acuerdo con las especificaciones CFE D8500-01, CFE D8500-02, CFE D8500-03, adicionalmente, todas las bases, correderas, tornillos, soportes, arandelas y demás accesorios metálicos deben ser galvanizados por el método de galvanizado especial por inmersión caliente; todos los componentes y materiales deben de ser resistentes a la propagación de incendio.

Los gabinetes se deben suministrar con un bus para alimentación de calefactores de espacio, con interruptores termomagnéticos en caja moldeada con las siguientes características:

- Para centrales hidroeléctricas: interruptor general de 3 polos, 600 VCA, 30 A e interruptores en cada sección, de dos polos 600 VCA y 15 A.

- Para centrales termoeléctricas: interruptor general de 3 polos, 240 VCA, 30 A e interruptores en cada sección de un polo, 240 VCA y 15 A.

Las resistencias calefactoras de espacio deben ser:

- a) Para trabajo continuo.
- b) De la capacidad adecuada.
- c) Protegidos con rejillas metálicas.

Las características técnicas de los gabinetes, deben de estar de acuerdo con la norma ANSI/IEEE C37.2.0.

2.2.5.4.1. Alambrado, conductores y tablillas terminales.

El alambrado de control dentro de los gabinetes o tableros para conexión a circuitos externos, se debe llevar hasta tablillas de terminales utilizando conduit y accesorios a prueba de agua, a menos que los dispositivos de control sean montados en cubierta a prueba de intemperie o que se especifique lo contrario. El manejo de puertas y módulos no debe provocar modificaciones en las conexiones y cables.

Las tablillas de terminales deben ser moldeadas en material termofijo, aislante, resistente a la propagación del incendio, libre de halógenos, diseñadas para prevenir el contacto accidental con partes metálicas energizadas, adecuadas para conectar un solo conductor sólido o flexible, debidamente identificadas e incluyendo accesorios como extremos fijadores, barreras separadoras, puentes, clavijas de prueba, etcétera.

Las tablillas terminales y accesorios deben ser tropicalizados para operar eficientemente en ambientes húmedos y/o corrosivos. Los contactos de los dispositivos de control no utilizados también deben ser alambrados a las tablillas de terminales para conexión futura a circuitos externos.

Las conexiones dentro de los gabinetes deben estar debidamente identificadas en conductores y tablillas.

Los conductores empleados para el alambrado de los tableros deben cumplir con las características indicadas en las especificaciones CFE E0000-24, E0000-25, E0000-26, deben estar protegidos contra fillos y bordes de los gabinetes.

Las conexiones a un mismo cable exterior deben quedar localizadas en terminales contiguas de una misma tablilla utilizando puentes. El aislamiento y claros a tierra deben estar diseñados de manera tal, que las partes vivas soporten una prueba de voltaje de 1500 VCA, 60 Hz, durante 1 minuto.

- a) Terminales y terminaciones de cables de fuerza.

Las tablillas deben tener terminales para tornillos de máquina del número 8 o 10 y con barreras entre terminales.

No deben usarse zapatas de presión o grapa.

Las terminales de los cables en las tablillas de terminales deben ser con zapatas de ojo y con casquillo aislado.

Zapatas abiertas no son aceptadas. Las zapatas de ojo deben tener suficiente resistencia mecánica para que no se quiebren con las vibraciones del equipo en el que estén instaladas.

b) Terminales de cables de instrumentación y control.

El mecanismo de conexión de las terminales debe ser tipo grapa con tornillo, a prueba de vibraciones, protegido contra corrosión de ambientes salinos, con amplias áreas de contacto, que sujete, prevenga la inserción incorrecta y garantice un contacto continuo en el conductor.

El conduit que se utilice para tender el alambrado desde interruptores, controles, etc., a cajas terminales y otros componentes, deben ser de acero rígido, galvanizado y pared gruesa de 19 mm de diámetro como mínimo. Cuando se utilice el conduit flexible, este debe ser del tipo sellado con una cubierta adecuada, el conduit no se utiliza como conductor de tierra, sino que se emplea un conductor de cobre para tal fin.

El arreglo de los conduits se debe hacer de manera que drenen la humedad condensada hacia las cajas terminales.

La humedad no debe gotear sobre los contactos eléctricos o partes sensibles. Los conduits entrando a cubierta y cajas terminales deben ser roscados.

Las uniones de conduit y el armado de cables deben asegurar su continuidad al potencial a tierra. Debe verse que el equipo sea conectado al sistema de tierra de la central generadora.

2.2.5.4.2 Mandos de control.

Los mandos de control (transferencia entre canales de operación, apertura y cierre del interruptor de campo, subir y bajar excitación, etc...), así como los indicadores de estado a distancia requeridos por el sistema de excitación, deben ser suministrados para ser instalados en los tableros de control.

2.2.5.5 Software para ajustes y diagnóstico del sistema de excitación.

El software para el ajuste y el diagnóstico del sistema de excitación debe poder instalarse en una computadora portátil, y debe tener la capacidad para poder cambiar los ajustes y

poder realizar diagnósticos de la operación del regulador de voltaje a través del monitoreo de señales internas requeridas para la localización de fallas. Además el software debe ser de fácil operación

2.2.6 Empaque y embarque.

El acondicionamiento para empaque y embarque deben cumplir con lo indicado en la especificación de CFE L0000-11.

2.2.7 Control de calidad.

El proveedor debe de contar con un sistema de aseguramiento de calidad que cumpla con los requisitos establecidos en la especificación CFE L0000-31. Además debe:

- a) Garantizar que el material y mano de obra este libre de defectos y que debe ser del tipo y calidad especificada, y debe de operar de la manera descrita en la propuesta.
- b) Notificar al LAPEM de la Comisión sobre el programa de pruebas, así como proveer los protocolos de pruebas en fábrica.
- c) El alambrado del equipo debe ser instalado, conectado y probado por el proveedor antes del embarque.

2.2.7.1 Pruebas.

Las pruebas de campo se clasifican en dos grandes ramas, que son:

- a) Pruebas de puesta en servicio del sistema de excitación, que deberán ser realizadas por el fabricante con la presencia del personal que asigne el cliente.
- b) Las pruebas de comportamiento deben ser desarrolladas por personal que asigne el cliente con supervisión del proveedor, aceptando de antemano que los trabajos que se realicen estarán de acuerdo a sus recomendaciones, por lo cual debe garantizarlas por el mismo y por su fábrica.

Cualquier retraso que se origine por una falla de previsión del proveedor, durante los trabajos de puesta en servicio, los costos que se generen, deben ser cubiertos por el mismo.

Las pruebas de comportamiento del sistema de excitación serán realizadas por el personal de LAPEM de la C.F.E., cualquier defecto que se encuentre en el equipo previo y durante las pruebas, debe ser corregido inmediatamente por el proveedor por su propia cuenta y las pruebas deben de continuar y/o repetirse hasta que se demuestre que todo el equipo esta en buenas condiciones físicas y de operación.

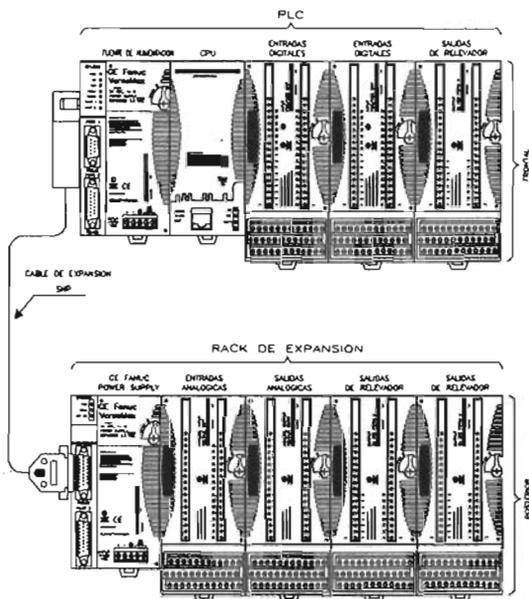
2.3 PLATAFORMA DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

El PLC presenta un diseño compacto sin rack y va montado sobre una guía simétrica DIN. La CPU, con su potente Juego de Instrucciones de Programación y características avanzadas, sirve a un total de hasta ocho módulos E / S opcionales, proporcionando hasta 256 puntos E / S locales.

En el sistema local pueden incluirse hasta ocho módulos. La alimentación para el funcionamiento de los módulos la proporciona una fuente de alimentación que va montada directamente sobre la CPU. En el sistema pueden incluirse fuentes de alimentación adicionales para módulos que requieren intensidades elevadas.

Los módulos E / S van montados sobre "soportes" individuales. Los soportes van instalados en la guía simétrica DIN y proporcionan las comunicaciones con el panel posterior y terminales para cableado in situ del módulo.

Los módulos se instalan sobre una base especial de soporte, como se muestra en la siguiente figura. Son soportes tipo terminal, los módulos están orientados verticalmente respecto a la guía simétrica DIN. Los soportes tipo terminal incluyen 36 terminales con tornillo hacia abajo para conexión directa del cableado in situ.



La autoconfiguración en la conexión proporciona un direccionamiento automático de los módulos del sistema. Los módulos incluyen un conjunto de funciones por defecto adecuadas para una extensa gama de aplicaciones.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CPU.

La CPU incluye un extenso Juego de Instrucciones, con programación en formato de Esquema de Contactos y de Esquema de Funciones Secuenciales. Los programas pueden incluir funciones para datos con coma flotante (reales).

Memoria de programas

Los programas de aplicación se crean empleando el software de programación y transfiriéndolo a la CPU. Los programas se almacenan en una memoria protegida por la batería de la CPU.

Subrutinas

El programa puede estar integrado por un programa principal que se ejecuta completamente durante cada barrido de la CPU o el programa puede dividirse en subrutinas.

Las subrutinas pueden simplificar la programación y reducir la cantidad total lógica. Puede llamarse a cada subrutina según sea necesario.

Referencias del estado del sistema

La CPU proporciona un juego completo de referencias de estado del sistema. La CPU actualiza automáticamente estas posiciones de memoria con nombres predefinidos que contienen información de estado. La lógica del programa puede acceder a las mismas para comprobar y responder a cambios de las condiciones del sistema. Estas referencias de estado especiales incluyen algunas referencias de marcas de tiempo con nombre T_10MS, T_100MS, T_SEC Y T_MIN y referencias tales como FST_SCN (primera exploración), ALW_ON (siempre conectada) y ALW_OFF (siempre desconectada).

Juego de instrucciones

El juego de instrucciones de la CPU incluye una gama completa de prestaciones familiares de otros PLC.

<p>Contactos</p> <p>Normalmente abiertos Normalmente cerrados</p>	<p>Bobinas</p> <p>Normalmente abiertas Negadas Transición positiva y negativa SET / RESET SET retentivo / RESET retentivo Retentivo negado / retentivo</p>
<p>Temporizadores y conectores</p> <p>Temporizador cronometro retardo a la conexión Temporizador retardo a la desconexión Temporizador retardo a la conexión Contador incremental Contador decremental</p>	<p>Funciones matemáticas</p> <p>Adición / Substracción / Multiplicación / División División por módulo Trigonómicas: seno, coseno, tangente, inversa de seno, inversa de coseno, inversa de tangente Convertir en grados / convertir en radianes Raíz cuadrada Logaritmo base 10 / logaritmo neperiano Potencia de e</p>
<p>Funciones relacionales</p> <p>Igual que Distinto que Mayor que Mayor o igual que Menor que Menor o igual que Intervalo</p>	<p>Funciones para operaciones tipo bit</p> <p>AND /OR lógicas /OR exclusiva / Invertir Desplazar a la izquierda / desplazar a la derecha Girar a la izquierda / girar a la derecha Test de bit / activar bit / Resetear bit / Posición de bit/ Comparar con máscara</p>
<p>Funciones para mover datos</p> <p>Mover Mover bloque Resetear bloque Registro de desplazamiento Secuenciador de bits Petición de comunicación</p>	<p>Funciones de tablas</p> <p>Mover bloque de tabla Buscar: igual que / distinto que / mayor que / mayor o igual que / menor que / menor o igual que</p>
<p>Funciones de conversión</p> <p>Convertir entero en BCD-4 Convertir real en palabra Convertir BCD-4 o real en entero Convertir BCD-4 o real en entero de doble precisión Convertir entero doble precisión Entero, BCD-4 o palabra en real Truncar real a entero</p>	<p>Funciones de control</p> <p>Llamar Ejecutar E / S Algoritmo PID independiente Algoritmo PID ISA Fin temporal de lógica Comentario Petición de servicio Relé de control maestro anidado</p>

Truncar real a entero de doble precisión	Secuenciador Jump
--	-------------------

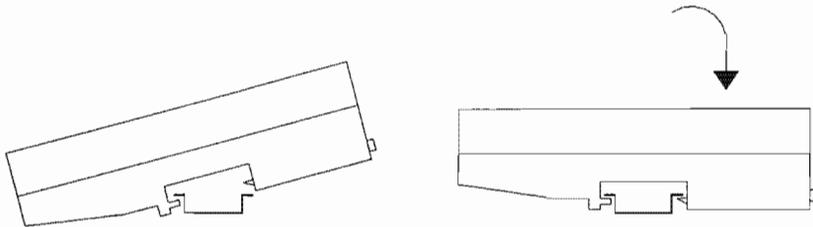
2.3.2 INSTALACIÓN

Instalación de la CPU en la guía simétrica DIN

La CPU y todos los soportes se instalan en un solo tramo de guía simétrica DIN 7,5mm X 35mm, que deben estar puestos a tierra eléctricamente para proporcionar una protección CEM. La guía simétrica tiene un acabado conductor (sin pintar) resistente a la corrosión.

Para la resistencia a las vibraciones, la guía DIN se instala en un panel utilizando tornillos espaciados aproximadamente 5,24 cm (6 pulgadas) uno de otro.

La base queda engatillada fácilmente sobre la guía simétrica DIN. Para montar o poner a tierra sobre la guía no se requieren herramientas.



Procedimiento para retirar la CPU de la guía DIN

- 1- Desconectar la corriente de la fuente de alimentación.
- 2- (Si la CPU está unida al panel con un tornillo), extraer el módulo de la fuente de alimentación. Retirar el tornillo de fijación al panel.
- 3- Deslice la CPU a lo largo de la guía DIN para apartarla de los demás módulos hasta que se desenganche el conector.
- 4- Con un pequeño destornillador de cabeza plana, extraiga la lengüeta del cerrojo de la guía DIN hacia fuera inclinando al mismo tiempo el otro extremo del módulo hacia abajo y hacia el frente para sacarlo de la guía DIN.

Montaje en el panel de la CPU.

Para lograr una resistencia máxima a las vibraciones mecánicas y a los golpes, el módulo montado sobre guía DIN además debe instalarse en un panel. Utilizando el módulo como

plantilla, marcar sobre el panel la ubicación del agujero de fijación del módulo. Taladrar el agujero en el panel. Instale el módulo con un tornillo M3.5 (#6) en el agujero de fijación al panel.

Nota. 1- Las tolerancias sobre todas las dimensiones son $+ / - 0,13\text{mm} + / - 0,005$ pulg. No acumulativas

Nota. 2- Al tornillo de acero M3.5 (#6-32) atornillado en material que contienen roscas internas y con un grosor mínimo de 2.4 mm (0.093 pulgadas) debe aplicarse un par de 1,1-1,4Nm (10-12 pulg. / lbs).

Instalación de la fuente de alimentación

- 1.- El módulo de la fuente de alimentación va instalado directamente sobre la CPU. La lengüeta de la fuente de alimentación debe estar en la posición desbloqueada.
- 2.- Alinear los conectores y el puntal de la lengüeta y accionar firmemente el módulo de la fuente de alimentación hasta que las dos lengüetas de la parte inferior de la fuente de alimentación hagan clic en su posición de montaje. Asegurarse de que estas quedan totalmente dentro de los agujeros del borde inferior de la CPU.
- 3.- Gire la lengüeta a la posición bloqueada para asegurar la fuente de alimentación a la parte superior del módulo de la CPU.

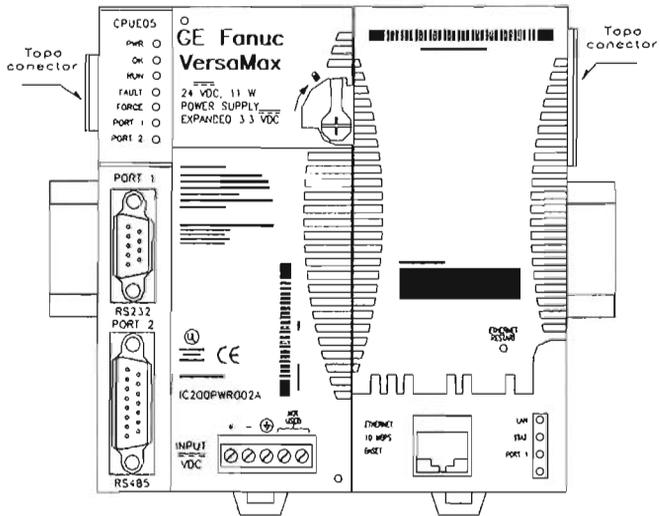
Extracción de la fuente de alimentación

- 1.- Desconecte la corriente.
- 2.- Gire la lengüeta a la posición desbloqueada.
- 3.- Presione sobre el panel flexible del borde inferior de la fuente de alimentación para desacoplar las lengüetas de la fuente de alimentación y sacarlas de los agujeros del soporte.
- 4.- Extraiga la fuente de alimentación recta hacia fuera.

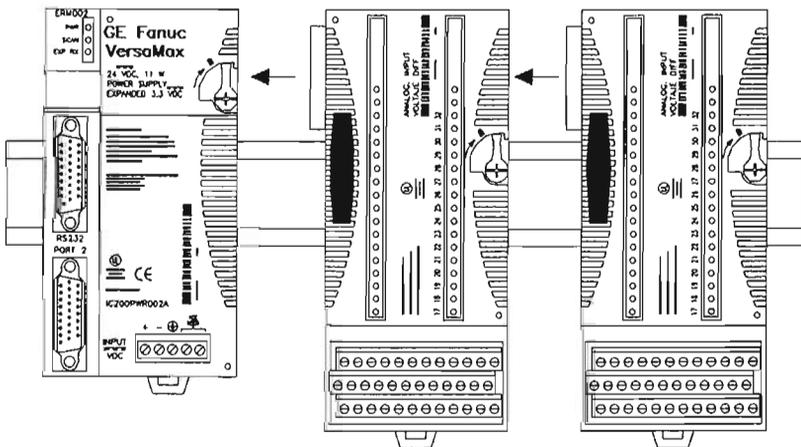
Instalación de módulos adicionales

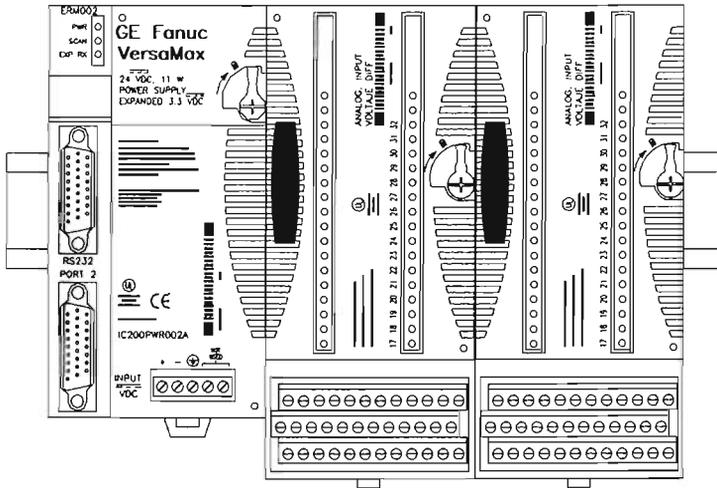
La CPU puede servir hasta 8 módulos E / S opcionales adicionales.

Antes de acoplar los soportes a la CPU, extraer la tapa del conector del lado derecho de la CPU. No tire esta tapa; deberá instalarla en el último soporte. Proteja el conector contra daños y descargas electrostáticas durante su manipulación y uso.



Se pueden instalar módulos adicionales, montando módulos sobre sus soportes y deslizando los a lo largo de la guía simétrica DIN para que los conectores encajen perfectamente en los laterales de los soportes.





La CPU alimenta +5V y +3,3V a los módulos por medio de su conector de unión. El número de módulos que puede soportar la fuente depende de los requisitos de alimentación de los módulos. Pueden utilizarse fuentes de alimentación de refuerzo adicionales, según sea necesario, para satisfacer las necesidades de alimentación de todos los módulos, El software de configuración permite hacer cálculos de alimentación con una configuración de hardware válida.

Activación o sustitución de la batería de protección de datos

El módulo de la CPU se entrega con una batería ya instalada. El portabaterías está situado en la parte superior del módulo de la CPU. Antes de usarla por primera vez, activar la batería tirando y extrayendo la lengüeta aisladora.

Activación o sustitución de la batería de litio

Para sustituir la batería, utilice un pequeño destornillador para apalancar suavemente y abrir el portabaterías.

Se debe sustituir la batería exclusivamente por una de las siguientes:

GE Fanuc	IC200ACC001
Panasonic	BR2032

La utilización de una batería distinta puede suponer un riesgo de incendio o de explosión.

PRECAUCION

No recargue, desmontar o calentar por encima de 100 grados C (212 grados F) o incinerar la batería.

2.3.3 CONFIGURACIÓN.

La configuración describe el proceso mediante el cual la CPU determina ciertas características de funcionamiento de los módulos a que sirve. Esta configuración también establece las referencias de programa que utilizará cada módulo del sistema.

La CPU soporta la autoconfiguración o el almacenamiento de una configuración desde un equipo programador.

2.3.3.1 DESCARGA DE UNA CONFIGURACIÓN DESDE UN EQUIPO PROGRAMADOR.

Una configuración puede almacenarse desde un equipo programador a través del puerto de la CPU.

El almacenamiento de una configuración inhibe la autoconfiguración.

El borrado de una configuración del equipo programador hace que se genere una nueva autoconfiguración. La autoconfiguración se validará hasta que el equipo programador almacene de nuevo la configuración.

2.3.3.2 AUTOCONFIGURACIÓN.

Cuando la autoconfiguración es válida, no existe ninguna autoconfiguración previa, al conectar la corriente, la CPU lee la autoconfiguración de los módulos instalados en el sistema y crea una configuración general del mismo.

Los módulos que poseen características configurables por software utilizan sus valores por defecto cuando se autoconfiguran.

“Slots”

Cada módulo E / S o módulo opcional ocupa un “slot” en el sistema. El módulo situado junto a la CPU está en el slot 1. Las fuentes de alimentación de refuerzo no cuentan como slots ocupados.

Al conectar la corriente, la CPU genera automáticamente por defecto una configuración que incluye todos los módulos presentes físicamente en el sistema, comenzando por el slot 1. La autoconfiguración se detiene en el primer slot vacío o módulo con fallo. Por ejemplo, si existen módulos presentes físicamente en los slots 1,2,3,5 y 6, no se autoconfiguran los módulos de los slots 5 y 6.

Se asignan direcciones de referencia a los módulos automáticamente por orden ascendente. Por ejemplo, si el sistema contiene un módulo de entradas de 16 puntos, un módulo de entradas de 8 puntos, un módulo de salidas de 16 puntos y otro módulo de entradas de 16 puntos, por este orden, se asigna a los módulos de entradas las direcciones de referencia de %I0001, %I0017 y %I0025, respectivamente. Para los módulos que utilizan múltiples tipos de datos (por ejemplo, módulos E / S mixtos), cada tipo de datos tiene asignadas direcciones de referencia individualmente.

Diagnóstico de autoconfiguración

- Módulo presente pero no en funcionamiento durante la autoconfiguración.

Si un módulo está físicamente, presente pero no en operación durante la autoconfiguración, El módulo no se configura y la CPU genera un diagnóstico de módulo extra.

- Slot vacío durante la configuración:

Se detiene la autoconfiguración en el primer Slot vacío. Los módulos ubicados después del Slot vacío no se configuran. La CPU genera un diagnóstico de módulo extra por cada uno de ellos.

- Módulos configurados previamente presentes durante la autoconfiguración:

Los módulos que son configurados previamente no pierden su configuración durante la autoconfiguración aun cuando el módulo no este presente en el sistema. Por ejemplo, si los módulos son configurados en los Slots 1,2 y 3, se retira la alimentación y después se retira el módulo del Slot 1, si se aplica nuevamente la alimentación, los módulos en los Slots 2 y 3 se configuran normalmente. El módulo original en el Slot 1 no es removido de su configuración. La CPU genera un diagnóstico de pérdida de módulo en el Slot 1.

- Módulos diferentes presentes durante la autoconfiguración.

Si un Slot fue previamente configurado por un tipo de módulo pero se instala un módulo diferente durante la autoconfiguración, la CPU genera un diagnóstico de configuración desajustada.

- Módulo no configurado instalado después de la autoconfiguración.

Si un módulo que no fue configurado previamente es instalado después de conectar la alimentación. La CPU genera un diagnóstico de módulo extra y el módulo no es integrado en la configuración.

- Módulo previamente configurado instalado después de la autoconfiguración.

Si a un módulo que fue configurado previamente, se le retira la alimentación, estando el módulo fuera y se coloca después de conectar la alimentación, la CPU genera un diagnóstico de adición de módulo, y el módulo es adicionado de nuevo a la exploración de las E/S.

- Todos los módulos retirados después de la autoconfiguración

Si todos los módulos están ausentes al conectar la alimentación, la CPU borra la configuración. Esto permite enserter módulos y añadirlos a la configuración la proxima vez que se le conecte la alimentación.

2.3.4 FUNCIONAMIENTO DE LA CPU.

2.3.4.1 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CPU.

El programa de aplicación en un PLC se ejecuta de manera repetitiva. Además de ejecutar el programa de aplicación, la CPU del PLC obtiene periódicamente datos de dispositivos de entrada, envía los datos a los dispositivos de salida, realiza tareas de administración interna y tareas de comunicaciones. Esta secuencia de operaciones se denomina **barrido**.

- ◆ El modo de funcionamiento básico del PLC se denomina modo **Barrido estándar**. En este modo, la CPU ejecuta todas las partes de su barrido con normalidad. Cada barrido se ejecuta con la mayor rapidez posible con una cantidad de tiempo diferente consumida en cada barrido.
- ◆ En lugar de ello, el PLC puede funcionar en el modo **Tiempo de barrido constante**. En este modo, la CPU ejecuta idéntica serie de acciones, pero cada barrido tarda idéntica cantidad de tiempo.
- ◆ El PLC también puede estar en uno de dos modos de parada:

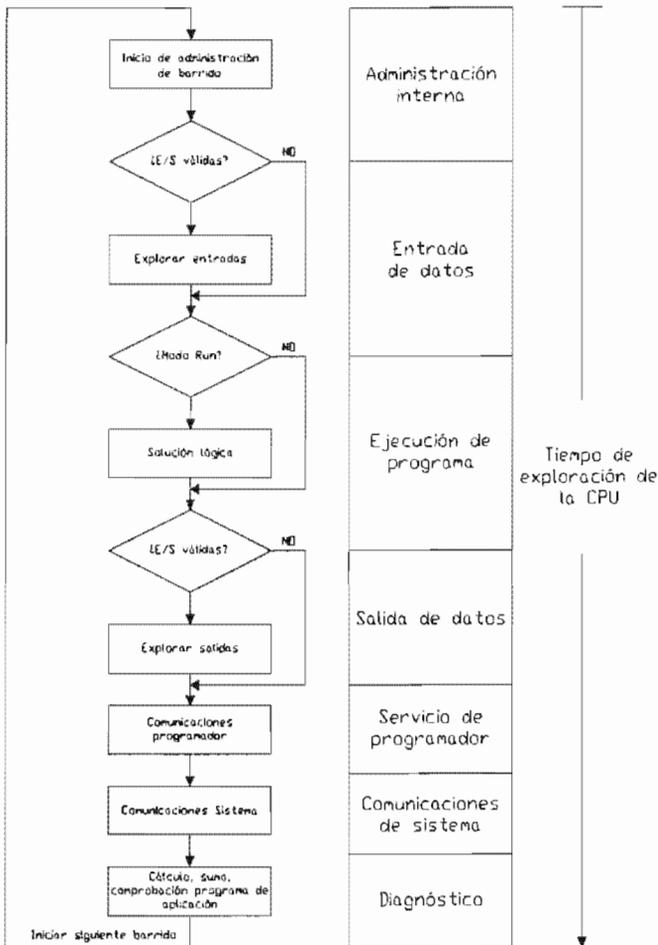
- Modo de Parada con E / S inhibidas
- Modo de Parada con E / S válidas

Descripción del barrido de la CPU

- Inicio del barrido Administración interna.
- Exploración de entradas.

- Ejecución de lógica del programa de aplicación.
- Exploración de salidas.
- Ventana de comunicaciones con programador.
- Ventana de comunicaciones del sistema.
- Cálculo de suma de comprobación del programa lógico.

En la siguiente página se muestra la figura del diagrama a bloques del barrido de la CPU.



Modo estándar de barrido de la CPU

El modo estándar de barrido es el modo de funcionamiento normal de la CPU del PLC. En el modo Estándar de Barrido, la CPU ejecuta de manera repetitiva el programa de aplicación, actualiza las E / S y realiza tareas de comunicaciones y otras tareas mostradas en el diagrama.

- 1.- La CPU ejecuta sus tareas administrativas internas de inicio de barrido.
- 2.- Lee las entradas.
- 3.- Ejecuta el programa de aplicación.
- 4.- Actualiza las salidas.
- 5.- Si esta disponible un equipo de programación, la CPU se comunica con el mismo.
- 6.- Se comunica con otros dispositivos.
- 7.- Ejecuta el diagnóstico.

Las comunicaciones con el equipo programador se producen únicamente cuando se necesitan.

En este modo, la CPU ejecuta todas las partes de su barrido con normalidad. Cada barrido se ejecuta con la mayor rapidez posible, consumiéndose en cada barrido una cantidad diferente de tiempo.

Las ventanas de barrido

La ventana de comunicaciones con el equipo programador y la ventana de comunicaciones con el sistema tienen dos modos de funcionamiento:

Modo limitado	El tiempo de ejecución de la ventana es de 6ms. La ventana se termina cuando ya no tiene mas tareas para ejecutar o cuando han transcurrido 6ms.
Modo ejecutar hasta terminar	Independientemente del tiempo asignado a una ventana concreta, la ventana se ejecuta hasta que se han terminado o ejecutado todas las tareas dentro de dicha ventana (hasta 400ms).

El temporizador watchdog

Cuando la CPU se encuentra en el modo de **Barrido Estándar**, el Temporizador Watchdog detecta condiciones de fallo que podrían ocasionar un barrido extraordinariamente largo. La longitud del Temporizador Watchdog es 500 milisegundos. Se reinicia desde cero al comienzo de cada barrido.

Si el barrido tarda mas de 500ms, se apaga el LED OK del módulo de la CPU. La CPU se reinicializa, ejecuta su lógica de conexión de la corriente, genera un fallo por anomalía

del funcionamiento del watchdog y pasa al modo Parada. Las comunicaciones se interrumpen temporalmente.

Modo con tiempo de barrido constante

Si la aplicación requiere que cada barrido de la CPU tenga idéntica duración, la CPU puede configurarse para funcionar en el modo con Tiempo de Barrido Constante. Este modo de funcionamiento asegura que todas las entradas y salidas del sistema se actualizan a intervalos constantes. Este modo puede emplearse también para implementar un tiempo de barrido mas prolongado, para asegurar que las entradas tienen tiempo para estabilizarse después de recibir los datos enviados desde el programa.

Si el PLC se encuentra en el modo STOP (PARADA), puede editarse su modo de Barrido Constante Configurado. Después de hacerlo, la configuración debe Almacenarse en la CPU para que el cambio tenga efecto. Una vez almacenado el modo Tiempo de Barrido Constante se convierte en un modo de barrido por defecto.

Temporizador de Barrido Constante

El Temporizador de Barrido Constante de la CPU controla la duración del barrido. El valor del temporizador puede ser de 5 hasta 500 milisegundos. El tiempo debe ser al menos 10 milisegundos mas largo que el tiempo de barrido de la CPU cuando se encuentra en el modo de Barrido Estándar para prevenir fallos extraños de sobrebarrido.

Si el Temporizador de Barrido Constante termina el computo antes de que se termine el barrido, la CPU, no obstante, termina de ejecutar el barrido completo. Sin embargo, automáticamente detecta que se ha producido un barrido excesivamente largo. En el siguiente barrido después del sobrebarrido, la CPU coloca una alarma de sobrebarrido en la tabla de fallos del PLC . A continuación, al comienzo del barrido siguiente, la CPU activa el contacto de fallo OV_SWP (%SA0002). La CPU reinicializa automáticamente el contacto OV_SWP cuando el tiempo de barrido ya no rebasa el Temporizador de Barrido Constante. La CPU reinicializa también el contacto OV_SWP si no se encuentra en el modo de Tiempo de Barrido Constante.

Modos de parada de CPU

En el PLC puede encontrarse también en uno de dos modos de Parada:

- Modo Parada con E / S inhibidas
- Modo Parada con E / S válidas.

Cuando el PLC se encuentra en el modo Parada, la CPU no ejecuta la lógica del programa de aplicación. Se puede configurar si se exploran o no las E / S durante el modo Parada. Las comunicaciones con el equipo programador y los módulos opcionales inteligentes continúan en el modo Parada. Además, la interrogación de tarjetas con fallo y la ejecución de la reconfiguración de tarjetas continúan en el modo Parada.

2.3.4.2 CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE UN PROGRAMA.

El Juego de Instrucciones de la CPU contiene varias funciones potentes de Control que pueden incluirse en un programa de aplicación para limitar o cambiar al modo en que la CPU ejecuta el programa y explora las E / S.

Llamada a un bloque de subrutina

La función CALL puede emplearse para que la ejecución de un programa cambie a una subrutina específica. La lógica condicional situada antes de la función llamada Call controla las circunstancias en que la CPU ejecuta la lógica de la subrutina, la ejecución del programa se reanuda en el punto situado en el la lógica directamente después de la instrucción CALL.

Creación de un fin temporal de la lógica

La función END puede emplearse para disponer de un fin temporal de la lógica. Puede colocarse en cualquier punto de un programa. No se ejecuta ninguna lógica mas allá de la función END y la ejecución del programa vuelve directamente al comienzo. Esta prestación hace que la función END resulte útil para depurar errores en un programa.

Salto a otra parte del programa

La función JUMP permite ala ejecución de un programa avanzar bien hacia adelante o hacia atrás dentro de la lógica. Cuando una función jump esta activa las bobinas de la parte saltada del programa mantienen sus estados previos. Los saltos no pueden abarcar bloques.

Borrado de toda la memoria

Es posible ejecutar una operación de borrar toda la memoria de la CPU desde algún equipo de programación. Esta prestación permite a los técnicos borrar la memoria de la CPU y almacenar un nuevo programa de aplicación.

Manejo del selector de modo Run / Stop (Ejecución / Parada)

El selector de modo RUN / Stop de CPU puede configurarse para colocar la CPU en modo Stop o Run. También puede configurarse para impedir la escritura en un programa o memoria de configuración y forzar o corregir datos discretos. Cambia por defecto a la selección de modo Run / Stop válido y a protección de memoria inhibida.

Si está validado el selector de modo Run / Stop, este selector puede operar la CPU en modo Run.

- ◆ Si la CPU tiene fallos no fatales y no se encuentra en el modo Stop / Fault, al colocar el selector en la posición Run, la CPU cambia al modo Run. Los fallos NO se borran.
- ◆ Si la CPU tiene fallos fatales y se encuentran en el modo Stop / Fault, al colocar el interruptor en la posición Run, el LED Run destella durante 5 segundos. Mientras destella el LED Run, el selector de la CPU puede emplearse para borrar la tabla de fallos y colocar la CPU en el modo Run. Una vez que el selector haya estado en la posición Run durante al menos ½ segundo, colóquelo en la posición Stop durante al menos ½ segundo. A continuación, colóquelo de nuevo en la posición Run. Los fallos se borran y la CPU cambia al modo Run. El LED deja de destellar y permanece encendido. Esto puede repetirse si es necesario.
- ◆ Si la posición del selector no se conmuta como se describe, al cabo de 5 segundos, el LED Run se apaga y la CPU permanece en el modo Stop / Fault. Los fallos se conservan en la tabla de fallos.

2.3.5 ELEMENTOS DEL PROGRAMA DE APLICACIÓN.

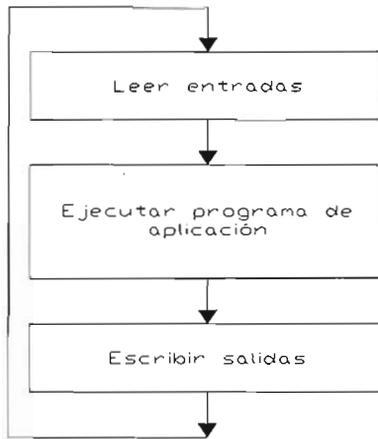
2.3.5.1 ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA DE APLICACIÓN.

El programa de aplicación consta de toda la lógica necesaria para controlar las operaciones de la CPU del PLC y los módulos del sistema.

Los programas de aplicación se crean empleando el software de programación y se transfieren al PLC. Los programas se almacenan en la memoria no volátil de la CPU.

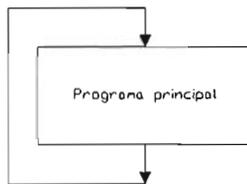
Durante el barrido de la CPU, la CPU carga datos de entrada desde los módulos del sistema y almacena los datos en sus posiciones de memoria de entrada configuradas. A continuación la CPU ejecuta una vez todo el programa de aplicación, utilizando estos datos recién introducidos. La ejecución del programa de aplicación crea nuevos datos de salida que se colocan en las ubicaciones configuradas de la memoria de salida.

Una vez ejecutado el fin del programa de aplicación, la CPU graba los datos de salida en módulos del sistema.

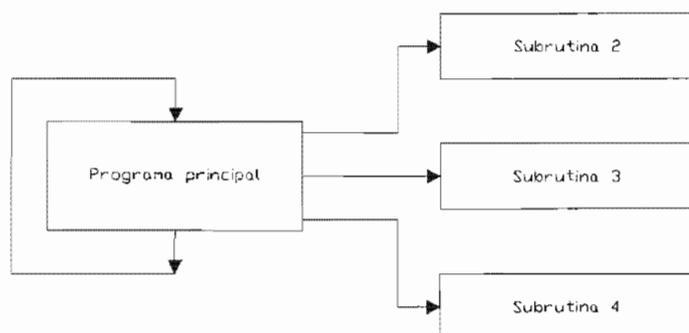


2.3.5.2 SUBRUTINAS.

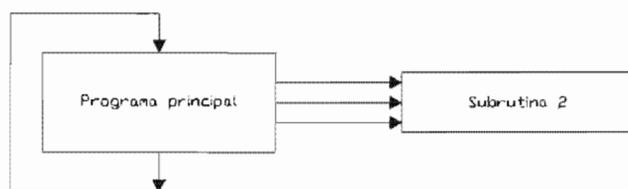
El programa puede estar integrado por un programa principal que se ejecuta íntegramente durante cada barrido de la CPU, o un programa puede estar dividido en subrutinas.



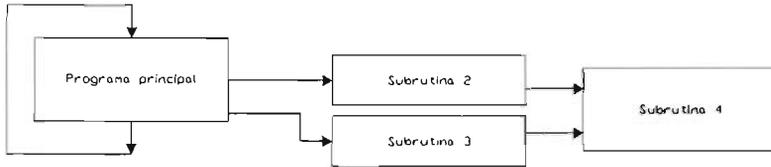
Las subrutinas permiten simplificar la programación y reducir la cantidad total de lógica. Puede llamarse a cada subrutina a medida que sea necesario. El programa principal puede servir fundamentalmente para secuenciar los bloques de subrutinas.



Puede llamarse a un bloque de subrutina muchas veces a medida que se ejecuta el programa. La lógica que debe repetirse puede colocarse en un bloque de subrutina, reduciendo el tamaño total del programa.



Además de llamarse a los bloques de subrutina desde el programa, puede llamarse a estos desde otros bloques de subrutina. Un bloque de subrutina puede llamarse incluso a sí mismo.



El programa principal es el nivel 1. Este programa puede incluir hasta ocho niveles de llamada imbricados adicionales.

Una subrutina debe declararse mediante el editor de declaración de bloques del software de programación.

Una subrutina a la que se ha llamado en el programa está utilizando una instrucción CALL. Para cada bloque del programa están permitidas hasta 64 declaraciones de bloques de subrutina y 64 instrucciones CALL.

2.3.5.3 FORMATOS DE PROGRAMACIÓN.

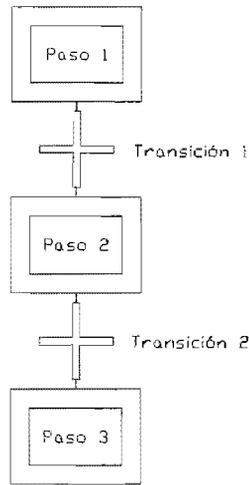
Esquema de Funciones Secuenciales

El esquema de funciones secuenciales (SFC) es un método gráfico de representación de las funciones de un sistema automatizado secuencial como secuencia de pasos y transiciones. Cada paso representa consignas o acciones bien activadas o desactivadas.

El flujo del control pasa de un paso al siguiente a través de una transición condicional que es bien verdadera (1) o falsa (0). Si la condición de la transición es verdadera (1), el control pasa del paso actual (que pasa a ser inactivo) al paso siguiente que, a continuación, pasa a ser activo.

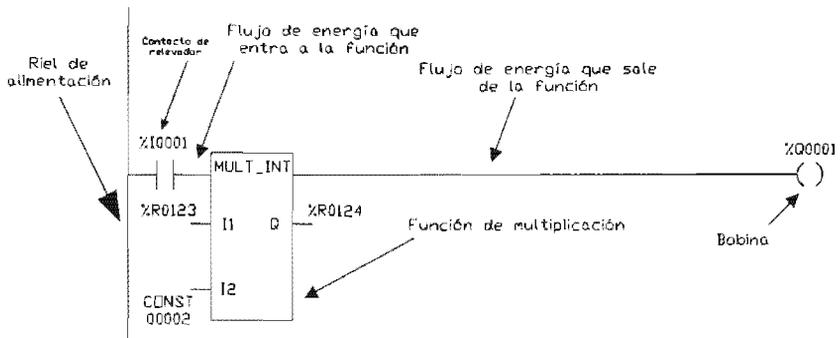
La lógica asociada a un paso se ejecuta cuando el paso esta activo. Esta lógica se programa en un formato de Esquema de Contactos. Las transiciones entre pasos también se programan como lógica de Esquema de Contactos.

**ESTA TESIS NO SALIÓ
DE LA BIBLIOTECA**



Esquema de contactos

Este lenguaje tradicional de programación de PLC, con su estructura típica de peldaños de escalera, se ejecuta de arriba hacia abajo. La ejecución de la lógica se considera un “flujo de energía”, que avanza hacia abajo a lo largo del “riel” izquierdo de la escalera y de izquierda a derecha dentro de un peldaño por orden secuencial.



El flujo de energía lógica a través de cada peldaño se controla mediante un juego de sencillas funciones de programa que funcionan como relés mecánicos y bobinas de salida. El hecho de si un relé pasa o no un flujo de energía lógica a lo largo del peldaño depende del contenido de una posición de memoria con la cual se ha asociado el relé en el programa.

Si un relé u otra función de un peldaño no pasa flujo de energía lógica, no se ejecuta el resto de dicho peldaño. A continuación, la energía fluye hacia abajo a lo largo del riel izquierdo hasta el siguiente peldaño.

Dentro de un peldaño existen numerosas funciones complejas que pueden emplearse para operaciones como mover datos almacenados en memoria, realizar operaciones matemáticas y controlar las comunicaciones entre la CPU y otros dispositivos del sistema.

En su conjunto, este amplio grupo de relés, bobinas y funciones de Esquema de Contactos se denomina “Juego de instrucciones” de la CPU.

2.3.5.4 EL JUEGO DE INSTRUCCIONES.

La CPU del PLC incluye un potente Juego de Instrucciones para construir programas de aplicación.

Contactos

-I I-	Normalmente abierto	Pasa energía si la referencia asociada está Activada.
-I/I-	Normalmente errado	Pasa energía si la referencia asociada está Desactivada
< + > ----	Continuación	Deja pasar energía hacia la derecha si la bobina de continuación precedente está Activada.

Bobinas

- () -	Normalmente abierta	ACTIVA la referencia asociada si la bobina recibe energía. De no ser así, esta DESACTIVADA.
- (/) -	Negada	ACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina no recibe energía. De no ser así esta DESACTIVADA.
- (↑) -	Transición positiva	Si el flujo de energía estaba DESACTIVADO hacia esta bobina la última vez que se ejecuto y ahora esta ACTIVADO, la bobina se ACTIVA. De no ser así la bobina se DESACTIVA.
- (↓) -	Transición negativa	Si el flujo de la energía estaba ACTIVO hacia esta bobina la ultima vez que se ejecuto y ahora esta

		DESACTIVADO, se activa la bobina, de no ser así la bobina se DESACTIVA.
-(S) -	SET	ACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. Permanece activada hasta que se repone con una bobina - (R) -.
-(R) -	RESET	DESACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. Permanece desactivada hasta que se activa mediante una bobina - (S) -.
-(SM) -	SET retentivo	ACTIVA la referencia asociada si la bobina recibe energía. La referencia permanece activa hasta que se repone mediante una bobina - (RM) -. Su estado se conserva aun cuando se produzca un corte de corriente o una transición STOP - A - RUN.
-(RM) -	RESET retentivo	DESACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. La referencia permanece repuesta hasta que se activa mediante una bobina - (SM) -. Su estado se conserva aun cuando se produzca un corte de corriente o una transición STOP - A - RUN.
-(/ M) -	Retentivo negado	ACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina no recibe energía. El estado se conserva aun cuando se produzca un corte de energía o transición STOP-A-RUN. De no ser así se DESACTIVA.
-(M) -	Retentivo	ACTIVA la referencia discreta asociada si la bobina recibe energía. El estado se conserva aun cuando se produzca un corte de suministro o una transición STOP-A-RUN. En cualquier otro modo se DESACTIVA.
___ < + >	Continuación	Si la alimentación de la bobina esta CONECTADA, la bobina de continuación ACTIVA el siguiente contacto de continuación. Si la alimentación esta DESACTIVADA, la bobina de continuación DESACTIVA el siguiente contacto de continuación.

Temporizadores y contadores

ondtr	Temporizador cronómetro retardo a la conexión	Acumula tiempo mientras recibe energía. El valor actual se reinicializa a cero cuando la entrada de Reset recibe energía
oftd	Temporizador retardo a la desconexión	Acumula tiempo mientras no recibe energía.
tnr	Temporizador retardo a la conexión	Acumula tiempo mientras recibe energía. El valor actual se reinicializa a cero cuando no hay flujo de energía.
upter	Contador incremental	Incrementa en 1 cada vez que la función recibe energía de transición.
dntr	Contador decremental	Realiza una cuenta atrás a partir del valor predefinido cada vez que la función recibe energía de transición.

Funciones matemáticas

add	Adición	Suma de números
sub	Substracción	Deduce un número de otro
mul	Multipliación	Multiplca dos números
div	División	Divide un número entre otro, obteniendo un cociente
mod	División por módulo	Divide un número entre otro, obteniendo un resto
expt	Potencia de X	Eleva X a la potencia especificada por IN y coloca el resultado en Q
sin	Seno trigonométrico	Determina el seno trigonométrico de un número real
cos	Coseno trigonométrico	Determina el coseno trigonométrico de un número real
tan	Tangente trigonométrica	Determina la tangente trigonométrica de un número real
asin	Inversa de seno	Determina la inversa del seno de un número real
acos	Inversa de coseno	Determina la inversa del coseno de un número real
atan	Inversa de tangente	Determina la inversa de la tangente de un número real
deg	Convierte en grados	Realiza una conversión RAD_TO_DEG de un valor real en radianes
rad	Convertir a radianes	Ejecuta una conversión DEG_TO_RAD de un valor real en grados
Sqroot	Raíz cuadrada	Determina la raíz cuadrada de un valor entero o real
Log	Logaritmo base 10	Determina el logaritmo en base diez de un número real
Ln	Logaritmo natural	Determina la base de un logaritmo natural de un número real
Exp	Potencia de e	Eleva la base del logaritmo natural a la potencia especificada por una entrada

Funciones relacionales

eq	Igual que	Comprueba si existe igualdad entre dos números
ne	Distinto de	Comprueba si dos números son distintos
gt	Mayor que	Comprueba si un número es mayor que otro. Pasa la energía si el primer número es mayor que el segundo
ge	Mayor o igual Que	Comprueba si un número es mayor o igual que otro
lt	Menor que	Comprueba si un número es menor que otro
le	Menor que o igual que	Comprueba si un número es menor o igual que otro
range	Intervalo	Comprueba el valor introducido respecto a un intervalo de dos números

Funciones de operaciones con bits

and	Y lógica	Realiza la función Y lógica de dos cadenas de bits
or	O lógica	Ejecuta la O lógica de dos cadenas de bits
xor	O exclusiva lógica	Ejecuta la O exclusiva lógica de dos cadenas de bits
not	Inversión lógica	Realiza una inversión lógica de una cadena de bits
shl	Desplazar a izquierda	Desplaza una cadena de bits hacia la izquierda
shr	Desplazar a derecha	Desplaza una cadena de bits hacia la derecha
rol	Girar a la izquierda	Gira una cadena de bits hacia la izquierda
ror	Girar a la derecha	Gira una cadena de bits hacia la derecha
bittst	Test de bits	Verifica un bit dentro de la cadena de bits
bitset	Activar bit	Activar un bit dentro de una cadena como verdadero
bitclr	Borrar bit	Activar un bit dentro de una cadena como falso
bitpos	Posición de bit	Localiza un bit definido como verdadero dentro de una cadena de bits
mskemp	Comparar con máscara	Realiza una comprobación con máscara de dos bloques

Funciones para mover datos

move	Mover	Mueve uno o mas bits de datos
blkmov	Mover bloque	Mueve un bloque hasta siete constantes
blkclr	Borrar bloque	Poner a cero uno o mas bytes / palabras de memoria
shfreg	Registro de desplazamiento	Desplaza una o mas palabras o bits de datos a través de un bloque de memoria
bitseq	Secuenciador de bits	Secuencia un 1 a través de un grupo de bits en la memoria del PLC
comreq	Petición de comunicaciones	Envía una petición de comunicaciones

Funciones de tablas

armov	Mover bloque	Copia un número especificado de elementos de datos de un bloque fuente a un bloque destino
srh eq	Buscar igual que	Busca el bloque de valores igual a un valor especificado
srh ne	Buscar distinto que	Busca un bloque de valores distinto de un valor especificado.
srh gt	Buscar mayor que	Busca un bloque de valores mayor que un valor especificado
srh ge	Buscar mayor o igual que	Busca un bloque de valores mayor o igual que un valor especificado.
srh lt	Buscar menor que	Buscar en el bloque valores menores que un valor especificado
srh le	Buscar menor que o	Busca bloque de valores menores que o iguales a un

	igual	valor especificado
--	-------	--------------------

Funciones de conversión

bcd-4	Convertir a BCD-4 (de INT)	Convierte un número a formato BCD de 4 dígitos
word	Convertir palabra (de REAL)	Convierte un valor real a formato de palabra
Int	Convertir a INT (de BCD-4 o REAL)	Convierte un número a formato entero con signo
tdint	Convertir a DINT (deBCD-4 o REAL)	Convertir un número a formato entero de doble precisión
Real	Convertir a Real (de INT,DINT, BCD-4 o WORD)	Convierte un valor a formato de valor real
Int	Truncar a int (de REAL)	Trunca a un número con signo de 16 bits. El intervalo es 32768 hasta + 32767
dint	Truncar a doble precisión INT (de REAL)	Trunca a número con signo de 32 bits. El intervalo es - 2.147.483.648 hasta + 2.147.483.647

Funciones de control

call	Llamar	Hace que la ejecución del programa vaya a un bloque de subrutina especificado
do io	Ejecutar E / S	Procesa inmediatamente un intervalo especificado de entradas o salidas (se procesarán todas las entradas o salidas del módulo si cualesquiera direcciones de dicho módulo se incluyen en la función no se ejecutan actualizaciones parciales de módulo E / S.
pidind	Algoritmo PID independiente	Selecciona el algoritmo PID independiente no interactivo.
pidisa	Algoritmo PID ISA	Selecciona el algoritmo PID ISA
end	Fin temporal de lógica	El programa ejecuta desde el primer peldaño o la instrucción END, el que aparezca primero. Esta instrucción resulta útil para depuración de errores.
commnt	Comentario	Explicación de un peldaño
svcreq	Petición de servicio	Una función de servicio especial del PLC
mcr	Relé de control maestro	Arranca un intervalo de relé de control maestro. Un MCR hace que todos los peldaños entre el MCR y su ENDMCR subsiguiente se ejecuten sin flujo de energía. Pueden imbricarse hasta ocho MCR.
endmer	Fin de relé de control maestro	Termina un intervalo de relé de control maestro
jump	Salto	Salta a una posición especificada indicada por una

		LABEL en la lógica
label	Etiqueta	La ubicación destino de una instrucción JUMP. Múltiples instrucciones de salto pueden hacer referencia a la misma etiqueta

2.3.6 DATOS DEL PROGRAMA.

2.3.6.1 REFERENCIAS DE MEMORIA DE DATOS.

El PLC almacena los datos de programas tanto en una memoria de bits como en una memoria de palabras. Tanto en la memoria de bits como la memoria de palabras están divididas en diferentes tipos con características específicas.

Asignación de memoria

La tabla siguiente muestra tipos y tamaños de memoria disponibles.

Memoria de programas	12288 bytes
Registros (% R)	2048 palabras
Entradas discretas (% I)	2048 puntos
Salidas discretas (% Q)	2048 puntos
Entradas analógicas (% AI)	128 palabras
Salidas analógicas (% AQ)	128 palabras
Internos discretos (% M)	1024 puntos
Temporales discretos (% T)	256 puntos
Discretos Genius globales (% G)	1280 puntos

Por convención, cada tipo se utiliza normalmente para un tipo de datos específico.

Las distintas posiciones de memoria se indexan utilizando identificadores alfanuméricos denominados referencias. La letra prefijo de referencia identifica la zona de memoria. El valor numérico es el desplazamiento (offset) dentro de dicha zona de memoria.

Referencias a memoria de palabras

Cada dirección (referencia) de memoria de palabras esta situada en el limite o confines de una palabra de 16 bits. El PLC utiliza 3 tipos de referencias para datos almacenados en la memoria de palabras.

- % AI Normalmente se emplea para entradas analógicas.
- % AQ Normalmente empleadas para salidas analógicas.
- % R Normalmente, los registros se emplean para almacenar datos de programas en formato palabra.

	<ul style="list-style-type: none"> ◆ % S, % SA, %SB y % SC pueden emplearse para cualquier tipo de contacto lógico. ◆ % SA, % SB y % SC pueden emplearse para bobinas retentivas. ◆ % S pueden emplearse como entradas para funciones o bloques de funciones ◆ % SA, % SB y % SC pueden emplearse como entradas o salidas de funciones y bloques de funciones.
% G	Se emplea para datos globales. Los datos de referencias % G se conservan aun cuando se produzca un corte de corriente. Las referencias % G pueden emplearse con contactos y bobinas retentivas, pero no en bobinas no retentivas.

Bits de transición y bits de sobrecontrol (override)

Las referencias % I, % Q, % M y % G llevan asociados bits de transición y de sobrecontrol.

Las referencias % T, %S, %SA, % SB y % SC llevan asociados solo bits de transición.

La CPU emplea bits de transición para bobinas de transición. Cuando se activan bits de sobrecontrol, las referencias asociadas sólo pueden modificarse desde el equipo programador.

Retentividad de los datos

Los datos son retentivos si se guardan automáticamente al parar el PLC o al desconectar y volver a conectar la corriente. Son retentivos (se conservan) los siguientes datos:

- ◆ Lógica del programa.
- ◆ Tablas de fallos y (mensajes de) diagnóstico.
- ◆ Valores de sobrecontrol (overrides).
- ◆ Datos de formato de palabra (% R, % AI, % AQ)
- ◆ Datos de formato bit (% I, % SC, % G, bits de fallos y bits reservados)
- ◆ Datos de formato de palabra almacenados en % Q o % M que se emplean como salidas de bloques de funciones o con bobinas retentivas:

- ()-	Bobinas
- (/)-	Bobinas negadas
- (S)-	Bobinas SET
- (R)-	Bobinas RESET

2.3.6.2 UTILIZACIÓN DE ALIAS Y DESCRIPCIONES PARA REFERENCIAS EN EL PROGRAMA.

Numerosos programas emplean Alias descriptivos para referencias de modo que la lógica del programa sea más comprensible al leerla.

Un alias puede tener de 1 hasta 7 caracteres. Los caracteres pueden ser de la A hasta la Z, 0 hasta 9, en una raya de subrayado a los caracteres especiales +, -, %, #, @, <, >, = y &. El primer carácter debe ser una letra. Puede asignarse un Alias para cada referencia del programa. Los alias se asignan en la Tabla de Declaración de Variables. El uso del Alias es opcional.

La escritura de un alias no importa si se hace en mayúsculas o minúsculas, a no ser que dentro de una subrutina se haya reasignado un alias global. Si se ha hecho el uso local del alias es en mayúsculas y el uso global en minúsculas.

Alias locales en subrutinas

Cada bloque de subrutina puede tener su uso local de alias. La misma referencia pueden tener diferentes alias locales en diferentes bloques de subrutina:

BLOQUE A	% R0001	Luz_1
BLOQUE B	% R0001	Luz_2

Dos bloques de subrutina pueden tener idéntico alias para referencias distintas si se declaran como variable local:

BLOQUE A	% R0001	RESET
BLOQUE B	% R0002	RESET

Descripciones de referencias

Una Descripción de Referencia es una descripción textual opcional de hasta 32 caracteres. Las descripciones de Referencias pueden asociarse a referencias de la máquina o identificadores implícitos (p. ej; nombre de programa, bloque de subrutina o JUMP / LABEL / MCR / ENDMCR).

Una descripción de referencia puede emplearse con o sin alias.

Referencias de estado del sistema

El PLC almacena los datos de estado del sistema en referencias predefinidas en la memoria % S, % SA, % SB y % SC. Cada referencia de estado del sistema tiene un alias descriptivo. Por ejemplo, las referencias de señales de tiempo se denominan T_10MS, T_100MS, T_SEC y T_MIN. Como ejemplos de referencias prácticas caben destacar FST_SCN, ALW_ON y ALW_OFF.

Utilización de referencias de estado del sistema

Las referencias de estados del sistema pueden emplearse según sea necesario para programas de aplicación. Por ejemplo, el siguiente bloque de función utiliza la referencia de estado (primera exploración) FST_SCN para controlar el flujo de energía a una función de Borrar Bloque. En este ejemplo, para conectar la corriente, 32 palabras de memoria %Q0001 se rellenan con ceros.

Referencias % S

Las referencias en la memoria % S son de solo lectura.

Referencia	Alias	Definición
% S0001	FST_SCN	Poner a 1 cuando el barrido actual sea el primer barrido
% S0002	LST_SCN	Reset de 1 a 0 cuando el barrido actual sea el ultimo barrido
% S0003	T_10MS	Contacto de temporizador de 0,01 segundos
% S0004	T_100MS	Contacto de temporizador de 0,1 segundo
% S0005	T_SEC	Contacto de temporizador de 1,0 segundos
% S0006	T_MIN	Contacto de temporizador de 1,0 minutos
% S0007	ALW_ON	Siempre CON (ON)
% S0008	ALW_OFF	Siempre DES (OFF)
% S0009	SY_FULL	Activada cuando se llena la tabla de fallos del PLC. Borrada cuando se elimina una entrada y cuando se borra la tabla de fallos del PLC.
% S0010	10_FULL	Activada cuando se llena la tabla de fallos de E / S. Borrada cuando se elimina una entrada de la tabla de fallos de E / S y cuando se borra la tabla de fallos de E / S
% S0011	OVR_PRE	Activada cuando existe un sobrecontrol en la memoria % I, %Q, %M, % G
% S0012		Reservada
% S0013	PRG_CHIK	Activada cuando se activa la comprobación de programa en segundo plano
% S0014	PLC_BAT	Activada para iniciar que la batería de la CPU esta en mal estado. La referencia de contado se actualiza una vez por barrido
% S0015-16		Reservada
% S0017	SNP_XACT	El host SNP-X está acoplado activamente al puerto 1 de la CPU (El puerto 2 pasa por el defecto a estar inhibido y debe activarse con una CRQ)
% S0018	SNPX_RD	El host SNP-X ha leído datos del puerto 1 de la CPU
% S0019	SNPX_WT	El host SNP-X ha grabado datos en el puerto 1 de la CPU
% S0020		Se ACTIVA cuando una función relacional que utiliza datos REALES se ejecuta con éxito. Se borra cuando una de las entradas es NaN (no un número)
% S0021	FF_OVR	Seactiva para señalar un Sobrecontrol de Fallo Fatal

% S0022	USR_SW	Se activa para reflejar el estado del selector de modo de la CPU 1= RUN / On 0= Stop / Off
% S0023-32		Reservada

Referencias % SA, % SB y % SC

Las referencias en la memoria % SA, % SB Y % SC pueden leerse y escribirse

Referencia	Alias	Definición
% SA0001	PB_SUM	Activada cuando una suma de comprobación calculada en el programa de aplicación no coincide con la suma de comprobación de referencia. Si el fallo se ha debido a un fallo temporal, el bit discreto puede borrarse almacenando de nuevo el programa en la CPU. Si el fallo ha sido debido a un fallo de hardware de la RAM, debe sustituirse la CPU.
% SA0002	OV_SWP	Activada cuando un PLC en modo BARRIDO CONSTANTE detecta que el barrido anterior ha tardado mas tiempo que el barrido especificado. Se borra cuando el PLC detecta que el barrido anterior no ha tardado más tiempo que el especificado. También está borrada durante la transición del modo STOP al modo RUN.
% SA0003	APL_FLT	Activada cuando se produce un fallo en la aplicación. Borrada cuando el PLC pasa del modo STOP al modo RUN.
% SA0004-8		Reservada.
% SA0009	CFG_MM	Activada cuando se detecta una configuración no coincidente al conectar la corriente o almacenar una configuración. Borrada al conectar la corriente del PLC después de corregir la situación.
% SA0010	HRD_CPU	Activada cuando el diagnóstico detecta un problema en el hardware de la CPU. Borrada al sustituir el módulo de la CPU.
% SA0011	LOW_BAT	Activada cuando se produce un fallo de batería descargada. O borrada al sustituir la batería y luego conectar la corriente del PLC.
% SA0012,13		Reservada
% SA0014	LOS_IOM	Activada cuando un módulo E / S deja de comunicarse con el CPU. Borrada al sustituir el módulo y desconectar y volver a conectar la corriente del PLC.
% SA0015	LOS_SIO	Activada cuando un módulo opcional deja de comunicarse con la CPU. Borrada al sustituir el módulo y desconectar y volver a conectar la corriente del rack principal.
% SA0016-18		Reservada.
% SA0019	ADD_IOM	Activada cuando se añade un módulo E / S. Borrada desconectando y volviendo a conectar la corriente del PLC y cuando la configuración coincide con el hardware después de

		una operación de guardar datos.
% SA0020	ADD_SIO	Activada cuando se ha añadido un módulo opcional. Borrada desconectando y volviendo a conectar la corriente del PLC y cuando la configuración coincide con el hardware después de una operación de guardar datos.
% SA0021-26		Reservada
% SA0027	HRD_SIO	Activada cuando se detecta un fallo del hardware en un módulo opcional. Borrada sustituyendo el módulo y desconectando y volviendo a conectar la corriente del PLC.
% SA0028-30		Reserva.
% SA0031	SFT_SIO	Activada cuando se detecta un fallo de software irreparable en un módulo opcional. Borrada desconectando y volviendo a conectar la corriente del PLC y cuando la configuración del hardware.

Referencia	Alias	Definición
% SB0001-9		Reservada
% SB0010	BAD_RAM	Activada cuando la CPU detecta una memoria RAM corrupta al conectar la corriente. Borrada cuando la memoria RAM es válida al conectar la corriente.
% SB0011	BAD_PWD	Activada cuando se produce una violación de acceso por contraseña. Borrada cuando se borra la tabla de fallos del PLC.
% SB0012		Reservada.
% SB0013	SFT_CPU	Activada cuando la CPU detecta un error irreparable en el software. Se borra despejando la tabla de fallos del PLC.
% SB0014	STOR:ER	Activada cuando se produce un error durante una operación de guardar datos con el equipo programador. Borrada cuando se termina satisfactoriamente una operación de guardar datos.
% SC0001-8		Reservada
% SC0009	ANY_FLT	Activada cuando se produce cualquier fallo. Borrada cuando ninguna de las dos tablas de fallos tiene entradas.
% SC0010	SY_FLT	Activada cuando se produce cualquier fallo que provoque la inserción de una entrada en la tabla de fallos E / S.
% SC0011	IO_FLT	Borrada cuando la tabla de fallos de E / S no tiene ninguna entrada.
% SC0012	SY_PRES	Activada mientras haya al menos una entrada en la tabla de fallos del PLC. Borrada cuando la tabla de fallos del PLC no tenga ninguna entrada.
% SC0013	IO_PRES	Activada siempre que haya al menos una entrada en la tabla de fallos E / S. Borrada cuando la tabla de fallos de E / S no tenga ninguna entrada.
% SC0014	HRD_FLT	Activada cuando se produce un fallo de hardware. Borrada cuando ambas tablas de fallos no tienen ninguna entrada.
% SC0015	SFT_FLT	Activada cuando se produce un fallo de software. Borrada cuando ambas tablas de fallos no tienen entradas.

2.3.6.3 TRATAMIENTO DE DATOS NUMÉRICOS POR LAS FUNCIONES DEL PROGRAMA.

Independientemente del lugar en que se almacenen los datos en la memoria (en una de las memorias de formato bit o en una de las memorias de formato de palabra) el programa de aplicación puede tratarlos como tipos de datos diferentes.

Tipo	Nombre	Descripción
BIT	Bit	El tipo de datos bit es la unidad mas diminuta de la memoria. Tiene dos estados: 1 ó 0
BYTE	Byte	Un tipo de datos Byte es un valor de 8 bits. El intervalo válido va de 0 hasta 255 (0 hasta FF en hexadecimal).
PALABRA		Un tipo de palabra de datos emplea 16 bits consecutivos de memoria de datos que representa un número, los bits son independientes entre si. Cada bit representa su propio estado binario (1 ó 0).El intervalo válido de valores de palabra es 0 hasta +65,535 (FFFF).
BCD-4	Decimal codificado binario 4 digitos	Los números BCD de cuatro dígitos utilizan posiciones de memoria de 16 bits. Cada dígito BCD utiliza 4 bits y permite representar números entre 0 y 9. Esta codificación BCD de los 16 bits tiene un intervalo de valores de 0 hasta 9999.
REAL	Coma flotante	Los números reales utilizan posiciones de memoria de 16 bits consecutivas. El intervalo de números que puede almacenarse en este formato es $\pm 1,401298E-45$ hasta $\pm 3,402823E +38$.
INT	Entero con signo	Los datos de enteros con signo de doble posición emplean posiciones de memoria de 16 bits. Los enteros con signo se representan en notación de complemento a 2. El bit 16 es el bit de signo, (0= positivo, 1=negativo) Su intervalo es $-32,768$ hasta $+ 32,767$.
DINT	Doble Precisión Con signo	Los datos enteros con signo de doble precisión utilizan dos posiciones de memoria de 16 bits consecutivas. Se representan en notación de complemento a 2. El bit 32 es el bit de signo (0 = positivo, 1 = negativo). Su intervalo es $-2,147,483,648$ hasta $+2,147,483,867$.

Números reales

El tipo de datos REAL que puede emplearse en algunas funciones Matemáticas y en algunas funciones Numéricas corresponde en realidad a los datos con coma flotante. Los números con coma flotante se almacenan en el formato estándar IEEE de simple precisión. Este formato requiere 32 bits que ocupan dos palabras de PLC de 16 bits (adyacentes).

Por ejemplo, si el número con coma flotante ocupa los registros %R0005 Y %R0006, entonces %R0005 es el registro menos significativo y %R0006 es el registro mas significativo.

El intervalo de números que puede almacenarse en este formato va de $\pm 1,401298E-45$ hasta $\pm 3,402823E+38$ y el número cero.

Errores en números reales y operaciones

El desbordamiento se produce cuando una función REAL genera un número mayor que $3,402823E+38$ o menor que $-3,402823E+38$. La salida ok de la función se DESACTIVA; y el resultado pasa a ser mas infinito (para un número mayor que $3,402823E+38$) o menos infinito (para un número menor que $-3,402823E+38$). Puede determinar donde se produce esto comprobando el sentido de la salida ok.

POS_INF	=7F800000h	-Representación de mas infinito IEEE en hexadecimal
NEG_INF en	=FF800000h	-Representación de menos infinito IEEE hexadecimal

Si los infinitos que se producen por desbordamiento se utilizan como operandos de otras funciones para números REALES, pueden arrojar un resultado no definido. Este resultado se denomina NaN (no un número).

Cuando un resultado NaN se alimenta a otra función, dicho resultado se transmite al resultado de esta otra función. Por ejemplo, si NaN_ADD es el primer operando de la función SUB_REAL, el resultado de la función SUB_REAL es NaN_ADD. Si ambos operandos de una función son NaN's, se traspa el primero de ellos como resultado de la función. Gracias a esta característica de propagación de los NaN's a través de las funciones, puede identificarse la función en que se originan.

Cada función real que puede producir un NaN posee un NaN especializado que la identifica.

NaN_ADD	= 7F81FFFFh	-Valor de error de adición real hex.
NaN_SUB	= 7F81FFFFh	-Valor de error de substracción real en

		hex.
NaN_MUL	= 7F82FFFFh	-Valor de error de multiplicación real en hex.
NaN_DIV	= 7F83FFFFh	-Valor de error de división real en hex.
NaN_SQRT	= 7F84FFFFh	-Valor de error de raíz cuadrada real en hex.
NaN_LOG	= 7F85FFFFh	-Valor de error de logaritmo real en hex.
NaN_POW0	= 7F86FFFFh	-Valor de error de exponente real en hex.
NaN_SIN	= 7F87FFFFh	-Valor de error de seno real en hex.
NaN_COS	= 7F88FFFFh	-Valor de error de coseno real en hex.
NaN_TAN	= 7F89FFFFh	-Valor de error de tangente real en hex.
NaN_ASIN	= 7F8AFFFFh	-Valor de error de inversa de seno real en hex.
NaN_ACOS	= 7F8BFFFFh	-Valor de inversa de coseno real en hex.
NaN_BCD	= 7F8CFFFFh	-Error en conversión BCD-4 a real.
REAL_INDEF	= FFC00000h	-Indefinido real, error dividir por cero.

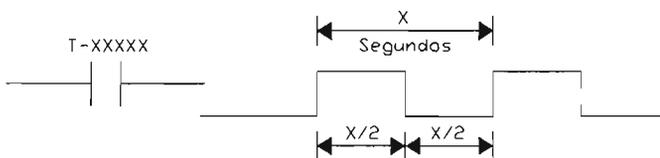
2.3.6.4 CONTACTOS DE SEÑALES DE TIEMPO.

Existen cuatro contactos de señales de tiempo. Pueden emplearse para proporcionar impulsos de flujo de energía a otras funciones del programa. Los cuatro contactos de señales de tiempo tienen periodos de tiempo de 0,01s, 1,0s y 1 minuto.

El estado de estos contactos no cambia durante la ejecución del barrido. Estos contactos generan un tren de impulsos con una duración idéntica de las fases on y off.

Los contactos se denominan T_10MS (0,01s), T_SEC (1,0s) y T_MIN (1minuto).

El siguiente diagrama cronológico representa la duración de la fase ON / OFF de estos contactos.



Estos contactos de señales de tiempo representan ubicaciones específicas en la memoria %S.

2.3.7 LA FUNCIÓN PID.

Formato de la función PID

La función PID utiliza ganancias del lazo PID y otros parámetros almacenados en una matriz de 40 palabras que contienen valores enteros de 16 bits. Esto permite utilizar la memoria %AI para Variables de Proceso de entrada y la memoria %AQ para Variables de Control de salida.

La función PID no pasa el flujo de energía si existe un error en los parámetros configurables. Puede monitorearse utilizando una bobina temporal mientras se modifican los datos.

Parámetros de la función PID

Entrada / Salida	Opciones	Descripción
Validar	Paso de flujo	Cuando se ha validado a través de un contacto, se ejecuta el algoritmo PID.
SP	I, Q, M, T, G, R, AI, AQ, constante	La consigna del lazo de control o del proceso. Se define utilizando unidades de Variable de Proceso. La función PID ajusta la Variable de Control de salida de modo que la Variable de Proceso coincida con la consigna (error cero).
PV	I, Q, M, T, G, R, AI, AQ	Variable de Proceso introducida al proceso que se este controlando, con frecuencia una entrada %AI.
MAN	Paso de flujo	Cuando se activa al valor 1 (a través de un contacto), el bloque PID se encuentra en modo manual, si el bloque PID esta con manual desactivado, quiere decir que dicho bloque se encuentra en modo automático PID.
UP	Paso de flujo	Si se activa junto con MAN, aumenta el ajuste de la Variable de Control en una unidad de variable de control por cada solución.*
DN	Paso de flujo	Si se activa junto con MAN, reduce la Variable de Control en 1 unidad de variable de control por cada solución.*
Dirección	R	Ubicación de la información del bloque de

		control PID (parámetros de usuarios e internos). Utiliza 40 palabras %R que no pueden compartirse.
ok	Paso de flujo, ninguno	OK se activa cuando la función se ejecuta sin error. Esta desactivada si existen errores.
CV	I, Q, M, T, G, R, AI, AQ	La salida de Variable de Control al proceso, con frecuencia una salida % AQ.

* Aumenta (parámetro UP) o disminuye (parámetro DN) en uno (1) por cada acceso de la función PID.

Como hay números enteros de 16 bits escalados, numerosos parámetros deben definirse bien en unidades de Variable de Proceso (PV) o en unidades de Variable de Control (CV)

Por ejemplo, la entrada de Consigna (SP) debe escalarse a lo largo del mismo intervalo que la Variable del Proceso a medida que el bloque PID calcula el error restando estas dos entradas. Las unidades de Variable de Proceso y de Variable de Control pueden ser 32000 o 0 hasta 32000 equivaliendo a la escala analógica o desde 0 hasta 10000 para visualizar variables como 0.00% hasta 100.00%. Las unidades de Variable de Proceso y de Variable de Control no tienen por que tener idéntica escala, en cuyo caso habrá factores de escala incluidos en las ganancias de PID.

2.3.7.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA FUNCIÓN PID.

Operación automático

La función PID puede llamarse en cada barrido proporcionando un flujo de energía a los contactos de entrada Validar, y no proporcionando flujo de energía a los contactos de entrada Manual. El bloque compara el reloj de tiempo transcurrido actual del PLC con el último tiempo de solución PID almacenando en la matriz de referencia interna. Si la diferencia es mayor que el periodo de muestreo definido en la tercera palabra (%Ref+2) de la Ref Array, el algoritmo PID se resuelve empleando la diferencia de tiempo. Se actualiza tanto el tiempo de la última solución como la salida de Variable de Control. En el modo automático, la Variable de Control de salida se almacena en el parámetro Comando Manual %Ref+13.

Operación manual

El bloque PID se coloca en el modo Manual proporcionando flujo de energía a ambos contactos de entrada Validar y Manual. La Variable de Control (CV) de salida se configura desde el parámetro Comando Manual %Ref+13. Si cualquiera de las entradas UP o DN tiene flujo de energía, la palabra Comando Manual aumenta o disminuye en una unidad de computo de CV en cada solución de la PID. Para provocar modificaciones manuales más rápidas de la Variable de Control de salida, también es posible añadir o

deducir cualquier valor de computo de CV directamente a través de la palabra Comando Manual.

El bloque PID utiliza los parámetros Limite Superior CV y Limite Inferior CV para limitar la salida de CV. Si se define un Tiempo Mínimo de Variación positivo, se emplea para limitar la velocidad de la variación de la salida de CV. Si se rebasa bien el limite de la amplitud o de la velocidad de variación de CV, el valor almacenado en el integrador se ajusta de modo que la CV este en el limite. Esta función de rebobinado antiintegral significa que aun cuando el error a intentado impulsar la CV por encima (o por debajo) de los limites durante un largo periodo de tiempo, la salida de CV se apartara del limite tan pronto como el término de error cambie de signo.

Este modo de funcionamiento, con el Comando Manual efectuando un seguimiento de la CV en modo Automático y configurando la CV en modo Manual, asegura una transferencia sin sobresaltos entre los modos Automático y Manual. Los Limites Superior e Inferior de CV y el Tiempo Mínimo de Variación siguen siendo aplicables a la salida CV en modo manual y el valor interno almacenado en el integrador se actualiza. Esto significa que si tuviera que incrementar el Comando Manual en modo Manual, la salida CV no variará con mayor rapidez que el limite de velocidad de variación (Inversa) del Tiempo Mínimo de Variación y no rebasará por exceso o por defecto el Limite Superior de CV o el limite inferior de CV.

Intervalo de tiempo para la función PID

La función PID no debe ejecutarse mas de una vez cada 10 milisegundos. Si se configura para ejecutarse en cada barrido y el barrido tiene una duración inferior a 10 milisegundos, la función PID no se ejecutará hasta que se hayan producido suficientes barridos para acumular un tiempo transcurrido de 10 milisegundos. Por ejemplo, si el tiempo de barrido es de 9 milisegundos, la función PID se ejecuta cada dos barridos, de modo que el tiempo total transcurrido entre ejecuciones es de 18 milisegundos. No debe llamarse a una función PID especifica mas de una vez por barrido.

El intervalo mas largo posible entre ejecuciones es 10,9 minutos. La función PID compensa el tiempo real transcurrido desde la ultima ejecución dentro de 100 microsegundos.

Escalado de entradas y salidas

Todos los parámetros de la función PID son palabras de valores enteros de 16 bits para compatibilidad con variables del proceso analógicas de 16 bits. Algunos parámetros deben definirse bien en unidades de variable de proceso o en unidades de variable de control.

La entrada de consigna debe escalarse a lo largo del mismo intervalo que la variable de proceso, ya que la función PID calcula el error restando estas dos entradas. Las unidades de variable de proceso y de variable de control no deben utilizar idéntico escalado. Bien

puede ser -32000 o 0 hasta 32000 para coincidir con el escalado analógico o bien puede ir de 0 hasta 10000 para visualizar las variables como 0,00% hasta 100,00%. Si las variables de proceso y de control no utilizan idéntico escalado, los factores de escala se incluyen en las ganancias PID.

2.3.7.2 BLOQUE DE PARÁMETROS PARA LA FUNCIÓN PID.

El bloque de parámetros para la función PID ocupa 40 palabras de memoria %R. Muchas de las 40 palabras son utilizadas por el PLC y no son configurables. Cada llamada a una función PID debe utilizar una zona de memoria de 40 palabras diferente aun cuando los 13 parámetros configurables sean los mismos.

Las 13 primeras palabras del bloque de parámetros deben especificarse antes de ejecutar la función PID. Para la mayoría de los valores por defecto pueden emplearse ceros. Una vez que se han elegido valores PID adecuados, pueden definirse como constantes en un bloque BLKMOV de modo que puedan ser modificados por el programa según sea necesario.

Parámetros internos en RefArray (Matriz de referencia)

La función PID lee 13 parámetros y utiliza el resto de RefArray de 40 palabras para almacenamiento PID interno. Normalmente no debería modificar estos valores. Si se ha configurado al valor 1 el bit bajo de Sobrecontrol (Override) de la Palabra de Control (%Ref+14), deben configurarse los cuatro bits siguientes de la Palabra de Control para controlar los contactos de entrada del bloque PID.

A continuación se indica la descripción de las direcciones del RefArray.

DIRECCIÓN

PARÁMETRO: Numero lazo.

UNIDADES BIT MENOR PESO: Enteros.

INTERVALO: Cero hasta 255.

DESCRIPCIÓN: Número opcional de bloque PID. Proporciona una indentificación común en el PLC con el número de lazo definido por un dispositivo de interfaz de operador.

DIRECCIÓN + 1

PARÁMETRO: Algoritmo.

UNIDADES BIT MENOR PESO: -----

INTERVALO: Definir por PLC.

DESCRIPCIÓN: 1= Algoritmo ISA.
2= Algoritmo independiente.

DIRECCIÓN + 2

PARÁMETRO: Periodo muestreo.

UNIDADES BIT MENOR PESO: 10ms

INTERVALO: Cero (cada barrido) hasta 65535 (10,9 minutos). Como mínimo 10ms.

DESCRIPCIÓN: El tiempo mas corto, en incrementos de 10ms, entre soluciones del algoritmo PID. Por ejemplo, utilice un valor de 10 para un periodo de muestreo de 100ms.

DIRECCIÓN + 3 y DIRECCIÓN + 4

PARÁMETRO: Banda muerta (+) y banda muerta (-).

UNIDADES BIT MENOR PESO: Unidades PV.

INTERVALO: Cero hasta 32000 (+ nunca negativo) (- nunca positivo).

DESCRIPCIÓN: Valores INT (enteros) que definen los límites superior (+) en inferior (-) de Banda Muerta en unidades PV. Si no se requiere Banda Muerta, estos valores deben ser cero. Si el error de PID (consigna-PV) o (PV-consigna) esta por encima del valor (-) o por debajo del valor (+), los calculos de PID se resuelven con un Error de cero. Si el error es distinto de cero, el valor (+) debe ser mayor que cero y el valor (-) debe ser menor que cero o, de lo contrario, no funcionara el bloque PID.

Se puede añadir una Banda Muerta para evitar pequeñas variaciones en la salida CV debidas a variaciones de error.

DIRECCIÓN + 5

PARÁMETRO: Ganancia proporcional- Kp (ganancia de controlador, Kc, en versión ISA).

UNIDADES BIT MENOR PESO: 0,01 CV%/PV%.

INTERVALO: Cero hasta 327, 67%.

DESCRIPCIÓN: Una variación de la Variable de Control en unidades de CV para una variación de 100 unidades de PV en el termino de Error. Una Kp intriducida como 450 se visualiza como 4,50 y da como resultado una contribución $K_p \cdot \text{Error}/100$ o $450 \cdot \text{Error}/100$ a la salida de PID. Por regla general, Kp es la primera ganancia definida al ajustar un lazo PID.

DIRECCIÓN + 6

PARÁMETRO: Ganancia diferencial- Kd.
UNIDADES BIT MENOR PESO: 0,01 segundos.

INTERVALO: Cero hasta 327,67 segundos.

DESCRIPCIÓN: Variación de la Variable de Control en unidades de CV si el error o PV varía 1 unidad de PV cada 10ms. Se introduce como tiempo como el byte de menor peso indicado 10ms. Por ejemplo, una Kd introducida como 120 se visualiza como 1,20 segundos y da como resultado una $K_d \cdot \text{delta Error}/\text{delta tiempo}$ o una contribución de $120 \cdot 4/3$ a la salida de PID. Si el Error estaba variando en 4 unidades de PV cada 30ms, Kd puede utilizarse para acelerar una respuesta lenta del lazo, pero es muy sensible a las interferencias en la entrada PV.

DIRECCIÓN + 7

PARÁMETRO: Coeficiente de acción integral-Ki .
UNIDADES BIT MENOR PESO: Repeticiones/1000segundos.

INTERVALO: Cero hasta 32, 767 repeticiones.

DESCRIPCIÓN: La variación de la Variable de Control en Unidades de CV si el error fuese constante de una unidad de PV. Se visualiza como 0,000 repeticiones/segundo con un punto decimal implícito de 3. Por ejemplo, una Ki introducida como 1400 se visualiza como 1,400 repeticiones/segundo y da como resultado una $K_i \cdot \text{Error} \cdot dt$ o una contribución de $1400 \cdot 20 \cdot 50/1000$ a la salida de PID para un error de 20 unidades de PV y para un tiempo de barrido del PLC de 50ms (Periodo de muestreo de cero). Habitualmente, Ki es la segunda ganancia configurada después de Kp.

DIRECCIÓN + 8

PARÁMETRO: Bias CV/Compensación salida.

UNIDADES BIT MENOR PESO: Unidades CV.

INTERVALO: -32000 hasta +32000 (añadir a salida de integrador).

DESCRIPCIÓN: Número de unidades CV añadidas a la salida PID antes de que se bloquee la acción diferencial y la amplitud. Puede utilizarse para configurar valores CV distintos de cero si se emplean únicamente ganancias proporcionales K_p o para control anticipado de esta salida en lazo PID desde otro lazo de control.

DIRECCIÓN + 9 y DIRECCIÓN + 10

PARÁMETRO: Limite superior e inferior CV.

UNIDADES BIT MENOR PESO: unidades CV.

INTERVALO: -32000 hasta 32000 (>%Ref+10).

DESCRIPCIÓN: Número de unidades de CV que definen el valor más alto y el valor más bajo de CV. Estos valores son necesarios. El Límite Superior debe tener un valor más positivo que el Límite Inferior o, de lo contrario el bloque PID no funcionará.

Habitualmente, estos se emplean para definir límites basados en límites físicos de una salida CV. También se emplean para escalar la visualización de Gráfico de Barras para CV. El bloque tiene un rebobinado antiintegral para modificar el valor del integrador cuando se alcanza un límite de CV.

DIRECCIÓN + 11

PARÁMETRO: Tiempo mínimo de variación.

UNIDADES BIT MENOR PESO: segundos/recorrido completo.

INTERVALO: 0 (ninguno) hasta 32000 segundos para desplazar 32000 CV.

DESCRIPCIÓN: Numero mínimo de segundos para que la salida CV se desplace de 0 hasta el recorrido completo del 100% o 32000 unidades de computo CV. Se trata del límite de variación inverso de la rapidez con que puede variarse la salida CV.

Si es positivo, CV no puede variar más de 32000 unidades de CV multiplicado por Delta tiempo (segundos) dividido por el tiempo mínimo de variación. Por ejemplo, si el periodo de muestreo es 2.5 segundos y el tiempo mínimo de variación son 500 segundos, CV no puede variar más de $32000 * 2,5 / 500$ ó 160 unidades de CV por solución de PID. El valor del integrador se ajusta si se rebasa el límite de velocidad de variación de CV. Si el tiempo de Variación Mínimo es 0, no existe el límite de velocidad de variación de CV. Configure el tiempo mínimo de variación a 0'' sintonizado o ajustando las ganancias de lazo PID.

DIRECCIÓN + 12

PARÁMETRO: Palabra config.

UNIDADES BIT MENOR PESO: 5 menor peso utilizados

INTERVALO: Bit 0 hasta 2 para Error +/- polaridad salida, deriv.

DESCRIPCIÓN: Los cinco bits de menor peso de esta palabra se utilizan para modificar tres valores estándar de PID. Los otros bits deben configurarse a cero.

Configure el bit de menor peso a 1 para modificar el Término de Error de PID estándar del normal (consigna - PV) a (PV - consigna). Invertiendo el signo del término de realimentación. Esto es por los controles de Actuación inversa en que la CV debe descender cuando la PV aumenta. Configure el segundo bit a 1 para invertir la Polaridad de Salida de modo que la CV sea el negativo de la salida PID en lugar del valor positivo normal. Configure el cuarto bit a 1 para modificar la Acción Diferencial pasando de utilizar el cambio normal en el término de Error al cambio en el término de realimentación de PV. Los 5 bits de menor peso de la Palabra de Configuración se definen detalladamente a continuación:

Bit 0: Término de Error. Cuando este bit vale 0, el término de error es Consigna-PV. Cuando este bit vale 1, el término de error es PV-consigna.

Bit 1: Polaridad de salida. Cuando este bit vale 0, la salida CV representa la salida del cálculo PID. Cuando esta configurado a 1, la salida CV representa el negativo de la salida del cálculo PID.

Bit 2: Acción diferencial sobre PV. Cuando este Bit vale 0, la acción diferencial se aplica al término de error. Cuando está configurado a 1, la acción diferencial se aplica a PV. Todos los bits restantes deben valer cero.

Bit 3: Acción de banda muerta. Cuando el bit de acción de Banda muerta vale cero, no se elige ninguna acción de banda muerta. Si el error esta dentro de los límites de banda muerta, el error debe valer cero. De no ser así, el error no se ve afectado por los límites de la banda muerta.

Si el bit de acción de banda muerta vale 1, entonces se elige la acción de banda muerta. Si el error está dentro de los límites de banda muerta, el error se forza al valor cero. Sin embargo, si el error está fuera de los límites de banda muerta, el error se reduce en un valor igual al límite de banda muerta (error = error-límite de banda muerta).

Bit 4: Acción de rebobinado antiintegral. Cuando este bit vale 0, la acción de rebobinado antiintegral utiliza un cálculo inverso de integración. Cuando la salida está limitada, esta

acción sustituye al valor de resto Y acumulado por cualquier valor que sea necesario para obtener la salida limitada de manera exacta.

Cuando este bit vale 1, esto sustituye al término Y acumulado por el valor del término Y al comienzo del cálculo. De este modo, el valor Y previo al límite se mantiene mientras la salida esté limitada.

Recuerde que los bits se configuran en potencias de 2. Por ejemplo, para configurar la Palabra de Configuración al valor 0 para la configuración PID por defecto, deberá añadir 1 para modificar el Término de Error de (Consigna-PV) a (PV- consigna) o añadir 2 para modificar la Polaridad de Salida de CV = salida PID a CV = -salida PID o añadir 4 para modificar la Acción diferencial de velocidad de variación de Error a velocidad de variación de PV, etc.

DIRECCIÓN + 13

PARÁMETRO: Comando manual.

UNIDADES BIT MENOR PESO: Unidades de CV.

INTERVALO: Seguimiento de CV en modo automático o definición de CV en Manual.

DESCRIPCIÓN: Configurar a la salida CV actual mientras el bloque PID esté en modo Automático. Al cambiar el bloque a modo Manual, este valor se utiliza para configurar la salida CV y el valor interno del integrador dentro del Límite Superior y del Límite inferior y del límite de tiempo de variación.

DIRECCIÓN + 14

PARÁMETRO: Palabra control.

UNIDADES BIT MENOR PESO: Mantenedas por el PLC, a no ser que se active el bit 1.

INTERVALO: Mantenedas por el PLC mientras no se configuren de otro modo: el bit de menor peso activa el Sobrecontrol si vale 1.

DESCRIPCIÓN: Si el bit de menor peso de Sobrecontrol (Override) se configura a 1, esta palabra y otros parámetros Consigna, PV y CV internos deben utilizarse para control remoto de este bloque PID (véase a continuación). Esto permite sacar el control fuera del programa del PLC a dispositivos con interfaz de operador remotos, tales como un ordenador.

Precaución: si no quiere que esto ocurra, asegúrese de que la Palabra de Control está configurada a 0. Si el bit de menor peso vale 0, pueden leerse los 4 bits siguientes para efectuar un seguimiento de los estados de contactos de entrada PID siempre que el contacto Validar PID esté alimentado.

Una estructura de datos discretos con las posiciones de los 5 primeros bits en el formato siguiente.

BIT	VALOR PALABRA	FUNCIÓN	Estado o acción extrema si el bit de Sobrecontrol está configurado a 1.
0	1	Sobre-control (Override)	Si 0, monitorear contactos de bloque indicada a continuación, Si 1, configurarlos externamente.
1	2	Manual/Auto	Si 1, el bloque está en modo manual; si otros números está en modo automático.
2	4	Validar	Normalmente debe valer 1; de no ser así, nunca se llama al bloque.
3	8	UP/aumentar	Si 1 y Manual (Bit 1) vale 1, CV se incrementa en cada solución.
4	16	DN/Reducir	Si 1 y Manual (Bit 1) vale 1, CV se decrementa en cada solución.

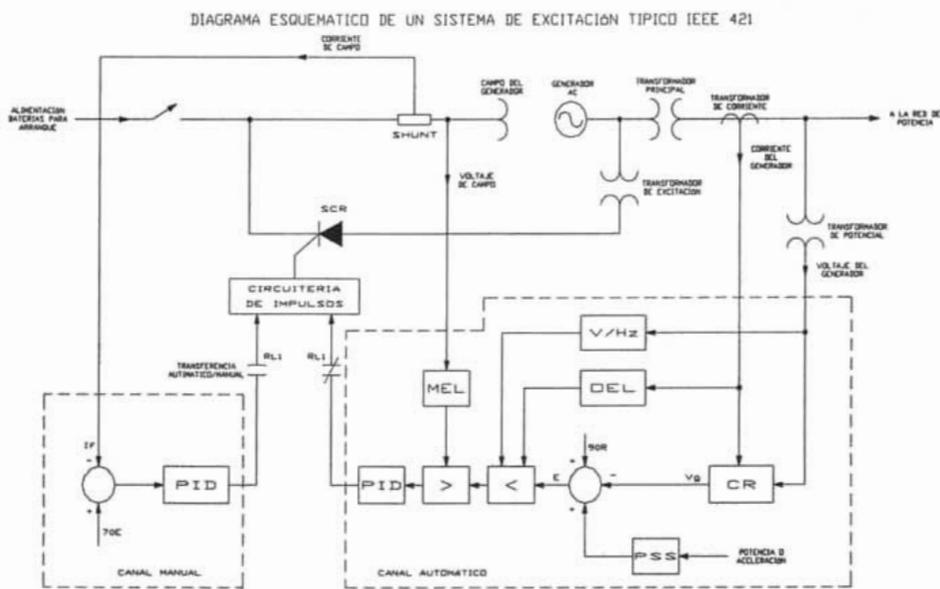
DIRECCIÓN: 15 a 40 están reservadas para uso interno. No utilizar estas referencias.

CAPITULO III

SISTEMA DE CONTROL Y SECUENCIA DE OPERACIÓN

3.1 SISTEMA DE CONTROL

A continuación se presenta un diagrama esquemático de un sistema de excitación típico.



En el diagrama anterior podemos observar la acción de control de voltaje del generador se realiza a través del canal automático, donde se compara esta señal con la consigna de voltaje denominada 90R; el error (E) obtenido es procesado para generar finalmente el voltaje de campo (VF) que produzca el cambio necesario en el voltaje del generador para igualarlo al voltaje de consigna.

En realidad el 90R se compara con el voltaje en terminales para tomar en cuenta la acción del compensador de reactivos, por otro lado esta acción de comparación es afectada por la acción del estabilizador de potencia (PSS) lo que permite tomar una acción rápida para amortiguar las oscilaciones de potencia provenientes de la red. Antes de pasar al módulo de control PI la señal E es discriminada con las señales provenientes de los módulos MEL, OEL y V/Hz que la limitarán convenientemente para evitar que el generador síncrono y el transformador principal lleguen a operar en zonas prohibidas de su característica de funcionamiento.

Al pasar por el controlador proporcional integral (PI), la señal E adquirirá una dinámica tal que permitirá posicionar los pulsos de disparo de los SCR con precisión para obtener el nivel requerido de rectificación. Se deberá poner especial atención en los ajustes de la banda proporcional (ganancia), y el tiempo de integración para lograr una respuesta óptima de la variable controlada de voltaje en terminales del generador, llevándola a su valor de consigna con la mayor exactitud, en el mínimo tiempo y mínimas oscilaciones; estos ajustes se pueden determinar a partir de una simulación del conjunto total generador-red-regulador, o en su defecto, siguiendo un procedimiento bien establecido de pruebas en campo.

El elemento final de control es el rectificador estático construido con SCR y su control de disparo asociado; la alimentación para este control proviene del mismo generador síncrono y se realiza por medio de un transformador. En virtud de su alta velocidad de respuesta, este equipo constituye uno de los factores fundamentales que permite al regulador automático de voltaje, por medio del PSS participar en el mejoramiento del amortiguamiento de las oscilaciones de la red de potencia, a partir del control apropiado de la excitación.

Considerando que este tipo de sistema de excitación se alimenta de la misma máquina, es conveniente proveerlo de una alimentación auxiliar, generalmente con baterías, durante el proceso inicial de la construcción del voltaje en terminales. La excitación inicial se deshabilita una vez que el voltaje en terminales del generador ha alcanzado aproximadamente el 30% de su valor nominal.

En este lazo de control realimentado para el control del voltaje en terminales del generador puede incluir un lazo anidado que controle la corriente de campo, para conseguir un mejoramiento apreciable en los índices de desempeño.

3.1.1 CANAL AUTOMATICO

El canal automático tiene como finalidad principal el de regular el voltaje en terminales del generador a partir de una referencia de voltaje (90R) y una realimentación de voltaje obtenida de los TP del generador.

Los algoritmos básicos del canal automático están contenidos en la memoria no volátil de la unidad de proceso central del PLC lo que permite una localización rápida de fallas a través de su software de diagnóstico y monitoreo.

El canal automático cuenta con dos lazos de realimentación:

- a) Lazo de realimentación mediante los TP's, (Voltaje en terminales de la máquina).
- b) Lazo de realimentación corriente de excitación (Iexc.).

El primero es el lazo de realimentación de la variable principal a regular, mientras que el segundo es el lazo de realimentación para fines de estabilización.

COMPENSADORES

COMPENSADOR DE REACTIVOS:

Es una función que actúa sobre el 1er. amplificador a través de la realimentación de voltaje de los TP's.

FUNCIÓN ESCALÓN:

Para fines de verificación de la estabilidad el canal automático esta adecuado para recibir una señal de escalón, la cual actúa sobre el punto suma el primer amplificador, modificando la referencia de voltaje a un valor predeterminado.

COMPENSADOR PSS:

Esta función actúa sobre el punto suma principal y actúa cuando la unidad se ha sincronizado a la red, modificando la excitación de la unidad en respuesta a cambios en la potencia activa.

DESEXCITACIÓN RÁPIDA:

Esta función actúa durante el proceso de apertura del 41 de acuerdo al orden siguiente:

1. Operación normal
2. Orden de apertura
3. Desexcitación rápida
4. Apertura del 41 al 30% del voltaje del generador.

LIMITADORES:

Los limitadores actúan en forma conjunta con la salida del amplificador de error de voltaje, a través de un circuito sumador:

- Limitador de Volts/Hertz
- Limitador OEL
- Limitador MXL
- Limitador MEL

POTENCIOMETRO ESTATICO 90R EN MODO SEGUIDOR (EXT)

Cuando el regulador esta funcionando en canal automático, la habilitación de pulsos en los osciladores del canal manual están deshabilitados con el propósito de eliminar cualquier pulso que pudiera interactuar con los pulsos del canal automático, sin embargo,

la señal de demanda de ángulo del canal manual debe estar igualada con la señal de demanda de ángulo del canal automático con el fin de que, si por alguna razón se transfiere de la operación automática a manual, este inicialice su proceso de regulación en el mismo punto de operación correspondiente al instante de la transferencia. Para lograr lo anterior la salida del potenciómetro estático 90R debe de posicionarse constantemente en la señal de demanda de ángulo del canal manual, siguiéndola fielmente para realizar esta función.

3.1.1.1 ALGORITMO DE PROTECCIÓN LIMITADOR DE MÁXIMA EXCITACIÓN Y DISPARO POR SOBREVOLTAJE DE EXCITACIÓN.

El propósito de este algoritmo es proteger a los devanados del campo del generador de un calentamiento excesivo ocasionado por incrementos del voltaje de excitación durante el proceso de regulación. Así durante cambios bruscos de voltaje, debidos a requerimientos de la red, el sistema de excitación podría ir mas allá de un nivel de excitación normal ocasionando temperaturas elevadas sobre el campo del generador con los daños consecuentes provocados por esta anomalía. Este fenómeno podría ocurrir también en caso de una eventual falla del sistema de excitación o sus elementos de sensado, o por una operación errática de los controles de excitación.

Cuando el generador se encuentra sincronizado en modo automático al sistema, una súbita disminución en el voltaje del sistema podría ocasionar una sobre excitación mas allá de la curva de capacidad del generador que puede contribuir a deteriorar notablemente la regulación de voltaje y la estabilidad del sistema.

Otra causa de sobre excitación puede ser debido a una falla en el circuito de realimentación de voltaje del canal automático. El limitador de máxima excitación se encarga de evitar los problemas anteriores llevando el voltaje de excitación a una zona de operación segura y quitando su influencia sobre el algoritmo del canal automático cuando el disturbio ha desaparecido.

En caso de una falla del circuito de control de los SCR del canal automático, el limitador de máxima excitación podría no evitar una sobre excitación. En este caso la protección de sobre excitación interviene transfiriendo la operación del regulador hacia modo manual. Si la sobre excitación no cesara esta protección tiene capacidad de sacar de operación al generador. El disparo de unidad (inicio de secuencia de paro total del generador), viene después que se ha cumplido el tiempo fijo ajustable inmediato a la transferencia a manual del regulador con una característica de tiempo inverso.

La protección de sobre excitación protege al generador inclusive en modo manual ya que el disparo por sobre excitación interviene aun cuando el regulador se encuentra en este modo de operación.

Requerimiento térmico de tiempo corto de devanados en campo.

El devanado de campo del generador puede ser capaz de operar con un voltaje de 125% del voltaje nominal de campo a condiciones nominales de carga, por lo menos un minuto comenzando a partir de una temperatura estabilizada a condiciones nominales.

Tiempo en segundos	10	30	60	120
Voltaje de campo (por ciento)	208	146	125	112

3.1.1.2 ALGORITMO DE PROTECCION POR SOBRE CORRIENTE DE EXCITACION

El algoritmo de protección por sobre corriente de excitación proporciona por medio de una salida digital y un modulo de interfaz digital un contacto seco y una alarma visible en el panel local y la unidad PMU cuando la corriente de excitación excede de un valor preestablecido. La corriente de excitación es tomada del transductor de aislamiento de corriente TDIE vía shunt y cuya salida es aproximadamente 10 VCD a corriente máxima nominal del excitador.

La entrada de este algoritmo se compara contra una referencia (umbral), cuando se excede este valor el algoritmo arranca un temporizador cuyo tiempo depende del ajuste de retardo. Una vez cumplido el tiempo preestablecido actúa la bandera digital de salida que muestra el evento. Un contacto del modulo de interfaz digital es enviado vía rele de repetición hacia tabllillas TMC para su exhibición en un cuadro de alarmas externo al excitador.

3.1.1.3 LIMITADOR DE MINIMA EXCITACION (MEL)

Este dispositivo esta diseñado para impedir que la potencia reactiva en adelanto rebase valores mayores de los permitidos de cuerdo a la curva de capacidad de la máquina síncrona.

Esta limitación será conveniente para mantener estable la operación del generador y prevenir calentamientos en los cabezales de los bobinados de la armadura en la circunstancia de absorber excesiva potencia reactiva por causa de una excitación insuficiente. El ajuste del MEL deberá ser tal que cumpla su objetivo, permitiendo a su vez que en caso necesario el generador pueda absorber la mayor cantidad posible de reactivos para ayudar al control de estos dentro del sistema interconectado de potencia.

El limitador de mínima excitación (MEL) tiene como objeto mantener la excitación del regulador arriba de la curva del limite de estabilidad síncrona del generador cuando este se encuentra en la región de desexcitación absorbiendo reactivos del sistema interconectado.

La operación debajo de estos límites produce daños mecánicos y eléctricos al generador y equipo asociado.

Cuando el sistema interconectado incrementa el voltaje o el operador disminuye el ajuste del 90R de forma tal que el RAV disminuye la corriente de excitación del campo para disminuir el voltaje en terminales a fin de igualarlo con el ajuste deseado, la potencia reactiva se absorbe en el generador de acuerdo a la impedancia de interconexión (X_e) y a la síncrona de la unidad (X_s) y al voltaje en terminales (V_t).

Puesto que para el regulador de voltaje la potencia reactiva no es una variable dependiente de su lazo de regulación el tendera a disminuir la corriente de excitación y por consiguiente disminuir el voltaje de terminales a partir de un incremento en la absorción de la potencia reactiva que al ser sustancialmente grande puede llevar a una operación fuera de la curva de estabilidad síncrona al generador con la consiguiente pérdida de sincronía.

El MEL verifica la posición de operación del generador en megawatts, megavars, el voltaje en terminales es obtenido de transductores, ambos datos los compara con una referencia preestablecida enviando un dato positivo a un sumador en el canal automático de forma que siendo superior al dato del amplificador de error de voltaje que se torna negativo, toma el control del 2do amplificador PI de esta forma la corriente de excitación del generador es controlada por el MEL de acuerdo al ajuste preestablecido y que depende del voltaje en terminales.

3.1.1.4 LIMITADOR DE MÁXIMA EXCITACIÓN (OEL)

El limitador de sobre excitación tiene por función evitar el calentamiento del rotor y estator del generador cuando este se encuentra en régimen de sobreexcitación, limitando la excitación del campo de forma tal que el generador opere dentro de su curva de capacidad.

El OEL también protege al propio sistema de excitación, en el caso de una sobreexcitación resultante por súbitas disminuciones de voltaje del sistema.

De forma similar al limitador de mínima excitación el limitador de sobre excitación compara un radio que asegura la curva de capacidad del generador a un valor seguro de operación. El radio se compara con el valor real de operación del generador que se obtiene a partir de la medición de watts y vars, que se suman al valor del centro para obtener un vector de radio real que se compara con un radio de referencia prefijado.

La diferencia es amplificada y aplicada como una señal de corrección al sumador que limita la excursión del 2do. amplificador PI limitando la demanda de corriente de excitación del regulador.

El ajuste del OEL realizado apropiadamente permite utilizar la curva de capacidad de la máquina síncrona para obtener de ella la máxima potencia. En la circunstancia de una sobreexcitación persistente, el RAV transferirá su operación al canal manual y en caso de que esta condición permanezca mas allá de un tiempo preestablecido, sobrevendrá el disparo de la unidad, sacándose de servicio para su revisión.

3.1.1.5 LIMITACION POR LA RELACION VOLTS/HERTZ

El limitador de volts/hertz es utilizado para evitar la saturación del generador y los dispositivos eléctricamente conectados a este, como son los transformadores.

La relación de volts/hertz se incrementa en forma proporcional al voltaje del generador por tanto si se incrementa el voltaje por sobreexcitación o durante un rechazo de carga, se producirá un flujo magnético excesivo que puede dañar a los transformadores o al generador.

De la misma forma si se disminuye la velocidad del generador en condiciones de vacío el regulador automático tenderá a mantener el voltaje en terminales en el valor nominal a expensas de una corriente mayor de excitación.

El limitador de volts/hertz compara la relación de Voltaje/Frecuencia proveniente del transductor de Volts/Hertz (TDVH) con una referencia y envía una señal proporcional de limitación al sumador del canal automático para limitar la entrada del segundo amplificador PI al valor seleccionado como ajuste máximo de relación Volts/Hertz fijado en el algoritmo de protección programado en el PLC.

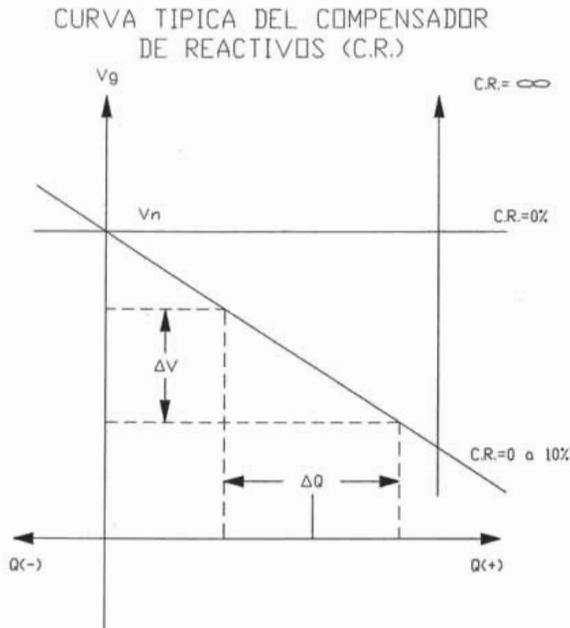
3.1.1.6 COMPENSADOR DE REACTIVOS

Para lograr el funcionamiento estable de varios generadores funcionando en paralelo, se requiere dotar al regulador automático de voltaje de un estatismo en potencia reactiva.

El compensador de reactivos (CR) es un circuito acoplado a la realimentación de voltaje del generador previsto para distribuir la potencia reactiva cuando se conectan dos o mas generadores en paralelo en forma proporcional a la potencia de la unidad.

Este algoritmo permite distribuir de modo estable y uniforme la corriente reactiva de carga entre varias unidades en paralelo a un bus común a través de sus propios transformadores principales o puede compensar la caída de voltaje en el transformador de unidad; en el primer caso se tiene una compensación negativa, mientras que en el segundo caso la compensación deberá ser positiva.

Para conseguir esta compensación, la consigna de voltaje es corregida por una palabra digital que es imagen de la corriente reactiva de la máquina.



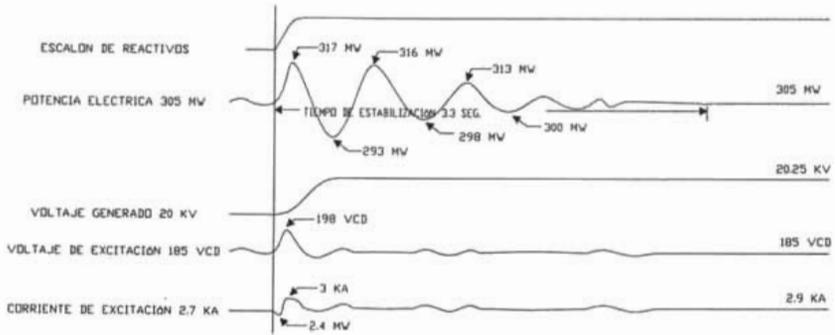
El compensador de reactivos modifica la realimentación de voltaje del excitador de acuerdo a la potencia reactiva y al ajuste efectuado en la ganancia correspondiente en el algoritmo del PLC, de forma tal que, el excitador opera dentro de una relación VOLTS/MVARS lineal.

El circuito correspondiente al compensador de reactivos toma la señal de potencia reactiva a través de la entrada analógica llamada MVARs, por medio de la cual introduce un incremento en la realimentación cuando la unidad absorbe reactivos, de forma proporcional en porcentaje al ajuste de su ganancia.

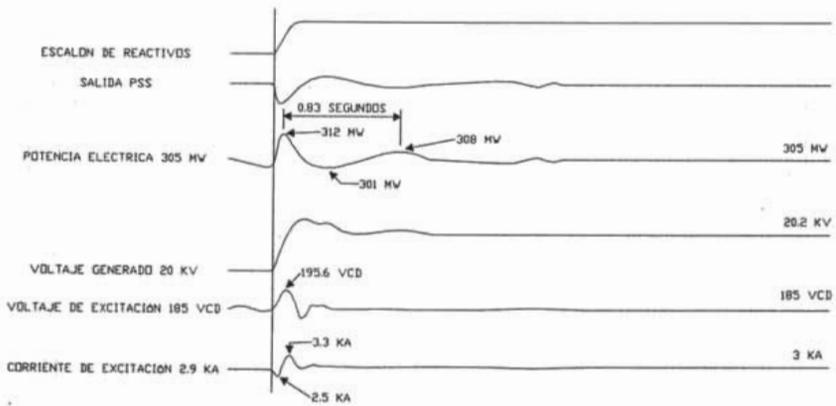
3.1.1.7 ESTABILIZADOR DEL SISTEMA DE POTENCIA (PSS)

Este algoritmo inyecta en el excitador señales proporcionales al cambio en la potencia activa, logrando con esto variar la corriente de campo en los instantes en los cuales se presentan oscilaciones en el sistema, produciendo pares electromecánicos transitorios de oposición que contribuyen a su amortiguamiento. Con esta acción se logra ampliar los límites de estabilidad en condiciones débiles del sistema, y por lo tanto amplían su límite de transferencia de potencia; idealmente el PSS debe compensar los tiempos de retraso del lazo de control con la finalidad de lograr una componente de par eléctrico en el rotor en fase con las variaciones de su velocidad permitiendo amortiguar los modos de oscilación del sistema en un rango de frecuencia de 0.2 a 2 Hz.

PRUEBA DE ESCALÓN DE REACTIVOS SIN ESTABILIZADOR DEL SISTEMA DE POTENCIA C.T. SAN LUIS POTOSÍ UI 29-08-86



PRUEBA DE ESCALÓN DE REACTIVOS CON ESTABILIZADOR DEL SISTEMA DE POTENCIA C.T. SAN LUIS POTOSÍ UI 29-08-86

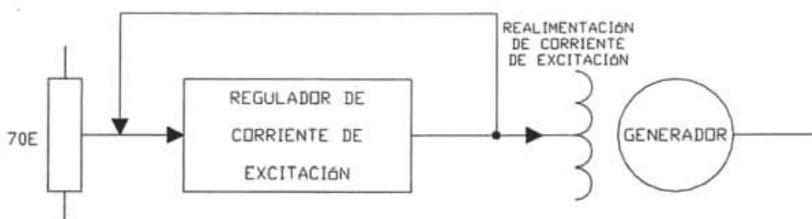


3.1.2 CANAL MANUAL

Este canal es incorporado en el regulador automático de voltaje como un respaldo del canal automático; así tenemos que durante la operación automática al presentarse una falla, el excitador se transferirá inmediatamente al modo de operación manual, poniéndose a disposición del operador para que ejerza directamente control sobre el voltaje del generador. En este modo de operación se pierden las facilidades que el canal automático proporciona en especial, la velocidad de respuesta; sin embargo, esta estrategia permite la continuidad del servicio durante el tiempo necesario para eliminar la falla ocurrida.

La función principal de este canal de regulación, es la de fijar una corriente en el campo del alternador, a partir de una referencia dada o consigna denominada 70E.

El esquema siguiente presenta una forma sencilla de este canal de regulación:



Las funciones de regulación del canal manual se encuentran contenidas en los algoritmos del PLC asignados al canal manual cuyas funciones desde el punto de vista operativo son similares a las del canal automático a excepción de que en este canal se ha suprimido la señal de realimentación de voltaje generado por una realimentación de corriente como lazo principal de control. Sin embargo el concepto funcional de cada uno de los circuitos son propiamente particulares de este canal.

La referencia de corriente de excitación es inyectada al punto suma principal de la misma manera se inyecta el dato del potenciómetro estático 70E, actuando este como un ajuste fino de la corriente de excitación, además de que por medio de este potenciómetro estático se fija el rango para los límites de corriente de excitación establecidos.

Las referencias antes mencionadas de polaridad negativa, son comparadas con una realimentación de corriente de excitación, de polaridad positiva, la cual proviene del transductor TDIEM.

El resultado de esta comparación alimenta la entrada del 1er amplificador llamado amplificador de error de corriente, cuya salida alimenta la entrada inversora del 2do amplificador, el cual está configurado como un controlador PI.

La salida del 2do amplificador viene dada como una referencia de voltaje de excitación, la cual es comparada con una realimentación de voltaje de excitación de polaridad positiva y proviene del transductor aislador TDVR. El resultado de esta comparación, alimenta la entrada inversora del amplificador de demanda de voltaje, cuya salida es comparada con las rampas y de ahí se crea el ángulo de disparo de los tiristores, cabe recalcar que este canal no tiene más que limitadores absolutos por lo que la operación con la máquina se deja a criterio y responsabilidad del operador. Sin embargo, si la máquina está a plena carga y surge un rechazo de carga, el valor de la corriente de excitación se va a un valor preestablecido que correspondería al valor nominal de voltaje en terminales, esto es logrado gracias a la secuencia programada en el PLC asignado al canal manual.

3.1.2.1 SEGUIDOR AUTOMÁTICO

Este algoritmo recibe las señales de demanda de ángulo de disparo tanto del canal automático como del canal manual.

Esta comparación continua sirve como referencia para los dos potenciómetros estáticos en el modo de seguimiento, además de que la diferencia entre los pulsos de disparo conocido como error refleja el desbalance entre los datos de demanda.

El dato de desbalance es escalado para su exposición en el panel del operador con el único fin de diagnosticar el estado del canal de reserva, por medio de una salida analógica proveniente del módulo de interfaz analógica correspondiente del PLC.

3.1.3 CANAL DE RESPALDO ANALÓGICO (CRES)

El sistema propuesto está diseñado para regular la corriente de excitación suministrada al campo del generador síncrono, con la finalidad de mantener su operación segura en condiciones de falla de los canales microprocesados (PLC) y así poder realizar en caso de ser necesario, un paro seguro de la unidad generadora con la secuencia de discriminación de carga correspondiente.

Para la operación de este sistema se ha incluido un lazo de realimentación de corriente de excitación, señal que recibe de un transductor, además de un circuito seguidor, que realiza un acoplamiento de impedancia. La señal que recibe el seguidor es comparada con una señal de referencia de corriente de excitación, referencia que es condicionada por la posición del interruptor de máquina 52G. En condiciones de vacío (52G abierto), la

consigna de corriente se establecerá en el valor necesario para mantener la unidad excitada a 1.07 PU de voltaje en terminales. En condición de máquina sincronizada (52G cerrado), la consigna de corriente se establecerá al valor necesario para proporcionar al menos el 70% de la potencia activa requerida al generador. El resultado de la comparación entre la realimentación de corriente de excitación y la consigna establecida entra a un circuito estabilizador PI, cuya salida se suma a un offset establecido por otro amplificador operacional, esta suma de señales pasa por un seguidor de voltaje que establece la demanda de ángulo requerida por el generador de pulsos de disparo de los SCR para mantener las condiciones de operación del generador antes citadas.

El sistema esta provisto de una lógica de secuencia cableada para realizar todas sus acciones de mando, control y señalización.

El módulo CRES consta de dos elementos principales, la tarjeta de control y la lógica cableada.

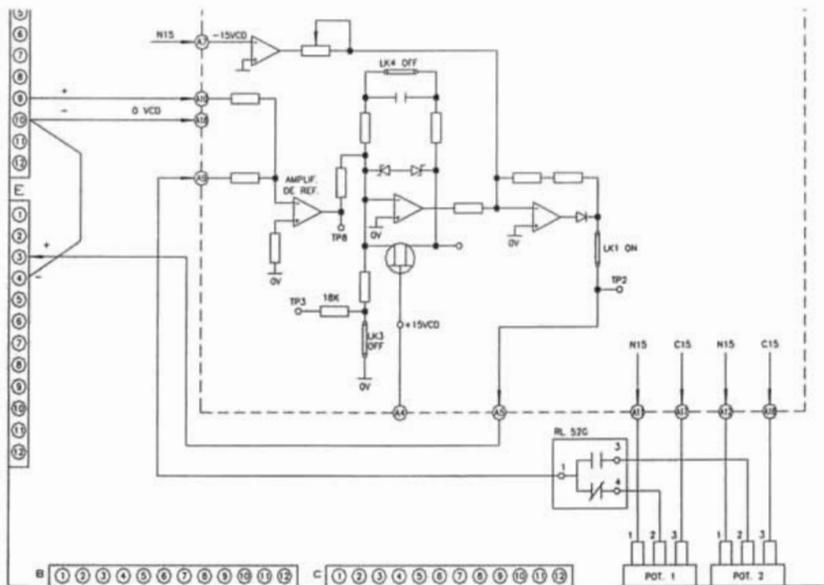
Tarjeta de control:

La tarjeta de control consta de 5 etapas para la generación de la demanda de ángulo.

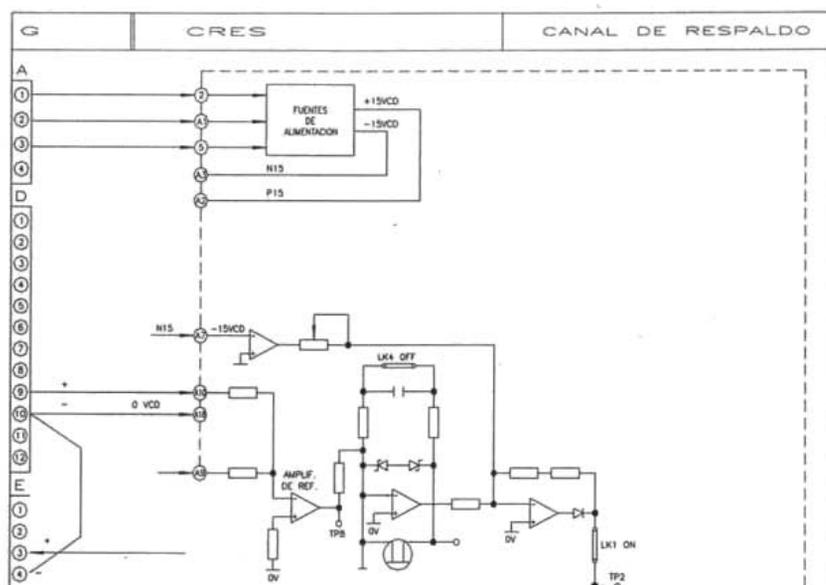
El buffer amplificador entrega un valor de voltaje fijo (offset), determinado por el valor de entrada en A7.

La etapa **del amplificador de error** suma la realimentación de la corriente de excitación A10 con la consigna establecida por la secuencia de la lógica cableada A9, el resultado de esta suma se multiplica por una ganancia definida por R66, R68, R58 y R56 y el resultado final se puede medir en el punto de prueba número 8 (TP8) referido a cero volts (TP4). Con R67 y R57 se atenúa el valor del error medido en TP8. La etapa de **control** recibe en su entrada la señal de error en la terminal 6 del IC3, esta señal pasa por el filtro PI cuya constante de tiempo de estabilización esta definida por los componentes C28 y R45. La señal de voltaje que entrega el filtro PI se suma con el valor del offset que entrega el buffer amplificador, esta señal pasa por la última etapa de control que es un bloque **seguidor**, el cual entrega finalmente el valor de voltaje de directa necesario para la generación de pulsos de disparo.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de control del CRES y su interconexión a los puntos correspondientes al módulo.



La **fuentes de alimentación** entrega un voltaje regulado de ± 15 VCD por medio de TR6 y TR7 para la alimentación de todos los amplificadores operacionales y los componentes relacionados de la tarjeta de control. La entrada de voltaje de esta fuente es de ± 24 VCD que entran por los tornillos de conexión 2 y 5, tomando como referencia el borne 1 de la clema de la tarjeta de control.



Lógica cableada interna del módulo:

La secuencia de operación del CRES esta basado en la activación de 4 bobinas de mando:

RLCRES (CRES seleccionado): Esta bobina de mando se energiza cuando se cumplen las siguientes condiciones; Estando el interruptor de campo en la posición de cerrado, que falle el W.D. del canal automático y el W.D. del canal manual ó que se ejecute una transferencia a CRES por petición del canal automático, del canal manual o de ambos ó por petición del operador via panel de mando local. El mando CRES seleccionado queda energizado permanentemente cuando las siguientes condiciones se cumplen: que el canal automático no este seleccionado, que el canal manual no este seleccionado, que el interruptor de campo 41 este cerrado y que se haya seleccionado el CRES, si alguna de estas condiciones no se cumple el CRES no quedará enganchado. Esta bobina de mando tiene tres contactos secos de salida que realizan las siguientes acciones: habilitación de la bobina de mando del excitador denominada RL3, manda una indicación luminosa al panel de mando local de aviso de CRES seleccionado, y la condición para mantener enganchado o desenganchado el mando.

RLTM1 (Temporizador de comando para la apertura): Esta bobina de mando se energiza cuando se cumplen las siguientes condiciones; Que el interruptor de máquina 52G se encuentre abierto y que se de petición de apertura via botón del panel de mando local.

El temporizador de comando para apertura se mantiene energizado permanentemente cuando se cumplen las siguientes condiciones: estando presente la desexcitación rápida ,

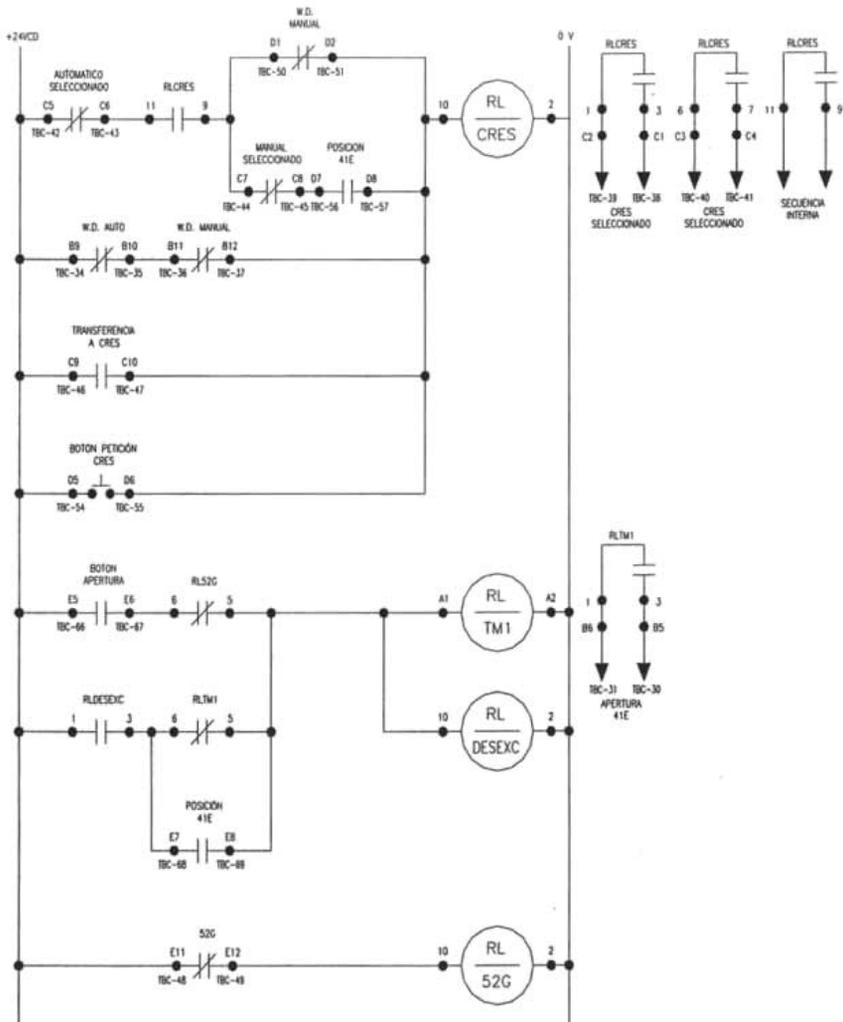
que el temporizador este en su retardo en ON (ON DELAY) y que el interruptor de campo 41 este cerrado.

La bobina de mando del temporizador se desenergiza hasta que el interruptor de campo 41 abra y el temporizador haya concluido con su retardo en ON (ON DELAY). Esta bobina provee un contacto seco que habilita la bobina de mando del excitador denominado 41TX1 (apertura 41E).

RLDESEX (Relevador de mando para la desexcitación rápida): Esta bobina de mando esta conectada en paralelo con la bobina de mando del temporizador por tanto es afectado por las mismas condiciones para energizado, enganche y desenergizado. El único contacto seco que provee esta bobina de mando únicamente actúa en el enganche o desenganche de su propia bobina de mando y la bobina de mando del temporizador.

RL52G (Relevador de posición del interruptor 52G): Esta bobina de mando se energiza y desenergiza de acuerdo a la posición del interruptor de máquina, si el interruptor de máquina esta abierto la bobina de mando se encuentra energizada y viceversa. Su contacto de salida actúa en la lógica de apertura del modulo CRES.

En la siguiente página se muestra la ilustración del diagrama de escalera de la lógica cableada del canal de respaldo analógico.



3.2 SECUENCIA DE OPERACIÓN

3.2.1 LOGICA PROGRAMADA

Las funciones de la lógica están programadas en el PLC de cada canal de operación por separado, dichas funciones están dispuestas en diagramas de escalera, que van realizando cada uno de los pasos descritos en la línea de programación y tomando las alternativas de acuerdo al estado de las variables de entrada o salida.

3.2.1.1 SECUENCIA DE OPERACIÓN INTERRUPTOR DE CAMPO 41E

La secuencia de operación del interruptor de campo, consta del cierre y apertura del mismo. Para el cierre del interruptor de campo se hace circular una corriente en un sentido a través de su bobina de enganche, suministrando voltaje de directa por medio del contactor 41CX. Para la apertura se presentan cuatro casos que se denominan disparo 1, disparo 2, disparo 3 y disparo 4. Los disparos 1, 2 y 3 forman parte de la lógica programada, y el disparo 4 forma parte de la lógica cableada ya que no depende de los PLC para ejecutarse.

Las aperturas o disparos se utilizan para reiniciar o restablecer el mecanismo del interruptor de campo, haciendo circular una corriente en sentido inverso para rearmar la condición de cierre.

El disparo 1 o apertura 1, es realizada por el operador en condiciones de operación normal, sea para la revisión general del regulador automático de voltaje o para su mantenimiento.

El disparo 2 o apertura 2, es realizada por el regulador automático de voltaje, al detectar una condición de falla o protección en sus sistemas que así lo amerite.

El disparo 3 o apertura 3, es realizada por el regulador automático de voltaje, al recibir el orden por alguna protección del generador.

El disparo 4 o apertura 4, es realizada por el canal analógico de respaldo bajo petición del operador.

ORDEN DE CIERRE

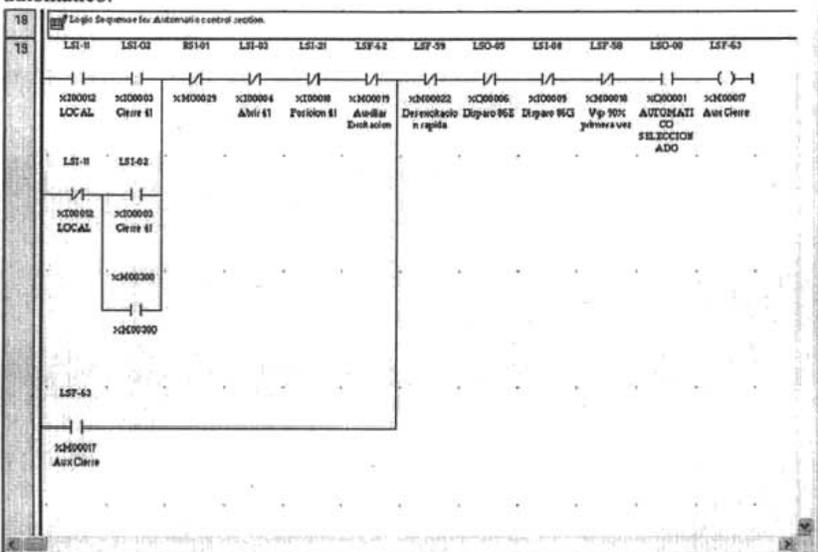
La orden de cierre del interruptor de campo se realiza desde el panel de mando local, la interfaz hombre máquina o algún panel de mando remoto conectado a TBI (tablilla de interconexión entre el gabinete de control y los gabinetes de potencia). Antes de realizar

la orden de cierre es pertinente revisar el canal de operación actual del regulador automático de voltaje y la activación del contactor para la apertura del interruptor de campo 4ITX1, pulsando en el panel de mando local el botón de ABRIR 41.

Al proceder a dar la orden de cierre por principio de cuentas se activa la entrada número 3 del módulo de interfaz digital denominado MA1 del PLC del canal automático y al mismo tiempo la entrada número 3 del módulo de interfaz digital denominado MM1 del PLC del canal manual. Aunque ambos canales reciben la orden al mismo tiempo, el canal de operación que ejecutará la acción de cierre será el seleccionado con anticipación antes de la ejecución del mando.

En caso de que el canal automático este seleccionado, la petición de cierre la recibe el PLC en su localidad de memoria definida como %I00003 que denominamos LSI-02 (entrada de secuencia local número 2), que encontramos en la línea de programación número 19 en el programa principal del PLC del canal automático. En esta línea de programación se encuentran las diferentes condiciones que se deben cumplir para actuar, de acuerdo al diagrama de escalera, la bobina de control ubicada en la localidad de memoria del PLC definida como %M00017, denominada LSF-17(bandera de secuencia local número 17) y etiquetada como **auxiliar de cierre**.

En la siguiente figura se muestra la línea de programación número 19 y su respectivo diagrama de escalera, que se encuentra dentro del programa principal del PLC del canal automático.



Se analizarán a continuación todas las condiciones que presenta este diagrama de escalera.

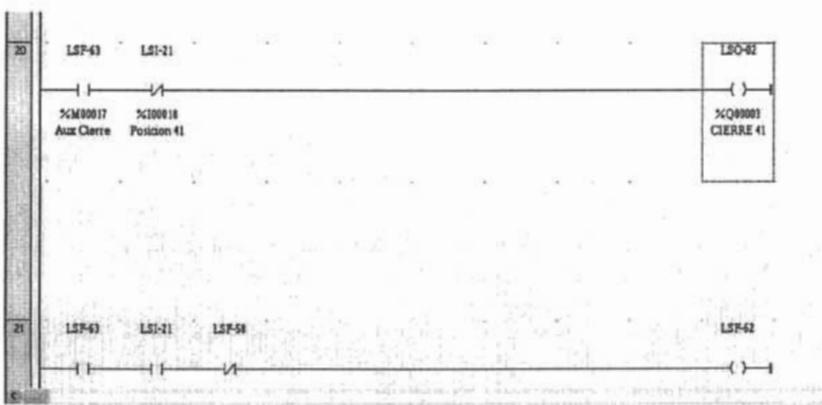
Condiciones que deben estar presentes al momento de dar la orden de cierre (contactos NA cerrados):

- Posición local o remoto.
- Petición de cierre 41E.
- Canal automático seleccionado.

Condiciones que no deben de presentarse durante la orden de cierre:

- Mando de apertura remota RSI-01.
- Mando de apertura local LSI-03.
- Posición del interruptor de campo cerrado LSI-21.
- El contacto LSF-62, etiquetado **excitación en proceso** debe permanecer cerrado.
- Desexcitación rápida.
- Disparo por 86E.
- Disparo por 86G.
- El voltaje en terminales del generador mayor al 90% del nominal.

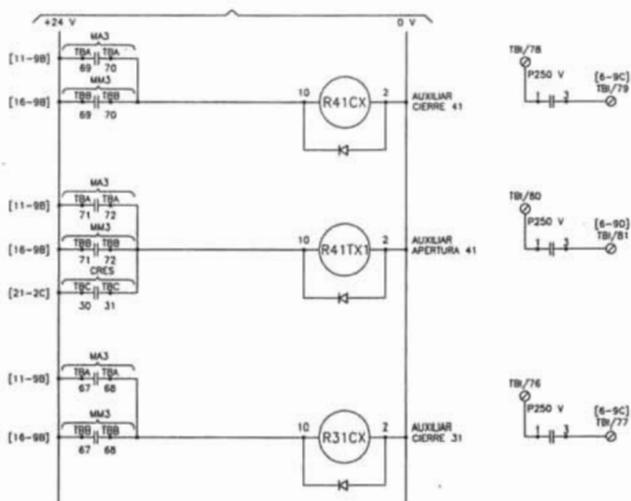
El contacto LSF-63 etiquetado como **auxiliar de cierre** sirve para enganchar la bobina etiquetada también como **auxiliar de cierre** mientras esta permanezca actuada. El PLC por medio de su módulo de interfaz de salidas digitales denominado MA3, entrega la salida de la bobina de mando LSF-63 con un contacto mojado con 24 VCD, por medio de la localidad de memoria definida en el PLC como %Q00003, denominada LSO-02 (salida de secuencia local número 2) y etiquetada como **cierre 41**. En la siguiente figura se muestra la línea de programación número 20 del programa principal del PLC del canal automático para observar las condiciones mencionadas anteriormente:



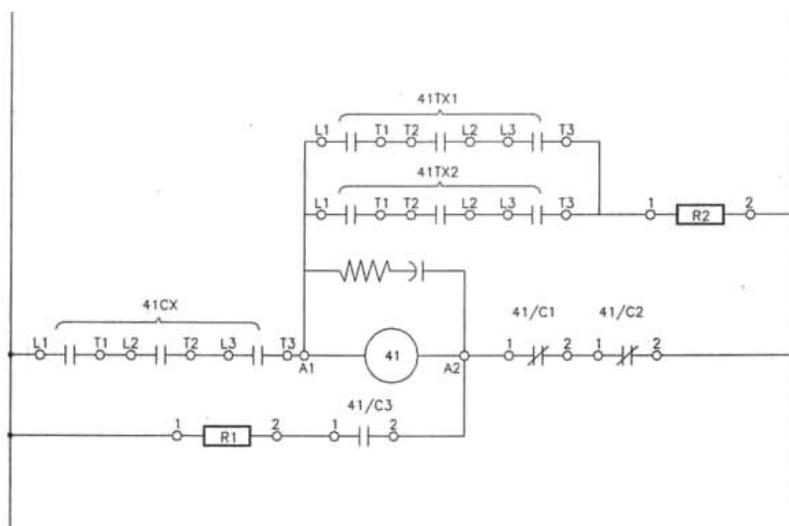
En la figura anterior se observa como la bobina de mando LSF-63 energiza la bobina LSO-02 mientras el interruptor de campo se mantenga abierto LSI-21.

Si las condiciones anteriores se cumplen, el contacto mojado con 24 VCD de la interfaz de salidas digitales del PLC del canal automático energizará el relevador de interposición denominado R41CX que a su vez energiza, por medio de sus contactos, la bobina de cierre del interruptor de campo 41E. Los contactos del relevador de interposición R41CX se rematan en las terminales de conexión denominadas TBI-78 y TBI-79 (TBI es el nombre que se le asigna a la tablilla de interconexión entre el gabinete de la electrónica de control y los gabinetes de potencia) para que en estos puntos de conexión sean conectados los puntos correspondientes a la bobina de mando del contactor 41CX.

El flujo de corriente por la bobina de mando del interruptor de campo dura solo algunos segundos, ya que al cerrarse el interruptor de campo, se realimenta su posición abierto o cerrado nuevamente a la lógica programada, desenergizando la bobina de mando LSF-63 cuando el interruptor de campo cierra, finalizando así, el ciclo de cierre del interruptor de campo por su característica de latch magnético. En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera donde se encuentra el repetidor R41CX y los puntos de sus contactos conectados a TBI.



En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera del interruptor de campo y sus condiciones de operación relacionados.



Para el caso del canal manual el ciclo de cierre del interruptor de campo tiene un procedimiento muy similar al del canal automático.

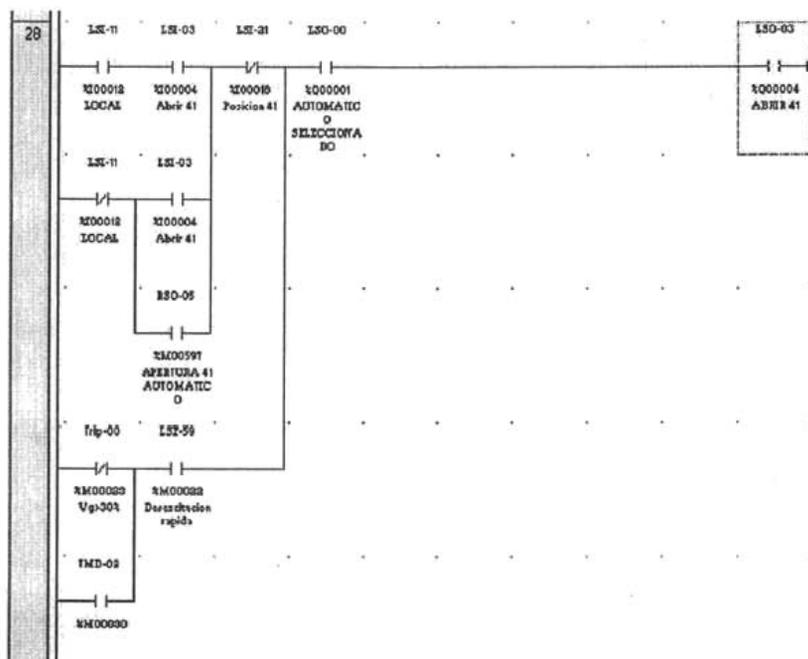
ORDEN DE APERTURA

La orden de apertura del interruptor de campo la puede realizar el operador desde el panel de mando local, la interfaz hombre máquina, algún panel remoto conectado a TBI o por medio del canal de respaldo analógico. Para condiciones de falla, se presentan dos aperturas del interruptor de campo, disparo 86E y el disparo 86G, que son aperturas por falla en el sistema de excitación y falla en el generador respectivamente. A continuación se analizan los tres casos de apertura considerando que se tiene seleccionado el canal automático de operación.

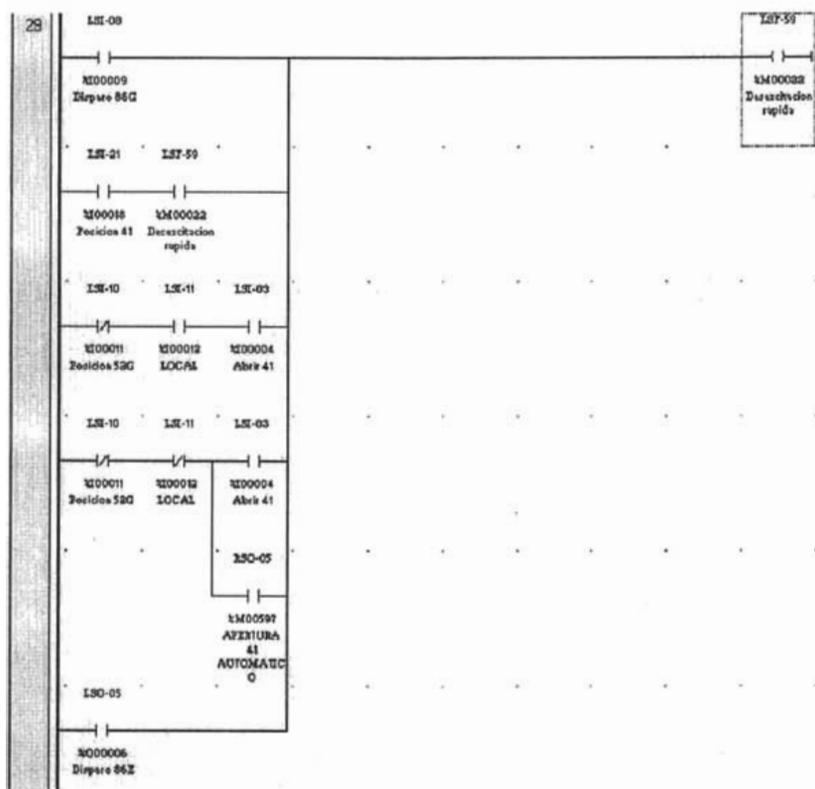
Petición de apertura por el operador.

Al operar la orden de apertura, la petición la recibe el PLC en su localidad de memoria definida como %I00004 que denominamos LSI-03 (entrada de secuencia local número 3) a través de su módulo de interfaz MA1, esta localidad de memoria del PLC la encontramos en la línea de programación número 28 del programa principal del PLC del canal automático. En esta línea de programación se encuentran las diferentes condiciones que se deben cumplir para actuar, de acuerdo al diagrama de escalera, la bobina de control para la apertura del interruptor de campo, ubicada en la localidad de memoria del PLC definida como %Q00004, denominada LSO-03 (salida de secuencia local número 03) y etiquetada como **ABRIR 41**.

En la siguiente figura se muestra la línea de programación número 28 y su respectivo diagrama de escalera, que se encuentra dentro del programa principal del PLC del canal automático.



Verificando el diagrama de escalera anterior se puede observar que el mando realizado por el operador no energiza de manera directa la salida digital LSO-03 cuando el interruptor de campo está cerrado LSI-21, ya que en esta situación el contacto LSI-21 está abierto impidiendo el flujo de energía sobre la bobina de mando LSO-03; pueden estar presentes la posición local LSI-11, estar seleccionado el canal de operación automático LSO-00 y el operador ejecutar el mando de apertura LSI-03, pero la bobina de mando LSO-03 no se energizará. El regulador automático de voltaje con la finalidad de realizar una apertura del interruptor de campo sin carga, condiciona a que la apertura se realice con un voltaje menor al 30% del nominal y que la bobina de mando LSF-59 desexcitación rápida esté energizada. En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera correspondiente a la bobina de mando etiquetada desexcitación rápida y todos sus elementos de condición que se encuentran en la línea de programación número 29 del programa principal del PLC del canal automático.



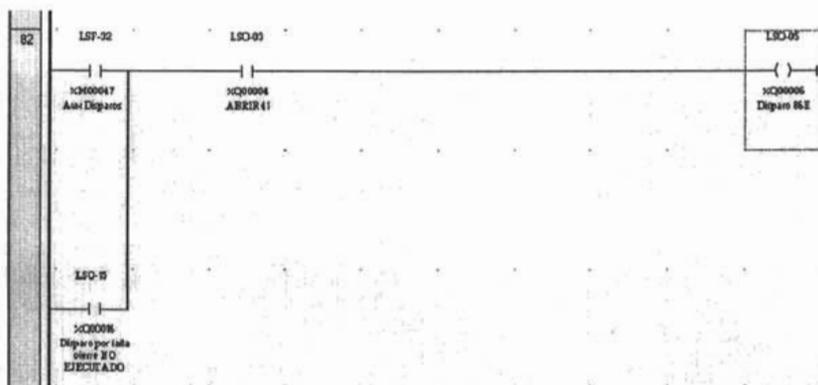
En el diagrama de escalera anterior se puede verificar claramente la operación del mando de apertura. Tomemos como premisa el diagrama de escalera de la bobina de apertura línea de programación 28, donde observamos que estando el interruptor de campo cerrado la única vía para energizar la bobina de mando LSO-03 es que el voltaje del generador sea menor al 30% del nominal y que esté energizada la bobina de mando LSF-59 **desexcitación rápida**, ahora, en el diagrama de escalera anterior podemos observar que para energizar la bobina de mando LSF-59 **desexcitación rápida**, necesitamos que el interruptor de máquina 52G este abierto LSI-10, estar en posición de operación local o remoto LSI-11 y se realice la ejecución del mando de apertura local o remoto LSI-03 o RSO-05 respectivamente. El flujo de energía sobre la bobina de mando LSF-59, también actúa sobre la salida de demanda de ángulo del control para los pulsos de encendido de los SCR, invirtiendo el voltaje y corriente de excitación hasta que se presenta la apertura del interruptor de campo.

Apertura por falla del regulador automático de voltaje.

La apertura por falla en el regulador automático de voltaje se efectúa debido a las siguientes causas por medio de la bobina de mando LSF-32 etiquetada como **auxiliar de disparos** y ubicada en la localidad de memoria %M00047:

- Disparo por falla cierre no ejecutado LSO-15.
- Disparo por tiempo largo de excitación forzada LSF-85.
- Después de que el voltaje del generador ha superado el 90% del nominal por primera vez LSF-58, se presentará una apertura por las siguientes causas:
 - o Sobrecorriente de excitación LSF-81.
 - o Por detección de pérdida de pulsos de ambos Boosters LSO-09.
 - o Por falla de ambos Boosters LSF-39.
 - o Sobrevoltaje de excitación (OXP) LSF-84.
 - o Sobrecorriente transformador de excitación LSF-83.
 - o Falla extractores de aire de los puentes rectificadores controlados LSO-39.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera de la línea de programación número 82 del programa principal del PLC del canal automático, para activación de la bobina de mando LSO-05 denominada **disparo 86E** y que esta ubicada en la localidad de memoria %Q00006.



Se puede verificar en el diagrama de escalera anterior que la apertura por falla en el regulador automático de voltaje LSO-05 es ocasionada por LSF-32, por LSO-15 o por ambas, siempre y cuando la orden de apertura del interruptor de campo se haya ejecutado.

Si observamos la línea de programación número 29 del programa principal del canal automático verificamos que la LSO-05 etiquetada como 86E ocasiona que se ejecute la bobina LSF-59 etiquetada como desexcitación rápida, que a su vez, actúa el mando de apertura LSO-03. Si LSO-05 no dependiera de LSO-03, no habría desexcitación rápida y el interruptor de campo realizaría una apertura con voltaje y corriente nominales.

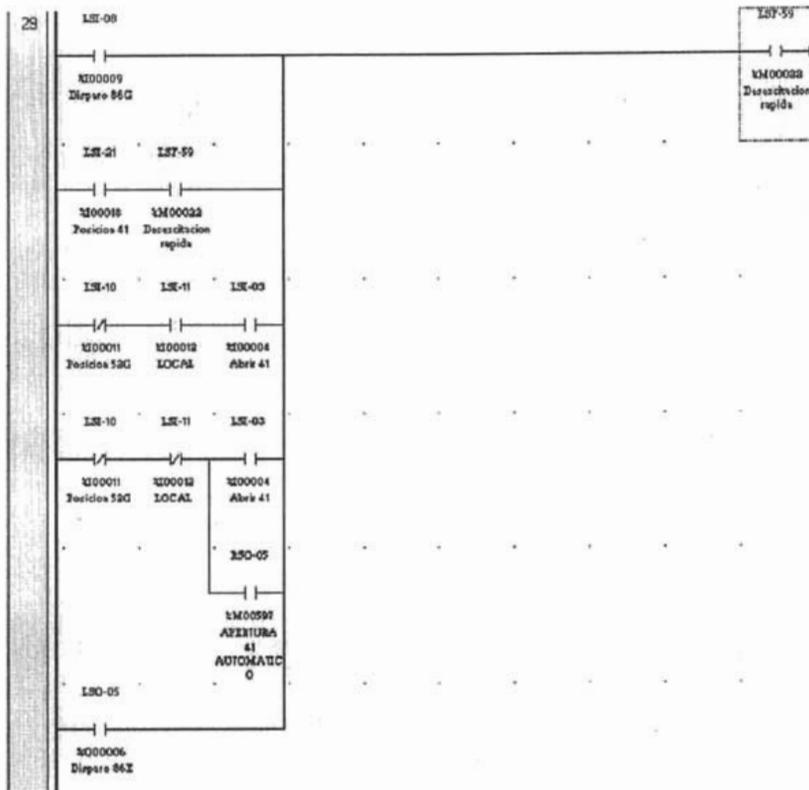
Después que se ha energizado la salida LSO-05, correspondiente a la localidad de memoria %Q00006, el PLC a través de su módulo de interfaz MA3 manda energizar por medio del contacto físico de salida correspondiente a %Q00006 la bobina de mando del relevador de interposición denominado 86E, cuyos contactos a su vez actúan para mandar las alarmas correspondientes en el panel local, a la tablilla de interfaz TBI y actuar la bobina del contactor de apertura 41TX1 interconectados ambos por medio de TBI.

El relevador de interposición 41TX1 actúa por medio de sus contactos la bobina de mando del interruptor de campo 41E, terminando así con este ciclo de apertura.

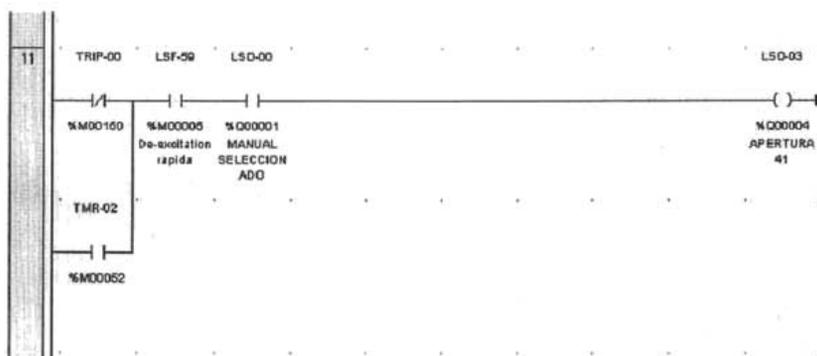
Orden de apertura por las protecciones del generador.

El regulador automático de voltaje cuenta con una conexión en la tablilla de interconexión entre el gabinete de electrónica de control y los gabinetes de potencia (TBI) puntos 13 y 14, para que el usuario conecte un contacto seco normalmente abierto. Este contacto deberá cerrarse al operar alguna de las protecciones del generador, también energiza la bobina de mando del repetidor para el disparo por las protecciones del generador denominado R86G en la lógica cableada. El contacto del repetidor manda la señal de entrada al módulo de interfaz del PLC MA1, a la entrada correspondiente a la localidad de memoria %I00009, correspondiente a LSI-08 etiquetada como **Disparo 86G**. En la figura que se muestra a continuación, se ve nuevamente la ejecución de la apertura en la lógica programada. La entrada de secuencia local número 8 LSI-08, posee un contacto seco programado que actúa sobre la bobina de mando LSF-59 desexcitación rápida. Continuando con el análisis anterior, el disparo 86G manda a operar la bobina de mando de la desexcitación rápida LSF-59, que a su vez tiene un contacto abierto programado en la secuencia de apertura del interruptor de campo, este contacto de LSF-59 manda la apertura del interruptor de campo LSO-03 cuando el voltaje en terminales del generador es menor al 30% del nominal TRIP-00 guardado en la localidad de memoria %M00023 y etiquetado como $V_g \geq 30\%$. Si no se reconoce la falla en las protecciones del generador la apertura se quedara enclavada, por tanto la orden de cierre quedará sin efecto hasta que se libere el contacto seco normalmente abierto que energiza la bobina del repetidor R86G.

Aquí termina el ciclo de apertura debido a las protecciones del generador estando en canal automático.



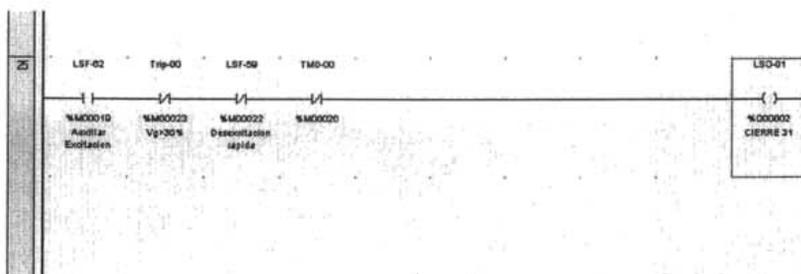
La orden de apertura en el canal manual es muy similar a la realizada en el canal automático. En la siguiente figura se muestra la línea de programación correspondiente a la apertura en canal manual.



Como se observa en el diagrama de escalera anterior la apertura LSO-03 está condicionada por la desexcitación rápida LSF-59, el canal manual seleccionado LSO-00 y el TRIP-00 que es la detección del voltaje mayor o igual al 30% del voltaje nominal. Cabe mencionar que al igual que el canal automático la apertura se presentará cuando el voltaje en terminales del generador sea menor al 30% del nominal o que el tiempo de desexcitación se haya cumplido TMR-02.

3.2.1.2 SECUENCIA DE OPERACIÓN INTERRUPTOR DE EXCITACIÓN INICIAL 31E

En el siguiente diagrama de escalera programado en la línea de programación número 25 del PLC del canal automático para la ejecución de la bobina de mando LSO-01 etiquetada como cierre 31, se verifican las condiciones para ejecutar el cierre del interruptor de excitación inicial 31.



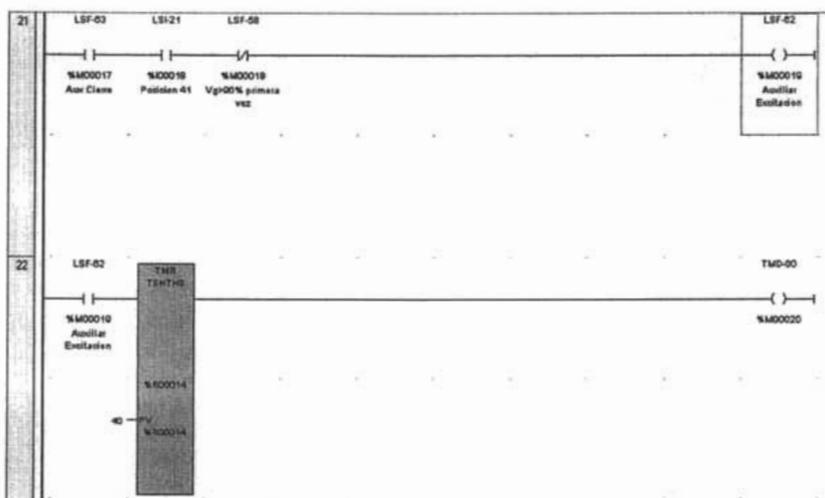
Como se puede observar en la figura para que la orden de cierre del interruptor de excitación inicial se ejecute se requiere que se cumplan las siguientes condiciones.

- Que este presente el auxiliar de excitación LSF-62.
- Que el voltaje en terminales del generador sea menor al 30% del nominal TRIP-00.

- Que no este presente la desexcitación rápida LSF-59.
- Que no se haya cumplido el tiempo de excitación programado en TMD-00,

Para que el auxiliar de excitación LSF-62 opere, hay que analizar las condiciones que se deben de cumplir.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera programado en la línea 21 del programa principal del canal automático para ejecutar LSF-62.



Para que el auxiliar de excitación actúe, en el diagrama de escalera anterior se observa que se deben cumplir las siguientes condiciones.

- Que actúe el auxiliar de cierre LSF-63.
- Que el interruptor de campo este cerrado.
- Que el voltaje en terminales del generador no supere el 90% de nominal.

El auxiliar de cierre ya se analizó en el punto 4.1.1 de este capítulo.

Al cumplirse las condiciones anteriores se actúa la bobina de control LSF-62 que comanda la salida digital del PLC por medio de LSO-01, que corresponde a la localidad de memoria %Q00002 y que esta etiquetada como CIERRE 31.

Al actuar la bobina de mando LSF-62 y cumpliendo con las condiciones necesarias para energizar la bobina de mando LSO-01, LSO-01 por medio de un contacto fisico asignado a la dirección de memoria %Q00002, a través de su módulo de interfaz MA3, permite el flujo de energía a la bobina de control del repetidor R31CX. Un contacto fisico normalmente abierto de R31CX controla por medio de la TBI la bobina de mando del

contactor 31CX, que a su vez actúa sobre la bobina del interruptor de excitación inicial, concluyendo así, la orden de cierre.

El interruptor de excitación inicial no posee enclavamiento magnético en su bobina de control, por tanto no es del tipo latch, para que se mantenga cerrada debe permanecer la alimentación de cd. presente en las terminales de su bobina de mando. Si la alimentación de cd. desaparece, el interruptor de excitación inicial se abrirá. Debido a esta característica una apertura del interruptor 31 se deberá a las siguientes condiciones.

- Que no esté presente el auxiliar de excitación LSF-62.
- Que el voltaje en terminales de generador sea mayor al 30% de nominal TRIP-00.
- Que este presente la desexcitación rápida LSF-59.
- Que el tiempo de excitación inicial termine TMD-00.

3.2.1.3 SECUENCIA DE OPERACIÓN CONFIGURADA EN EL REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE.

En general la secuencia de operación del regulador automático de voltaje esta dividida en tres grupos:

- Secuencia que verifica exclusivamente el estado de la etapa de potencia.
- Secuencia que verifica las transferencias entre canal automático y manual.
- Secuencia operativa del sistema de excitación.

Secuencia que verifica el estado de la potencia.

Esta parte de la lógica verifica las condiciones de los puentes rectificadores, el estado del transformador de excitación y la posición de los seccionadores.

En la siguiente tabla se indican todas las variables involucradas en esta parte de secuencia.

DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN	ETIQUETA
%Q00025	Alta temperatura en puente 1 ó 2.	LSO-24
%Q00026	Alarma asimetría de corriente en puentes.	LSO-25
%Q00027	Falla ventilador en puente 1 o 2.	LSO-26
%Q00028	Falla fusible en puente 1 o 2.	LSO-27
%Q00038	Sobrecorriente en transformador de excitación.	LSO-37

%Q00039	Alta temperatura en transformador de excitación.	LSO-38
%Q00040	Disparo falla extractores.	LSO-39
%Q00042	Alarma falla extractores.	LSO-41
%M00084	Alta temperatura en transformador de excitación.	LSF-82
%M00085	Disparo sobrecorriente en transformador de excitación.	LSF-83
%M00083	Falla ventilador 1.	LSF-51
%M00051	Falla ventilador 2.	LSF-64
%M00052	Falla fusible puente 1.	LSF-36
%M00102	Falla fusible puente 2.	LSF-95
%M00054	Sobrettemperatura puente 1.	LSF-34

Secuencia de transferencia automático/manual.

La selección del canal automático o manual puede realizarse cuando el interruptor de campo esta abierto en la forma que el usuario requiera, siempre y cuando el PLC se encuentre operando al 100%.

Una vez excitada la unidad, el regulador mantendrá la selección de canal de operación anterior y transferirá solamente de automático a manual cuando el operador por conveniencia realice una transferencia por cualquiera de los medios que le proporciona el regulador automático de voltaje o este la realizará de forma automática por fallas si se presentan.

En la siguiente tabla se indican todas las variables involucradas en esta parte de secuencia.

DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN	ETIQUETA
%M00106	Operación MXL	LSF-163
%Q00019	Transferencia a manual	LSO-18
%Q00020	Transferencia a CRES	LSO-19
%M00044	Auxiliar de transferencia por falla.	LSF-46
%Q00044	Transferencia a manual.	LSO-47
%Q00011	Transferencia a manual por perdida de TP.	LSO-10
%M00089	Transferencia a manual por MXL.	LSF-87
%Q00008	Repetidor transferencia a manual por MXL.	LSO-07

%M00060	Transferencia a CRES por transferencia a manual con falla W.D. manual.	LSF-57
%Q00045	Transferencia a CRES.	LSO-48

- Transferencia a manual por pérdida de TP's:

Esta función se realiza cuando el detector de fases SVRA detecta la ausencia de una fase o pérdida total de fases, enviando por medio de un contacto seco la señal respectiva tanto al PLC del canal automático, como al PLC del canal manual.

- Transferencia por sobrevoltaje de excitación:

Esta función la realiza el algoritmo de protección por sobrevoltaje de excitación programado en el PLC del canal automático, posee tres niveles de operación, la detección del voltaje para inicializar la operación de la protección con característica de tiempo inverso, la transferencia a manual y la orden de apertura automática o disparo por sobrevoltaje de excitación OXP.

- Transferencia por falla Watch Dog (W.D.) del PLC canal automático:

Estando el regulador operando en canal automático, la falla del W.D. del canal lo detecta el canal manual, que es el que posee la lógica de transferencia de automático a manual en caso de que se presente esta falla. La falla del W.D. es enviada al PLC manual por medio de un temporizador RLTM2 que forma parte de la lógica cableada con salidas de contactos, por medio de los cuales manda la señal correspondiente a la falla después de que por tres segundos se pierde la señal de W.D. del canal automático, esta operación se realiza para evitar transferencias en falso.

- Transferencia por pérdida de pulsos en canal automático:

Si por alguna razón se presenta la pérdida de pulsos en el módulo de generación de pulsos de cualquiera de los canales de operación incluyendo el CRES, los módulos amplificadores de pulsos correspondientes, mandan por medio de un contacto normalmente abierto (se cierra al detectar la pérdida de pulsos), la señal de pérdida de pulsos de disparo para los SCR al PLC por medio de sus módulos de interfaz de entradas discretas.

La dirección de la variable en el programa principal del canal automático que indica pérdida de pulsos del canal es la %M00056 correspondiente a la LSF-52 que es la que origina la transferencia a manual por medio del auxiliar de transferencia por falla LSF-46.

Secuencia operativa del regulador automático de voltaje.

Esta parte de la secuencia procesa los mandos de cierre y apertura de los interruptores 41 y 31, estando trabajando en modo local o remoto.

Esta parte de la programación procesa la apertura normal y la de emergencia (disparos) que actúan sobre el interruptor de campo cuando se detecta el 30% de voltaje en terminales del generador.

Durante el arranque del sistema la secuencia se puede inhibir si la lógica programada no recibe la realimentación de la posición real del interruptor de campo, para restablecer todas las alarmas que se presenten, oprimir el botón de RESET en el panel de mando local o remoto.

Esta parte de la secuencia es muy importante pues es la que gobierna los disparos por la activación de las protecciones que tiene el sistema de excitación, mientras que los otros bloques de secuencia constan únicamente de alarmas.

En la siguiente tabla se indican todas las direcciones programadas en el PLC del regulador automático de voltaje que no se han mencionado hasta el momento y que están relacionadas con la operación del sistema de excitación.

DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN	ETIQUETA
%Q00005	Habilitar ráfaga de pulsos	LSO-04
%M00027	Auxiliar Precon	LSF-61
%M00028	Preset potenciómetros estáticos	LSF-60
%M00036	Modo automático	LSF-43
%M00035	Modo manual	LSF-42
%M00080	CRES seleccionado	LSF-80
%M00038	Subir voltaje	LSF-29
%M00039	Bajar voltaje	LSF-28
%Q00007	Automático seleccionado	LSO-06

Durante un arranque normal del sistema, al momento de que el PLC recibe el mando de cierre este manda sus salidas por medio de sus módulos de interfaz, estas salidas son recibidas por los relevadores de interposición que operan los contactores para ejecutar los mandos de cierre para el interruptor de campo 41 y de excitación inicial 31, la habilitación de la ráfaga de pulsos, la habilitación de los canales (Precon) y la activación del modo **preset** de los potenciómetros estáticos para el arranque a voltaje nominal por medio del regulador automático de voltaje de la unidad generadora.

La activación del modo **preset** no es sostenida, basta con un pulso para memorizar el nivel de referencia y este no se altera mientras el potenciómetro estático no reciba algún otro valor por medio de los mandos SUBIR o BAJAR consigna.

Alarmas.

En la siguiente tabla se indican las direcciones programadas destinadas para la indicación de alarmas por medio de contactos secos asociados a las direcciones del PLC y que por medio de sus módulos de interfaz los convierten en indicaciones en el panel de mando local o remoto.

DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN	ETIQUETA
%Q00030	V/Hz Operando	LSO-29
%Q00031	MXL Operando	LSO-30
%Q00032	OEL Operando	LSO-31
%Q00029	MEL Operando	LSO-28
%Q00033	Limitadores Operando	LSO-32
%Q00021	Falla fuente canal automático.	LSO-20
%Q00022	Falla fuente CRES	LSO-21
%Q00023	Falla PLC canal manual	LSO-22
%Q00024	Falla CRES	LSO-23
%Q00034	Falla fuente canal manual	LSO-33
%Q00035	Disparo por tiempo largo de excitación.	LSO-34
%Q00036	Disparo sobrecorriente de excitación.	LSO-35
%Q00037	Disparo sobrevoltaje de excitación.	LSO-36
%Q00041	Alarma sobrevoltaje de excitación.	LSO-40
%Q00013	Falla fuente Booster 1	LSO-12
%Q00014	Falla fuente Booster 2	LSO-13
%Q00046	Alarma disparo OXP	LSO-49
%Q00009	Alarma General	LSO-08
%M00041	Pérdida de TP	LSF-55
%M00045	Alarma pérdida de pulsos Booster	LSF-33
%M00048	Alarma pérdida de Booster 2	LSF-47
%M00050	RESET	LSF-37
%M00053	Falla a tierra rotor	LSF-35

Después de que la secuencia ejecuta una alarma se utiliza el comando de **reset** para restablecerla a condición normal, si no es así, se tiene que verificar que el elemento que ocasiona la alarma no tenga falla. Si el elemento de falla se corrige, nuevamente se ejecuta el comando **reset** para restablecerla a condición normal.

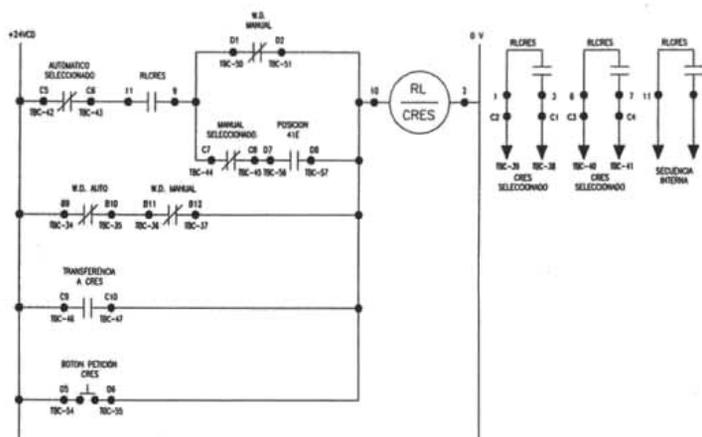
3.2.2 LOGICA CABLEADA.

La lógica cableada esta constituida de las funciones que debe de realizar el sistema de excitación y que no están programadas en los PLC del regulador automático de voltaje. La lógica cableada también permite que los mandos, indicaciones y acciones ordenadas por los PLC se ejecuten, actuando sobre los elementos de potencia que no pueden ser manipulados o controlados directamente por las salidas de los módulos de interfaz del PLC del regulador automático de voltaje.

3.2.2.1 TRANSFERENCIA A CANAL DE RESPALDO ANALÓGICO (CRES).

El canal de respaldo analógico está previsto como último recurso en el regulador automático de voltaje para poder realizar un paro de la unidad de generación de la forma más segura posible en caso de falla de los canales de control con PLC. El canal de respaldo analógico no es un canal de regulación como el canal automático o el canal manual, esta concebido únicamente para dar una apertura del interruptor de campo y/o el interruptor de máquina (en caso de ser necesario la apertura del interruptor de máquina la realizará el usuario con los medios de los cuales disponga la planta de generación para tal efecto) cuando los canales automático y manual fallen. Con el canal de respaldo analógico no se pueden realizar excitaciones, es decir, no cuenta con el mando de cierre para el interruptor de campo y de excitación inicial, además su salida de demanda de ángulo es fija, no tiene control alguno, esta se ajusta de acuerdo a las características de operación que requiera el usuario, incluyendo la demanda de ángulo del regulador automático de voltaje con el generador trabajando en vacío y a carga nominal.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera de la lógica cableada para transferencia a CRES (Canal de respaldo analógico).



Analizando el diagrama de escalera anterior verificamos que la transferencia al canal de respaldo analógico se puede realizar de tres formas.

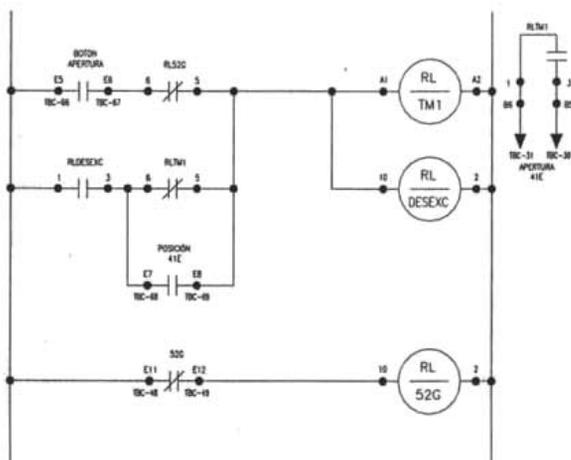
- Por presentarse falla Watch Dog canal automático y falla Watch Dog canal manual al mismo tiempo.
- Estando el regulador automático de voltaje operando en canal automático, se transfiere a CRES por transferir a canal manual estando este canal con falla.
- Por petición del operador en el panel de mando local.

Después de presentarse las condiciones anteriores la bobina de mando RLCRES se engancha por medio de un contacto propio si se cumplen las siguientes condiciones.

- No estar en canal automático y falla W.D. canal manual.
- No tener seleccionado el canal automático, no tener seleccionado el canal manual y que el interruptor de campo este cerrado.

3.2.2.2 APERTURA INTERRUPTOR DE CAMPO POR CRES.

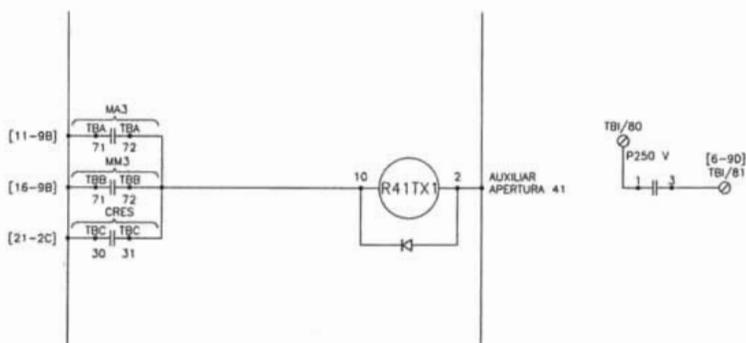
En la siguiente figura se muestra el diagrama de escalera de la lógica cableada para apertura interruptor de campo por CRES (Canal de respaldo analógico).



Como se puede observar en el diagrama de escalera anterior el mando de apertura depende de la posición del interruptor de máquina 52G, esto, para evitar una apertura del interruptor de campo con la unidad generadora conectada a un bus o red de potencia con otras unidades generadoras. Si el interruptor de máquina se encuentra cerrado, en la

lógica cableada abre su contacto, lo que ocasiona que si el operador manda apertura, esta no se ejecute. Estando el interruptor de máquina abierto, al darse la señal de apertura por el usuario, se actúa al mismo tiempo la bobina de mando RLTM1 Y RLDESEXC. RLTM1 es un temporizador offdelay que se energiza después de haber recibido la orden de apertura con el tiempo que se le programe (3 segundos configurable). RLDESEXC manda la demanda de ángulo para el disparo de los SCR a un valor negativo para que se desexcite el generador y RLTM1 al energizarse realice una apertura segura del interruptor de campo. RLTM1 y RLDESEXC se mantendrán enganchados (energizados), hasta que el interruptor de campo mande su realimentación de posición abierto. El contacto de apertura generado por RLTM1 del CRES, energiza la bobina de mando del repetidor R41TX1, que por medio de su interconexión en TBI en los puntos 80 y 81, manda la apertura del interruptor de campo a través del contactor 41TX1.

En la siguiente figura se muestra la lógica cableada de la apertura por CRES.



TBC-30 y TBC-31 son las tablas de conexión del contacto que genera la lógica cableada del CRES para la apertura del interruptor de campo.

3.2.2.3 RELEVADORES DE INTERPOSICIÓN.

La mayoría de los relevadores que no están incluidos en los módulos de interfaz de los PLC del regulador automático de voltaje, empleados en el sistema de excitación no realizan ninguna función de lógica de toma de decisión para la operación del mismo.

El objetivo primordial de estos relevadores es aislar las diferentes etapas de potencia del regulador automático de voltaje con los módulos de interfaz del PLC que a su vez reciben las entradas y salidas tanto analógicas como digitales necesarias para que el regulador automático de voltaje realice su función de secuencia, así como la indicación de algunas variables para la unidad.

En la siguiente tabla se indican los nombres de los relevadores de interposición y su descripción.

RELEVADOR DE INTERPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN	Alimentacion de la bobina de control (VCD)
RL1	Automático seleccionado.	24
RL2	Manual seleccionado.	24
RL3	CRES Seleccionado.	24
RL4	Alarma general AVR.	24
RL5	Conectar Ráfaga de pulsos.	24
RL6	Posición 41E.	24
RL7	Posición 41E.	24
RL8	Sobrettemperatura transformador de excitación.	250
RL9	Posición interruptor de máquina 52G.	250
RL10	Posición Local/Remoto.	24
RL11	Posición 41E.	24
RL12	CRES Seleccionado.	24
R41CX	Auxiliar cierre 41.	24
R41TX1	Auxiliar apertura 41.	24
R31CX	Auxiliar cierre 31.	24
86E	Relevador de disparo 86E.	24
86G	Repetidor de apertura por emergencia 86G.	250
RLTM1	W.D. manual.	24
RLTM2	W.D. automático.	24

Todos los relevadores de interposición indicados en la tabla anterior poseen contactos que cumplen una función muy específica en el regulador automático de voltaje. En la siguiente tabla se indica la función destinada a cada contacto del relevador de interposición que se indique.

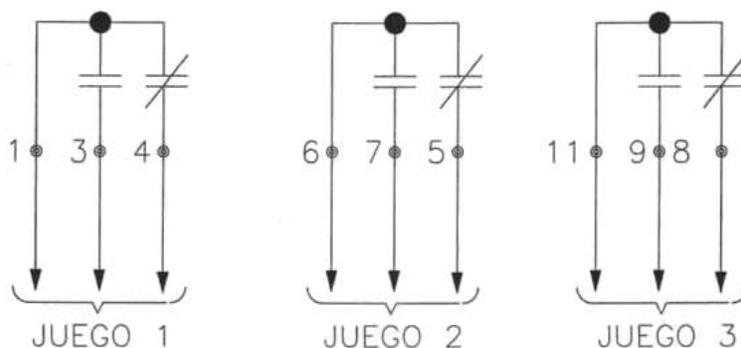
RELEVADOR DE INTERPOSICIÓN	JUEGO DE CONTACTOS 1	JUEGO DE CONTACTOS 2	JUEGO DE CONTACTOS 3
RL1	Contacto Normalmente abierto: Habilitación generador de pulsos canal automático.	Contacto Normalmente abierto: Disponible.	Contacto Normalmente abierto: A tablilla TBI-66 y TBI-67
RL2	Contacto Normalmente abierto: Habilitación generador de pulsos canal manual.	Contacto Normalmente abierto: Señal de aviso a canal automático de manual	Contacto Normalmente abierto: A tablilla TBI-68 y TBI-69

		seleccionado.	
RL3	Contacto Normalmente abierto: Habilitación generador de pulsos CRES.	Contacto Normalmente abierto: Señal de aviso a canal automático de CRES seleccionado.	Contacto Normalmente abierto: A tablilla TBI-70 y TBI-71
RL4	Contacto Normalmente abierto: A tablilla TBI-86 y TBI-87	Contacto Normalmente abierto: Señal de alarma a panel local.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RL5	Contacto Normalmente abierto: Se conecta en serie con un contacto del relevador de interposición 52G entre los puntos TBC-108 y TBC-109.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RL6	Se conecta el primer juego de contactos de la siguiente forma para el panel de mando local : el NA a TBC-139, el NC a TBC-138 y el común se moja con +24 Vcd.	Contacto Normalmente abierto:	Contacto Normalmente abierto: Auxiliar 41 para extractores.
RL7	Contacto Normalmente abierto: Auxiliar 41 aviso de posición para canal automático.	Contacto Normalmente abierto: Auxiliar 41 aviso de posición para canal manual.	Contacto Normalmente abierto: A tablilla TBI-72 y TBI-73
RL8	Contacto Normalmente abierto: Aviso a PLC canal automático.	Contacto Normalmente abierto: Aviso a PLC canal manual.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RL9	Contacto Normalmente abierto: Aviso posición a PLC	Contacto Normalmente abierto: Se conecta en serie con un	Contacto Normalmente abierto: Aviso posición a CRES.

	canal automático.	contacto del relevador de interposición RL5 (Conectar Ráfaga de Pulsos) entre los puntos TBC-108 y TBC-109.	
RL10	Contacto Normalmente abierto: Aviso posición a PLC canal automático TBA-12. Contacto Normalmente cerrado: Habilitación de mandos remotos TBI-1.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RL11	Contacto Normalmente abierto: Aviso posición a CRES.	Contacto Normalmente abierto: Aviso posición a CRES.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RL12	Contacto Normalmente cerrado: En serie con contactos NC de los W.D. de los canales automático y manual.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
R41CX	Contacto Normalmente abierto: A TBI-78 y TBI-79.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
R41TX1	Contacto Normalmente abierto: A TBI-80 y TBI-81.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
R31CX	Contacto Normalmente abierto: A TBI-76 y TBI-77.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
86E	Contacto Normalmente abierto: A TBI-122 y TBI-123. Disparo.	Contacto Normalmente abierto: A TBI-120 y TBI-121. Alarma.	Contacto Normalmente abierto: A TBC-130 Panel de mando

			local.
86G	Contacto Normalmente abierto: A TBA-9 aviso de disparo a canal automático.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.
RLTM1	Contacto Normalmente cerrado: Transferencia interna módulo CRES.	Contacto Normalmente cerrado: Disparo 86E.	Contacto Normalmente cerrado: Lógica cableada interna módulo CRES.
RLTM2	Contacto Normalmente cerrado: Transferencia interna módulo CRES.	Contacto Normalmente cerrado: Disparo 86E.	Contacto Normalmente abierto: Reserva.

En el cuadro anterior se indican los contactos que se requieren del juego que viene dispuesto como un común con su respectivo contacto normalmente abierto y otro normalmente cerrado. Los puntos de conexión de los relevadores se muestran en la siguiente figura.



CAPITULO IV

SISTEMAS AUXILIARES

4.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN DEL RAV

Las fuentes de alimentación que forman parte del regulador automático de voltaje están constituidas por tres módulos independientes, uno para cada canal de operación denominados FU-AVR-D, así, tenemos un módulo para alimentar el canal automático, un módulo para alimentar el canal manual y un último módulo para alimentar el canal de respaldo analógico, aunque cada fuente alimenta a su dispositivo electrónico de control, sus salidas forman un bus de +24 Vcd para alimentar todos los sistemas auxiliares que requieran esta alimentación, y otro bus de +/- 24 Vcd para alimentar los dispositivos y sistemas auxiliares que requieran esta alimentación, así, las salidas de voltaje de las fuentes forman una or de fuentes, en caso de que alguna falle están las otras dos operando y como están conectadas al mismo bus, los módulos y sistemas auxiliares no son afectados por esta falla. Una fuente de alimentación es capaz de alimentar a su dispositivo electrónico de control y a sus módulos y sistemas auxiliares. Cada módulo tiene las siguientes características operativas.

Voltajes de entrada: Cada módulo FU-AVR-D requiere para operar los siguientes voltajes en los puntos de conexión que se indican:

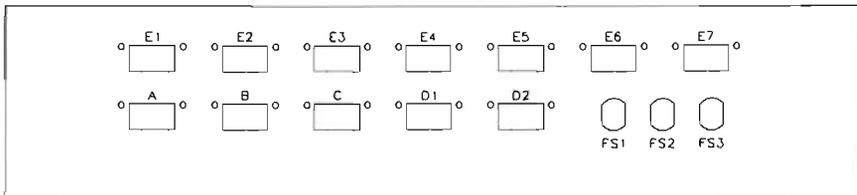
Conector	Puntos de conexión	Descripción	Observaciones
B	1 Y 2	Entrada de Voltaje de 85 hasta 132 Vca. 60 Hz.	Punto 1 Línea, punto 2 Neutro.
A	1 Y 2	Entrada de voltaje de 220 hasta 370 Vcd.	La polaridad de conexión es el punto 1 positivo y 2 negativo.
A	3	Tierra física.	

Voltajes de salida: Cada módulo FU-AVR-D entrega los siguientes voltajes de alimentación en los puntos de conexión que se indican:

Conector	Puntos de conexión	Descripción	Observaciones
E1	1,2 y 3	Salida de voltaje de +/- 24 Vcd.	Punto 1 positivo, punto 2 común o cero volts y punto 3 negativo de 24 Vcd.
E2	1,2 y 3	Salida de voltaje de +/- 24 Vcd.	Punto 1 positivo, punto 2 común o cero volts y punto 3 negativo de 24 Vcd.
E3	1,2 y 3	Salida de voltaje de +/- 24 Vcd.	Punto 1 positivo, punto 2 común o cero volts y punto 3 negativo de 24 Vcd.
E4	1 y 2	Salida de voltaje de +24 Vcd.	Punto 1 positivo y punto 2 negativo.
E4	3 y 4	Salida de voltaje de +24 Vcd.	Punto 1 positivo y punto 2 negativo.
E5	1 y 2	Salida de voltaje de +24	Punto 1 positivo y punto

		Vcd.	2 negativo.
E5	3 y 4	Salida de voltaje de +24 Vcd.	Punto 1 positivo y punto 2 negativo.
E6	1 y 2	Salida de voltaje de +24 Vcd.	Punto 1 positivo y punto 2 negativo.
E6	3 y 4	Salida de voltaje de +24 Vcd.	Punto 1 positivo y punto 2 negativo.

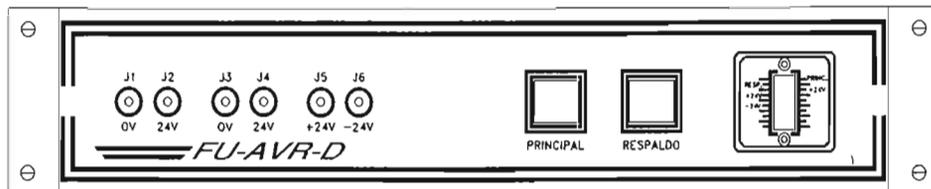
En la siguiente figura se muestra la vista posterior del módulo FU-AVR-D indicando la ubicación de los conectores y sus fusibles de protección.



Cada módulo FU-AVR-D posee los siguientes LED de indicación:

Descripción LED	Indicación	Numero de LED	Observaciones
PRINC.	Presencia de alimentación principal.	1	LED encendido indica presencia de alimentación.
RESP.	Presencia de alimentación de respaldo.	2	LED encendido indica presencia de alimentación.
+24	Presencia de salida de alimentación positiva de +/- 24 Vcd.	3	LED encendido indica presencia de alimentación.
+24	Presencia de salida de alimentación de +24 Vcd.	4	LED encendido indica presencia de alimentación.
-24	Presencia de salida de alimentación negativa de +/- 24 Vcd.	5	LED encendido indica presencia de alimentación.

En la siguiente figura se observa la vista frontal del módulo de alimentación FU-AVR-D donde se encuentra la barra de LED de indicación.



Bornes de medición: Cada módulo FU-AVR-D posee los siguientes bornes de medición:

Identificación del Borne de medición	Medición	Observaciones
J1	Cero volts de +24 Vcd principal.	Alimentación principal
J2	Salida de +24 Vcd principal.	
J3	Cero volts de +24 Vcd respaldo.	Alimentación de respaldo
J4	Salida de +24 Vcd respaldo.	
J5	Salida positiva de +/- 24 Vcd	Para medir estos puntos, tomar el cero volts en J1 o J3.
J6	Salida negativa de +/- 24 Vcd	

Cada módulo FU-AVR-D tienen un sistema de detección que indica cuando una o varias salidas de voltaje de la fuente falla. Por medio de un contacto de relevador envía una señal de +24 Vcd a los PLC de los canales automático y manual indicando que las salidas de voltaje están presentes. La siguiente tabla indica los puntos de conexión en los conectores de la parte posterior de la fuente para esta función.

Conector	Puntos de conexión	Descripción	Observaciones
E7	1	+24 Vcd	Extremo de contacto mojado con +24 Vcd.
E7	2	Indicación de salida de fuentes presente	Una señal de +24 Vcd en este punto indica fuentes presentes.

4.2 MODULO GENERADOR DE PULSOS

El módulo generador de pulsos origina los pulsos de disparo para un esquema de puente rectificador trifásico, totalmente controlado por SCR, a partir de una referencia de ángulo elaborada por los algoritmos de control de los PLC del canal automático, del canal manual ó del canal analógico de respaldo.

La referencia de ángulo es comparada con señales de rampa, las cuales se derivan de la alimentación de entrada de C.A. a través de un transformador de acoplamiento. La salida de esta etapa comparadora activa las unidades de disparo del oscilador para el encendido de los SCR del convertidor de potencia.

El ajuste del punto de disparo o ángulo de conducción esta referenciado a la alimentación de ca permitiendo un incremento o decremento en la conducción de los SCR y apartir de ahí, el voltaje de cd para el campo del generador.

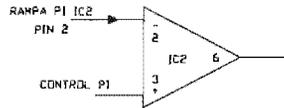
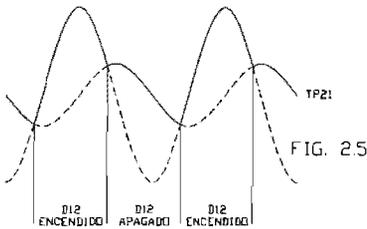
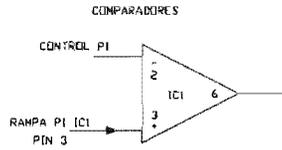
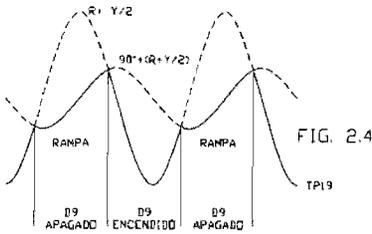
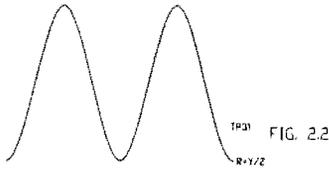
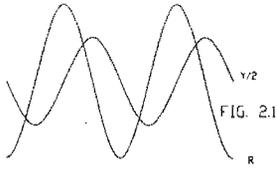
Un circuito detector de rotación de fases incorrecta bloquea la referencia de ángulo, deshabilitando los pulsos de disparo hacia los SCR.

4.2.1 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Las fuentes de alimentación usadas por el sistema electrónico del módulo generador de pulsos son +/- 10 VCD y +/- 15 VCD regulados.

4.2.2 CIRCUITOS COMPARADORES DE DISPARO

Los circuitos comparadores para formar el disparo de los SCR, trabajan básicamente tratando las señales de dos fases, fase roja con la mitad de amplitud de la fase amarilla de tal forma que se tiene una señal resultante $R + Y/2$ en donde la fase roja se desplaza 30 grados por la acción aditiva y el juego de resistencias R76, R78 y R79. En la siguiente página se muestra la figura con las formas de onda:



La señal $R+ Y/2$ en la unión de las resistencias R76, R78 y R79 se conecta a un filtro RC (R75 y C9) que la desplaza en fase 90 grados y además la limpia de interferencias. La señal resultante en la unión de R72 y R73 (TP-20) que es igual a la señal de 90 grados $+(R+ Y/2)$ se aplica a la entrada inversora de IC1 (TP-19) vía R72.

El diodo D9 que esta conectado a la entrada no inversora de IC1 (PIN-3) y la fuente de la señal $R+ Y/2$ a través de R74 conduce cuando la señal de 90 grados $+(R+ Y/2)$ es positiva con respecto a la señal $(R+ Y/2)$.

Debido a la conducción del diodo D9 la señal de entrada en el pin 3 se asemeja a la que se detalla en la figura 2.4. Similarmente el diodo D12 conectado en la entrada inversora de IC2 y la fuente de $R+ Y/2$ conduce cuando se cumplen las siguientes condiciones: $R+ Y/2$ es positiva con respecto a 90 grados $+(R+ Y/2)$. Ver figura 2.5.

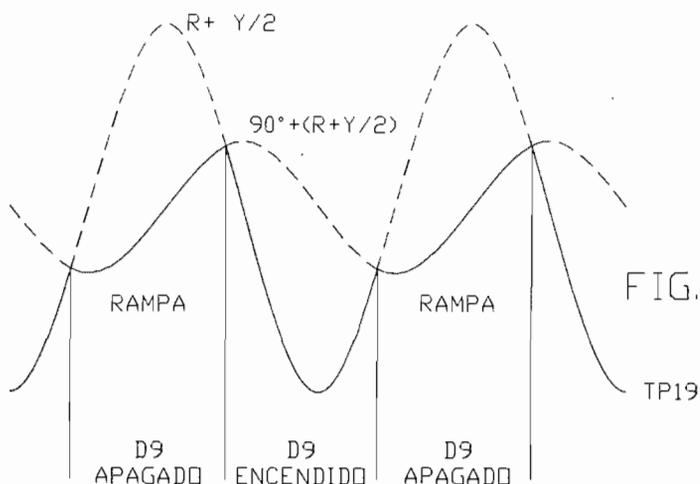
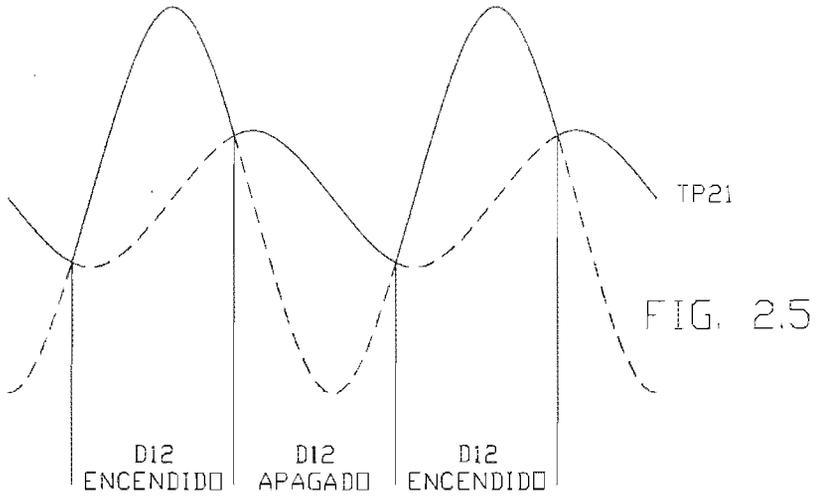
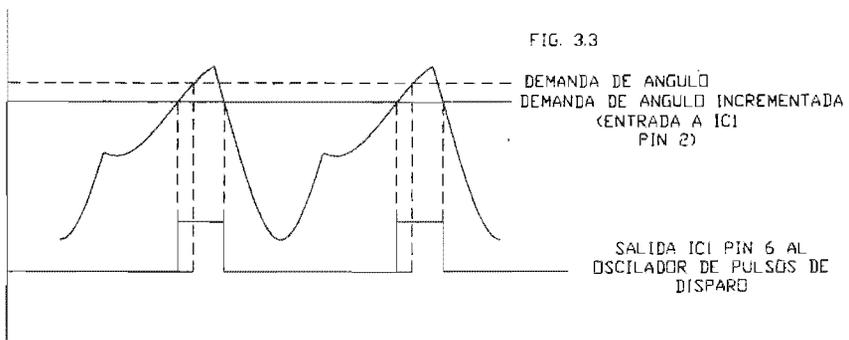


FIG. 2.4



Ya sea que la salida invertida del amplificador de demanda de ángulo o la señal de paro final de IC8 sea pasada a través de R70 a la entrada inversora de IC1, este compara la entrada del pin 2 con la señal en el pin 3. La salida resultante en el pin 6 depende de las condiciones siguientes:

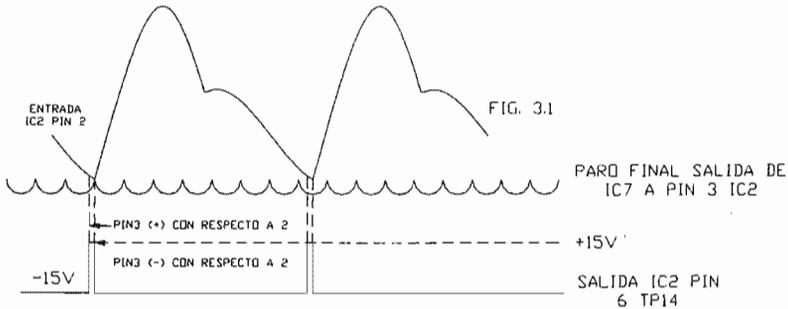
Con la terminal de entrada 2 positiva con respecto a la 3 se tiene una salida negativa en el pin 6. Con la terminal 2 negativa con respecto a 3 se tiene una salida positiva en el pin 6. Las formas de onda se pueden observar en la figura 3.3:



Similarmenete ya sea que la salida no inversora del amplificador de demanda de ángulo o la señal de paro final es alimentada a través de R71 a la entrada no inversora (PIN-3) de

IC2, este circuito compara la entrada en el pin 2 con la señal en el pin 3 y la salida resultante en el pin 6 depende de las siguientes condiciones:

- Con la terminal de entrada 2 positiva con respecto a 3 se tiene salida negativa en el pin 6.
- Con la terminal de entrada 2 negativa con respecto a 3 se tiene salida positiva en el pin 6. Ver figura 3.1.



- Los otros circuitos comparadores de fase son el comparador de fase amarilla y el comparador de la fase azul (IC3 e IC4).
- El comparador de fase amarilla (IC3 e IC4) compara esta fase con la fase azul, y el comparador de fase azul compara esta fase con la fase roja. La descripción hecha para el comparador de fase roja es idéntica y aplicable a los demás comparadores.

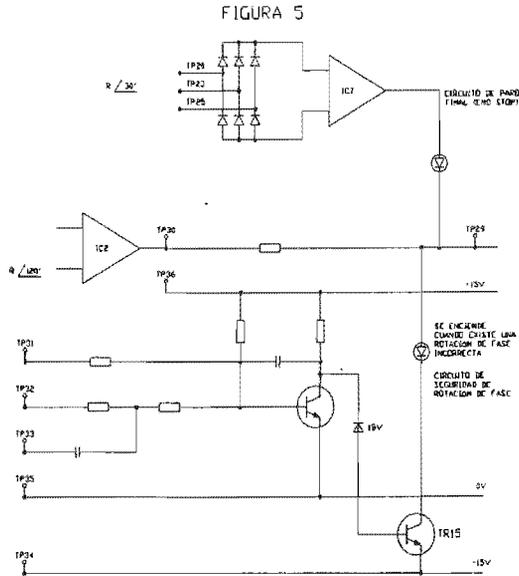
4.2.3 GENERADOR DE PARO FINAL

El circuito de paro final (END STOP) genera pulsos de disparo los cuales son utilizados cuando el convertidor funciona como inversor y asegura la conmutación de los SCR.

Los medios ciclos positivos de las señales de los comparadores de fase roja, amarilla y azul son:

90 grados $+(R+Y/2)$; 90 grados $+(Y+B/2)$; 90 grados $+(B+R/2)$ son alimentados a la entrada inversora de IC7 a través de R104, similarmente los medios ciclos negativos de 90 grados $+(R+Y/2)$, 90 grados $+(Y+B/2)$, 90 grados $+(B+R/2)$ son alimentados a la entrada no inversora de IC7 a través de R103.

La señal de salida de IC7, es la suma de las entradas al amplificador y es una señal básicamente negativa como puede verse en la figura 5.

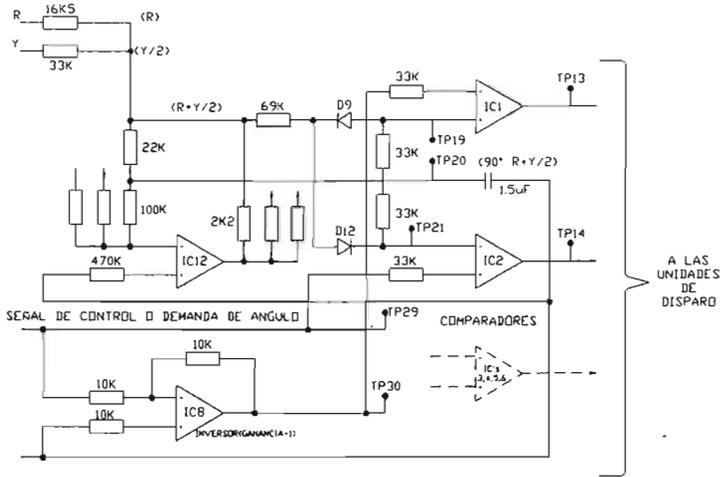


El diodo D92 conectado en el pin 2 de IC7 y la referencia de la demanda de ángulo, conduce cuando la salida END STOP de IC7 es positiva con respecto a la señal de demanda, de aquí que la salida de IC7 bajo operación normal esta bloqueada por el diodo que se encuentra polarizado inversamente.

4.2.4 INVERSOR

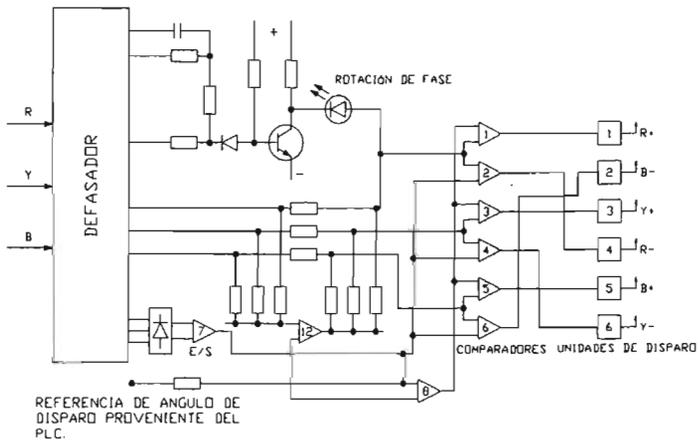
El inversor IC8 tiene como finalidad invertir las señales de demanda de ángulo o de paro final a fin de obtener las relaciones de polaridad correcta para los comparadores asociados que controlan a los SCR positivos, es decir: R+, Y+ y B+. Ver figura 4 y 1.

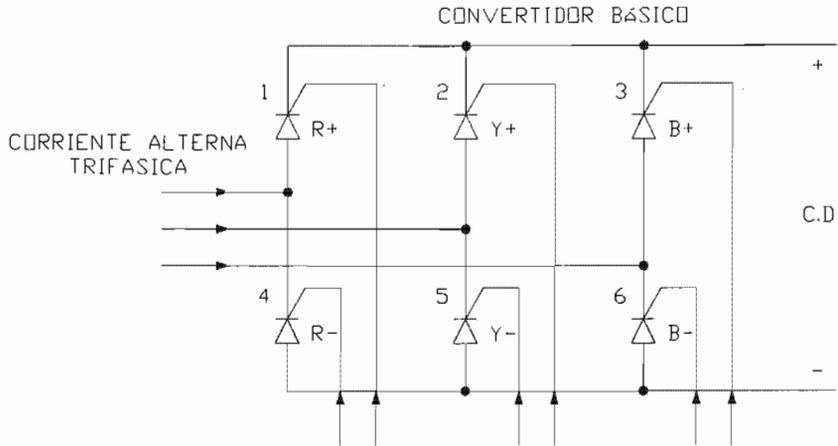
FIGURA 4



La señal no invertida en el catodo de D92 es pasada a las entradas de los comparadores, que controlan el ángulo de disparo de los SCR negativos, es decir R-, Y- y B-. Ver figuras 1 y 4.

FIGURA 1



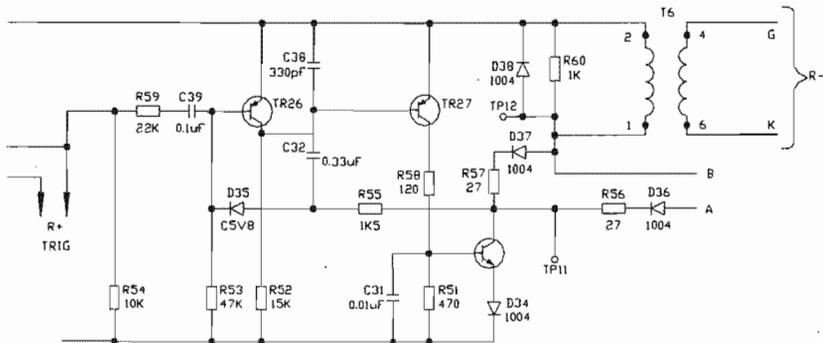


4.2.5 UNIDADES DE DISPARO

Existen 6 unidades de disparo utilizadas para encender los SCR, las cuales son idénticas en diseño y operación pero tienen señales de entrada de disparo que están en función de la alimentación de C.A.

Se describe a continuación la unidad de disparo R+. Ver figura C.

FIGURA C



El transistor TR26 es normalmente mantenido en conducción por la polarización aplicada a través de R53 y por lo tanto TR27 y TR25 se mantienen apagados. Cuando la señal de entrada desde la salida del comparador, a través de R59 y C39, se aplica a la base de TR26, este se apaga. TR27 arranca a conducir debido al incremento en su base vía R52, el voltaje del colector de TR26 enciende al TR25 cuya corriente de colector es alimentada a través de R57 y R56 a los transformadores de pulsos asociados.

La realimentación positiva transitoria, iniciada por la conducción de TR25, es aplicada por R55 hasta que el diodo zener D35 conduce.

Al conducir D35 enciende TR26 cuando la corriente zener excede a la corriente de entrada del comparador, este descarga a C32 y apaga a TR27 y TR25 renovado el pulso en la compuerta del SCR.

La duración del pulso de salida esta generalmente determinada por la constante de tiempo de C32 y R55, además del voltaje zener en D35.

El diodo a través del primario del transformador de pulsos permite al transformador reponer la sobreoscilación y R60 lo previene de cualquier oscilación.

La entrada del comparador deberá permanecer después del pulso de encendido inicial, el proceso se repetirá y un pulso de encendido posterior será producido. La constante de tiempo es diseñada para producir un mínimo de dos pulsos.

Los capacitores C38 y C31 son incluidos para la supresión de interferencias.

4.2.6 PROTECCIÓN CONTRA ROTACIÓN INCORRECTA DE FASES

El módulo generador de pulsos posee una protección contra rotación de fases incorrecta. Ver figura D en la siguiente página.

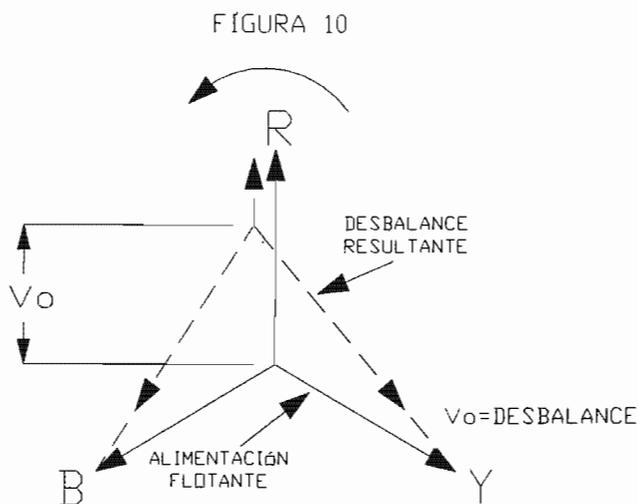
Cuando la rotación de fases es corregida, TR14 regresa al estado de conducción y TR15 es polarizado para cortarse vía R154.

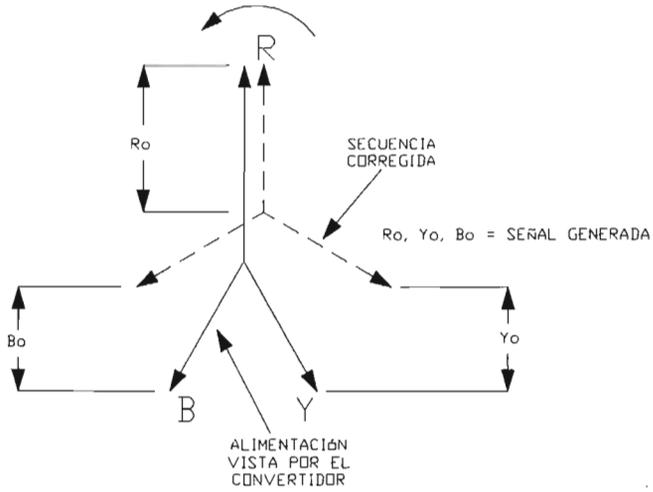
La salida del amplificador de demanda de corriente es permitida a pasar a los circuitos de unidad de disparo de los SCR, sin ser afectada por el circuito de protección.

4.2.7 CORRECCIÓN CONTRA DESBALANCE DE FASES

Con el neutro de la alimentación flotando cualquier desviación del potencial de tierra es visto por el sistema de control electrónico en las tres fases de alimentación (referido como componente de secuencia cero de desbalance). Este circuito es diseñado para detectar y generar una señal igual y opuesta al desbalance de la alimentación a fin de que los circuitos electrónicos operen directamente de la alimentación y cancelando realmente el desbalance.

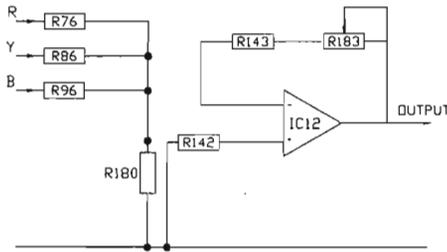
La figura 10 ilustra el efecto de la desviación del potencial neutral y el desbalance resultante visto por los circuitos de fase.





Asimismo se muestra la señal corregida con la componente generada sumada. La componente de secuencia cero es determinada desde el punto de suma de la red de resistencias divisoras de potencial conectados a las líneas de alimentación (R76, R86, R96). La señal resultante es luego invertida y escalada por un amplificador de banda ancha, (IC 12) e inyectada a todos los circuitos de control derivando sus señales de CA directamente de las líneas de alimentación. Ver Figura E.

FIGURA E



4.2.8 ESQUEMA DE MONITOREO DEL MÓDULO GENERADOR DE PULSOS

El módulo Generador de Pulsos, cuenta con un esquema de monitoreo localizado al frente del módulo, presentando el estado de operación del mismo (status), a través de un arreglo de diodos emisores de luz del tipo barra.

A continuación se indican los puntos de prueba y las indicaciones que indica la barra de leds.

DS1	RUN	PULSOS HABILITADOS
DS2	R.F.I	ROTACIÓN DE FASES INCORRECTA O FALTA DE VOLTAJE DE SINCRONISMO.
DS3	-15	INDICADOR FUENTE DE -15 VCD
DS4	+15	INDICADOR FUENTE DE +15 VCD
DS5	-24	INDICADOR FUENTE DE -24 VCD
DS6	+24	INDICADOR FUENTE DE +24 VCD
TP1	COLECTOR DE TR1. EN LA UNIDAD DE DISPARO Y-.	
TP2	PULSO DE DISPARO Y- EN EL PRIMARIO DE T1.	
TP3	COLECTOR DE TR4, EN LA UNIDAD DE DISPARO B+.	
TP4	PULSOS DE DISPARO B+ EN EL PRIMARIO DE T2.	
TP5	COLECTOR DE TR16 EN LA UNIDAD DE DISPARO R-.	
TP6	PULSOS DE DISPARO R-, EN EL PRIMARIO DE T3.	
TP7	COLECTOR DE TR19, EN LA UNIDAD DE DISPARO Y+.	
TP8	PULSOS DE DISPARO Y+, EN EL PRIMARIO DE T4.	
TP9	COLECTOR DE TR22, EN LA UNIDAD DE DISPARO B-.	
TP10	PULSOS DE DISPARO B-, EN EL PRIMARIO DE T5.	

TP11	COLECTOR DE TR25, EN LA UNIDAD DE DISPARO R+.
TP12	PULSOS DE DISPARO R+, EN EL PRIMARIO DE T6.
TP13	SALIDA DE IC1 PIN-6.
TP14	SALIDA DE IC2 PIN-6.
TP15	SALIDA DE IC3 PIN-6.
TP16	SALIDA DE IC4 PIN-6.
TP17	SALIDA DE IC5 PIN-6.
TP18	SALIDA DE IC6 PIN-6.
TP19	ENTRADA NO INVERSORA IC1 PIN-3.
TP20	UNIÓN DE R72 Y R73 ($90^\circ+(R+Y/2)$).
TP21	ENTRADA INVERSORA DE IC2.
TP22	ENTRADA NO INVERSORA DE IC3 PIN-3.
TP23	UNIÓN DE R82 Y R83 ($90^\circ+(Y+B/2)$).
TP24	ENTRADA INVERSORA DE IC4 PIN-2.
TP25	ENTRADA NO INVERSORA DE IC5 PIN-3.
TP26	UNIÓN DE R92 Y R93 ($90^\circ+(B+R/2)$).
TP27	ENTRADA INVERSORA DE IC6 PIN-2.
TP28	SALIDA DE IC7 PIN-6 SEÑAL END STOP.
TP29	ENTRADA INVERSORA DE IC8 PIN-2, VIA R108, DEMANDA DE ANGULO.
TP30	SALIDA DE IC EN PIN-6 VIA L18, DEMANDA DE ANGULO INVERTIDA.
TP31	SEÑAL R+Y/2 (ENTRADA FASE ROJA AL SWITCH DE ROTACIÓN DE FASE TR14).
TP32	SEÑAL Y+B/2 (ENTRADA FASE AMARILLA AL SWITCH DE

ROTACIÓN DE FASE TR14).

TP33	SEÑAL B+R/2 (ENTRADA FASE AZUL AL SWITCH DE ROTACIÓN DE FASE TR14).
TP34	-15 VCD.
TP35	COMUN DE 15 VCD.
TP36	+ 15 VCD.

4.3 ESQUEMA DE AMPLIFICACIÓN DE PULSOS (BOOSTERS)

El sistema de amplificación de pulsos tiene como finalidad recibir los pulsos generados por los módulos Generadores de Pulsos de cualquiera de los canales de operación y amplificarlos de forma tal que por si solos puedan disparar los esquemas de los puentes rectificadores (dos o mas puentes en paralelo), proporcionando aislamiento galvánico entre los esquemas de potencia y la electrónica de regulación.

Además de la función principal citada, este sistema permite supervisar la presencia de los pulsos de disparo enviando una alarma vía contacto seco e indicación local para este evento.

La electrónica utilizada se alimenta por medio de los transformadores de aislamiento por lo que la operación depende del potencial de estos.

El sistema posee redundancia completa, lo que permite mantener en operación el regulador de voltaje sin que se afecte ninguna de las funciones principales o de supervisión, en caso de que fallara un esquema, además de permitir ejecución de mantenimiento preventivo o correctivo, manteniendo el regulador en servicio.

El sistema de amplificación de pulsos consiste de dos unidades contenidas en un módulo independiente denominado amplificador de pulsos totalmente independiente e intercambiable. El módulo amplificador de pulsos se conecta al regulador automático de voltaje por medio de conectores desenchufables.

Asumiendo que ambos módulos, son iguales, se detalla la operación de una sola unidad.

4.3.1 ESQUEMA DE FUENTES BOO-02

La alimentación de +60 volts a +/- 15 volts utilizada para la supervisión y amplificación de pulsos es suministrada por los transformadores TRB1 unidad número 1 y TRB2 unidad número 2, desde los transformadores asociados a través de los fusibles

FTB1R,Y,B y FTB2R,Y,B respectivamente. La alimentación de 120 V, tres fases es llevada al módulo de fuentes para alimentarlas.

La alimentación de 120 VCA, pasa a través de fusibles, protegiendo el lado primario de los transformadores T1 a T5. Los transformadores de T1 a T3, DE 120/22 VAC en delta-estrella, son conectados a la tablilla X3, X4 Y X5, y en su lado secundario a los rectificadores D1 a D6 contenidos en la tarjeta C1-FB01, y filtrados a través de L1 y C1 para obtener +60 V no regulados para generar los pulsos en la tarjeta B00-01.

El fusible FS1 protege a los rectificadores contra cualquier sobrecorriente producida externamente o sobre el circuito de filtrado.

La supervisión local y remota se realiza por la luz indicadora L1, (D15) de color rojo localizada en el frente del módulo amplificador de pulsos y por el relevador K1 por medio de su contacto NC, conectado en paralelo con la supervisión de las fuentes de +/- 15 VCD.

El lado común de la alimentación es rematado con los comunes de las fuentes de +/- 15 VCD y TP0 para monitorear los 60 VCD es utilizado TP1.

El punto TP0 que representa todos los comunes del sistema son aislados de cualquier otro común de la electrónica.

El lado secundario del transformador T4 120/18 VAC es conectado a través del fusible FS2 a los puntos X8 y X9 de la tarjeta C1-FB01 hacia los rectificadores D11 a D14 y el filtro C2. El circuito formado por Q1, 2, 5, R1, 3 y C4, 5, proveen una regulación de +15 VCD protegida contra corto circuito.

La supervisión de la fuente de +15 VCD, es realizada por la luz indicadora L2 color verde localizada al frente del módulo, además es proporcionado un contacto seco a través del relevador K2 conectado en paralelo con la supervisión de las otras fuentes.

El diodo D15 permite la conexión en paralelo de la fuente de +15 VCD de la unidad número 2 a fin de hacer redundante el sistema.

La operación de la fuente puede ser verificada por medio de un volmetro de DC. Esto es posible realizarlo en los puntos de prueba TP2(+15 VCD) y TP3 (-15 VCD) con respecto a TP0 (común).

La operación de la fuente de -15 VCD es similar a la descrita en los párrafos anteriores con sus respectivos circuitos.

4.3.2 ESQUEMA DE AMPLIFICACIÓN DE PULSOS BOO-01

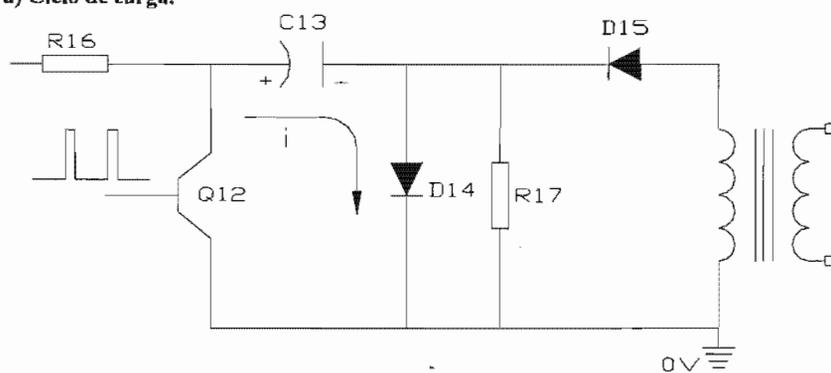
Los pulsos de disparo provenientes de los generadores de pulsos de cada canal de operación son llevados a la configuración OR formada por los diodos DA1 a DA6 lo que

permite la activación de la tarjeta por ambos canales, los pulsos son llevados con cable trenzado y con comunes separados a los módulos amplificadores de pulsos para evitar ruidos o falsos disparos.

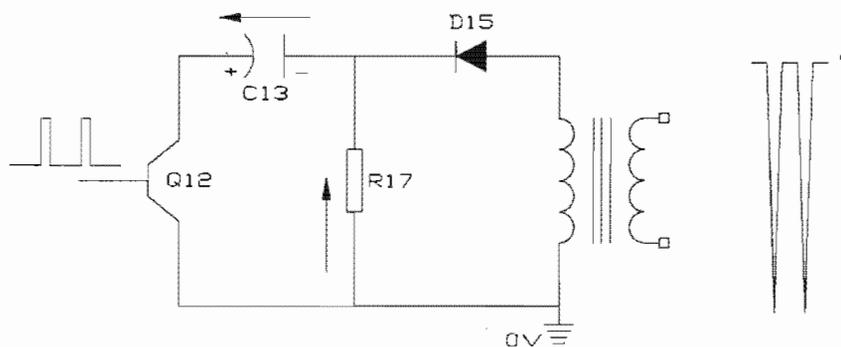
Asumiendo que todas las salidas de pulsos de los generadores de pulsos son idénticas, se describirá la operación de una.

Los pulsos provenientes de los diodos DA1 o DM1 correspondientes al disparo Y(-) son aplicados a los transistores Q10, 11, 12 y resistencia de polarización, mismos que descargan la energía acumulada en el circuito RC formado R16 y C13 localizados en la tarjeta BOO-02 a través de los transformadores de pulsos contenidos en los rack de los puentes rectificadores siguiendo la secuencia indicada en las siguientes figuras:

a) Ciclo de carga.



b) Ciclo de descarga.



El diodo D15 se utiliza para asegurar el bloqueo en el ciclo de carga y para poder conectar las unidades en paralelo junto con el módulo ráfaga de pulsos.

El circuito formado por D12, C11, y R13 provee una realimentación que bloquea al transistor Q10 una vez disparado el canal para evitar calentamiento innecesario de los transistores y resistencias asociadas.

El circuito de detección de pérdida de pulsos se alimenta de la fuente de +/- 15 VCD de la tarjeta de fuentes BOO-02, siendo su común el mismo que el de la fuente de 60 VCD. Este circuito monitorea los pulsos generados por la tarjeta BOO-01 en sus seis canales. Cualquier falla ocurrida en uno o más canales es detectada y anunciada por una lámpara y se proporciona un contacto seco para su utilización externa.

Los seis circuitos de detección son idénticos y son acoplados al circuito de salida por medio de una configuración OR.

La detección se realiza por medio del circuito del transistor Q110 y se acopla a la configuración OR por medio del diodo D113, mismo que enruta la señal de detección a través de los transistores Q170, 180 y 190 al circuito de salida de Q200 que controla la operación del rele y la lámpara D203 de indicación de pérdida de pulsos.

Los contactos secos del circuito de pérdida de pulsos se encuentran rematados a tablilla para su uso en forma independiente.

4.4 MODULO RÁFAGA DE PULSOS

La ráfaga de pulsos tiene como objetivo disparar los SCR con pulsos de alta frecuencia capaces de llevar y mantener los puentes de rectificación a plena conducción mientras dure la aplicación de los mismos.

Con la excitación inicial mediante baterías, la unidad se excita con un voltaje aproximado al 30% del voltaje nominal. Con la alimentación correspondiente del transformador de excitación del sistema de excitación y la plena conducción de los puentes de rectificación se logra que la unidad llegue a su voltaje nominal más rápido.

Un circuito de realimentación de corriente mediante un transductor, permiten regular la corriente de campo y limitarla a un cierto valor permisible para la unidad, para que de esta manera la ráfaga de pulsos funcione como regulador todo o nada mandando los SCR a plena conducción o mínima conducción dependiendo de la polaridad del amplificador de corriente.

La señal de control se elabora en un circuito de regulación que recibe un valor de referencia interna fijada por el primer amplificador IC9.

Este valor de referencia es ajustable mediante el potenciómetro de referencia de corriente situado en la parte frontal del módulo una vez polarizado dicho operacional mediante la resistencia interna RR.

El error entre referencia y realimentación se elabora con el amplificador de control de corriente IC11 cuya salida posee dos entradas correspondientes a saturación positiva o negativa.

Dicha señal actúa sobre un aislador de señal montado en la misma tarjeta, cuya función única es la de proporcionar una salida pulsante de alta frecuencia cuando el amplificador IC11 se encuentre en saturación positiva.

En esta forma el regulador de excitación forzada manda un tren de pulsos de alta frecuencia para disparar el puente de seis SCR y convertirlo en un simple puente de diodos rectificadores.

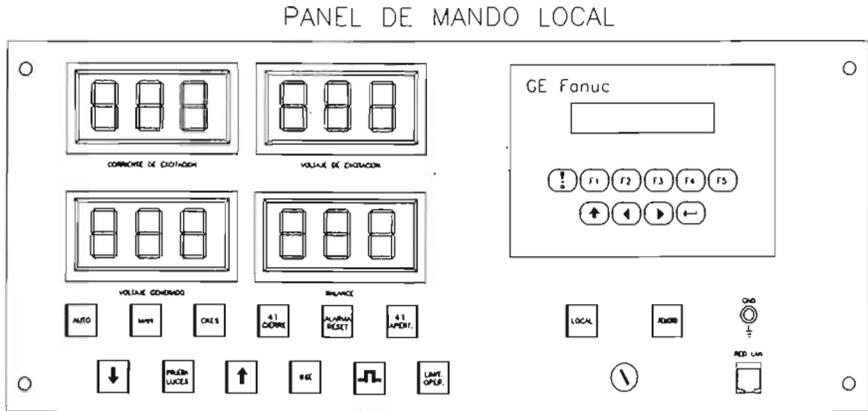
En caso de una desexcitación repentina de la unidad la secuencia de operación del RAV vuelve a conectar automáticamente la ráfaga de pulsos para que la unidad recupere su voltaje nominal de nueva cuenta.

El funcionamiento de la ráfaga de pulsos depende del cierre del relevador RL35 cuyo contacto le proporciona un nivel de +24 VCD para habilitar su esquema de regulación. Este relevador se activa desde el momento que se inicialice la excitación de la unidad y es desactivada cuando el voltaje es mayor o igual al 90% de voltaje nominal de la máquina.

El control del relevador lo ejecuta la lógica de secuencia programada en el PLC del canal de operación que se seleccione.

4.5 PANEL DE MANDO LOCAL.

El panel de mando local es una interfaz hombre máquina, con la que se realizan mandos, se visualizan alarmas y se verifican las mediciones más importantes del regulador automático de voltaje. El panel de mando local representa un respaldo para la interfaz al operador del punto 4.8 de este capítulo, aunque no es tan sofisticado como la PMU, tiene como características sobresalientes que todos los mandos, alarmas y mediciones son cableados, ninguno por comunicación, las mediciones importantes se toman directamente de los transductores, permitiendo así la máxima confiabilidad en el control y monitoreo del regulador automático de voltaje. En la siguiente figura se muestra la vista frontal del panel de mando local.

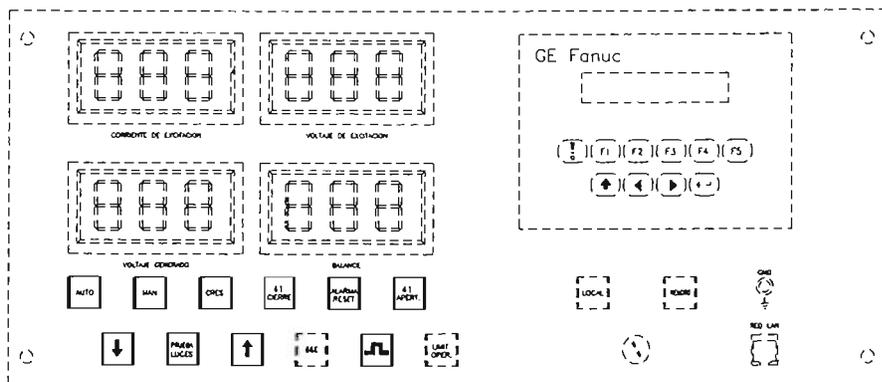


El panel de mando local esta dividido en 4 secciones :

Botones de control e indicación:

- AUTO: Selección canal automático e indicación canal automático seleccionado.
- MAN: Selección canal manual e indicación canal manual seleccionado.
- CRES: Selección canal de respaldo e indicación canal de respaldo seleccionado.
- 41/CIERRE: Mando de cierre interruptor de campo 41 e indicación interruptor de campo cerrado.
- 41/APERTURA: Mando de apertura del interruptor de campo 41 e indicación de interruptor de campo abierto.
- ALARMA/RESET: Mando de reset alarmas e indicación de alarma general del sistema de excitación detectado por el regulador automático de voltaje.
- ↑: Subir consigna del potenciómetro estático del canal de operación seleccionado e indicación subiendo consigna.
- ↓: Bajar consigna del potenciómetro estático del canal de operación seleccionado e indicación bajando consigna.
- PRUEBA LUCES: Mando de prueba de luces del panel de mando local e indicación de luces encendidas.
- : Mando para ejecución de escalón de voltaje o de potencia reactiva, e indicación de escalón operando.

En la siguiente figura se resaltan en la vista frontal del Panel de Mando Local los botones de control e indicación:

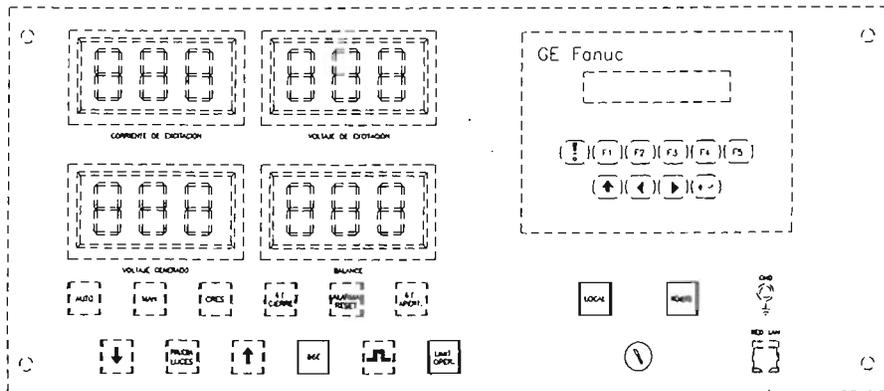


Lámparas de indicación:

- 86E: Indicación alarma disparo 86E por falla en regulador automático de voltaje.
- LIMIT.OPER.: Indicación alarma algún limitador operando.
- LOCAL: Indicación de control del regulador automático de voltaje por medio del panel de mando local.
- REMOTO: Indicación del control del regulador automático de voltaje por medio de la PMU (interfaz al operador) y algún panel de mando remoto conectado por el usuario en la tablilla de interconexión TBI.

La selección LOCAL/REMOTO se realiza por medio del selector con llave ubicado justamente debajo de las indicaciones LOCAL y REMOTO.

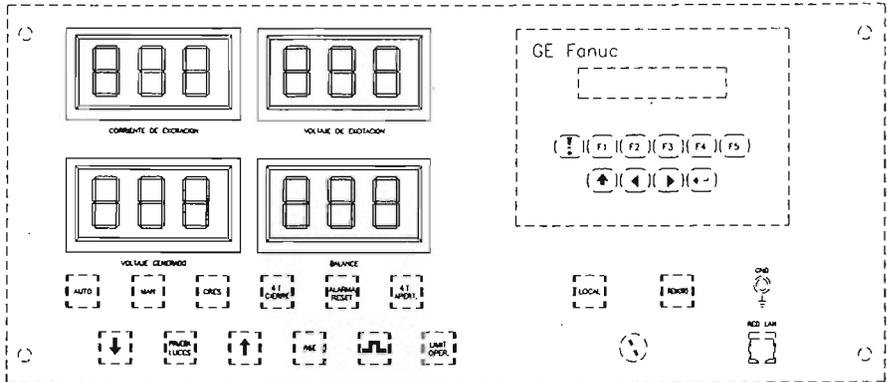
En la siguiente figura se resaltan en la vista frontal del Panel de Mando Local las lámparas de indicación:



Mediciones:

- CORRIENTE DE EXCITACIÓN
- VOLTAJE DE EXCITACIÓN
- VOLTAJE GENERADO
- BALANCE: Medición de balance entre el canal que esta en operación y el inmediatamente superior o inferior de acuerdo a la siguiente secuencia de transferencia:
 MANUAL → AUTOMATICO
 AUTOMATICO → MANUAL → CRES
 CRES → MANUAL → AUTOMATICO
 Nota1: El símbolo (→) implica transferencia de un canal a otro.
 Nota2: No es posible la transferencia CRES → AUTOMATICO y AUTOMATICO → CRES por petición del usuario, esta transferencia se realizará únicamente por falla de acuerdo a la secuencia de operación programada en los PLC del regulador automático de voltaje.

En la siguiente figura se resaltan en la vista frontal del Panel de Mando Local los indicadores digitales para medición:



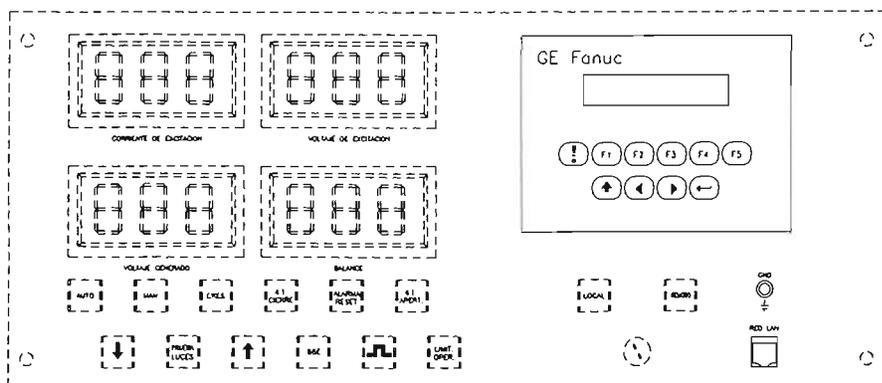
Panel de control local digital denominado Data Panel.

El módulo Data Panel es una interfaz hombre-máquina que incluye un display luminoso de 2 líneas por 20 caracteres y un puerto de comunicación RS-232 configurable a RS-422. EL módulo Data Panel habilita la transferencia de datos de un PLC y otros dispositivos de control inteligentes a una interfaz al operador amigable, su utilidad no esta restringida a la sola emulación de botones, el software de aplicación del Data Panel soporta configuraciones de simples o complejas interfaces al operador. Posee un controlador de comunicaciones para leer y escribir datos en el equipo de control vía puerto serial, tiene un teclado integrado que incluye teclas de función programables, soporta un amplio rango de protocolos, tiene la capacidad de convertir todos los datos tanto analógicos como digitales que recibe a un formato con unidades de ingeniería y adicionarles una etiqueta de identificación, despliega datos en tiempo real, posee modos de despliegado de información opcional (actualizaciones de datos continuas, actualización continua únicamente cuando la página esta desplegada, actualización únicamente cuando la página es desplegada por primera vez), puede desplegar texto estático y dinámico en más de 200 páginas configuradas por el usuario, mas de 200 elementos dinámicos pueden ser actualizados por el controlador por página, posee cinco teclas por página y 200 páginas para más de 1000 botones que puede definir el usuario, las funciones de los botones pueden ser para cambiar páginas, escribir datos o ejecutar otras funciones de la interfaz al operador.

El panel de mando local también posee un puerto Ethernet para red LAN con entrada para conector RJ-45, útil al usuario para conectar un equipo externo de monitoreo.

Pensando en la manipulación de componentes sensibles a la electrostática el panel de mando local posee un jack conectado a tierra física para conexión de pulseras antiestáticas.

En la siguiente figura se resaltan en la vista frontal del Panel de Mando Local el módulo Data Panel, el jack conectado a tierra física y la conexión RJ-45:



4.6 TRANSDUCTORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL

El propósito de estos módulos es acoplar la etapa de potencia de la electrónica de regulación y protección dentro del sistema de excitación a los módulos de interfaz de los PLC del regulador automático de voltaje.

4.6.1 TRANSDUCTORES PARA CORRIENTE Y VOLTAJE DE EXCITACIÓN.

Descripción

ACTION I/Q Modelo Q408

Este modelo cuenta con un montaje para riel DIN, un aislamiento entre entrada, salida y alimentación de 1800Vdc. El campo de configuración de la entrada y la salida ofrece flexibilidad y un rango amplio para señales de voltaje y corriente de DC.

El campo de entrada de este dispositivo puede ser configurado por medio de DIP switches para cualquiera de los 12 rangos, desde 100mV hasta 100V o seis corrientes de 1mA hasta 100mA (ver tabla 1). El campo de configuración de la salida es lineal y está dado entre 0-5V, 0-10V, 0-1mA ó 4-20mA.

La tecnología TouchCAL permite una calibración precisa y provee más del 90% de offset del valor cero y un ajuste por debajo del 10% del valor máximo de entrada para los 18 rangos de entrada seleccionables.

Por ejemplo, la configuración vía "dipswitch" de 0-20mA de entrada puede ser calibrada vía "push button" para un rango de 0-8mA, o darle un offset de 12-20mA. Si la salida fue configurada para un rango de 0-10V, entonces la entrada de 12-20mA corresponde a esta escala.

Este modelo acepta alimentación entre 9-30V, típicamente se utiliza una fuente de alimentación de 12 ó 24VCD.

Aplicación

El ActionIQ Q408 es capaz de eliminar lazos de tierra con un aislamiento entre entradas y salidas de 1800 Vcd, permite la fácil conversión de niveles de señales, y provee en general manejo de señales. El amplio rango de configuración asegura máxima flexibilidad para la mayoría de las aplicaciones de DC a DC.

Configuración

Para la configuración de rangos de entrada y salida ver la tabla de selección de rangos de entrada (SW1), la tabla de tipo de entrada y ver tabla de ajuste para rangos de salida (SW2).

Procedimiento para cambiar la configuración:

1.- Sin encenderlo, remueva la tapa levantando la orilla de la derecha, después deslice el disipador de calor hasta removerlo.

2.- Este dispositivo cuenta con dos bloques de ocho switches, uno para la entrada y otro para la salida.

Advertencia: No debe cambiarse la configuración del dispositivo mientras esté encendido, pues el transductor puede sufrir daños severos.

3.- Sin encender el transductor, conecte en su entrada una fuente de DC calibrada y la salida del transductor conéctela a un medidor de voltaje o corriente. Encienda el dispositivo.

4.- Ajuste la señal de entrada al nivel deseado y observe si el LED verde se prende o parpadea. Presione el botón CAL y sujételo por más de 5 segundos, hasta que los LED verde y amarillo parpadecen.

Nota: Para salirse del modo de calibración y reiniciar la unidad, presione el botón CAL y sujételo por más de 5 segundos, otra vez, o espere por más de 2 minutos y el sistema se reiniciará automáticamente.

5.- Cuando los LED amarillo y verde paren de parpadear, se encenderán los LED amarillo y rojo. Presione el botón CAL, los LED amarillo y verde se prenderán.

6.- Aplique el nivel máximo de entrada de la señal, presione el botón CAL, el LED amarillo se prenderá.

7.- Aplique el nivel mínimo de entrada, presione el botón CAL. Los LED verde y rojo se prenderán.

8.- Ajuste el voltaje máximo de salida, después presione el botón CAL, el LED rojo se prenderá

9.- Ajuste el nivel mínimo de salida, presione el botón CAL, los LED rojo, amarillo y verde se encenderán.

10.- Para finalizar la calibración presione por última vez el botón CAL, el LED verde se encenderá.

Tabla para Selección de rangos de entrada.

Rangos de entrada		SWI			
Voltaje	Corriente	1	2	3	4
20mV	20mA			■	■
50mV	5mA		■		
100mV	10mA		■		■
200mV	20mA		■	■	
500mV	50mA		■	■	■
1V	100mA	■			
2V		■			■
5V		■		■	■
10V		■	■		
25V		■	■		■
50V		■	■	■	
100V		■	■	■	■

Tabla 2

Tipo	SW1			
	5	6	7	8
UNIPOLAR	■			
BIPOLAR				
INVERSO		■		
DIRECTO				
CORRIENTE				■
VOLTAJE			■	

■ = CERRADO

Tabla 3 Configuración para rangos de salida

Rangos de salida	SW2							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0 a 5V	■	■	■	■				
0 a 10V	■		■	■				
0 a 1mA		■	■	■				
4 a 20mA						■	■	■
0 a 20 mA	■	■				■	■	■

Conexiones

A1: Salida (+) Canal 1
 A2: Salida (-) Canal 1
 A3: Salida (+) Canal 2
 A4: Salida (-) Canal 2
 A5: Alimentación (+)
 A6: Alimentación (-)
 C1: Entrada (-) Canal 2
 C2: Entrada (+) Canal 2

C3: No conectado internamente
 C4: No conectado internamente
 C5: Entrada (-) Canal 1
 C6: Entrada (+) Canal 1
 P1: No usada
 P2: No usada
 P3: Alimentación (+)
 P4: Alimentación (-)

4.6.2 SENSITIVO DE VOLTAJE DE LOS BUSES DE A.C. (SVTE).

El sensitivo de voltaje modelo SVT-120 es un módulo electrónico que se alimenta con un voltaje de +24 VCD.

Tres parámetros de calibración controlan el funcionamiento de este módulo para sensar un umbral de voltaje, pérdida de una fase o pérdida total de fases en un sistema trifásico de ac.

La salida que proporciona este módulo es un contacto seco (un polo dos tiros) proporcionando por un relevador interno que se activa cuando el umbral de voltaje fijado por el ajuste normal es alcanzado.

La función que realiza este módulo dentro del regulador es detectar cuando el voltaje del generador es mayor o igual al 90%.

Su electrónica de detección trae integrado un retardador para evadir cualquier tipo de perturbación en la red trifásica que supervisa; el cual es ajustable de 0 a 10 segundos aproximadamente.

4.6.3 DETECTOR DE ASIMETRÍA DE CORRIENTE EN LOS PUENTES RECTIFICADORES

La función principal de este módulo es detectar cuando se presenta un desbalance de corriente en cualquiera de los puentes ya sea por la pérdida de un pulso en algún SCR o por pérdida de un fusible. El detector de asimetría opera cuando se presenta dicho desbalance a la salida de los detectores de corriente de cada puente.

La aplicación de este módulo dentro de los sistemas de excitación es válida, cuando tenemos mas de dos puentes rectificadores, de tal modo que un módulo detector de asimetría, sensa que la corriente entre dos o más puentes rectificadores sea menor a un 16% de la suma total de la corriente originada por dichos puentes, en caso de que la diferencial sea mayor a un 16%, el módulo activa un relevador mandando una señal al esquema de alarmas.

Cabe recalcar, que si por algún motivo, una rama deja de conducir en uno de los puentes, se generará un desbalance y este valor es ligeramente mayor a un 16% de desbalance, por lo que este valor esta dentro del rango de operación del detector de asimetría.

Cuando un sistema de excitación se compone de dos puentes rectificadores es suficiente el empleo de un solo módulo y su contacto va rematado directo al esquema de alarmas, mientras que si tenemos el caso de tres rectificadores por sistema, es necesario el uso de tres módulos detectores de asimetría, para que cubra los pares de puentes (1-2, 1-3, 2-3) y los contactos de cada uno se conectan al esquema de alarma convenientemente.

4.6.4 TRANSDUCTOR PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE EN LOS PUENTES.

El propósito de este módulo, es tratar la señal proveniente de un juego de TC y convertirla en una señal analógica de 0 a 10 VCD, para la indicación de corriente propia del puente referido, esta misma señal alimenta la entrada de un detector de asimetría para ser comparada con la señal proveniente de otro transductor conectado de otro puente rectificador distinto para detectar el desbalance en corriente que pueda existir.

4.6.5 SENSITIVO DE VOLTAJE PARA LA REALIMENTACIÓN POR TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (SVRA)

El sensitivo de voltaje modelo SVT-120 es un módulo electrónico que se alimenta con un voltaje de +24 VCD.

Tres parámetros de calibración controlan el funcionamiento de este módulo para sensar un umbral de voltaje, pérdida de una fase o pérdida total de fases en un sistema trifásico de ac.

La salida que proporciona este módulo es un contacto seco (un polo dos tiros) proporcionado por un relevador interno que se activa cuando el umbral de voltaje fijado por el ajuste normal es alcanzado.

La función que realiza este módulo dentro del regulador es detectar cuando hay una baja de voltaje o pérdida parcial o total de fases en los transformadores de potencial del generador.

Su electrónica de detección trae integrado un retardador para evadir cualquier tipo de perturbación en la red trifásica de realimentación que supervisa, el cual es ajustable de 0 a 10 segundos aproximadamente.

4.6.6 MEDICIÓN DE VOLTAJE GENERADO, WATTS/VARS, Y VOLTS/HERTZ.

4.6.6.1 TRANSDUCTOR DE VOLTS/HERTZ.

La medición de la relación Volts/hertz de la máquina se realiza a través de un transductor.

El transductor de Volts/hertz se alimenta del voltaje del secundario de los TP's del generador en las terminales 3,4 y 5, alimenta un juego de tres transformadores monofásicos conectados en delta/estrella con relación de transformación 120/120 VCA, el voltaje de salida de estos transformadores alimenta a un puente de capacitores C1, C2,

y C3, el voltaje en este puente de capacitores a la entrada del puente de diodos es directamente proporcional a la relación de voltaje y frecuencia.

Un cambio en la relación de Volts/hertz provee un cambio de voltaje a través del puente rectificador, el cual proporciona un voltaje de salida de 0 a 10 VCD en las terminales 1 y 2. Esta salida se envía al PLC automático para realizar las funciones de limitación, para de esta forma, prevenir una saturación en el núcleo del generador y de los transformadores que se encuentren conectados en el bus de fase aislada.

4.6.6.2 TRANSDUCTOR DE WATTS/VARS

La medición de watts y de vars de la máquina se hace a través de un transductor que por medio de un TP y un TC de máquina de entrada nos da una salida proporcional a los watts y a los vars de la máquina como una salida en VCD en sus terminales 2-1 y 12-9 respectivamente. El TP de máquina se conecta en los bornes 4-3 del transductor y la señal de corriente del TC de máquina se conecta en las terminales 6-5. Se tiene especial cuidado en las marcas de polaridad al conectar este transductor.

Características del transductor:

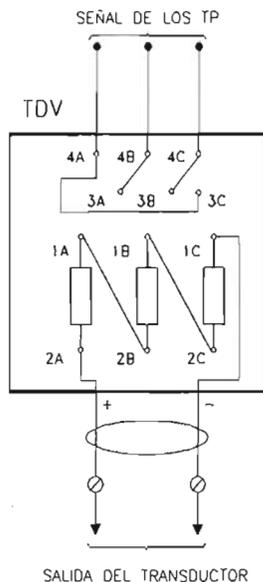
Monofásico.

Calibración a plena escala	500 watts secundarios.
Rango de voltaje nominal	85 a 150 VCA.
Sobrevoltaje continuo	175 VCA.
Corriente nominal	0-5 amperes.
Corriente de sobrecarga	De 15 a 50 amperes en 10 segundos. 400 amperes en 0.5 segundos.
Frecuencia	60 Hertz.

4.6.6.3 TRANSDUCTOR DE VOLTAJE GENERADO (TDV).

Este transductor se utiliza para acondicionar la señal de los TP's del generador a un voltaje de cd.

Este transductor consta de tres elementos independientes, los cuales se conectan en forma externa de acuerdo al siguiente diagrama:



Se observa que las salidas son seriadas para crear una sola salida, la cual es enviada a una entrada analógica del PLC automático y ser utilizada dentro de sus algoritmos para realizar las funciones de limitación correspondientes.

Características del transductor:

Rango de voltaje	0-150 VCA.
Sobrecarga de voltaje	180 VCA.
Frecuencia de operación	55-65 Hertz.
Tiempo de respuesta	Menor a 400 mseg.

4.7 FACILIDADES DE COMUNICACIÓN.

Dentro de la plataforma con PLC de los canales de operación automático y manual del regulador automático de voltaje, se contempla una parte muy importante que le da una gran flexibilidad al sistema de excitación en lo referente a la posibilidad de poder explotar toda la información vía puerto de comunicación, generada durante su operación con terminales locales y remotas externas, como son graficadores, medidores, interfases, etc, que tienen la capacidad de adquirir y en algunos casos de almacenar la información generada en la CPU del PLC. Para este tipo de opciones, la CPU del PLC tiene dos

puertos de comunicación serie que son configurables por software para que funcionen como SNP esclavo o RTU esclavo. Si un puerto esta siendo utilizado para RTU, este conmuta automáticamente al modo SNP esclavo si es necesario. Ambos puertos están por defecto en el modo SNP esclavo. Si la CPU esta en modo STOP, los puertos automáticamente se transfieren al modo SNP esclavo.

Cada puerto puede configurarse por software para establecer comunicación entre la CPU y varios dispositivos serie. Un dispositivo externo puede obtener la alimentación del puerto 2 si requiere 100 mA o menos a +5 Vdc.

Las longitudes máximas de los cables y el número total de metros(pies), desde la CPU al último dispositivo conectado al cable son:

Puerto 1 (RS-232) = 15 metros(50 pies).

Puerto 2 (RS-485) = 1200 metros(4000 pies).

Las velocidades de transferencia en baudios configurables que soportan los puertos serie se indican en la siguiente tabla:

Protocolo	Puerto 1	Puerto 2
Protocolo RTU	1200, 2400, 4800, 9600, 19.2K, 38.4*K, 57.6*K	1200, 2400, 4800, 9600, 19.2K, 38.4*K, 57.6*K
Protocolo SNP	4800, 9600, 19.2K, 38.4K*	4800, 9600, 19.2K, 38.4K*

Nota: Las velocidades de transferencia marcadas con * solo se pueden habilitar en un puerto a la vez.

Asignación de pines al puerto 1:

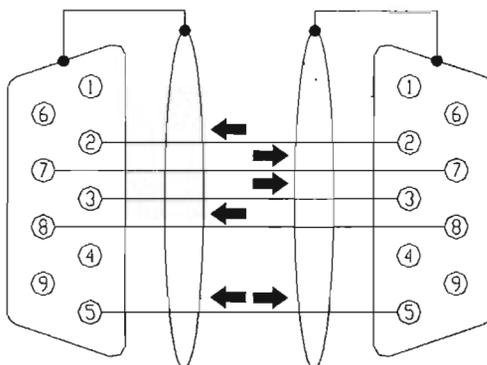
El puerto 1 es un puerto RS-232 con un conector D-sub hembra de 9 terminales. Se utiliza como puerto de cargador de arranque para actualización de firmware de la CPU. Los pines del puerto 1 permiten conectar un simple cable directo a un puerto estándar RS-232 tipo AT. La pantalla de cable va unida a la carcasa.

Pin del conector	Señal	Dirección	Función
1	n/c		
2	TXD	Salida	Salida transmisión de datos.
3	RXD	Entrada	Entrada recepción de datos.
4	n/c		
5	GND	----	Referencia de señal 0V/GND.
6	n/c		
7	CTS	Entrada	Entrada permiso para transmitir.
8	RTS	Salida	Salida petición para

9	n/c		transmitir.
Carcasa	SHLD	----	Conexión de conductor de pantalla de cable/ Conexión de pantalla de cable blindada continua 100%.

Conexión punto a punto para RS-232.

En la conexión punto a punto, los dispositivos van conectados a idéntica línea de comunicaciones. Para RS-232, la longitud máxima es de 15 metros (50 pies). En la siguiente figura se muestra la conexión del cable a los conectores D-sub de 9 terminales.



La pantalla debe conectarse a la carcasa de los conectores en ambos extremos del cable.

La siguiente tabla indica la conexión entre una PC y la CPU.

Puerto serie 9 pines PC	Puerto 1 CPU
Conector D-sub de 9 pines hembra	Conector D-sub de 9 pines macho
(2) RXD	(2) TXD
(3) TXD	(3) RXD
(5) GND	(5) GND
(7) RTS	(7) CTS
(8) CTS	(8) RTS

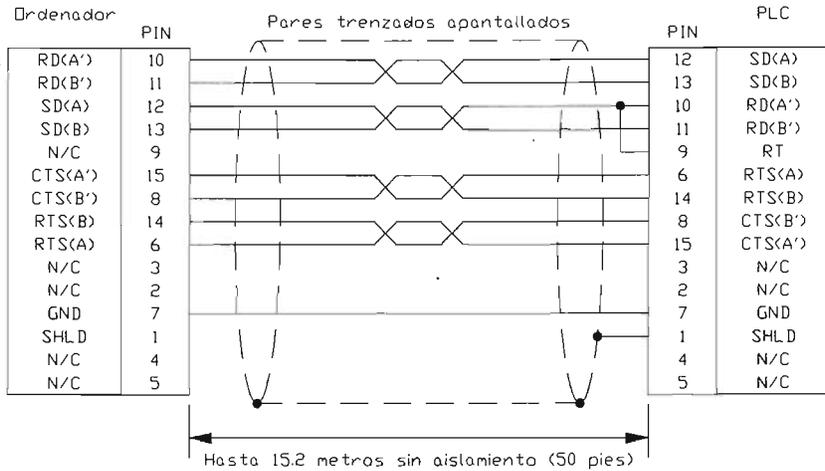
Asignación de pines al puerto 2:

El puerto 2 es un puerto RS-485 con un conector D-sub hembra de 15 pines. Este puede conectarse directamente a un adaptador RS-485 o RS-232.

Pin del conector	Señal	Dirección	Función
1	SHLD	----	Conexión de conductor de drenaje de la pantalla del cable.
2, 3, 4	n/c		
5	P5V	Salida	+5 Vcd a dispositivos de alimentación externos (100 mA máximo).
6	RTSA	Salida	Salida petición para transmitir (A).
7	GND	---	Señal de referencia 0 volts/GND.
8	CTSB'	Entrada	Entrada permiso para transmitir (B).
9	RT	----	Resistencia terminadora (120 ohms) para RDA'.
10	RDA'	Entrada	Entrada recepción de datos (A).
11	RDB'	Entrada	Entrada recepción de datos (B).
12	SDA	Salida	Salida transmisión de datos (A).
13	SDB	Salida	Salida transmisión de datos (B).
14	RTSB	Salida	Salida petición para transmitir (B).
15	CTSA'	Entrada	Entrada permiso para transmitir (A).
Carcasa	SHLD	----	Conexión del conductor de la pantalla del cable/conexión de la pantalla del cable blindado continuo al 100%.

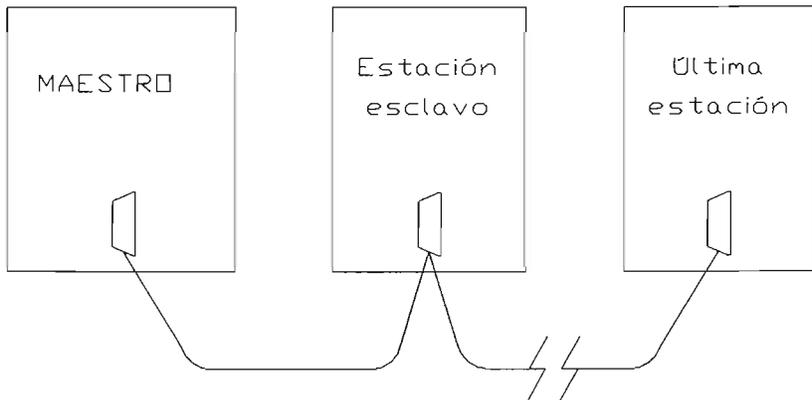
Para la conexión RS-485 punto a punto deben usarse pares trenzados apantallados en el cable a utilizarse.

En la configuración punto a punto, dos dispositivos están conectados a idéntica línea de comunicaciones. Para RS-485, la longitud máxima del cable es de 1200 metros (4000 pies).

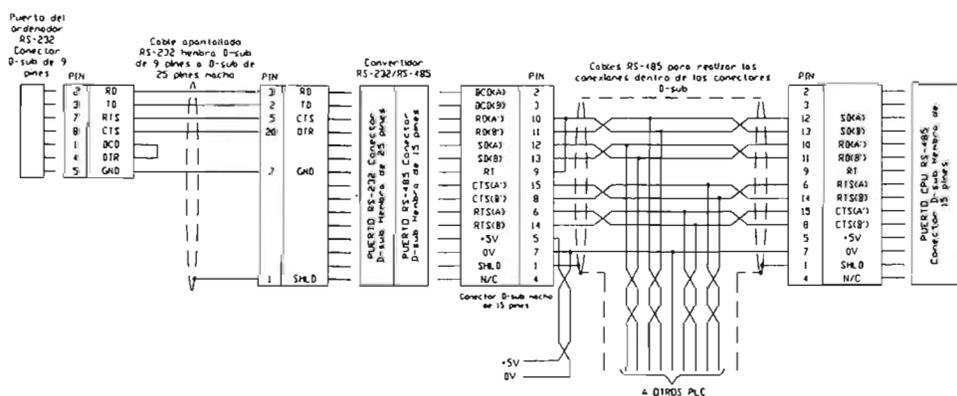


Conexiones serie multitoma para RS-485.

En la configuración multitoma, el dispositivo host se configura como maestro y uno o más PLC se configuran como esclavos. La distancia máxima entre el maestro y cualquier esclavo no debe superar los 1200 metros (4000 pies). Esta cifra parte del supuesto de unos cables de buena calidad y un entorno con un nivel moderado de interferencias. Con RS-485 pueden conectarse un máximo de ocho esclavos en una configuración margarita, daisy chain o multitoma. La línea RS-485 debe incluir pares trenzados apantallados.



Al momento de cablear cables multitoma con arreglo RS-485, las reflexiones en la línea de transmisión pueden reducirse conectando en margarita o daisy chain el cable como se muestra a continuación. Se deben realizar las conexiones dentro del conector que deba sujetarse al PLC. Se debe evitar la utilización de regletas de bornes u otro tipo de conectores a lo largo de la línea de transmisión.

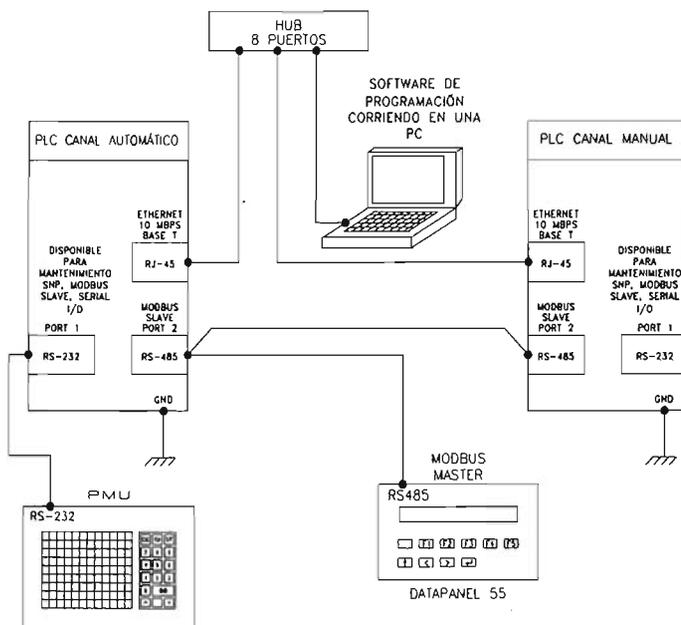


La resistencia terminadora para la señal de recepción de datos (RD) debe conectarse únicamente en las unidades terminadoras de la línea. Esta terminación se realiza en la CPU, realizando un puente entre el pin 9 y el pin 10 dentro del conector tipo D-sub.

Las unidades múltiples no conectadas a idéntica fuente de alimentación deben tener un potencial de tierra común o un aislamiento de tierra para un correcto funcionamiento del sistema.

Puerto Ethernet.

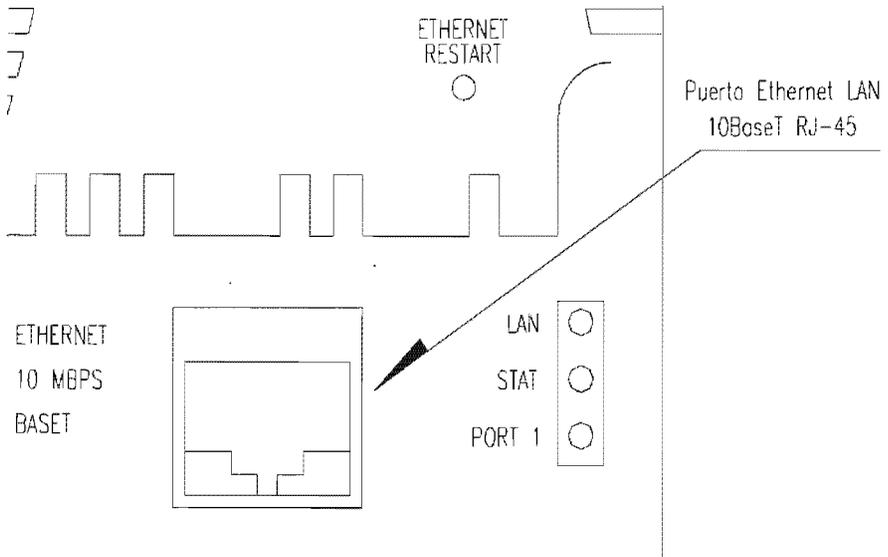
El diseño de la interfaz Ethernet hace posible la comunicación en una red 10BaseT. La CPU, soporta operación half-duplex y full-duplex. La operación es sensada automáticamente sin configuración del usuario. Usando HUBS 10/100 permite la comunicación en una red que contenga dispositivos de 100 Mb.



La interfaz Ethernet es útil para:

- Enviar y recibir datos globales. Los datos globales Ethernet se utilizan para que la transferencia de datos periódicos en la red LAN sean más eficientes. La CPU soporta hasta 32 intercambios simultáneos de datos globales Ethernet. El intercambio de datos globales se configura usando el software de programación del PLC, después de haberlo almacenado en la memoria del PLC. Pueden ser configurados los datos que se enviarán (producidos) y los datos que se recibirán (consumidos). Soporta más de 1200 datos fluctuando en todo el intercambio de datos globales Ethernet, y soporta adquisición de datos globales Ethernet (consumidos) en el intercambio de datos en forma selectiva.
- Accesar a los datos de la CPU por medio de una PC host u otro PLC. La CPU soporta hasta ocho conexiones de servidores SRTP simultáneos para usarse con otro cliente dispositivo SRTP en la red Ethernet.
- Comunicación simultánea con múltiples dispositivos. La capacidad de multiplexaje de la interfaz Ethernet, junto con la gran capacidad de la red Ethernet, permite a la CPU comunicarse con diversos dispositivos al mismo tiempo.
- Una unión indirecta puede realizarse a otra red LAN y/o redes de similares por medio de IP Routers. Con el IP Router se puede lograr la comunicación con PLC remotos y otros nodos conectados a la red.
- Utilizando líneas seriales o modems se puede lograr comunicación con computadoras remotas vía PPP (protocolo punto a punto) o usando SLIP (protocolo línea serial), utilizando estos protocolos una PC host remota puede conectarse a una red TCP/IP.

El cable que debe utilizarse para la conexión 10BaseT debe cumplir con el estándar IEEE 802, debe ser cable con pares trenzados de categoría 5.



El diseño de este puerto permite utilizar un administrador de estación mediante el cual se pueden realizar diagnósticos en línea, acceso a la CPU para monitoreo y supervisión.

El servicio de administrador de estación incluye:

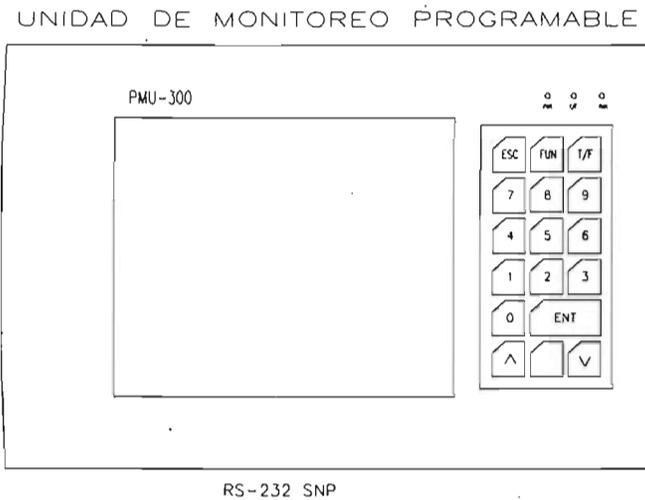
- Un set de comandos interactivo, para control e interrogación de la estación.
- Acceso sin restricciones para observar estadísticas internas y parámetros de configuración.
- Password de seguridad para comandos que cambien parámetros de estación u operación.
- Para usar la función de administrador de estación se requiere una computadora terminal o un emulador terminal.

4.8 INTERFAZ AL OPERADOR.

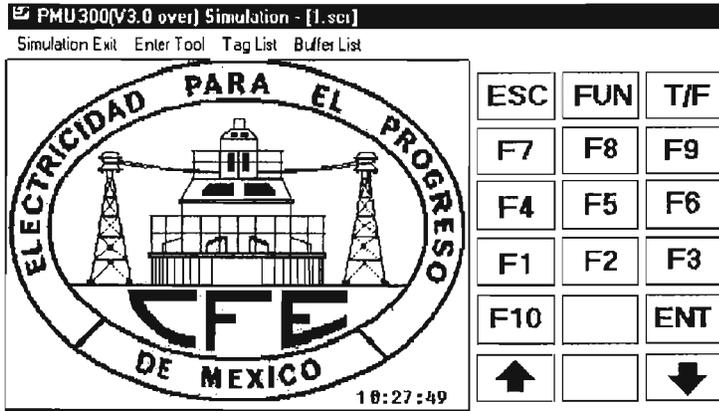
La interfaz al operador denominada también IHM (Interfaz Hombre Máquina) del sistema de excitación es ejecutada por una unidad programable de monitoreo (PMU) de la serie 300 de LG.

El objetivo de la interfaz es permitir el acceso rápido del usuario a la información que este procesando el PLC del regulador automático de voltaje en cualquier momento operativo de la unidad generadora, para poder revisar la correcta operación del sistema de excitación, diagnosticar fallas, tomar mediciones, verificar gráficos de comportamiento dinámico, realizar mandos y verificar el estado actual del regulador automático de voltaje, con la facilidad del touch- screen o pantalla sensible al tacto con manejo de teclas de funciones integradas en la propia unidad de monitoreo programable.

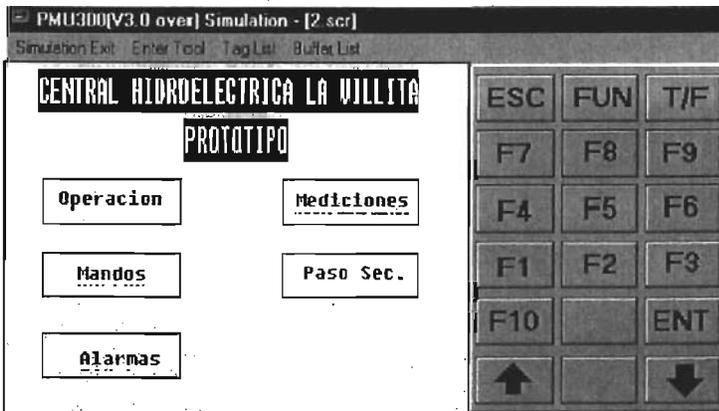
PMU 300 (unidad de monitoreo programable)



A continuación se indican las características operativas de la Interfaz Hombre-Máquina.
Pantalla de inicio



Al energizar la Interfaz Hombre-Máquina es la pantalla inicial siempre. Esta pantalla permite visualizar el escudo de la entidad o Institución a la que pertenece el sistema de excitación, mediante el touch-screen programado en toda el área de esta pantalla, el usuario al pulsarlo pasa a otra pantalla con nuevas funciones, esta nueva pantalla es la **Pantalla Menú Principal** que presenta el menú principal de acciones, a continuación se muestra esta pantalla:



Como se observa en la figura esta pantalla despliega las siguientes opciones que son botones touch-screen de selección:

- OPERACIÓN
- MANDOS
- ALARMAS
- MEDICIONES

- PASO DE SECUENCIA

A continuación se da la descripción de cada uno de estos botones de selección.

Operación

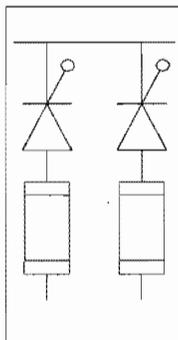
Al tocar este botón se envía al usuario a una nueva pantalla, la **Pantalla General**, esta pantalla permite visualizar las siguientes mediciones:

- Potencia activa demandada en Megawatts.
- Potencia reactiva demandada en Megavars.
- Voltaje generado en Kilovolts.
- Corriente en terminales del generador en Amperes.
- Voltaje de excitación en Volts.
- Corriente de excitación en Amperes.
- Balance entre canales de regulación en Voltaje de corriente directa.

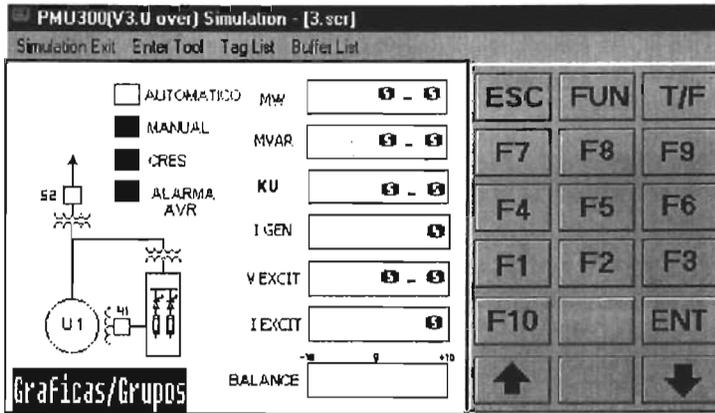
La **Pantalla General** permite visualizar también el canal de operación actual del regulador de voltaje y si existe alguna alarma presente.

Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

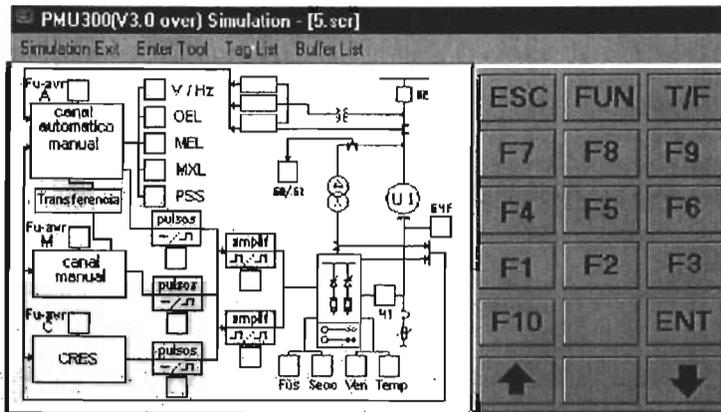
- El botón denominado Gráficas/Grupos
- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior es un botón para cambiar a una pantalla nueva en la **Pantalla General** que se muestra a continuación.



De las dos opciones de touch-screen de la **Pantalla General** empezaremos seleccionando la opción del símbolo del RAV. Al tocar el símbolo del RAV, nos ingresara a la siguiente pantalla denominada **Pantalla Esquemático**:



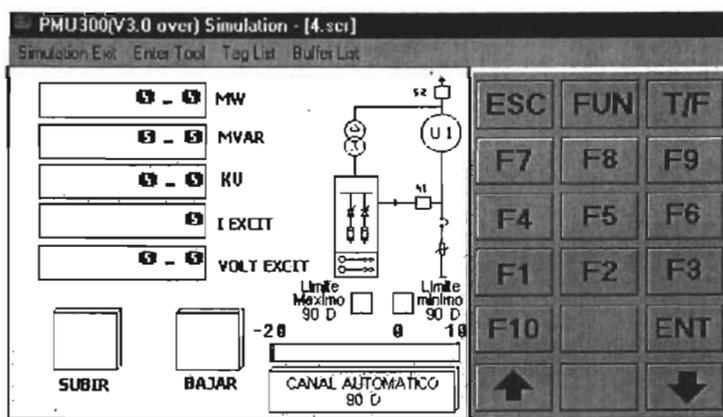
Esta pantalla permite visualizar el diagrama a bloques del sistema de excitación, en donde el usuario puede verificar el estado de los diferentes elementos que componen el sistema de excitación. Desde esta pantalla se tiene acceso a los canales automático, manual y a una pantalla para realizar transferencias entre canales de operación a excepción del canal de respaldo analógico, para el cual solamente aplica la indicación de seleccionado pues no tiene control de selección desde la PMU por el usuario.

A continuación se enlistan las alarmas que se pueden visualizar en esta pantalla.

- Fu-avr A: Falla fuente canal automático.
- Fu-avr M: Falla fuente canal manual.
- Fu-avr C: Falla fuente canal de respaldo analógico.
- V / Hz: Limitador Volts/Hertz operando.
- OEL: Limitador de sobre excitación operando.
- MEL: Limitador de baja excitación operando.
- MXL: Limitador de sobrevoltaje de excitación.
- PSS: Estabilizador de sistema de potencia activado o desactivado.
- 52: Interruptor de máquina dentro o fuera.
- 50/51: Sobrecorriente en transformador de excitación.
- 64F: Falla a tierra del rotor.
- 41: Posición interruptor de campo 41.
- Fus: Falla fusible en rectificador.
- Secc: Seccionador abierto.
- Ven: Falla ventilador del puente rectificador.
- Tem: Alta temperatura del puente rectificador.
- Las indicaciones que están debajo de los cuadros que tienen el nombre de **pulsos y amplif** operan cuando se presenta una pérdida de pulsos en su respectiva línea de flujo de operación.

Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- **canal automático manual:** Despliega la siguiente pantalla.



Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Potencia activa en Megawatts.
- Potencia reactiva en Megavars.
- Voltaje generado en Kilovolts.

- Corriente de excitación en Amperes.
- Voltaje de excitación en Volts.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

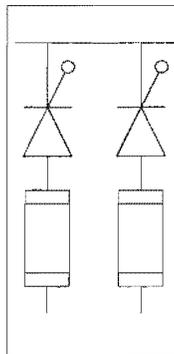
- Límite máximo 90D: Límite máximo potenciómetro estático 90R.
- Límite mínimo 90D: Límite mínimo potenciómetro. estático 90R.
- Barra que indica el nivel de voltaje generado entre un 20% por debajo del nominal y un 10% arriba del voltaje nominal.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- SUBIR: Aumenta la referencia del potenciómetro estático.
- BAJAR: Disminuye la referencia del potenciómetro estático.

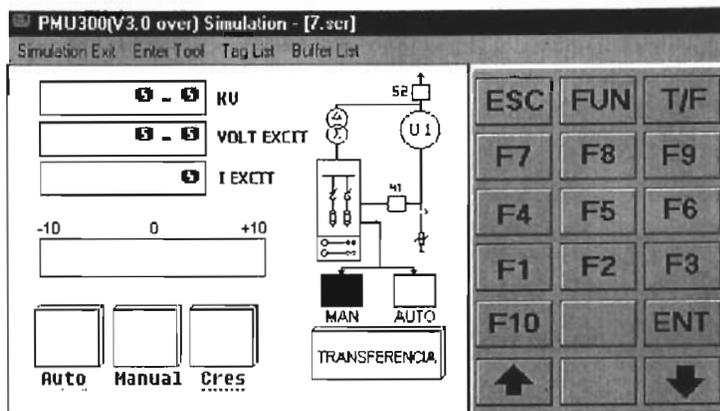
Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

- **Transferencia:** Despliega la siguiente pantalla.



Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Voltaje generado en Kilovolts.
- Voltaje de excitación al rotor en Volts.
- Corriente de excitación al rotor en Amperes.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

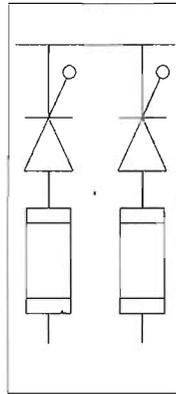
- 52: Posición interruptor de máquina.
- 41: Posición interruptor de campo del generador.
- Barra que indica el balance entre los canales automático y manual para poder realizar una transferencia entre canales automático y manual.
- Canal de operación actual.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- Auto: Selección canal automático.
- Manual: Selección canal manual.
- Cres: Selección canal de respaldo.

Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

- **canal manual:** Despliega la siguiente pantalla.

Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Potencia activa en Megawatts.
- Potencia reactiva en Megavars.
- Voltaje generado en Kilovólts.
- Corriente de excitación al rotor en Amperes.

- Voltaje de excitación al rotor en Volts.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

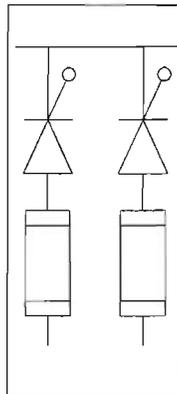
- Limite máximo 70D: Límite máximo potenciómetro estático 70E.
- Limite mínimo 70D: Límite mínimo potenciómetro estático 70E.
- Barra que indica el nivel de corriente de excitación en un rango de -50 hasta 200 amperes.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- SUBIR: Aumenta la referencia del potenciómetro estático.
- BAJAR: Disminuye la referencia del potenciómetro estático.

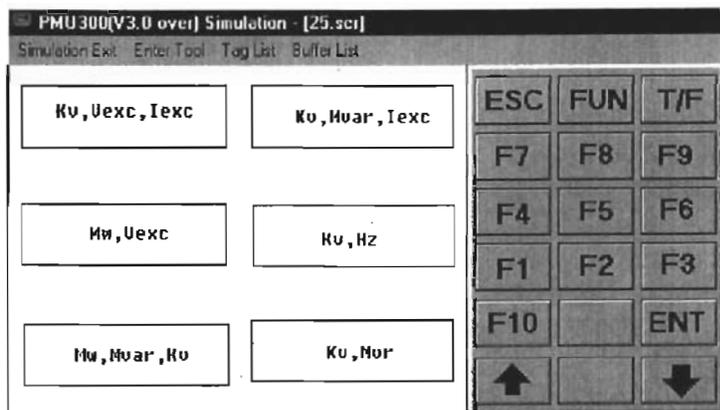
Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

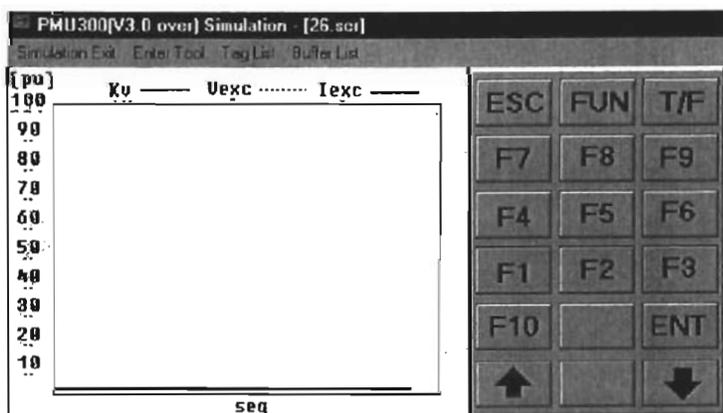
De las dos opciones de touch-screen de la **Pantalla General** continuaremos seleccionando ahora la opción **Graficas/Grupos**. Al tocar el botón de **Graficas/Grupos**, nos ingresará a la siguiente pantalla denominada **Graficas/Grupos**:



En esta pantalla podremos seleccionar una grafica que contendrá dos y hasta tres variables diferentes, para mostrar al mismo tiempo el comportamiento de variables para análisis en tiempo real.

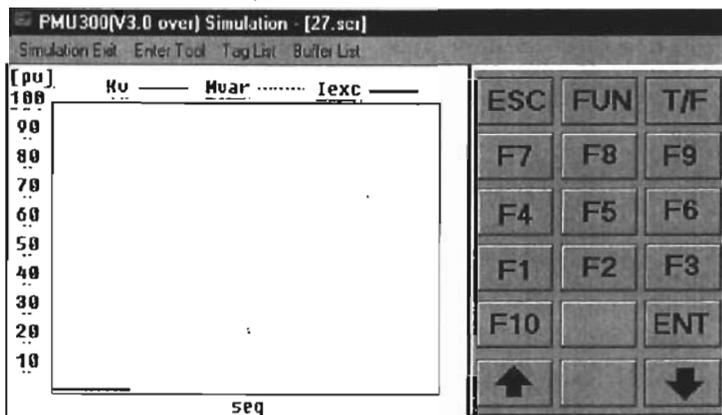
Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección de pantallas nuevas:

- K_v, V_{exc}, I_{exc} : Muestra en una sola gráfica el comportamiento del voltaje generado junto con el voltaje de excitación y la corriente de excitación, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



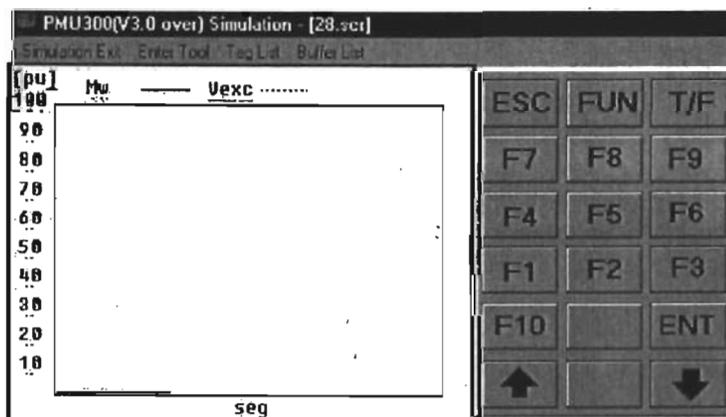
Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

- K_v, M_{var}, I_{exc} : Muestra en una sola gráfica el comportamiento del voltaje generado junto con la potencia reactiva y la corriente de excitación, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



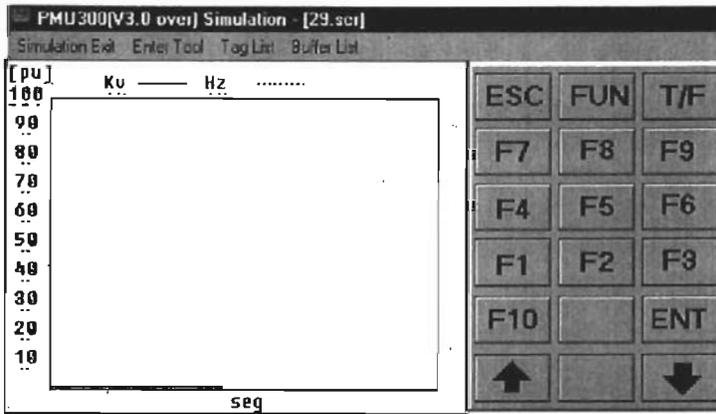
Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

- M_w, V_{exc} : Muestra en una sola gráfica el comportamiento de la potencia activa junto con el voltaje de excitación, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



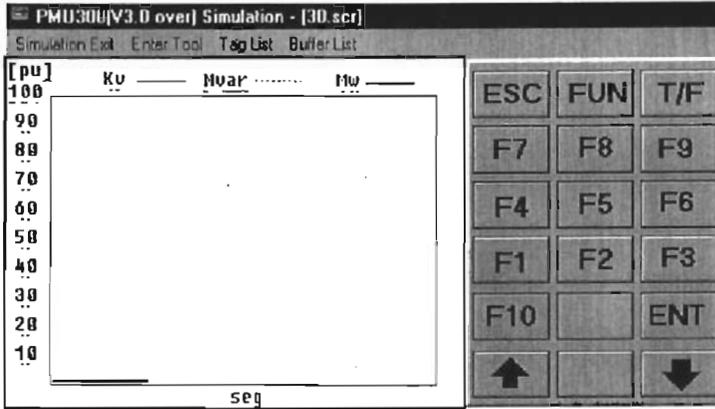
Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

- K_v, Hz : Muestra en una sola gráfica el comportamiento del voltaje generado junto con la frecuencia controlada por el gobernador de velocidad, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



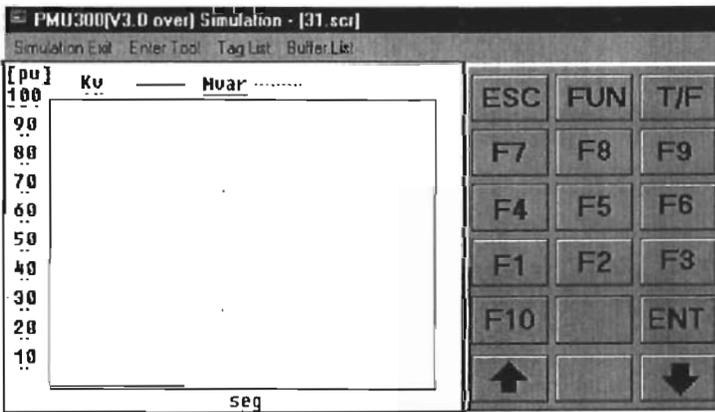
Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

- $K_v, Mvar, Mw$: Muestra en una sola gráfica el comportamiento del voltaje generado junto con la potencia reactiva y la potencia activa, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

- Kv,Mvar: Muestra en una sola gráfica el comportamiento del voltaje generado junto con la potencia reactiva, a continuación se muestra la pantalla de este gráfico.



Para regresar se toca el área touch-screen dentro del cuadro de marco para el gráfico y nos enviará a la **Pantalla General**.

Nota: Cabe mencionar que el equipo PMU, es un dispositivo de visualización en tiempo real solamente.

Mandos

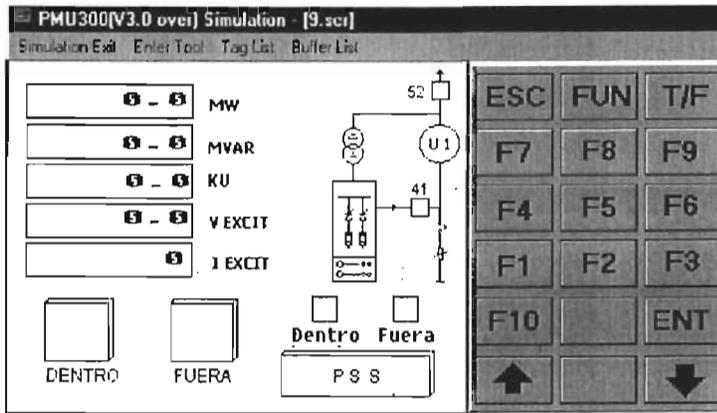
Al tocar este botón se envía al usuario a una nueva pantalla, la **Pantalla Mandos**, esta pantalla se muestra a continuación:



Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- PSS
- Interruptor de Campo
- Escalon
- Controlador Var's / Fp

PSS despliega la siguiente pantalla:



Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Potencia activa en Megawatts.
- Potencia reactiva en Megavars.
- Voltaje generado en Kilovolts.
- Voltaje de excitación en Volts.
- Corriente de excitación en Amperes.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

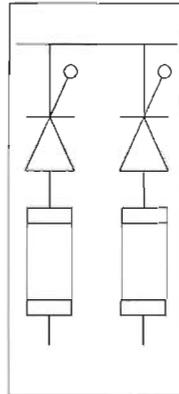
- 52: Posición interruptor de máquina.
- 41: Posición interruptor de campo del generador.
- Dentro: Indicación PSS dentro.
- Fuera: Indicación PSS fuera.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- DENTRO: PSS actuando.
- FUERA: PSS fuera.

Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

Interrupor de Campo despliega la siguiente pantalla:

Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Voltaje generado en Kilovolts.
- Voltaje de excitación en Volts.

- Corriente de excitación en Amperes.
- Potencia activa en Megawatts.
- Potencia reactiva en Megavars.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

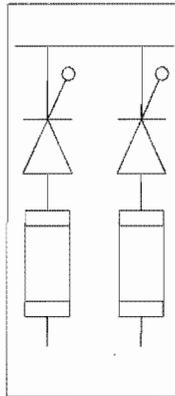
- 52: Posición interruptor de máquina.
- 41: Posición interruptor de campo del generador.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- ABRIR: Petición de apertura del interruptor de campo.
- CERRAR: Petición de cierre del interruptor de campo.

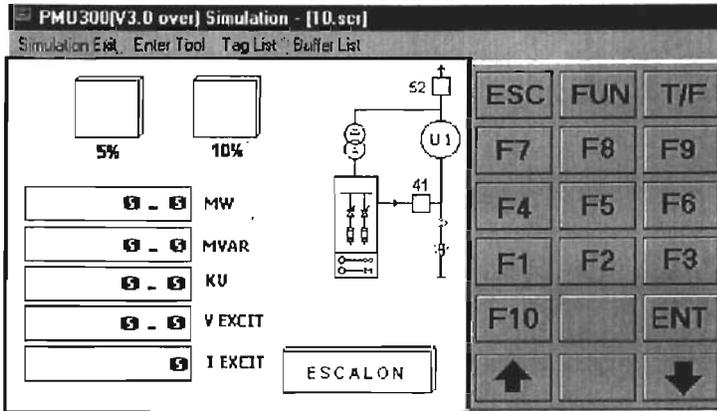
Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

Escalón despliega la siguiente pantalla:



Esta pantalla nos da las siguientes mediciones.

- Potencia activa en Megawatts.
- Potencia reactiva en Megavars.
- Voltaje generado en Kilovolts.
- Voltaje de excitación en Volts.
- Corriente de excitación en Amperes.

Esta pantalla también nos entrega las siguientes indicaciones.

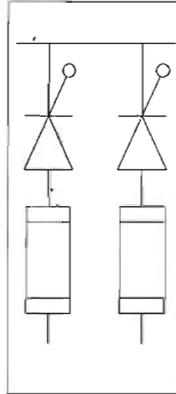
- 52: Posición interruptor de máquina.
- 41: Posición interruptor de campo del generador.

Esta pantalla tiene las siguientes áreas con touch-screen para ejecución de mandos:

- 5%: Ejecución de un escalón de voltaje del 5% del nominal en terminales del generador.
- 10%: Ejecución de un escalón de voltaje del 10% del nominal en terminales del generador.

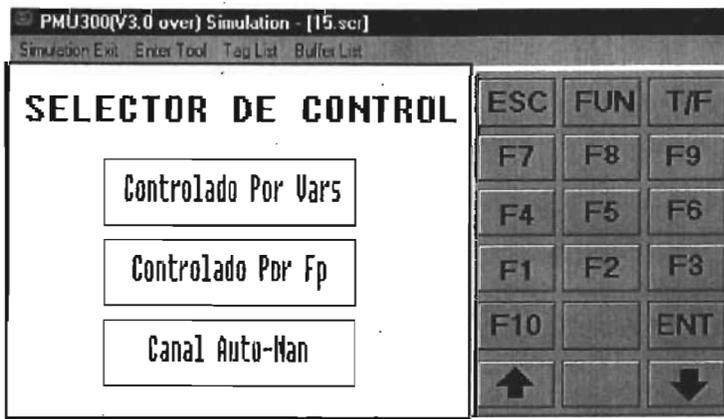
Esta pantalla también tiene las siguientes áreas con touch-screen para selección pantallas nuevas:

- El siguiente dibujo denominado RAV.



La figura anterior en esta pantalla es un botón que al tocarlo nos envía automáticamente a la pantalla anterior.

CONTROLADOR VAR'S / FP despliega la siguiente pantalla:



En esta pantalla se muestran tres opciones con las cuales podemos controlar el voltaje del generador, ya sea por potencia reactiva (VAR's), por factor de potencia o por sus canales automático – manual. En este caso muy específico esta pantalla no tiene ninguna función, puesto que el regulador automático de voltaje que se está tratando únicamente posee el control por canal automático-manual.

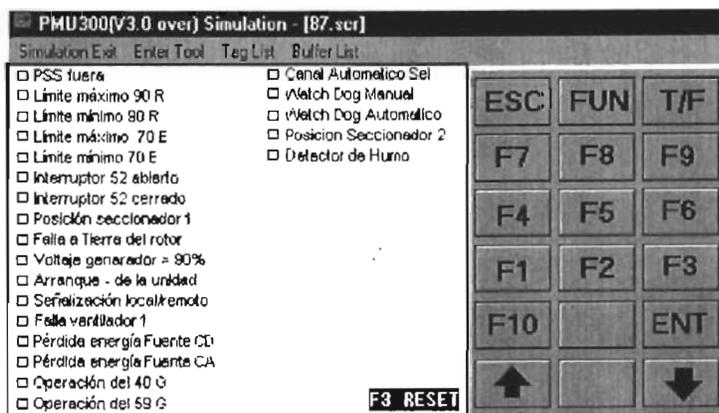
Para regresar a la pantalla anterior se puede pulsar cualquier área dentro de la pantalla Controlador Var's / Fp.

Alarmas

Al tocar este botón se envía al usuario a una nueva pantalla, la **Pantalla Alarmas1**, esta pantalla se muestra a continuación:



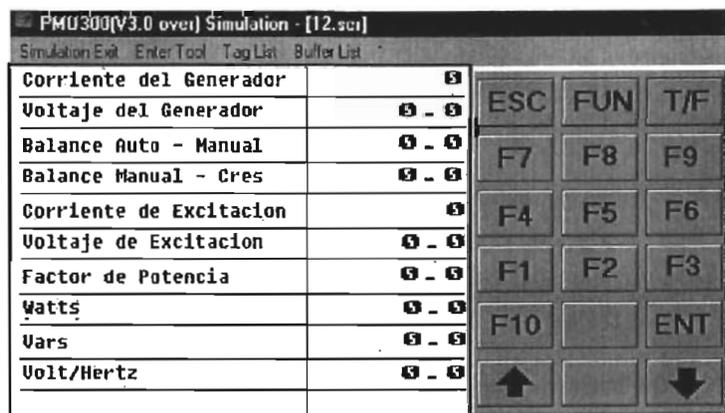
En esta pantalla el usuario puede visualizar el estado actual en el que se encuentran las alarmas del regulador automático de voltaje. Para poder visualizar la segunda pantalla de alarmas, se debe pulsar el botón que tiene la flecha hacia abajo, apareciendo la **Pantalla Alarmas2** que se muestra a continuación:



Para regresar a la **Pantalla Alarmas1** pulsar la flecha hacia arriba. Para salir de los tabulares de alarmas se tiene que tocar cualquier punto dentro de las **Pantallas Alarmas 1 o 2** y regresar así a la **Pantalla Menú Principal**.

Mediciones

Al tocar este botón se envía al usuario a una nueva pantalla, la **Pantalla Mediciones**, esta pantalla se muestra a continuación:



En esta pantalla el usuario puede visualizar el estado actual en el que se encuentran las mediciones que indica, relacionadas con el regulador automático de voltaje. Para salir de la **Pantalla Mediciones** se tiene que tocar cualquier parte de la pantalla para regresar a la **Pantalla Menú Principal**.

Paso Sec.

Al tocar este botón se envía al usuario a una nueva pantalla, la **Pantalla Paso Secuencia**, esta pantalla se muestra a continuación:



Esta pantalla es únicamente de visualización, permite al usuario saber en que condiciones de secuencia de arranque y paro se encuentra el regulador automático de voltaje (RAV).

Para salir de la **Pantalla Paso Secuencia** se tiene que tocar cualquier parte de la pantalla para regresar a la **Pantalla Menú Principal**.

La PMU posee un teclado numérico y de funciones donde esta ubicada la función ESC (ESCAPE) en color naranja, al presionar esta tecla estando en cualquiera de las pantallas el usuario regresará a la **Pantalla de Inicio** en donde se encuentra el escudo o símbolo de la institución, listo para poder acceder nuevamente a cualquier opción de operación del equipo.

NOTA: La configuración de la interfaz de operación se adecua a los requerimientos de las características del Regulador de Voltaje.

CAPITULO V
PRUEBAS AL SISTEMA Y
CONCLUSIÓN

5.1 PRUEBAS AL SISTEMA DE EXCITACIÓN

I N D I C E

- 5.1.1 INSTRUCCIONES
 - 5.1.1.1 Pruebas en vacío, régimen estático.
 - 5.1.1.1.1 Características estáticas de 90 R.
 - 5.1.1.1.2 Características estáticas del 70 E.
 - 5.1.1.1.3 Funcionamiento del seguidor automático.
 - 5.1.1.2 Pruebas en vacío, régimen dinámico.
 - 5.1.1.2.1 Respuesta a escalones.
 - 5.1.1.2.2 Respuesta a perturbaciones.
 - 5.1.1.2.3 Tiempo de excitación y desexcitación.
 - 5.1.1.2.4 Determinación del techo de máxima excitación.
 - 5.1.1.3 Pruebas con carga, régimen estático.
 - 5.1.1.3.1 Limitador de mínima excitación.
 - 5.1.1.3.2 Compensador de reactivos.
 - 5.1.1.4 Pruebas con carga, régimen dinámico.
 - 5.1.1.4.1 Respuesta a escalones de reactivos.
 - 5.1.1.4.2 Respuesta a perturbaciones de reactivos.
 - 5.1.1.4.3 Rechazo de reactivos.
 - 5.1.1.4.4 Respuesta del estabilizador de potencia.

OBJETIVO

Obtener confiabilidad en la operación del regulador automático de voltaje para protección del generador y lograr una respuesta dinámica satisfactoria, ya que ella contribuye a la estabilidad del sistema eléctrico y al amortiguamiento de las oscilaciones presentes en la red mediante la acción propia del estabilizador de potencia.

ALCANCE

Aplica a todos los reguladores automáticos de voltaje usados en centrales generadoras termoeléctricas e hidroeléctricas.

DOCUMENTOS APLICABLES

IEEE 31 TP67-424/1967

ANSI - C85-1-1963

ASTM - 0635-1974

IEEE - 472-1974

NEMA-WC-5-1973

NEMA - ICS-1-109-1970

IEEE - T.72 590-8

IEEE - 421-1972

CFE - W4101-16

REQUISITOS PREVIOS

Recopilación y / o revisión de información.

Se deberá contar con todos los diagramas eléctricos y electrónicos de todos los componentes del regulador automático de voltaje.

Reporte de las pruebas estáticas realizadas conforme a lo especificado por el fabricante.

Equipo de prueba.

- Un sistema de adquisición de datos de 8 entradas analógicas y velocidad de muestreo mayor de 1 KHz .
- Un "rack" de amplificadores, acondicionadores de señal, como mínimo, con supresión de entrada.
- Un osciloscopio de dos (2) canales de preferencia con memoria integrada.
- Un transductor de potencia activa (MW) rango 0-127 Vca 0 – 5 amperes de entrada y 0 – 1 miliampere de salida.
- Dos transductores de corriente, rango de 0 – 5 amperes de entrada, y 0-1 miliampere de salida y 10 K Ω de carga.
- Dos transductores de voltaje, rango 0 – 150 Vca de entrada, y 0 –1 miliampere de salida y 10 K Ω de carga.
- Un variac de 0 – 220 Vca trifásico, capacidad 1 KVA.
- Una tablilla para Watthorímetro similar al empleado para calibración de relevadores.
- Cables de conexión calibre # 14 coaxial.
- Dos puentes divisores de voltaje de 1000 volts a 5 Vcd.
- Dos puentes divisores de voltaje de 250 volts a 5 Vca.
- Materiales electrónicos varios (resistencias, capacitores, diodos de germanio, etc.)
- Instrumentos de medicion (2 multímetros, autorango, digitales.)
- Herramienta: pinzas de corte, navaja, destornillador (cruz y plano), etc.

Antes de comenzar las pruebas, es necesario la instalación y calibración del equipo de prueba. De permitirlo las condiciones de la planta, la instalación del equipo de registro grafico o de adquisición de datos deberá hacerse preferentemente en la sala de control.

Cada una de las señales a registrarse, deberán ser previamente calibradas e identificadas a que canal se asignara así como condicionada al rango de magnitud eléctrica admitida por el registrador grafico o sistema de adquisición de datos utilizando.

- 5.1.1 INSTRUCCIONES
- 5.1.1.1 Pruebas en vacío, régimen estático.
- 5.1.1.1.1 Características estáticas del 90R.

Objetivo.-

Esta prueba se efectuara para conocer el rango de operación del control de la excitación en automático, así como las características de histéresis y linealidad.

Procedimiento.-

Se varia el voltaje del alternador estando el regulador automático en posición automática, desde un 20% abajo del voltaje nominal del generador hasta un 15% arriba, haciendo esta variación en ambos sentidos y en forma escalonada, tomando lecturas de los parámetros indicados a continuación en cada paso.

Parámetros a registrar.-

- Voltaje del generador (Vg)
- Voltaje de excitación (Vf)
- Corriente de excitación (If)
- Posición del 90 R

Indices.-

Rango del 90R (R90R%) Anexo 2.

$$R90R\% = (Vg \text{ mx} - Vg \text{ min}) * 100 / Vgn$$

$$R90R\% = 35\%$$

No linealidad del 90R (N.L.%)

$$N.L.\% = \Delta V \text{ max} * 100 / (Vg \text{ max} - Vg \text{ min}) .$$

$$N.L.\% = .1\%$$

Histéresis del 90R (%HIST. 90R Max)

$$\%HIST. 90R \text{ Max} = \Delta V \text{ max} * 100 / Vn$$

$$\%HIST. 90R \text{ Max} = 1\%$$

$$\Delta V \text{ max} = V1 - V2$$

Vg Max = Máximo valor obtenido de voltaje del generador al variar la posición ó el voltaje de salida del 90R.

Vg Min = Mínimo valor obtenido de voltaje del generador.

Vgn = voltaje nominal del generador.

ΔV Max = Máxima desviación de voltaje para una misma posición del variador 90R (o voltaje de referencia)

V1 = Máximo voltaje que se obtiene en la máxima desviación.

V2 = Mínimo voltaje que se obtiene en la máxima desviación.

Con los valores obtenidos se trazan las curvas características estáticas del 90R.

- . Vg contra posición del 90R (o voltaje de referencia)
- . Vexc contra posición del 90R (o voltaje de referencia)
- . Vg contra corriente de excitación (curva de saturación)

5.1.1.1.2 Características estáticas del 70E.

Objetivo.-

Esta prueba se efectuara para conocer el rango de operación del control de la excitación en automático, así como las características de histéresis y linealidad.

Procedimiento.-

Se varia el voltaje del alternador estando el regulador automático en posición manual, desde un 20% abajo del voltaje nominal del generador hasta un 15% arriba, haciendo esta variación en ambos sentidos y en forma escalonada, tomando lecturas de los parámetros indicados a continuación en cada paso.

Parámetros a registrar.-

- Voltaje del generador (Vg)
- Voltaje de excitación (Vf)
- Corriente de excitación (If)
- Posición del 70 E

Indices.-

Rango del 70E (R70E%). Anexo 4.

$$R70E\% = (Vg \text{ máx.} - Vg \text{ min.}) * 100 / Vgn$$

$$R70E\% \geq 35\%$$

No linealidad del 70E (N.L.%)

$$N.L.\% = (\Delta V \text{ max.} * 100) / (Vg \text{ max.} - Vg \text{ min.})$$

$$N.L.\% \leq 1\%$$

Histéresis del 70E (%HIST. 70E Max.)

$$\% \text{ HIST. 70E Max.} = (\Delta V \text{ Max.} * 100 / Vn$$

$$\% \text{ HIST. 70E Max.} \leq 1\%$$

$$\Delta V \text{ Max.} = V1 - V2$$

Vg Max. = Máximo valor obtenido de voltaje del generador al variar la posición (ó el voltaje de salida) del 70E.

Vg Min. = Mínimo valor obtenido del voltaje del generador.

Vn = voltaje nominal del generador.

ΔV Max. = Máxima desviación de voltaje para una misma posición del variador 70E (o voltaje de referencia)

V1 = Máximo voltaje que se obtiene en la máxima desviación.

V2 = Mínimo voltaje que se obtiene en la máxima desviación.

Con los valores obtenidos se trazan las curvas de las características del 70E.

- . Vg contra posición del 70E (o voltaje de referencia)
- . V exc. contra posición del 70E (o voltaje de referencia)
- . Vg contra corriente de excitación (curva de saturación)

5.1.1.1.3 Seguidor automático

Objetivo.-

Encontrar la magnitud del error y estabilidad que se presenta al transferir el sistema de excitación de automático a manual.

Procedimiento.-

Se ajustarán con el 90R el voltaje nominal del generador. Después se bajara el voltaje del generador a un 5% del voltaje nominal, con el 90R y se toman las lecturas de voltaje del generador, se esperan 15 segundos a que se estabilice y se transfieren a manual.

Se toma el valor actual de voltaje del generador y se registra. Se transfiere de nuevo a automático balanceando previamente y se ajusta a voltaje nominal. Observar si en esta operación no se producen oscilaciones en el voltaje del generador.

Parámetros a registrar.-

Voltaje del generador

Indíces.-

$$\% \text{ ERROR, S.A.} = (Vg \ 90R - Vg \ 70E) * (100) / Vg \ 90R$$

$$\% \text{ ERROR, S.A.} \leq 1.0\%$$

Vg 90R = Voltaje del generador que se obtiene al ajustar con el 90R

Vg 70E = Voltaje del generador que se obtiene al realizar la transferencia.

5.1.1.2 Pruebas en vacío, régimen dinámico.

5.1.1.2.1 Respuesta a escalones.

Objetivo.-

Esta prueba nos permite determinar el amortiguamiento reducido, el tiempo de respuesta, el tiempo de estabilización, la amplitud de la primera oscilación y el periodo de las oscilaciones amortiguadoras del regulador de voltaje.

Procedimiento.-

Con el RAV en automático, se introduce una señal eléctrica que modifica la diferencia dada por el dispositivo 90R de un valor tal que haga variar el voltaje del generador en un 5, 10 y 20 % del valor nominal de la unidad.

Con esta prueba se podrá determinar el valor del techo de máxima excitación, con un escalón de magnitud requerida para alcanzar dicho techo.

Con los oscilógramas se determinan los parámetros de la respuesta dinámica del regulador.

Parámetros a registrar.-

Voltaje del generador (V_g)

Voltaje de excitación (V_f)

Señal escalón

Corriente de excitación (I_f)

Si se emplea un registrador gráfico, se recomienda una velocidad de 5 cm / s.

Indices.-

Tiempo de respuesta: se define como el tiempo necesario para que la respuesta llegue desde un 10% a un 90% del escalón (T_R = segundos).

Tiempo de respuesta 0.1 segundos para reguladores estáticos.

Tiempo de estabilización: se define como el tiempo necesario para que la respuesta entre dentro de la zona de un 2% del escalón

(T_{ss} = segundos)

Tiempo pico: El tiempo para alcanzar el máximo valor (T_p = segundos)

Amplitud de la oscilación: Definida en (% SP)

$$\% \text{ S.P.} = (V1 - V2) * (100) / (V2 - V0)$$

$$\% \text{ S.P.} = 25\%$$

Período de oscilaciones amortiguadas: T_o definido por el tiempo entre crestas consecutivas en la grafica de la respuesta ($T_o = \text{seg.}$)

El número de oscilaciones nos caracteriza el tipo de respuesta.

Sobre amortiguado.

Críticamente amortiguado.

Subamortiguado.

5.1.1.2.2 Respuesta a perturbaciones.

Objetivo.-

Determinar la precisión del RAV.

Procedimiento.-

Con el RAV en posición automática se introducen perturbaciones a la entrada, únicamente en esta ocasión, la duración de la señal perturbadora es de menos tiempo (impulso). Con los oscilo gramas se determina el comportamiento del regulador.

Parámetros a registrar.-

- . Voltaje del generador.
- . Voltaje de excitación.
- . Señal de impulso.
- . Corriente de excitación.

Índices.-

$$\text{ERROR} = (Vg \text{ final} - Vg \text{ inicial}) * (100) / (Vg \text{ inicial}) \text{ 1\%}$$

$$\% \text{ PR} = (1 - \text{error}) * 100$$

$$\% \text{ PR} = \text{Precisión \%}$$

5.1.1.2.3 Tiempo de excitación y desexcitación.

Objetivo.-

Esta prueba permite determinar, a partir de los oscilo gramas que se obtengan, la constante de tiempo de excitatriz – generador – RAV (tiempo de excitación). La otra prueba (tiempo de desexcitación), permitirá obtener el tiempo de decaimiento de voltaje

en el generador cuando este varía por condiciones provocadas por algún disturbio en el sistema.

Procedimiento.-

La prueba se efectuara con el RAV en posición automático y después en posición manual. Se registran los datos.

Tiempo de desexcitación: Se obtiene desde el momento en que se cierra el interruptor de campo (quebradora de campo), hasta alcanzar el generador el valor nominal de voltaje en sus terminales.

Tiempo de desexcitación: se obtiene desde el momento en que se abre el interruptor de campo, hasta que el voltaje del alternador decaiga e un valor asintóticamente estable.

Parámetros a registrar.-

- . Voltaje del generador (V_g)
- . Voltaje de excitación (V_f)
- . Corriente de excitación (I_f)

5.1.1.2.4 Determinación del techo de máxima excitación.

Objetivo.-

Verificar el valor máximo de excitación (techo) y el tiempo necesario para alcanzarlo.

En los sistemas de regulación de voltaje electrónicos con SCR, la respuesta es sumamente rápida, del orden de 50 milisegundos para alcanzar el techo de máxima excitación.

Esto contribuye para mejorar la estabilidad transitoria de la red eléctrica.

En algunos casos para lograr lo mismo, es necesario conectar capacitores serie ala red eléctrica, incrementando considerablemente el costo de una instalación.

El techo de máxima excitación, no debe ser menor del 120% del valor nominal de voltaje de excitación a plena carga.

Procedimiento.-

Actuando en la misma forma que para escalón el de voltaje y de acuerdo a las diferentes tecnologías de sistemas de regulación existentes se hacen escalones severos hasta alcanzar el techo de máxima excitación. Se registran los resultados.

Parámetros a registrar.-

- . Voltaje del generador.
- . Voltaje de excitación.
- . Corriente de excitación.

5.1.1.3 Pruebas con carga, régimen estático.

5.1.1.3.1 Limitador de mínima excitación (L.M.E.)

Objetivo.-

Conocer el rango de operación del dispositivo llamado limitador de mínima excitación.

Este dispositivo bloquea al regulador automático de voltaje (R.A.V.), para que la excitación no baje a tal grado que el generador pierda estabilidad.

Este punto se encuentra marcado en la curva de capacidad.

Para esta prueba se requiere la curva de capacidad proporcionada por el fabricante, datos de los ajustes y diagramas del LME, hojas para las pruebas y coordinarse con el personal de protecciones para evitar posibles disparos por operación del 40G de la unidad.

Procedimiento.-

Desexcitar la unidad bajo prueba (absorbiendo reactivos) hasta que opere el limitador, esto se puede comprobar en el vóltmetro cuando ya no hay absorción de reactivos, también se puede ver en la corriente de excitación. Si el dispositivo no llegase a operar, se desexcitará demasiado la unidad y aparecerán oscilaciones. Proceder a restablecer a condiciones normales.

Esta operación se hace para cada valor de potencia activa 25% , 75% y 100% en MW:

Se fija primeramente la unidad bajo prueba en un valor próximo al 25% de su potencia activa (MW). Con este valor se empieza a desexcitar el generador operando el 90R del regulador de voltaje, de tal manera que se estén absorbiendo reactivos (MVAR), que pueden ser proporcionados por otras unidades conectadas en paralelo o bien, entregados por el sistema. Dicha operación se realizara hasta que opere el limitador.

Se regresa a la posición de 0 MVAR y se incrementa la potencia activa al 50% de su capacidad nominal. Ya que en esta posición se repite la operación de antes descrita hasta que se active el limitador; se toman lectura nuevamente. Sucesivamente se repetirá la misma operación para los diferentes valores de potencia activa (75 y 100%).

Parámetros a registrar.-

- . Voltaje del generador
- . Corriente de excitación.
- . Corriente de armadura.
- . Megawatts.
- . Megavars.
- . Voltaje de excitación.
- . Voltaje de auxiliares.
- . Voltaje de BUS.

Indices.-

Con los valores registrados, se trazan las curvas: .

- a) $MVAR = F (MW)$
- b) $IEXC = F (MW)$

La curva a), se traza directamente sobre la curva de capacidad que debe proporcionar el fabricante, para ir obteniendo el rango de ajuste del limitador y comprobar que no alcance la zona de inestabilidad.

Este ajuste deberá estar dentro de la curva de capacidad de un 10% dentro de su límite.

Paralelamente la comprobación del limitador de baja excitación se puede ajustar y comprobar la operación del relevador 40G.

En pruebas de aceptación, ajustar el límite de baja excitación a un 10% arriba del límite de estabilidad, o de la curva de capacidad, según sea la más crítica.

5.1.1.3.2 Compensador de reactivos

Objetivo.-

Determinar la capacidad del generador de entregar o absorber potencia reactiva al variar el voltaje del BUS a causa de variaciones en el sistema al cual esta conectada la unidad. Además, analizar la posibilidad de hacer ajustes para igualar los estatismos de todas las unidades de la central, para con ello tener una distribución de reactivos proporcional a la capacidad de cada generador.

Procedimiento.-

Al 25% de la potencia activa (MW) y con el regulador de voltaje en posición automático, se ajusta la unidad a cero (0) reactivos, el voltaje del BUS al valor nominal. Después de tomar esta primera lectura, se deja la unidad a que responda a las variaciones de voltaje del BUS. El voltaje de generador en pruebas se incrementa, aumentando la excitación de

los generadores de la misma central, o bien de otras del sistema. Los aumentos se harán gradualmente hasta llegar a un valor del (-15%) de la carga reactiva nominal o menos, si el ajuste del LME no permite disminuir más. Después de restablecer el voltaje de BUS, se empieza a reducir poco a poco hasta que la unidad bajo prueba entregue (+15%) de la carga reactiva, cuidando no llegar a valores críticos del generador y del BUS, y por último, se restablece el voltaje de bus al nominal. Se deberá tomar como mínimo 8 lecturas. Registrar las lecturas. Se verificará para cero MVAR y máxima potencia reactiva.

Parámetros registrados.-

- . Potencia activa.
- . Potencia reactiva.
- . Voltaje del generador.
- . Voltaje de campo.
- . Corriente de campo.
- . Voltaje de BUS.

Indíces.-

Calcular de acuerdo a la expresión:

$$\% CR = (\Delta V / V_N) * (100) / (\Delta Q / Q_N)$$

ΔV = incremento de voltaje

V_N = Voltaje nominal.

ΔQ = incremento de reactivos.

Q_N = potencia reactiva nominal.

El valor se ajusta según los requerimientos del sistema en un rango de 0 a 10%.

5.1.1.4 Pruebas de carga, régimen dinámico.

5.1.1.4.1 Respuesta de escalones de reactivos.

Objetivo.-

Conocer las características de amortiguamiento y los tiempos de respuesta del generador y así, determinar su estabilidad, cuando se presentan variaciones bruscas de reactivos en el sistema.

Procedimientos.-

Efectuar la prueba para valores de potencia activa de 75 y 100% de la potencia nominal. La amplitud del escalón del 10% MVAR se obtienen subexcitando o sobreexcitando el generador antes de introducir la señal escalón. Se fija el valor de potencia reactiva, el

cual se hará variando el 90R a un valor de $\pm 25\%$ de lo MVAR que correspondan al valor de MW en que esta efectuando la prueba.

Si la unidad cuenta con estabilizador de potencia, se realizará la prueba sin estabilizador.

Parámetros a registrar.-

- . Potencia reactiva.
- . Voltaje de excitación.
- . Voltaje de generador.
- . Potencia activa.
- . PSS cuando existe estabilizador de potencia.
- . Corriente de excitación.

Indices.-

Sobre paso (% SP). Se define como:

$$\% SP = (V1 - V2) * 100 / (V2 - V0)$$

$$\% SP \leq 20\%$$

Usar como referencia para V0, V1 Y V2 la figura

5.1.1.4.2 Respuesta a perturbaciones de reactivos.

Objetivo.-

Conocer la precisión del regulador de Voltaje cuando se presentan transitorios en el sistema.

Procedimiento.-

La prueba se efectúa en la misma forma a la mencionada en los escalones de reactivos, con la observación que al producirse el escalón, este se interrumpa inmediatamente, de tal manera que se estará produciendo una perturbación en los parámetros MW, MVAR, KV y VEXC, los valores observados se reportaran en el mismo formato usado para el escalón

Parámetros a registrar.-

- . Potencia reactiva.
- . Voltaje de excitación.
- . Voltaje de generador.
- . Corriente de excitación.
- . Señal impulso.

Indices.-

La precisión (PR) se calcula de la siguiente forma:

$ERROR = (V_{final} - V_{inicial}) / V_{inicial} \cdot 100\%$

$\% P.R = (1 - error) * 100$ (precisión) 99%

5.1.1.4.3 Rechazo de reactivos.

Objetivo.-

Esta prueba tiene como finalidad conocer el estatismo de reactivos de regulador de voltaje.

Procedimiento.-

La unidad deberá encontrarse sincronizada al sistema con un 10% de la potencia activa, se fija la potencia reactiva a $\pm 25\%$ On y se efectúa el rechazo abriendo el interruptor de maquina.

Se repite el rechazo de reactivos con la misma potencia activa pero con $\pm 50\%$ On.

Parámetros a registrar.-

Los parámetros a graficar en el rechazo de reactivos son:

- . Potencia activa.
- . Potencia de alternador.
- . Voltaje de excitación.
- . Corriente de excitación.
- . Voltaje del bus.

Con el propósito de confirmar las mediciones en el escalamiento de los oscilogramas.

Indices.-

Del análisis de oscilograma se obtendrán los siguientes índices:

- . Tiempo de estabilización.
- . Tiempo de respuesta.
- . Sobrepasso.
- . Numero de oscilaciones.

$\% CR = (\Delta V / V_N) * 100 / (\Delta Q / Q_N) \cdot 100\%$ (estatismo de reactivos).

5.1.1.4.4 Respuesta del estabilizador de potencia.

Objetivo.-

Comprobar los ajustes adecuados del estabilizador de potencia y obtener graficas que comprueben lo modelo digitales de simulación.

Procedimiento.-

Los ajustes al estabilizador de potencia (PSS) se hacen en base a estudios de estabilidad dinámica, en los simuladores digitales (corridas de estabilidad en las computadoras) en los cuales se simulan las condiciones de la red a la cual se encuentran conectadas las maquinas en que se ajustaran los PSS.

Una verificación o priori de los ajustes se efectúa haciendo escalones de reactivos por medio de una señal adicional en el punto de suma del RAV (pruebas de respuesta a escalones de reactivos) o también efectuando escalones de potencia activa con otras unidades conectadas al sistema.

En estas condiciones transitorias, el ángulo interno de la maquina bajo prueba oscila antes de alcanzar el nuevo régimen permanente y como consecuencia, la potencia activa oscila también.

Los resultados que se obtienen, se grafican observando con mayor atención la amplitud y el numero de oscilaciones en la potencia activa (MW), para un mismo escalón o variación de potencia reactiva. Se pueden disminuir el efecto de estas oscilaciones cuando se conecta el estabilizador de potencia. Los datos de esta prueba se registrarán.

Parámetros a registrar.-

- . Potencia activa.
- . Voltaje de generador.
- . Potencia reactiva.
- . Voltaje de excitación.

Indices.-

Se considera un ajuste aceptable si se presentan 2 ciclos en la oscilación de potencia activa, además se cumple:

0.5 AFS AES

AFS con estabilizador fuera de servicio

AES estabilizador en servicio

$$A_x = \frac{P_3 - P_0}{P_1 - P_0}$$

N = número de oscilaciones

Nota: El criterio de aceptación esta marcado como se indica en cada una de las pruebas descritas.

5.2 Resultados de las pruebas.

5.2.1 Pruebas en vacío régimen estático.

5.2.1.1 Característica del 90R

Característica del 90R.

Se ajusta el límite máximo al 108% del voltaje generado, ya que la protección de tiempo por sobrevoltaje del generador 59GT esta ajustada al 110% del voltaje generado.

<i>CONTROL AUTOMÁTICO 90R</i>				
POSICIÓN TP58 (cuentas)	Voltaje en terminales del generador. (kV).	Voltaje de excitación. (Vdc)	Corriente de excitación. (Adc).	Demanda de ángulo (Vdc).
5024	13.83	120.09	603.5	
4758	13.10	109.94	554.40	
4527	12.47	102.32	517.00	-1.75
4254	11.72	94.45	477.50	-1.8
4014	11.06	87.85	444.58	-1.855
4258	11.73	94.70	481.10	-1.802
4504	12.40	102.07	517.45	-1.753
4785	13.18	110.70	562.86	-1.649
5018	1.82	118.83	648.92	-1.582
5398	14.85	133.80	678.95	-1.538
5267	14.49	128.40	648.90	-1.577
5013	13.80	118.30	598.00	-1.645

5.2.1.2 Característica del 70E

Se ajusta el límite máximo al 108% del voltaje generado, ya que la protección de tiempo por sobrevoltaje del generador 59GT esta ajustada al 110% del voltaje generado.

<i>CONTROL MANUAL 70E</i>				
POSICIÓN TP58 (cuentas)	Voltaje en terminales del generador. (kV).	Voltaje de excitación. (Vdc)	Corriente de excitación. (Adc).	Demanda de ángulo (Vdc).
4967	13.81	118.30	596.90	-1.636
4509	13.01	108.00	544.90	-1.699
4164	12.25	99.30	502.44	-1.757
3885	11.62	92.60	469.80	-1.806
3618	10.89	85.82	436.16	-1.855
3400	10.38	80.74	410.50	-1.889
3762	11.15	89.86	452.30	-1.831
4099	11.87	96.48	491.00	-1.777
4340	12.46	102.50	521.00	-1.738
4676	13.12	109.94	559.93	-1.684
5025	13.80	118.50	602.80	-1.625
5368	14.38	124.44	642.33	-1.567
5692	14.90	135.33	684.10	-1.503
5326	14.44	127.20	641.60	-1.562
4925	13.80	118.30	596.20	-1.626

5.2.1.3 Seguidor automático

Seguidor automático-manual.

Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación (Vdc).	Corriente de excitación (Adc).	Porcentaje de error (%)	Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación (Vdc).	Corriente de excitación (Adc).
Automático			→	Manual		
13.81	115.00	595.00	0.14	13.79	114.70	594
13.15	107.40	551.14	0.38	13.10	106.74	548
14.21	121.30	624.40	0.07	14.20	122.12	625.5
Manual			→	Automático		
13.79	114.70	594.00	0.22	13.82	115.78	596.5
13.10	106.74	548.00	0.15	13.12	107.14	549.3
14.2	122.12	625.50	0.28	14.24	122.38	629.9

Observaciones:

Error automático-manual 0.38%

Error manual-automático 0.28%

El valor de error es aceptable, pues está dentro de las especificaciones, las cuales indican que debe ser <1%.

5.2.2 Pruebas en vacío régimen dinámico

5.2.2.1 Respuesta a escalones de voltaje

Se realizaron escalones de voltaje de 5.10 y 20% del voltaje generado, también se realizó un escalón de voltaje negativo del 20%, y un escalón positivo en canal manual del 10%.

Voltaje generado (Kv)	Voltaje de excitación.(Vdc).	Corriente de excitación (Adc).	Parámetros	Observaciones
12.03	95.7	505.6	K= 0.86 Tr = 0.5 segundos Tp = 1.0 segundos Ts = 0.76 segundos. %SP = 1.5%	Escalón del 5%
12.67	166	547.2		
12.66	102.8	546		
12.03	96	507.2	K= 0.87 Tr = 0.6 segundos Tp = 1.1 segundos Ts = 0.8 segundos. %SP = 1.4%	Escalón del 10%
13.47	239	598.4		
13.45	112.7	597		
11.05	85.6	456	K= 0.86 Tr = 0.7 segundos Tp = 1.3 segundos Ts = 1.0 segundos. %SP = 1.08%	Escalón del 20%
13.85	323	625.5		
13.82	116.3	621		

Los escalones presentan un sobrepaso mínimo y un tiempo de estabilización máximo de un segundo con lo cual se encuentra dentro de los rangos de aceptación.

5.2.2.2 Respuesta a perturbaciones

Respuesta a perturbaciones de voltaje.

RESPUESTA A PERTURBACIONES DE VOLTAJE				
Voltaje generado (kV).	Voltaje de excitación (Vdc).	Corriente de excitación (Adc).	Parámetros	Observaciones
12.55	103.34	539.79	% de error = 0%	Perturbación del 10 %.
13.51	244.5	601.3		
12.55	103.34	539.79		

5.2.2.3 Tiempo de excitación y desexcitación.

DESEXCITACIÓN EN AUTOMÁTICO.		
Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación.(Vdc).	Corriente de excitación (Adc).
12.92	105.2	560
0.02	0.51	5.3
Tiempo de desexcitación 2.7 segundos.		

EXCITACIÓN EN AUTOMÁTICO.		
Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación.(Vdc).	Corriente de excitación (Adc).
0.01	0.25	0.1
13.07	105.4	565.4
Tiempo de desexcitación 13.6 segundos.		

DESEXCITACIÓN EN MANUAL.		
Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación.(Vdc).	Corriente de excitación (Adc).
13.23	117.05	580.54
0.01	0.59	4.5
Tiempo de desexcitación 3.6 segundos.		

EXCITACIÓN EN MANUAL		
Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación.(Vdc).	Corriente de excitación (Adc).
0.01	0.51	0.1
13.55	110.7	602.05
Tiempo de desexcitación 7.2 segundos.		

5.2.3 Pruebas con carga régimen estático

5.2.3.1 Limitador de mínima excitación

Limitador de mínima excitación MEL.

P (MW)	Q (MVAR)	Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación (Vdc)	Corriente de excitación (Adc)	Corriente del generador (kA)	Observaciones
13	-39.5	13.2	60	315		Opera lámpara y limita
13	-36.1	13.2	67	354		Libera lámpara
25	-38.2	13.2	67	353	2.2	Opera lámpara y limita
25	-37.1	13.2	71	370	1.9	Libera lámpara
40	-34.8	13.2	83	343	2.4	Opera lámpara y limita
40	-33.1	13.3	86	500	2.3	Libera lámpara
55	-29.1	13.3	99	519	2.8	Opera lámpara y limita
55	-28.5	13.3	104	542	2.7	Libera lámpara
65	-26.3	13.3	114	587	3.1	Opera lámpara y limita
65	-23.1	13.4	121	660	3	Libera lámpara
69	-24.1	13.3	118	604	3.2	Opera lámpara y limita
69	-24.1	13.4	124	640	3.1	Libera lámpara

5.2.3.2 Compensador de reactivos

Compensador de potencia reactiva.

COMPENSADOR DE POTENCIA REACTIVA.				
POSICIÓN %	Potencia activa (MW).	Potencia reactiva (MVAR)	Voltaje generado (kV)	Observaciones
0	25	5	13.47	Las variaciones de potencia reactiva se efectuaron con una unidad generadora auxiliar.
0	25	4.8	13.5	
10	25	2.9	13.53	
10	25	1.4	13.56	

5.2.4 Pruebas con carga régimen dinámico

5.2.4.1 Respuesta a escalones de reactivos

<i>RESPUESTA A ESCALONES DE REACTIVOS</i>					
Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVAR)	Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación (Vdc).	Corriente de excitación (Adc).	
59	-18	13.72	122	613	INICIAL
59	15	14.7	168	829	MÁXIMO
59	15	14.7	165	829	FINAL
59	15	14.7	168	839	INICIAL
59	-18	13.73	120.6	618	MÁXIMO
59	-18	13.73	123	618	FINAL

La respuesta del RAV a un escalón de potencia reactiva es correcta.

5.2.4.2 Respuesta a perturbaciones de reactivos

Ver gráfica en anexo B.

5.2.4.3 Rechazo de reactivos

Rechazo de potencia reactiva.

Variable	Rechazo 1	Observaciones
Potencia reactiva	30.3	INICIO
Potencia reactiva	0	FINAL
Potencia activa	9	INICIO
Potencia activa	0	FINAL
Voltaje del generador	14.3	INICIO
Voltaje del generador	15.04	DURANTE
Voltaje del generador	14.18	FINAL
Tiempo de estabilización	13.3	
Voltaje de excitación	169	INICIO
Voltaje de excitación	62	DURANTE
Voltaje de excitación	128	FINAL
Corriente de campo	856	INICIO
Corriente de campo	654	DURANTE
Corriente de campo	656	FINAL

Limitador Volts/Hertz.

Se ajusta la operación del limitador al 108% del voltaje generado, ya que la protección de tiempo por sobrevoltaje del generador 59GT esta ajustada al 110% del voltaje generado.

Voltaje generado (kV).	Frecuencia (Hz).	Voltaje de excitación (Vdc).	Corriente de excitación (Ade).	Relación V/Hz.	V/Hz en por unidad.	Observaciones
14.37	57.84	136.34	711.15	0.248444	1.080191	Opera lampara de alarma.
14.2	57	136	714.1	0.249123	1.083143	Opera y limita el V/Hz.
13.95	56.06	137.6	716.3	0.248841	1.081915	Restablece lampara.

Limitador de sobrecitación (OEL).

P (MW)	Q (MVAR)	Voltaje generado (kV)	Voltaje de excitación (Vdc)	Corriente de excitación (Ade)	Corriente del generador (kA)	Observaciones
15	47	14.2	180	964	2.2	Opera lámpara y limita
31	45	14.2	192.5	987	2.17	Opera lámpara y limita
30.4	43	14.2	192.2	973	2.14	Libera lámpara
44	40.5	14.2	192	978	2.4	Opera lámpara y limita
44	36.5	14.1	188	952	2.3	Libera lámpara.
60	33	14.1	191	967	2.8	Opera lámpara y limita.
60	27	14	176	882	2.65	Libera lámpara.
68	30	14.1	192.2	964	3	Opera lámpara y limita
68	25	14	184.3	919	2.9	Libera lámpara.

5.3 CONCLUSIÓN.

Los sistemas de excitación estáticos tradicionales utilizan electrónica analógica para el control del regulador automático de voltaje de sus unidades de generación. La tecnología ha evolucionado de tal forma que la implementación digital de los reguladores automáticos de voltaje es una realidad. Las características expuestas de los reguladores automáticos de voltaje se implementaron utilizando ambas tecnologías, con la finalidad de reducir costos de investigación, pruebas prototipo y cambios repentinos de infraestructura, para ofrecer al mercado un producto que cumple con las diversas especificaciones en corto tiempo.

El gran desarrollo en años pasados de los aparatos de control digital, cambian las decisiones de fabricación y servicio hacia la realización y aplicación de reguladores automáticos de voltaje con tecnología avanzada. Los avances de la tecnología con microprocesador están relacionados con la flexibilidad para encontrar soluciones a las necesidades, la posible implementación de algoritmos avanzados para mejorar la integridad y el rendimiento dinámico de los reguladores automáticos de voltaje, la posibilidad de operación local y remota y el fácil manejo de datos en condiciones de operación normal y falla.

La información presentada en este documento como una aplicación directa de la tecnología de los controladores lógicos programables, debe impulsar a preferir este tipo de solución para el control de nuevas unidades de generación eléctrica y para la modernización de unidades que ya están en operación.

ANEXO A

TABLA 1 COMPONENTES REGULARMENTE UTILIZADOS EN SISTEMAS DE CONTROL DE EXCITACIÓN.

1 Tipo de excitador	2 Elemento primario detección y entrada de referencia	3 Pre- amplificador	4 Amplificador de potencia	5 Control manual	6 Modificadores de señal	7 Fuentes de potencia		8 Estabilizadores de sistemas de excitación	10 Figuras de referencia
Excitador de generador C.D.	Ver nota 1	Ver nota 2	Tiristor magnético rotatorio	Excitador autoexcitado ó separadamente excitado	Ver nota 3	Conjunto M-G	Conjunto M-G	Ver nota 4	Fig. 4 y 5
Excitador alternador-rectificador			Tiristor rotatorio	Entrada compensada al amplificador de potencia		Flecha de máquina síncrona conjunto M-G salida de alternador	Flecha de máquina síncrona		Fig. 6 y 7
Alternador rectificador (excitador controlado)			Tiristor	Salida del regulador de voltaje		Salida de alternador	Flecha de máquina síncrona		Fig. 8
Excitador rectificador compuesto			Tiristor magnético	Auto-excitado		Terminales de máquina síncrona	Terminales de máquina síncrona		Fig. 9

TABLA 1 COMPONENTES REGULARMENTE UTILIZADOS EN SISTEMAS DE CONTROL DE EXCITACIÓN.

1	2	3	4	5	6	7		8	10
Tipo de excitador	Elemento primario de detección y entrada de referencia	Pre-amplificador	Amplificador de potencia	Control manual	Modificadores de señal	Fuentes de potencia		Estabilizadores de sistemas de excitación	Figuras de referencia
Excitador regulador compuesto + excitador de potencia y fuente rectificadora			Tiristor	Entrada compensada al amplificador de potencia		Terminales de máquina síncrona	Terminales de máquina síncrona		Fig. 10
Rectificador potencial fuente (Excitador controlado)			Tiristor	Salida del RAV entrada compensada al amplificador de potencia		Terminales de máquina síncrona	Terminales de máquina síncrona		Fig. 11 y 12

NOTA 1. El elemento de detección primario y la referencia de entrada puede consistir en muchos tipos de circuitos de cualquier sistema, incluyendo amplificadores diferenciales, comparación amplificador-vueltas, impedancia interceptada y circuitos puente.

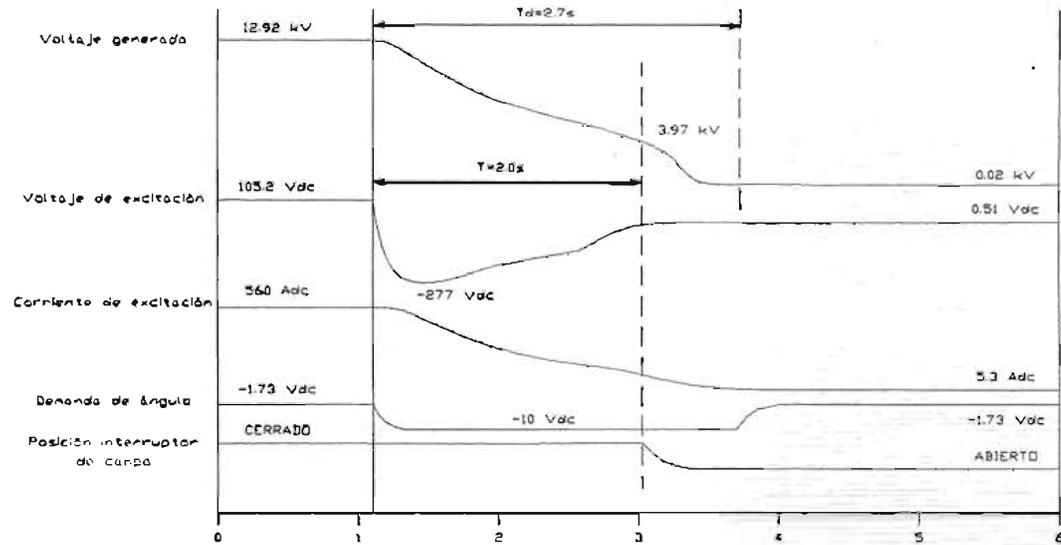
NOTA 2. Pre-amplificador.- Incluye todos los tipos, sin embargo los sistemas modernos usualmente son amplificadores de estado sólido.

NOTA 3. Modificadores de señal (A) entradas auxiliares compensadores de corriente activa y reactiva, sistemas estabilizadores de señales proporcionales a la potencia, frecuencia, velocidad, etc..., (B) Limitadores excitación máxima, excitación mínima, máximo V/Hz.

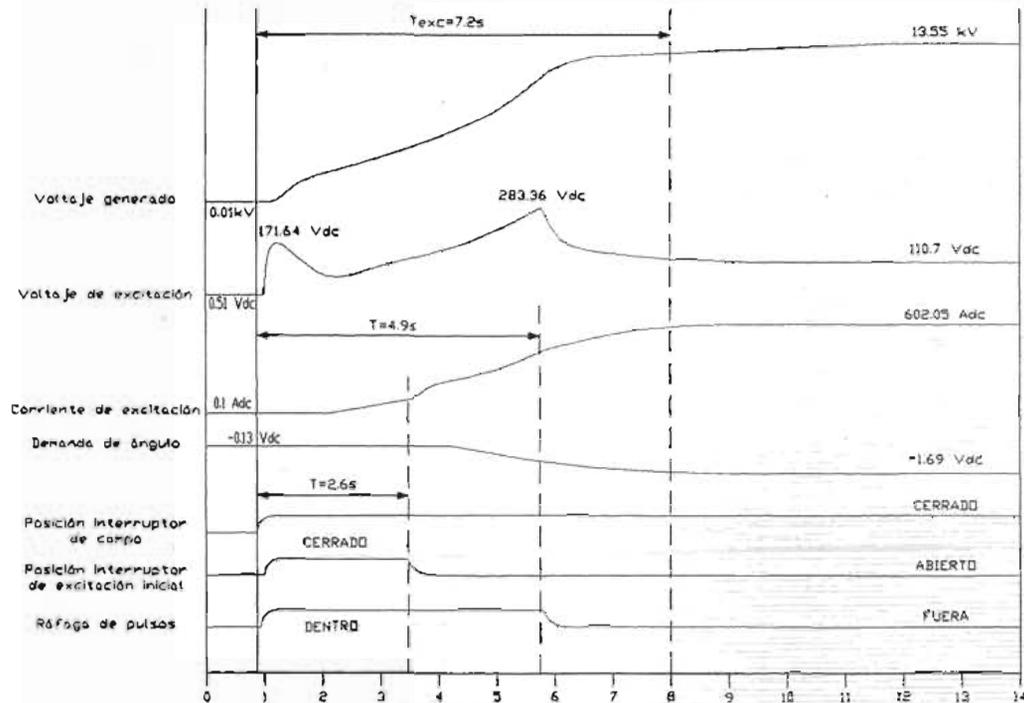
NOTA 4. Estabilizadores de los sistemas de control de excitación: pueden consistir en cualquier tipo de adelanto-atraso o de realimentación alrededor de cualquier elemento de grupo del sistema.

ANEXO B
GRÁFICAS OBTENIDAS DURANTE LAS PRUEBAS

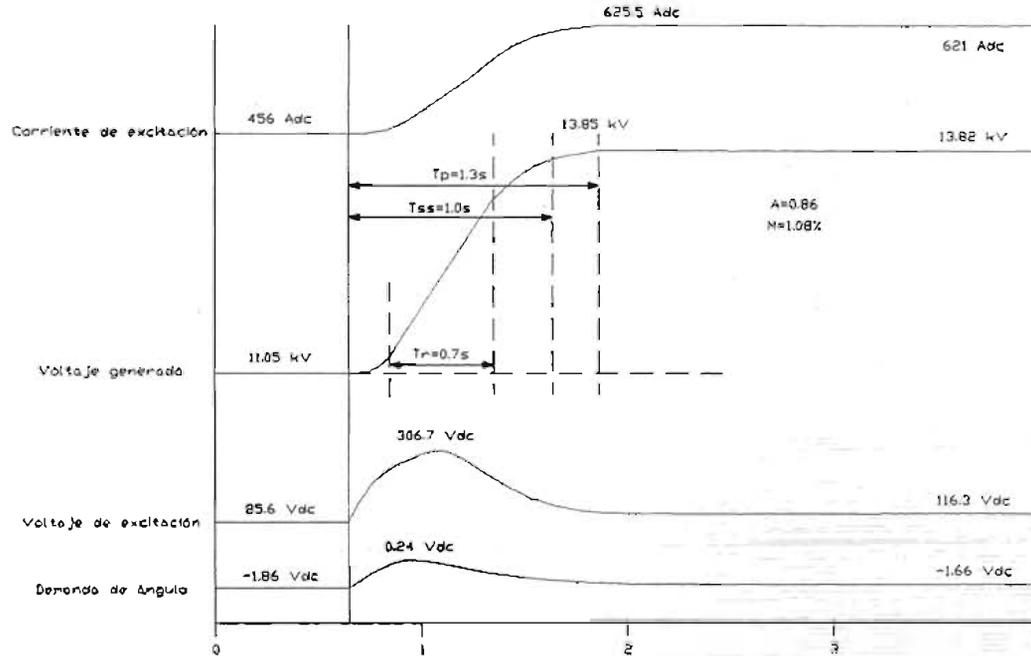
DESEXCITACIÓN EN CANAL AUTOMÁTICO



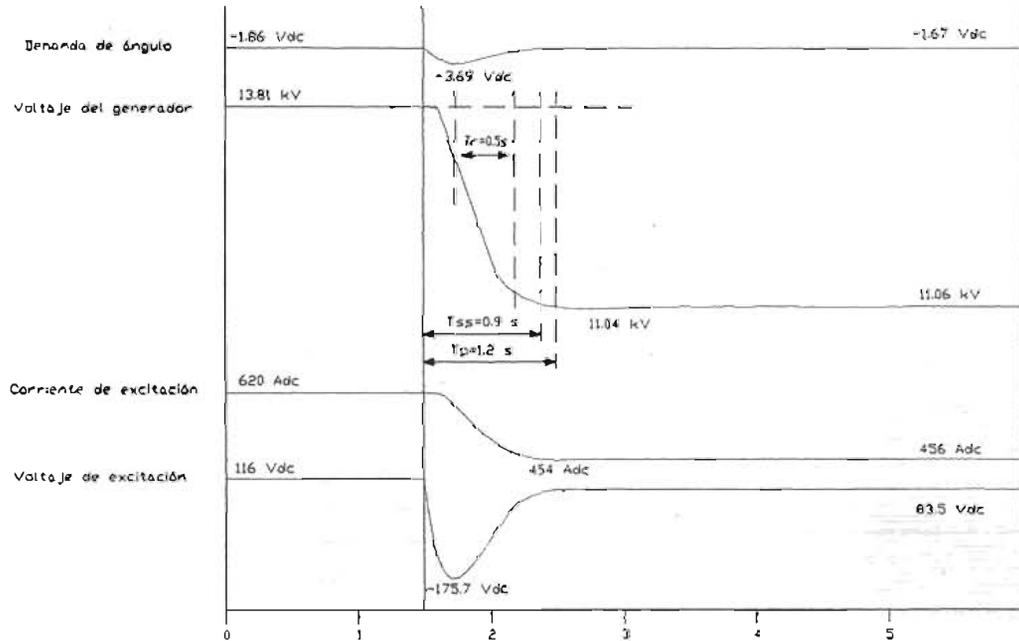
EXCITACIÓN EN CANAL MANUAL



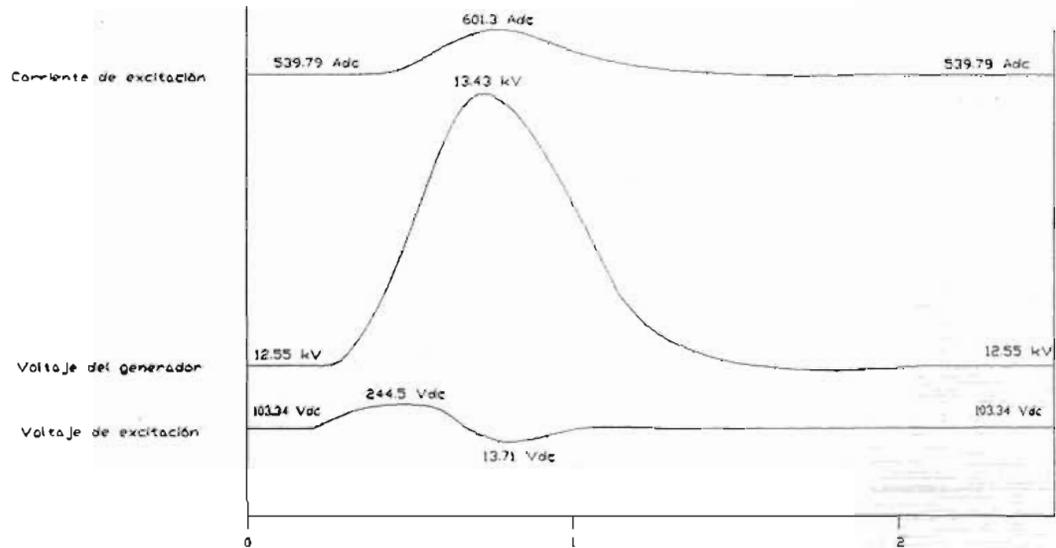
ESCALÓN DE VOLTAJE DEL 20% EN CANAL AUTOMÁTICO



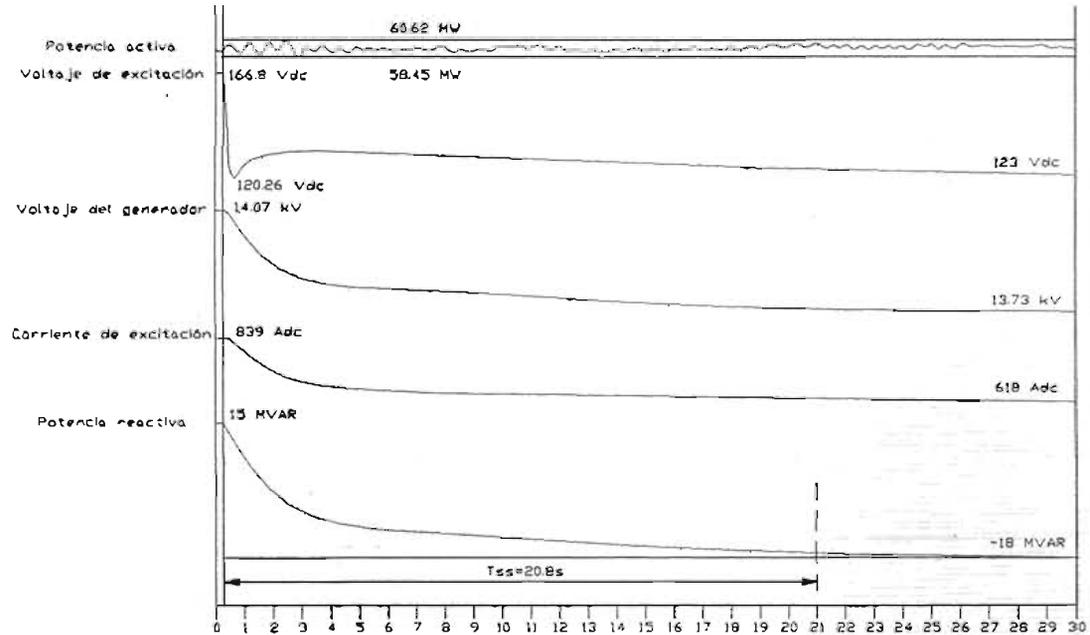
ESCALÓN DE VOLTAJE NEGATIVO DEL 20% EN CANAL AUTOMÁTICO



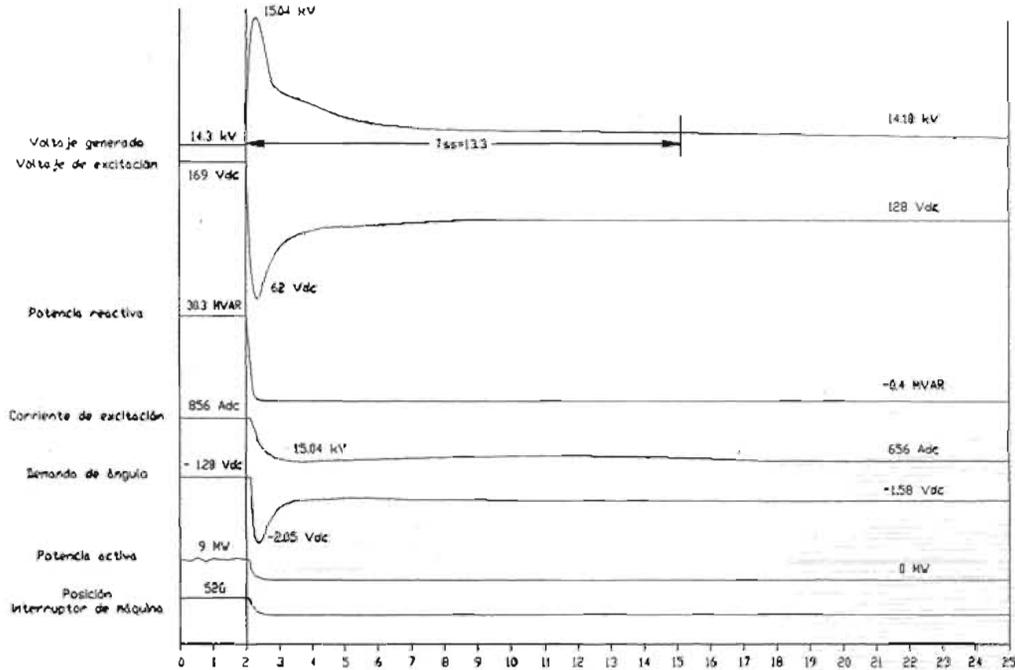
PERTURBACIÓN DE VOLTAJE EN AUTOMÁTICO



ESCALÓN DE POTENCIA REACTIVA NEGATIVO



RECHAZO DE POTENCIA REACTIVA POSITIVA



ANEXO C

ELEMENTOS DE APLICACIÓN

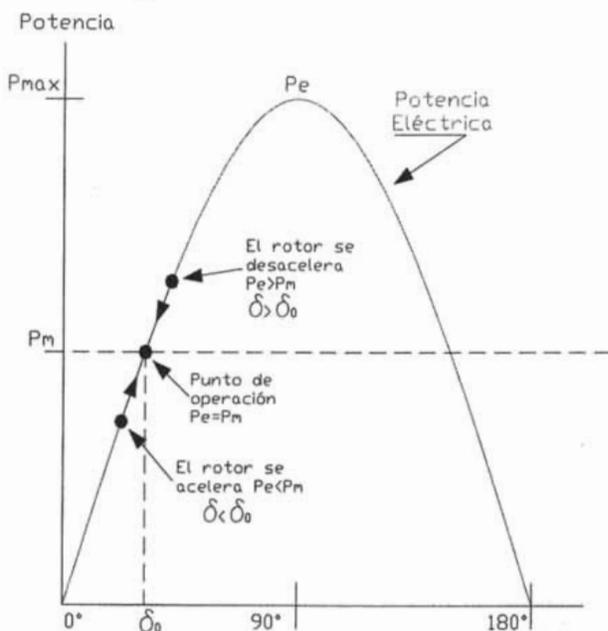
I ESTABILIZADOR DE POTENCIA PSS.

El PLC materializa en su algoritmo las funciones de transferencia que proporcionan el incremento del margen de estabilidad necesario para amortiguar el movimiento del rotor dentro de su campo giratorio.

En este proyecto la variable de entrada al algoritmo del estabilizador de potencia es la señal de potencia activa (Watts) de la unidad. Esta variable hace referencia a la posición física del rotor dentro del campo giratorio.

Esta posición está representada por el ángulo interno de la unidad como se muestra en la siguiente figura:

Curva Potencia-Angulo del generador síncrono



P_e = Potencia eléctrica.

P_m = Potencia mecánica.

δ = Angulo interno.

δ_0 = Angulo interno en condiciones de equilibrio.

Al momento de acelerarse el rotor, se produce una sobreexcitación que tiende a disminuir el ángulo interno.

Al momento de desacelerarse el rotor, se produce una desexcitación que tiende a aumentar el ángulo interno.

La acción del estabilizador de potencia es llevar al ángulo interno a la condición de equilibrio $P_e = P_m$.

Al intentar controlar la posición del rotor en el campo giratorio del estator mediante un lazo de control adicional de regulación de posición, se considera una función de transferencia de segundo orden, una frecuencia natural del rotor de 0.5 Hertz con un factor de amortiguamiento de 0.1 para tener un sistema subamortiguado.

La expresión general de los sistemas de segundo orden es:

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, obtenemos la siguiente función de transferencia del comportamiento del ángulo del rotor:

$$\frac{9.869}{s^2 + 0.628s + 9.869} \dots\dots\dots(A)$$

- Establecimiento del filtro paso-altas.

Se utiliza un filtro paso-altas para eliminar las oscilaciones de baja frecuencia generadas por variaciones de frecuencia en el sistema interconectado, variaciones de frecuencia en un sistema aislado y/o variaciones de carga originados por la turbina. Se selecciona una frecuencia de corte para el filtro de 0.06 Hertz:

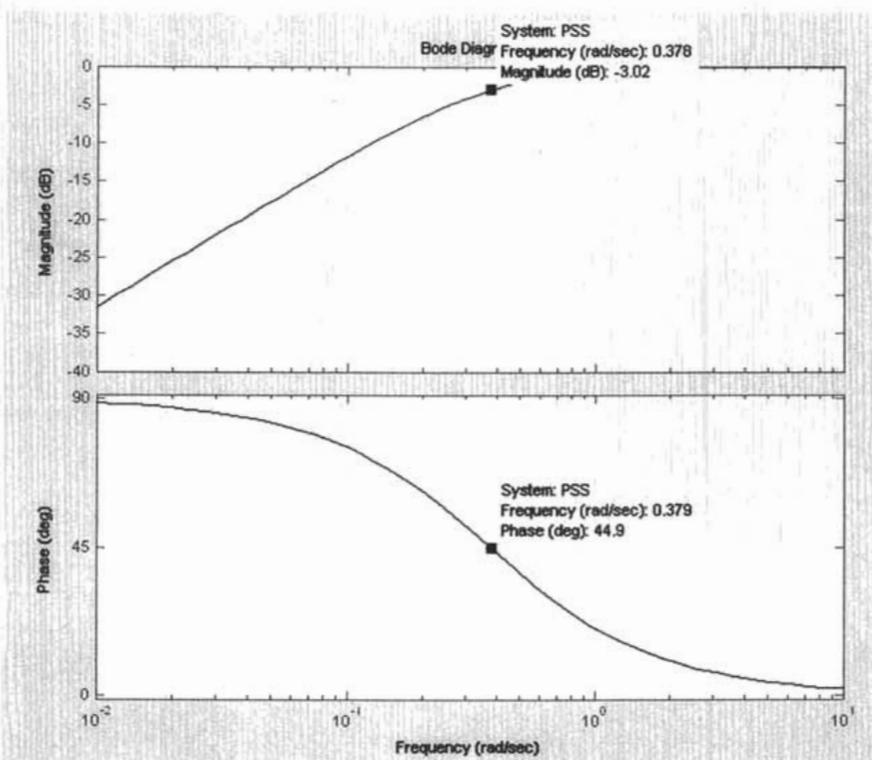
$$f_c = 0.06 \text{ Hertz}$$

$$\omega_c = 0.377 \text{ rad/s}$$

$$T = 2.65 \text{ s}$$

Quedando la función de transferencia como:

$$\frac{2.65S}{(2.65S + 1)} \dots\dots\dots(AA)$$



- Establecimiento del compensador:

El estabilizador de potencia utiliza como método de control un compensador de fase de segundo orden.

Utilizando la respuesta a la frecuencia del compensador, establecemos que la función de transferencia para un compensador de fase de primer orden, cuya expresión es:

$$G(S) = \frac{1 + \alpha TS}{1 + TS} \quad (\alpha > 1) \dots\dots\dots(B)$$

En la respuesta en frecuencia se adiciona un adelanto en la fase del sistema de 90 grados, en el rango de frecuencias $1/\alpha T$ y $1/T$, para analizar el comportamiento, siendo la expresión que determina el máximo ángulo:

$$\text{Sen } \phi = \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$$

Por otro lado el máximo ángulo se encuentra en la frecuencia media cuya expresión es:

$$\omega_n = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$$

En nuestro caso se fijan frecuencias de corte de entre 0.1 y 3 Hertz que es el rango de oscilación del rotor, para poder lograr un ángulo de defasamiento de 70 grados.

$$\omega_{c1} = 0.628 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{c2} = 18.8 \text{ rad/s}$$

Sabemos que:

$$\omega_{c1} = \frac{1}{\alpha T} \dots\dots\dots(C)$$

$$\omega_{c2} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(D)$$

Se despeja T de la ecuación (D)

$$T = \frac{1}{\omega_{c2}} = \frac{1}{18.8} = 0.0532$$

De la ecuación (C) despejamos α y sustituimos el valor de T, quedando:

$$\alpha = \frac{1}{(\omega_{c1})(T)} = \frac{1}{(0.628)(0.0532)} = 29.93$$

Con lo que el máximo ángulo es:

$$\Phi = \text{Sen}^{-1} \frac{28.93}{30.93} = 69.28 \text{ grados.}$$

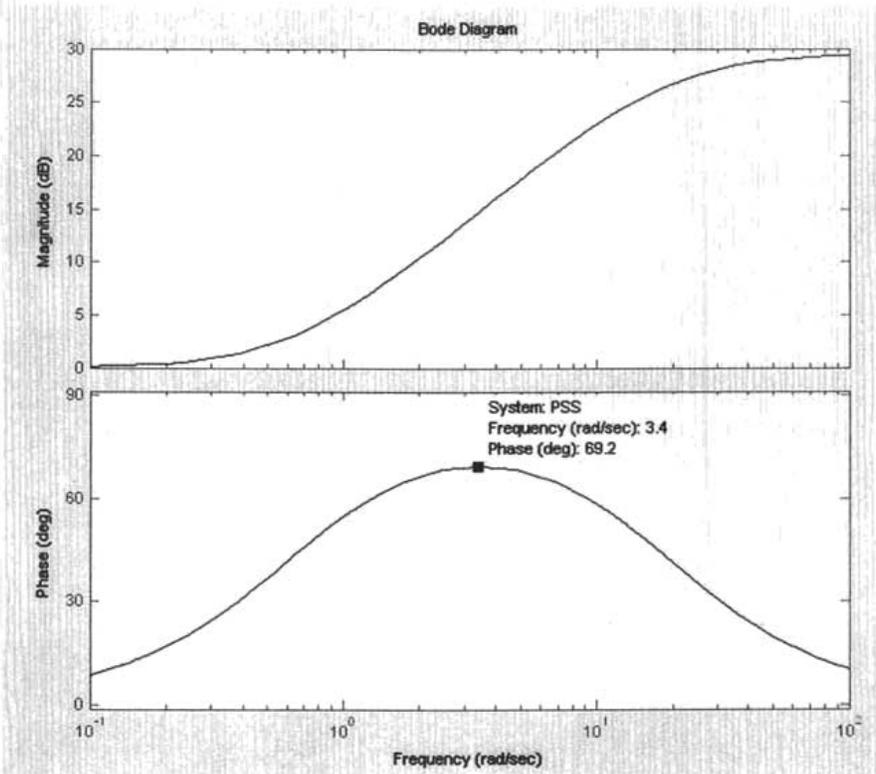
Y la frecuencia media para el máximo ángulo:

$$\omega_n = \frac{1}{0.0532\sqrt{29.93}} = 3.436 \text{ rad/s}$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación (B), queda la función de transferencia del compensador de primer orden como sigue:

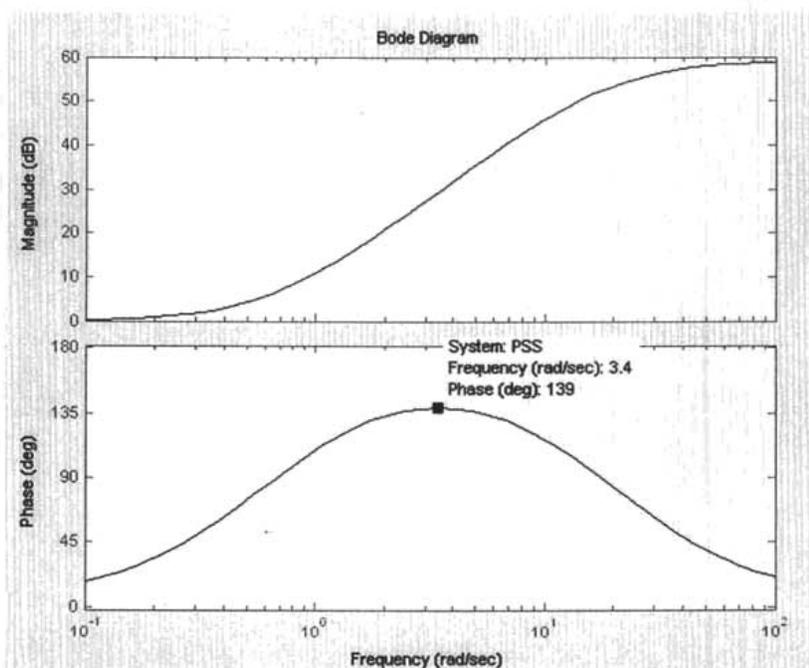
$$G(S) = \frac{1 + 1.59S}{1 + 0.0532S}$$

Con los siguientes diagramas de bode en magnitud y fase:



Como se observa, esta función de transferencia es para un compensador de primer orden capaz de desfasar 69.2 grados. Para que el compensador pueda desfasar 140 grados es necesario un compensador de segundo orden. Se agrega un compensador igual para duplicar el ángulo de desfasamiento, quedando la función de transferencia del compensador como sigue:

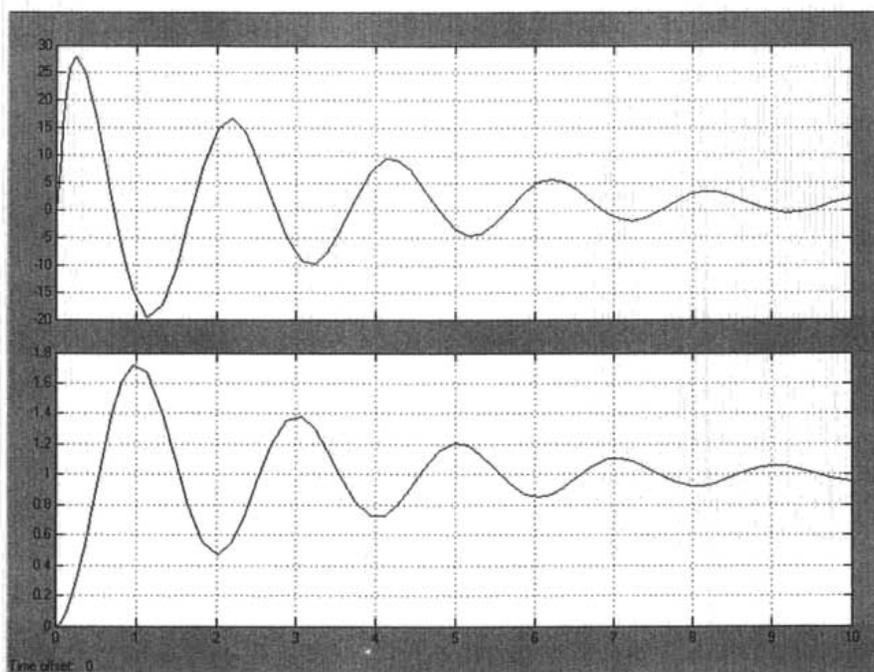
$$G(S) = \frac{(1 + 1.59S)^2}{(1 + 0.0532S)^2} \dots\dots\dots(E)$$



Se verifica el comportamiento de nuestro sistema de segundo orden definido en la ecuación (A) junto con el compensador definido en (E) en lazo abierto a una entrada escalón, quedando de la siguiente forma:

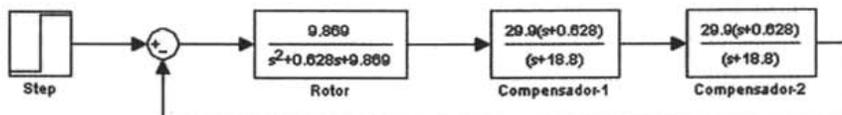


En la siguiente gráfica se muestra la señal de salida de respuesta al escalón en lazo abierto del ángulo interno del rotor (gráfica inferior) y la señal de respuesta al escalón a la salida de los compensadores (gráfica superior):

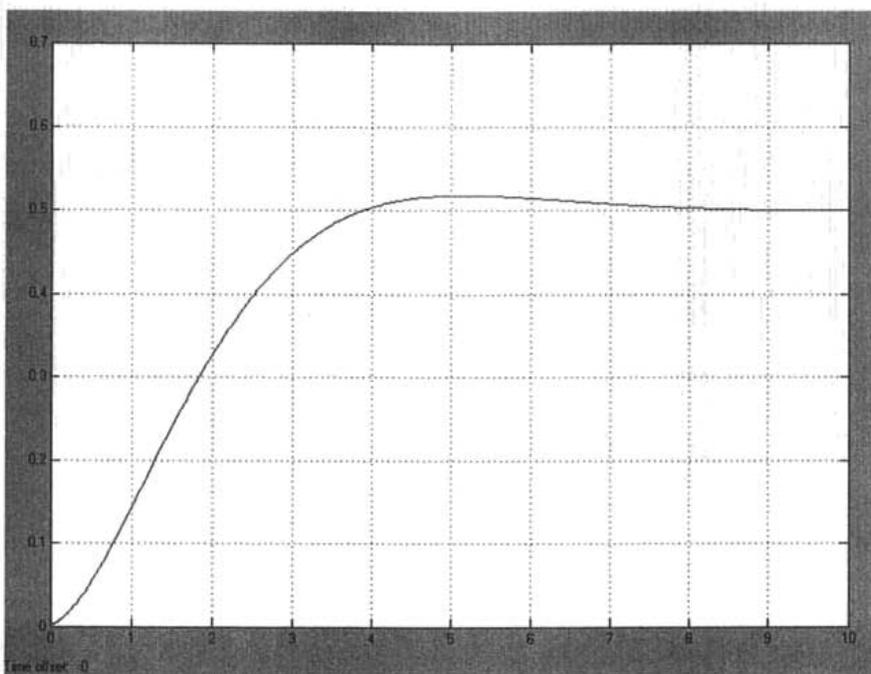


Se puede observar en las dos gráficas anteriores que la salida del compensador está adelantada alrededor de 130 grados, como se había estimado.

Continuando con el análisis se verifica la respuesta de lazo cerrado con la finalidad de verificar que el sistema se vuelve más estable con una entrada escalón unitario como referencia, para lo cual se tiene el siguiente diagrama de bloques:



La siguiente gráfica indica el comportamiento del rotor bajo las condiciones anteriores:

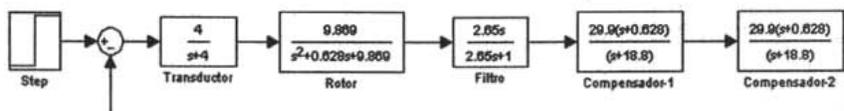


En la gráfica se observa que la salida del sistema es estable, pero no alcanza la referencia del escalón que es de magnitud unitaria.

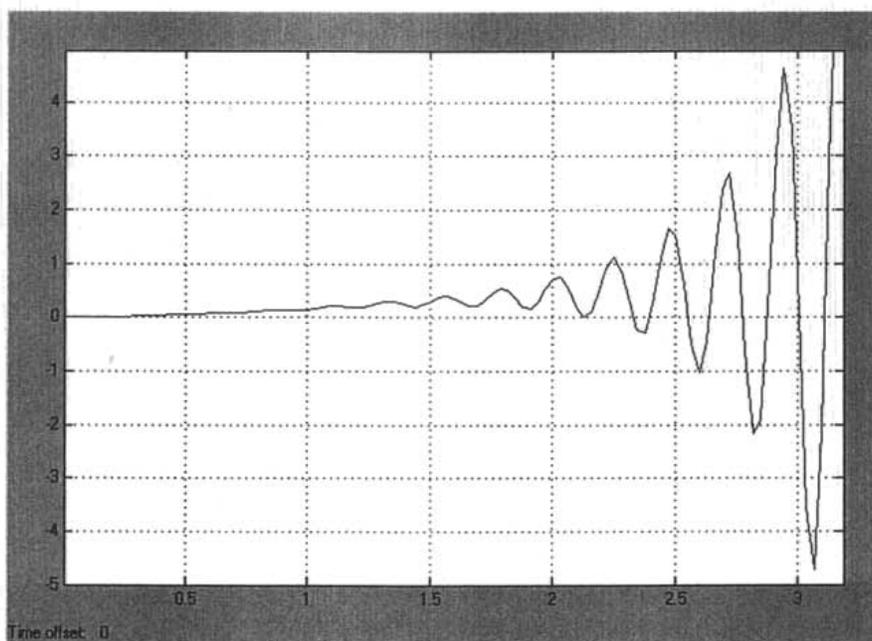
Para encontrar la ganancia óptima incluimos las funciones de transferencia de todos los elementos involucrados en el lazo de control.

Para la adquisición de la señal de Watts se utiliza un transductor que presenta una constante de tiempo de 250ms, este dispositivo se requiere para acondicionar la señal de Watts de los elementos de potencia a los módulos de interfaz del PLC.

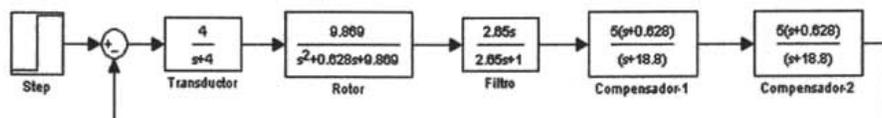
Se incluye además el filtro paso-altas cuya función de transferencia es la indicada en la expresión (AA), quedando el sistema de acuerdo al siguiente diagrama de bloques:



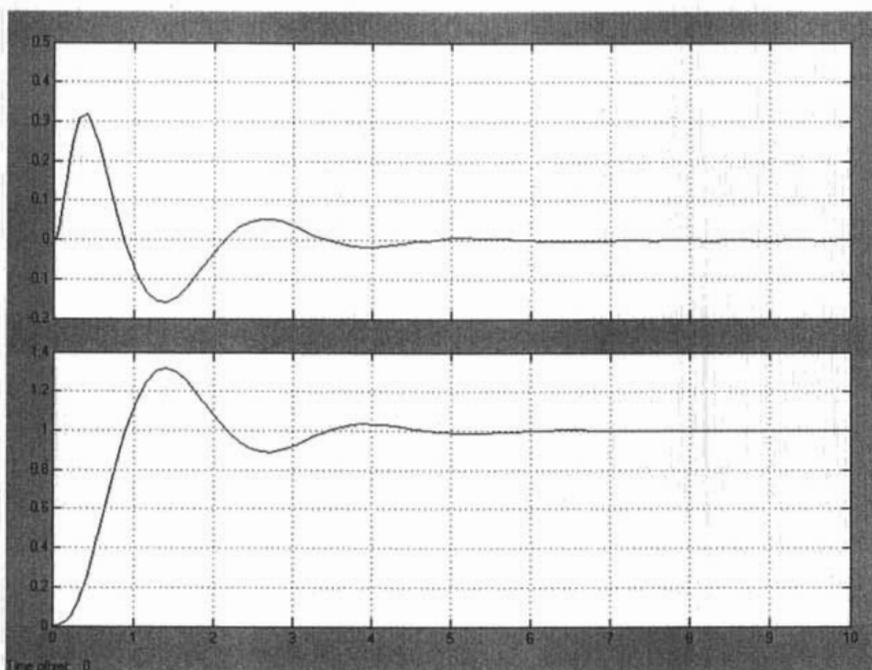
En la siguiente gráfica se observa la señal a la salida del sistema (rotor):



En la gráfica anterior se observa que al añadir el transductor con retraso de tiempo de 250ms y el filtro paso-altos, el sistema se vuelve inestable, para lograr la estabilidad del sistema se reduce la ganancia de los compensadores a la sexta parte, quedando el diagrama a bloques siguiente:



En las siguientes gráficas se muestra la respuesta tanto a la salida de los compensadores como a la salida del sistema.



En las gráficas se puede observar que la salida del rotor (gráfica inferior) se comporta de manera estable con el ajuste de las ganancias de los compensadores.

En la grafica superior, se muestra la señal de salida de los compensadores, donde se observa como, cuando el rotor se acelera (pico de la gráfica inferior), el estabilizador por medio del PLC manda desexcitar (valle de la gráfica superior) el campo del rotor y viceversa.

Con este compensador de fase, se logra una respuesta idónea en la posición del ángulo interno del rotor, quedando su función de transferencia expresada como:

$$G(S) = \frac{25(1.59S+1)^2}{(0.0532S+1)^2}$$

Para fines prácticos se establece una serie de datos tabulados para poder ajustar el estabilizador, con las capacidades de respuesta del PLC.

Para un ángulo de desfase de 100 grados:

FRECUENCIA NATURAL [Hz]	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL COMPENSADOR	AJUSTES EN EL ALGORITMO DEL ESTABILIZADOR	ANCHO DE BANDA [Hz]
0.2	$\frac{(3S+1)^2}{(0.3S+1)^2}$	VAR-141=1280 VAR-140=333 VAR-138=1280 VAR-137=333	0.2 – 1.4
0.4	$\frac{(1.8S+1)^2}{(0.19S+1)^2}$	VAR-141=1212 VAR-140=550 VAR-138=1212 VAR-137=550	0.2 – 1.4
0.6	$\frac{(1.25S+1)^2}{(0.11S+1)^2}$	VAR-141=1455 VAR-140=800 VAR-138=1455 VAR-137=800	0.4 – 1.8
0.8	$\frac{(0.7S+1)^2}{(0.08S+1)^2}$	VAR-141=1120 VAR-140=1420 VAR-138=1120 VAR-137=1420	0.5 - 2
1.0	$\frac{(0.65S+1)^2}{(0.05S+1)^2}$	VAR-141=1664 VAR-140=1538 VAR-138=1664 VAR-137=1538	0.6 – 2.5
1.2	$\frac{(0.5S+1)^2}{(0.45S+1)^2}$	VAR-141=142 VAR-140=2000 VAR-138=142 VAR-137=2000	0.7 – 3
1.4	$\frac{(0.38S+1)^2}{(0.018S+1)^2}$	VAR-141=2702 VAR-140=2630 VAR-138=2702 VAR-137=2630	1.1 - 3
1.6	$\frac{(0.38S+1)^2}{(0.024S+1)^2}$	VAR-141=2026 VAR-140=2631 VAR-138=2026 VAR-137=2631	1.2 - 3

Para un ángulo de desfase de 120 grados:

FRECUENCIA NATURAL [Hz]	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL COMPENSADOR	AJUSTES EN EL ALGORITMO DEL ESTABILIZADOR	ANCHO DE BANDA [Hz]
0.2	$\frac{(3.2S+1)^2}{(0.2S+1)^2}$	VAR-141=2048 VAR-140=312 VAR-138=2048 VAR-137=312	0.2 - 1.5
0.4	$\frac{(1.6S+1)^2}{(0.1S+1)^2}$	VAR-141=2048 VAR-140=625 VAR-138=2048 VAR-137=625	0.2 - 1.5
0.6	$\frac{(1.7S+1)^2}{(0.08S+1)^2}$	VAR-141=2720 VAR-140=580 VAR-138=2720 VAR-137=580	0.5 - 1.9
0.8	$\frac{(S+1)^2}{(0.06S+1)^2}$	VAR-141=2133 VAR-140=1000 VAR-138=2133 VAR-137=1000	0.6 - 2.1
1.0	$\frac{(0.73S+1)^2}{(0.038S+1)^2}$	VAR-141=2986 VAR-140=1269 VAR-138=2986 VAR-137=1269	0.6 - 2.8
1.2	$\frac{(0.5S+1)^2}{(0.024S+1)^2}$	VAR-141=2666 VAR-140=2000 VAR-138=2666 VAR-137=2000	0.9 - 3
1.4	$\frac{(0.79S+1)^2}{(0.023S+1)^2}$	VAR-141=4396 VAR-140=1265 VAR-138=4306 VAR-137=1265	1.2 - 3

Para un ángulo de desfase de 140 grados:

FRECUENCIA NATURAL [Hz]	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL COMPENSADOR	AJUSTES EN EL ALGORITMO DEL ESTABILIZADOR	ANCHO DE BANDA [Hz]
0.2	$\frac{(4.16S+1)^2}{(0.11S+1)^2}$	VAR-141=4840 VAR-140=240 VAR-138=4840 VAR-137=240	0.2 – 0.9
0.4	$\frac{(2S+1)^2}{(0.10S+1)^2}$	VAR-141=2327 VAR-140=500 VAR-138=2327 VAR-137=500	0.4 – 1.7
0.6	$\frac{(1.6S+1)^2}{(0.6S+1)^2}$	VAR-141=3414 VAR-140=625 VAR-138=3414 VAR-137=625	0.6 – 2
0.8	$\frac{(0.9S+1)^2}{(0.04S+1)^2}$	VAR-141=2880 VAR-140=1111 VAR-138=2880 VAR-137=1111	0.7 – 2.5
1.0	$\frac{(S+1)^2}{(0.038S+1)^2}$	VAR-141=3368 VAR-140=1000 VAR-138=3368 VAR-137=1000	0.7 – 3
1.2	$\frac{(0.45S+1)^2}{(0.024S+1)^2}$	VAR-141=2432 VAR-140=2222 VAR-138=2432 VAR-137=2222	1 – 3.5
1.4	$\frac{(0.83S+1)^2}{(0.02S+1)^2}$	VAR-141=5312 VAR-140=1204 VAR-138=5312 VAR-137=1204	1.1 – 3

En el plano PF11010U10 hoja 4, se verifica el algoritmo del estabilizador de potencia PSS programado en el PLC.

El módulo SIMLAG-00 junto con el DIFTERM-00, forman el filtro paso-altas, el SIMLAG-01, SIMLAG-02 y el OPAMP-03, forman el primer compensador, el SIMLAG-03, SIMLAG-04 y el OPAMP-04, forman el segundo compensador de fase.

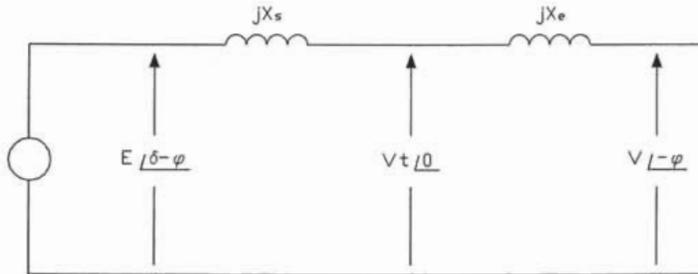
Todos los elementos mencionados, involucrados con el estabilizador son externos a la programación.

II CURVAS LÍMITE PARA ESTABILIDAD ESTÁTICA.

Considerando un generador síncrono con reactancia síncrona X_s conectada a un bus infinito de voltaje V , por medio de la reactancia X_e , como se observa en siguiente figura, se determinan las relaciones entre la potencia activa (P), la potencia reactiva (Q), el voltaje en terminales de la máquina (V_t), y el ángulo interno (δ), quedando la siguiente expresión:

$$\left[P + \frac{V_t^2 X_t}{2X_s X_e \tan \delta} \right]^2 + \left[Q - \frac{V_t^2 (X_s - X_e)}{2X_s X_e} \right]^2 = \left[\frac{V_t^2 X_t}{2X_s X_e \sin \delta} \right]^2 \dots\dots\dots(g.1)$$

Circuito equivalente para una máquina síncrona conectada por medio de una red externa a un bus infinito.



La expresión anterior indica que el comportamiento de P y Q realizado por la máquina, es un círculo con centro en (P_0, Q_0) y radio R_0 , donde:

$$P_0 = \frac{-V_t^2 X_t}{2X_s X_e \tan \delta}$$

$$Q_0 = \frac{V_t^2}{2} \left[\frac{1}{X_e} - \frac{1}{X_s} \right]$$

provocar que sobrepase la curva límite de estabilidad estática ocasionando la pérdida de sincronismo de la máquina.

El algoritmo programado en el PLC del canal automático, como se puede apreciar en el plano PF11010U10, número de hoja 2, limita la demanda de ángulo a un valor fijo, que se calcula en base a la curva límite de estabilidad estática.

Señales de entrada al algoritmo limitador MEL (limitador de mínima excitación):

- Voltaje en terminales del generador (TP's) LDI-03.
- Potencia activa LDI-01.
- Potencia reactiva LDI-02.

Signo de las señales de entrada:

SEÑAL	POLARIDAD
Voltaje en terminales del generador	Positiva.
Potencia activa	Negativa como motor. Positiva como generador.
Potencia reactiva	Negativa con reactivos entrando. Positiva con reactivos saliendo.

Para la obtención de V_t^2 : La entrada de la señal de voltaje en terminales pasa a través del módulo SQ-01 donde se eleva al cuadrado.

Para la obtención del radio de operación actual, de acuerdo a la figura L.1, tenemos que el radio limitante esta dado por la expresión:

$$R = \frac{V_t^2}{2} \left[\frac{1}{X_s} + \frac{1}{X_e} \right]$$

Se define una constante K1 quedando como:

$$K1 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{X_s} + \frac{1}{X_e} \right]$$

Por que R queda definido como:

$$R = K1 V_t^2$$

En el módulo MULT-00 por medio de la VAR-154, podemos ajustar nuestra ganancia K1 de tal forma que:

$$\text{VAR-154} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{X_s} + \frac{1}{X_e} \right]$$

Teniendo a la salida del módulo MULT-00 la magnitud del radio limitante TP-149:

$$R = \text{VAR-154} V_t^2$$

Para la obtención del centro, sabemos que esta dado por:

$$C = \frac{V_t^2}{2} \left[\frac{1}{X_e} - \frac{1}{X_s} \right]$$

Donde podemos determinar que:

$$C = K2 V_t^2$$

Donde:

$$K2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{X_e} - \frac{1}{X_s} \right]$$

En el módulo MULT-01, llega la salida del módulo SQ-01 y se verá amplificada por la VAR-153 = K2, obteniéndose así, a la salida del MULT-01 la señal $C = \text{VAR-153} V_t^2$.

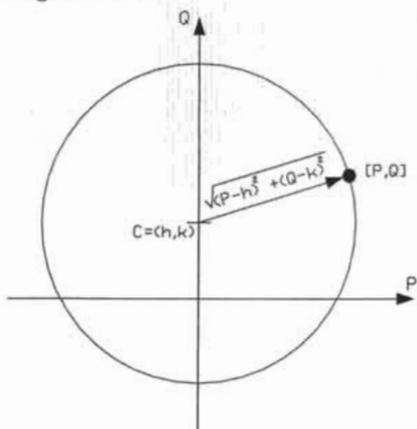
Con esto se establece la curva limite para la estabilidad síncrona del generador dentro del algoritmo del PLC.

Para el cálculo del radio actual de operación del generador, se establecen las siguientes consideraciones:

Sabemos del análisis anterior que el centro de la curva que traza el limitador se encuentra sobre el eje Q de las ordenadas, pudiendo definir a la circunferencia con centro C y radio $R > 0$ utilizando la expresión para el cálculo de la distancia entre dos puntos:

$$R = \sqrt{(P-h)^2 + (Q-k)^2} \quad \text{ver figura L.2}$$

Figura L.2



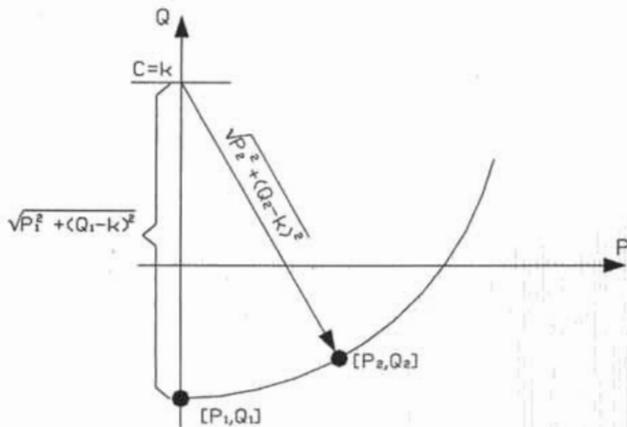
Dados dos puntos conocidos de la circunferencia se establece que:

$$P_1^2 + (Q_1-k)^2 = R^2 \dots\dots\dots(g.2)$$

$$P_2^2 + (Q_2-k)^2 = R^2 \dots\dots\dots(g.3)$$

Ver figura L.3

Figura L.3



Despejando R de (g.2):

$$(Q_1 - k)^2 = R^2$$

$$R = Q_1 - k \quad \dots\dots\dots(g.4)$$

Sustituyendo R en (g.3) y despejando k:

$$P_2^2 + (Q_2 - k)^2 = (Q_1 - k)^2$$

$$k = \frac{P_2^2 + Q_2^2 - Q_1^2}{2(Q_2 - Q_1)} \quad \dots\dots\dots(g.5)$$

Para que en los algoritmos de los limitadores los signos de las palabras digitales sean iguales al los correspondientes a las señales del modelo analógico hacemos $k = -k$ por tanto:

Sustituyendo $k = -k$ en la expresión (g.4) tenemos que:

$$R = k + Q_1 \quad \dots\dots\dots(g.6)$$

Sustituyendo $k = -k$ en la expresión (g.5) tenemos que:

$$k = \frac{P_2^2 + Q_2^2 - Q_1^2}{2(Q_1 - Q_2)} \quad \dots\dots\dots(g.7)$$

Consecuentemente la expresión para el cálculo del radio queda:

$$R = \sqrt{(k + Q_1)^2 + P_1^2} \quad \dots\dots\dots(g.8)$$

Las expresiones (g.6, 7 y 8) son programadas en el PLC con el fin de verificar el valor del radio actual de operación del generador síncrono.

La señal de potencia reactiva se ajusta en el transductor de Watts/Vars para una salida de 5 volts para 1 pu de potencia nominal del generador en la salida correspondiente a los VAR's y se aplica con la polaridad mencionada anteriormente.

El uso del MULT-02 nos permite obtener una señal de potencia reactiva escalada de la señal que proviene de la variable LDI-02, la señal de salida de este módulo se puede monitorear en el TP-147.

El módulo sumador SUMC-02 suma las palabras digitales que representan la magnitud del centro y de la potencia reactiva.

El tratamiento del valor de potencia activa se realiza por medio del módulo MULT-03, que permite escalar la señal de potencia activa a través de ajuste de la ganancia del módulo MULT-03 que es la VAR-151, para el correcto manejo interno en el algoritmo de la señal de potencia activa.

A la salida del SUMC-02 se tiene el valor de la suma del centro actual con la potencia reactiva actual, y a la salida del MULT-03, se tiene el valor de la potencia activa actual, para encontrar el valor del radio de operación actual, estos datos se elevan al cuadrado por medio de los módulos SQ-02 y SQ-03, se suman con el módulo SUMC-03 y finalmente se extrae la raíz cuadrada con el módulo SQR-01, cuya salida es la magnitud del radio de operación actual del generador síncrono.

En la siguiente página se observa la curva de capacidad de un generador General Electric de 29.6 MVA, se procederá a calcular la curva límite de estabilidad para el ajuste del algoritmo del MEL.

Se establece que el p.u. interno del algoritmo del limitador es 3096 cuentas, para el caso de los registros internos del PLC en formato entero con signo, podemos variar el valor en cuentas de -32768 hasta 32767, pues son datos que emplean posiciones de memoria de 16 bits.

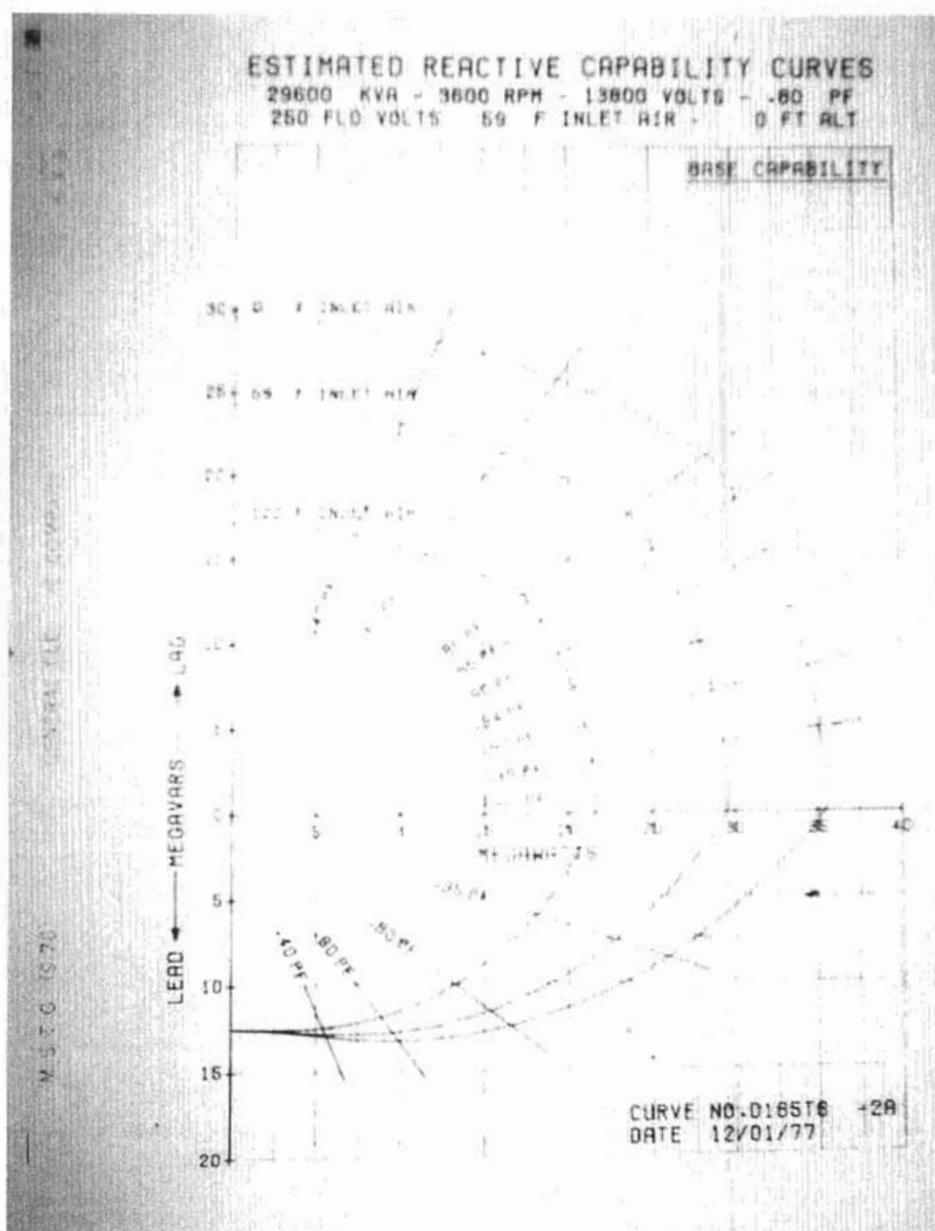
La gráfica de la siguiente página muestra únicamente las curvas de capacidad para cero grados centígrados (32 °F), 15 °C (59 °F) y 48.8 °C (120 °F), en este caso el generador esta operando a una temperatura de 42 °C máxima, en la practica se aproxima esta curva considerando una relación lineal entre las curvas de la gráfica donde se encuentra comprendida la curva de capacidad a 42 °C (107.6 °F). Con esta consideración se obtiene de acuerdo a la grafica que la curva de capacidad corta el eje de las abscisas en 24.2 MW, y el eje de las ordenadas en -12.5 MVAR, la curva del MEL se establece 10% arriba de la curva de capacidad del generador por tanto:

$$24.2 - 2.42 = 21.78 \text{ MW}$$

$$-12.5 - (-1.25) = 11.25 \text{ MVAR}$$

Utilizando la expresión (g.7) obtenemos el valor del centro sobre el eje de las ordenadas:

$$k = \frac{(21.78)^2 + (0)^2 - (-11.25)^2}{2((-11.25 - 0))} = \frac{347.8}{-22.5} = -15.46 \text{ MVAR}$$



Utilizando la expresión (g.6) obtenemos la magnitud del radio:

$$R = \sqrt{[-15.46 + (-11.25)]^2} = 26.71$$

Se considera 1 pu de potencia reactiva = 29.6 MVA = 3096 cuentas

Se considera 1 pu de potencia reactiva = 29.6 MVAR = 3096 cuentas

Se considera 1 pu de potencia activa = 29.6 MW = 3096 cuentas

$$R = 0.902 \text{ pu} = 2792 \text{ cuentas}$$

$$k = -0.522 \text{ pu} = -1617 \text{ cuentas}$$

Estos valores calculados para el centro (k) y el radio (R) son los valores que se ajustan en el algoritmo del PLC para el trazo de la curva del MEL.

III CONTROL DEL PUENTE RECTIFICADOR (CONVERTIDOR)

Tomando la base del puente trifásico totalmente controlado, en la figura C.1 se muestra el caso de la operación como rectificador para un ángulo de retardo $\alpha = 0^\circ$ eléctricos; el área sombreada representa el área tiempo voltaje que se aplica al campo del generador. Un puente de diodos puede considerarse como el caso especial de la operación de un puente de tiristores, con un ángulo de accionamiento $\alpha = 0^\circ$ eléctricos.

Con la conexión del puente trifásico la corriente es conducida siempre simultáneamente por dos tiristores. Cada tiristor en su condición de operación por un tiempo de $2\pi/3 = 120^\circ$ eléctricos. La inductancia del campo es tan grande que la corriente de campo está libre prácticamente de ondulaciones. La figura C.1 muestra claramente que para poner en operación el puente, dos de los tiristores deben accionar simultáneamente.

Observando con un osciloscopio el voltaje de campo se observará aproximadamente, la curva representada en la figura C.2, como se puede notar, se producen 6 impulsos (paso de energía hacia la carga) por ciclo.

El valor medio del voltaje de campo U_{fm} (Valor medio del voltaje directo) es el valor medio lineal del área sombreada. Para cargas inductivas, como en nuestro caso particular, los cálculos dan la siguiente relación entre el ángulo de accionamiento α y U_f :

$U_f(\alpha) = U_{fo} \cos \alpha$; donde U_{fo} representa el valor medio teórico para un ángulo de accionamiento $\alpha = 0$, denominado voltaje ideal en vacío.

Este valor para el puente rectificador trifásico es: $U_{fo} = 1.35 U_{sec}$, donde U_{sec} es el voltaje entre fases del secundario del transformador de excitación.

Si se aumenta α , se utilizan otros sectores de las curvas senoidales, y el voltaje U_f asume otras formas. En la figura C.3 se muestran los arcos tiempo-voltaje correspondientes a un intervalo de 90° eléctricos. Para $\alpha = 90^\circ$, las áreas achuradas positivas y negativas son iguales, es decir, el voltaje de campo U_{fm} llega a ser cero.

El rango de trabajo $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ se conoce como operación rectificadora. Se caracteriza por su valor medio de voltaje de CD U_{fm} positivo. En este rango de trabajo la energía fluye de fuente de alimentación hacia el campo. Si se incrementa α de 90° a 180° , las áreas negativas tiempo-voltaje U_f llegan a predominar cada vez más, correspondiéndole un valor medio de U_{fm} negativo. Ver figura C.4.

Este caso no es posible en la condición permanente de operación, ya que como resultado de la acción de bloqueo de los tiristores, la corriente de campo no debe invertir su dirección.

El accionamiento de los tiristores tiene lugar tan tarde, que durante la total o mayor parte de los periodos activos, el área de voltaje es negativo. El voltaje negativo U_{fm} resultante causa una disminución de flujo, es decir de excitación. La inductancia de campo L_f sin embargo envía como antes una corriente I_f a través del circuito de excitación, la cual, aunque disminuida, es todavía positiva.

Como resultado las corrientes y los voltajes en el transformador tienen direcciones contrarias, lo cual quiere decir que una parte de la energía almacenada en el campo, es regresada a la fuente de alimentación. La otra parte de la energía del campo se convierte en calor en la resistencia R_f . Esta conclusión se conoce como operación inversora y se mantiene hasta que la corriente I_f llega a cero. Entonces el voltaje de campo negativo se abate y aparecen voltajes negativos como voltajes de bloqueo de los tiristores.

Resumiendo lo anterior se establece que:

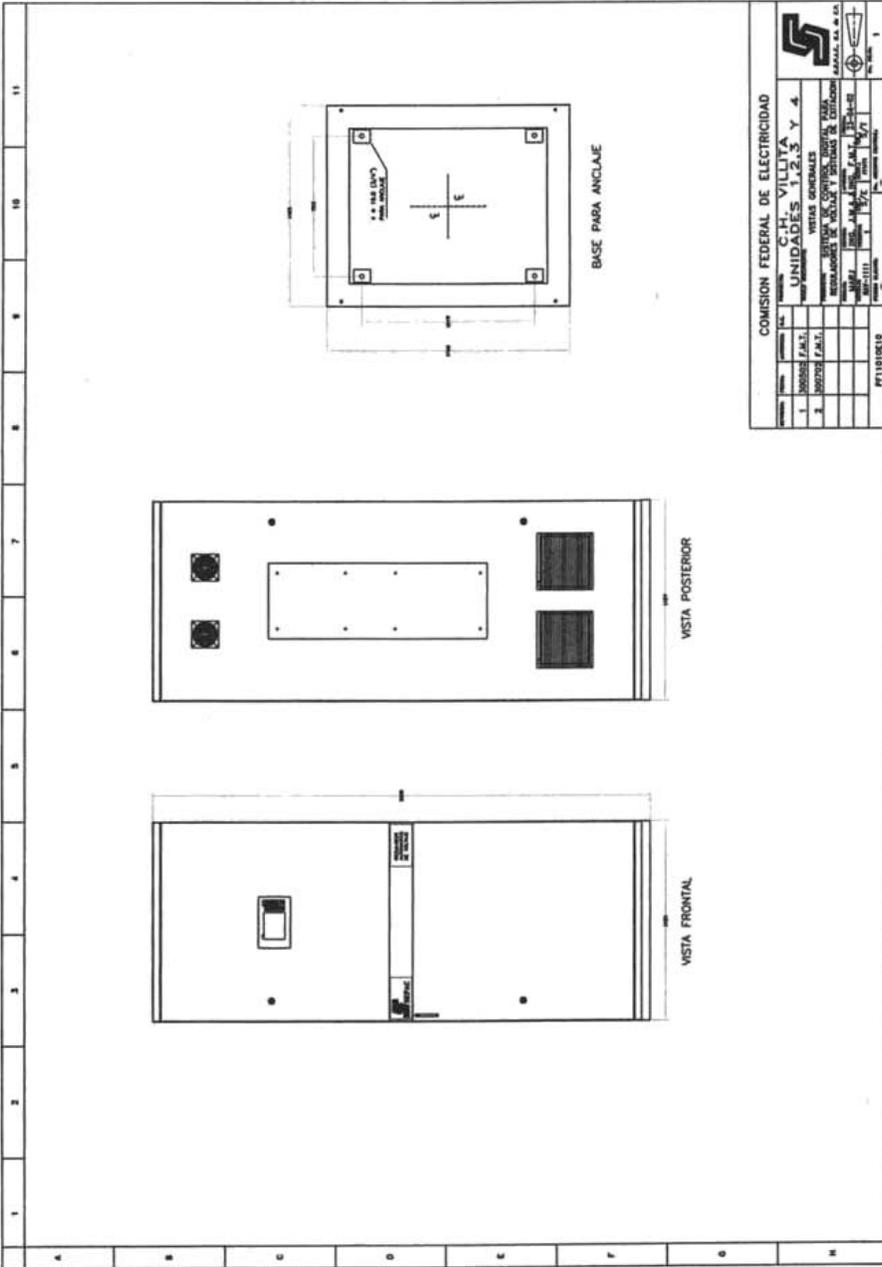
- Para $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ se tiene formación del campo o excitación constante positiva.
- Para $\alpha = 90^\circ$ se tiene cero excitación.
- Para $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ se tiene reducción del voltaje de campo hasta cero excitación.

De esta manera variando el ángulo de accionamiento α , desde el regulador automático de voltaje, se puede controlar la corriente de excitación.

El PLC para el control de la demanda de ángulo utiliza palabras de 16 bits en formato entero con signo, el módulo de interfaz de salidas analógicas entrega para valores de -32768 hasta $+32767$ un voltaje de salida de ± 10 Vcd.

Para nuestro caso establecemos los ángulos de disparo de los tiristores de acuerdo a la siguiente tabla:

α	Voltaje de entrada de demanda de ángulo al generador de pulsos [Vcd]	No. De cuentas
0°	0	0
90°	-5	-5000
180°	-10	-10000



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	
C.H. VILLITA	
UNIDADES 1.2.3 Y 4	
VISTAS GENERALES	
REGULACION DE VOLTAJE Y FRECUENCIA DE CORRIENTE	
C.A.M.A.S. S. DE C.V.	
CALLE 107 No. 107-107	
C.P. 06000	
TEL. (52) 55 53 11 11	
FAX (52) 55 53 11 11	
E-MAIL: c.h.villita@cfed.com.mx	
WWW: www.cfed.com.mx	
PROYECTO: 11010010	
FECHA: 11/01/03	
DISEÑADOR: J. GARCIA	
REVISOR: J. GARCIA	
AUTORIZADO: J. GARCIA	
APROBADO: J. GARCIA	
Escala: 1/1	
Hoja: 1	

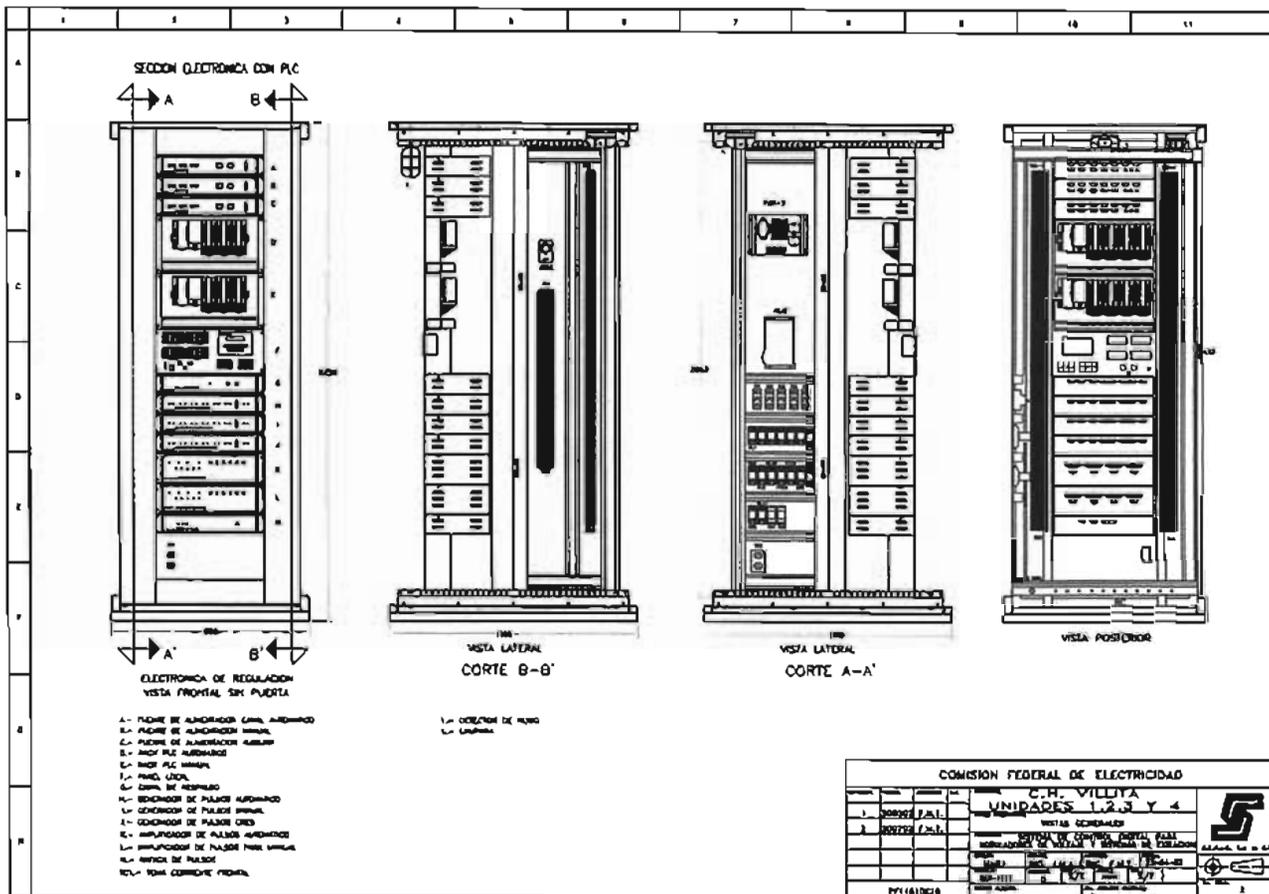
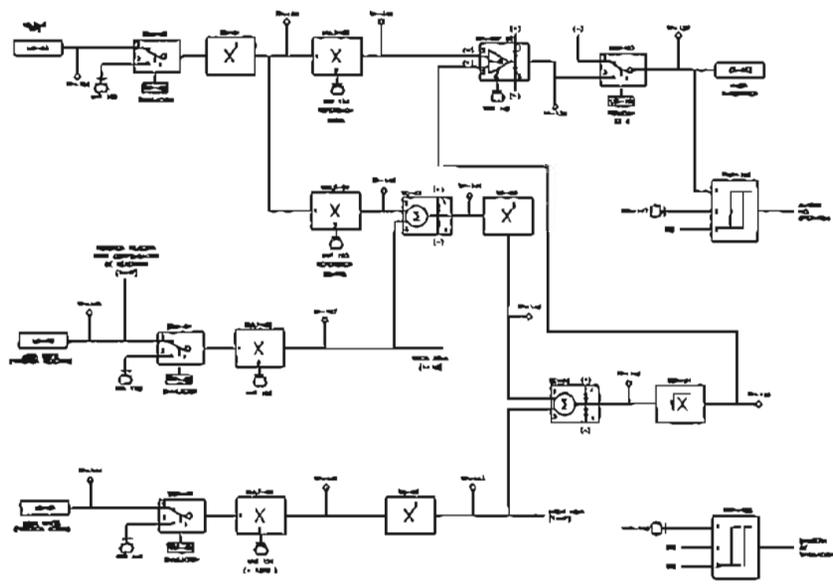
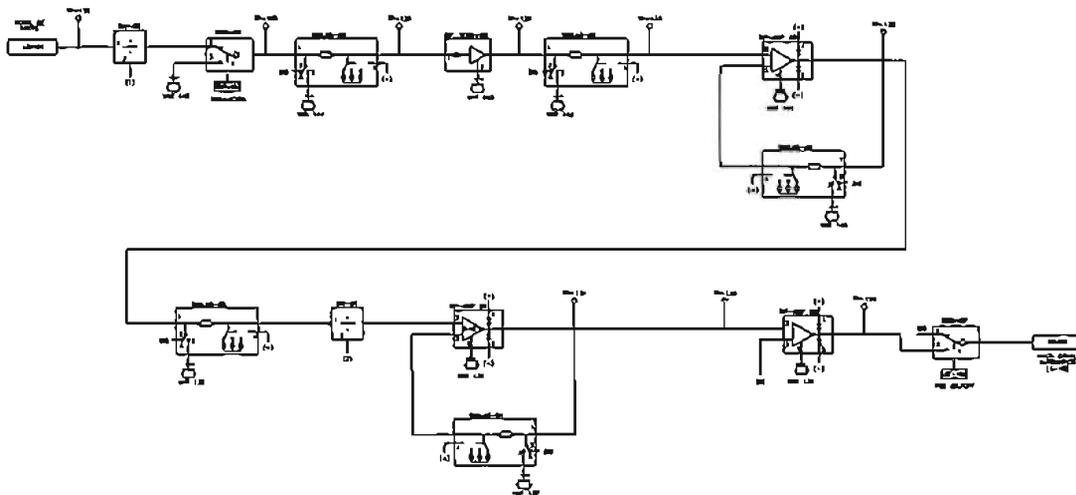


DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL ALGORITMO DEL LIMITADOR DE MINIMA EXITACION (MEL)



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD			
Numero	Titulo	Revision	Fecha
1	Diagrama	F.M.E.	
1	Diagrama	F.M.E.	
C.F. VILCAYA UNIDADES 1, 2, 3 Y 4 LIMITADOR DE MINIMA EXITACION			
CONTROL ORBITAL PARA REDES DE EXCITACION			
ALAMBA S.A. S.A. SUCURSAL C.F. VILCAYA Av. Bolívar 1000 - P.O. Box 1000 - Vilcaya, Peru			
PFT1810/18		11018/03	

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL ALGORITMO DEL ESTABILIZADOR DE POTENCIA (PSS)



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD			
UNIDAD	PROYECTO	FECHA	ESCALA
1	ESTABILIZADOR DE POTENCIA (P.S.S.)		
2	ESTABILIZADOR DE POTENCIA (P.S.S.)		
CONTROL DIGITAL PARA SISTEMAS DE ENERGIAS			
PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	
PROYECTISTA	REVISOR	APROBADO	
PSS-1000/010			



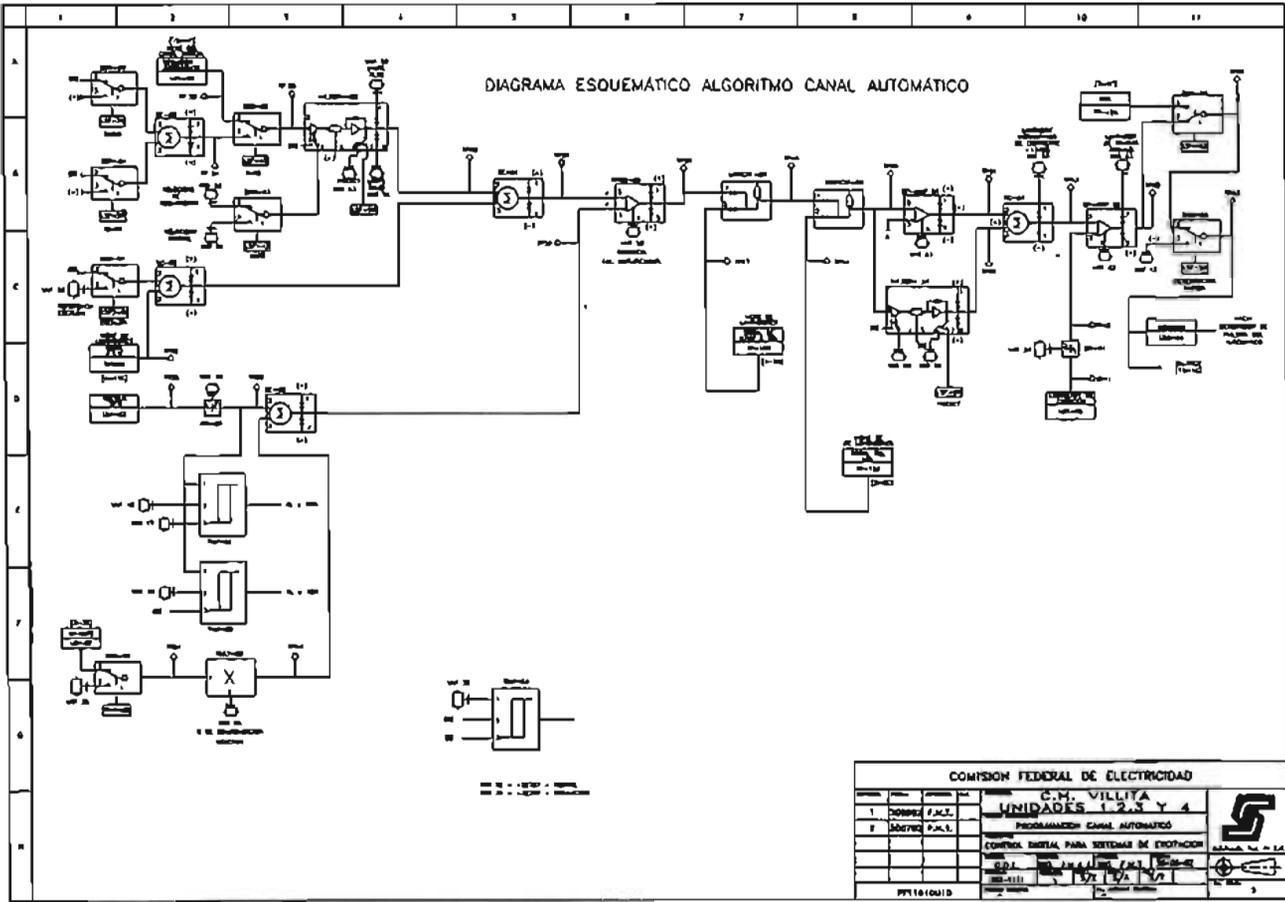


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL ALGORITMO DE PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE EXCITACION

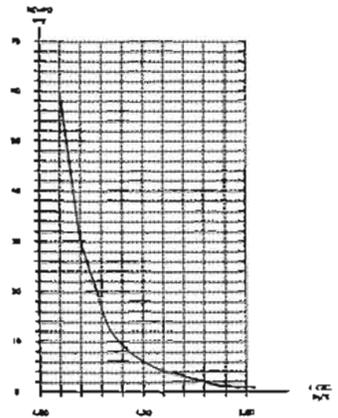
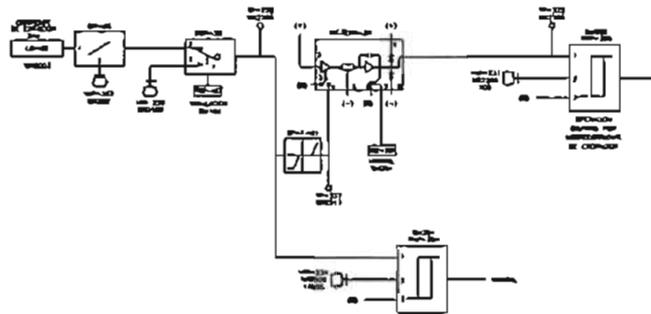


Tabla de Parámetros

Tramo	P. de	Dist.	n	V
0-10000	1.0	A	3000	5
10	1.2	T	3000	100
20	1.20	B	3000	100
15	1.20	B	3000	100
10	1.20	F	3000	100
7	1.20	B	3000	100
2	1.20	1.5	3000	100
7	1.20	7.5	3000	100

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

C.H. VILLIYA
UNIDADES 1, 2, 3 Y 4

PROTECCION SOBRECORRIENTE DE EXCITACION

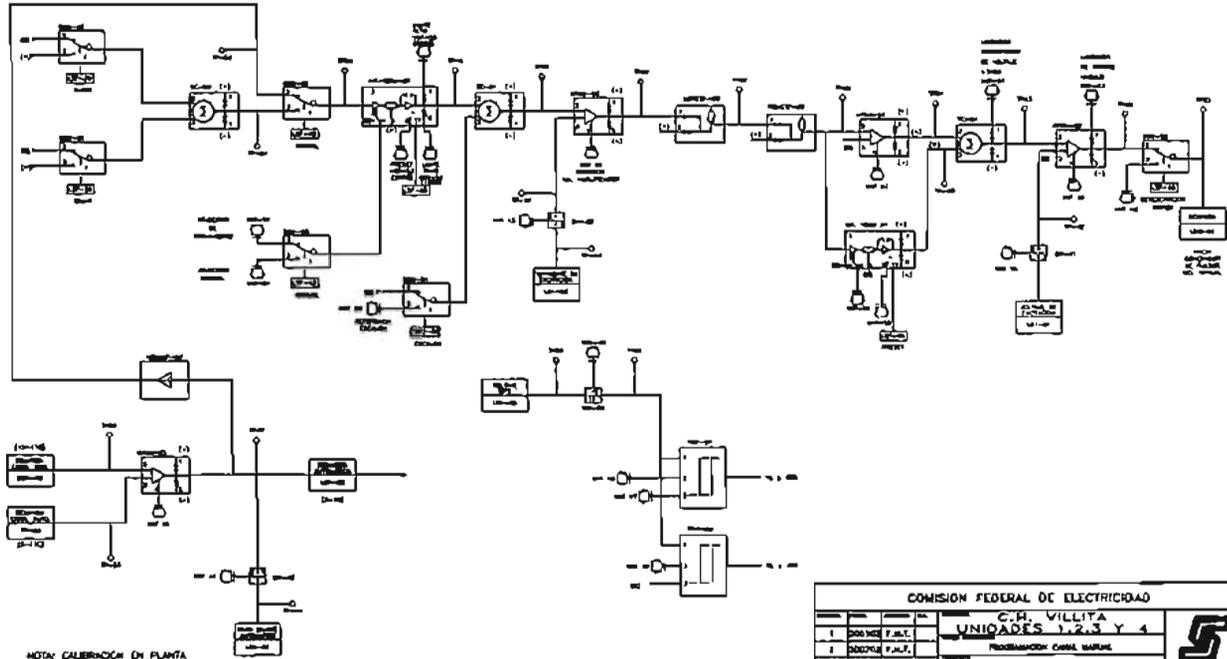
CONTROL DIGITAL PARA SISTEMAS DE EXCITACION

FECHA: 10/10/1971

PROYECTO: 10/10/1971

1.1

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ALGORITMO CANAL MANUAL



NOTA: CALIBRACIÓN DE PLANTA
 1. 100% = 100 V
 2. 100% = 100 A
 3. 100% = 100 Hz
 4. 100% = 100°C

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

C.H. VILLITA
UNIDADES 1, 2, 3 Y 4
 PROGRAMACION CANAL MARLINE

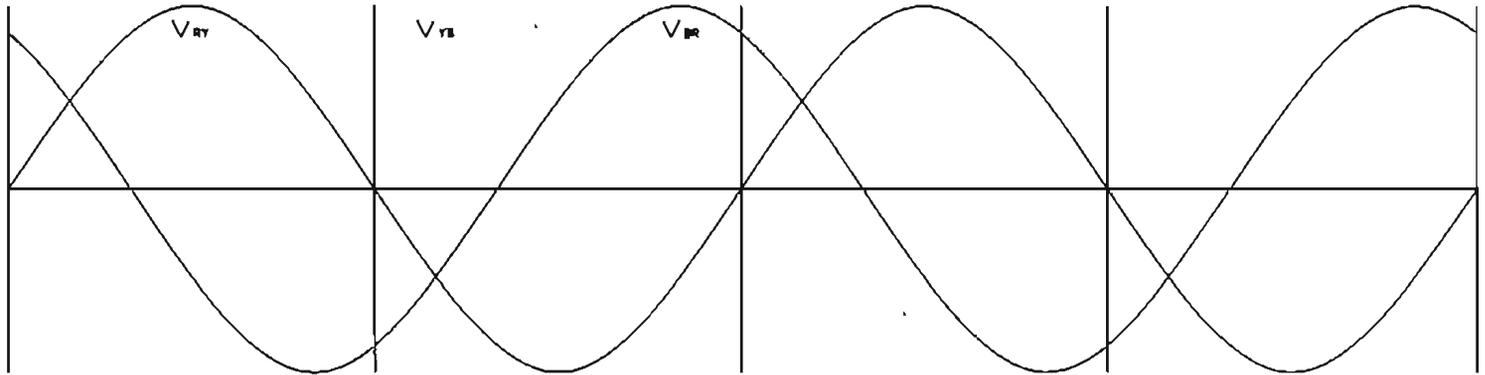
CONTROL DIGITAL PARA SISTEMAS DE GENERACION

REV. 1.0
 1978

13

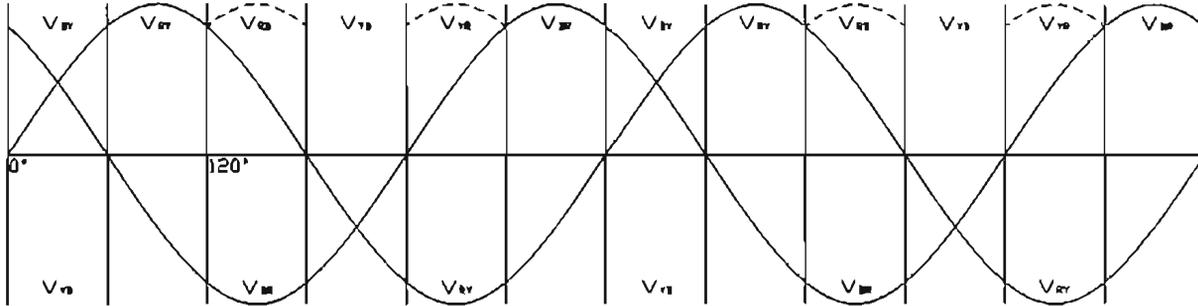
FIGURA C.1

De acuerdo a la rotación de fases establecida como R,Y,B, se establece el voltaje entre fases como se indica en la siguiente figura:



Tomando en cuenta que un par de SCR habilitan dos líneas de voltaje hacia la carga (una de entrada y otra de salida para el flujo de corriente que pasa a través de la carga), se establecen las diferentes formas de onda generadas por la rectificación a diferentes ángulos de conducción de los semiconductores de potencia.

Para construir la forma de onda con un ángulo de retardo de cero grados, verificamos que se rectifica por un lado el voltaje de la fase amarilla que se indica como V_{ry} . Todos los voltajes restantes rectificamos se indican con línea punteada.



El área sombreada indica la energía que es recibida por la carga.

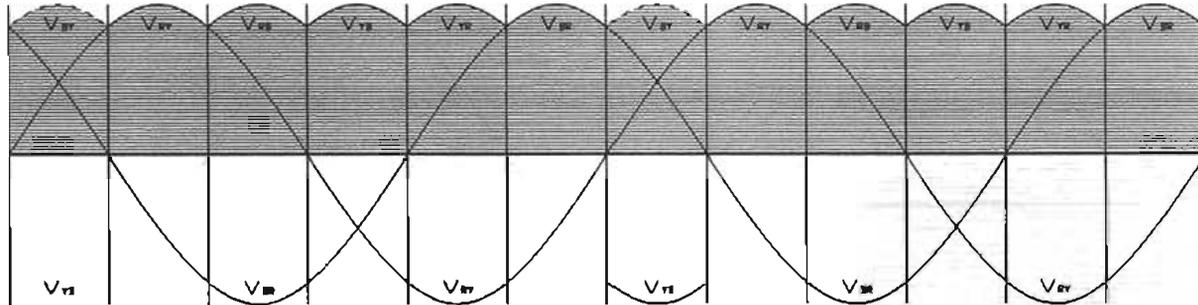
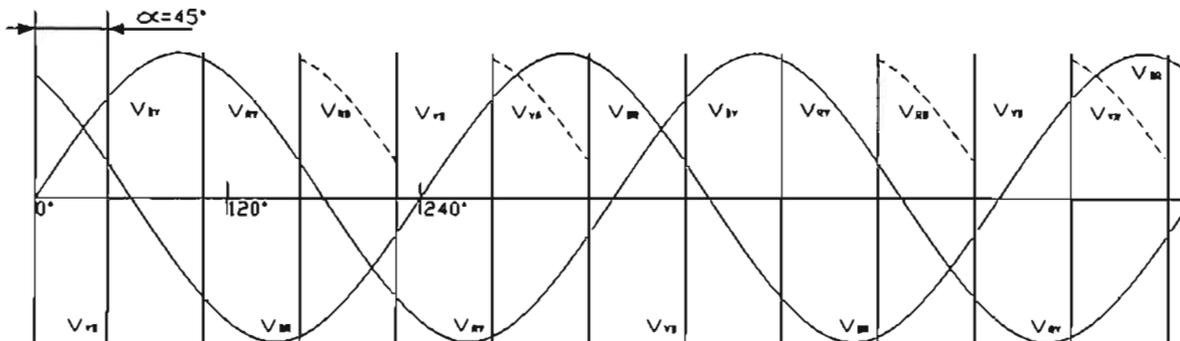


FIGURA C.2

Para un ángulo de retardo para el disparo de los SCR de 45° , se tiene el análisis que se muestra en la siguiente figura, las formas de onda que se rectifican se indican con línea punteada.



El área sombreada indica la energía que es recibida por la carga.

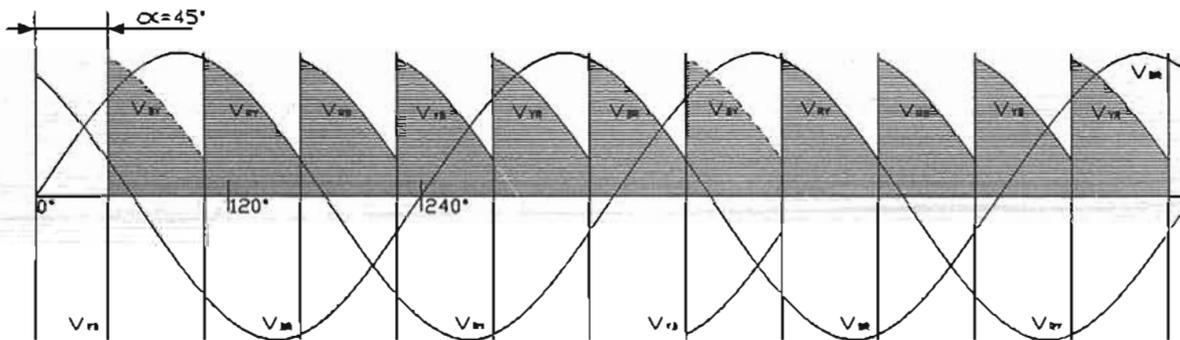
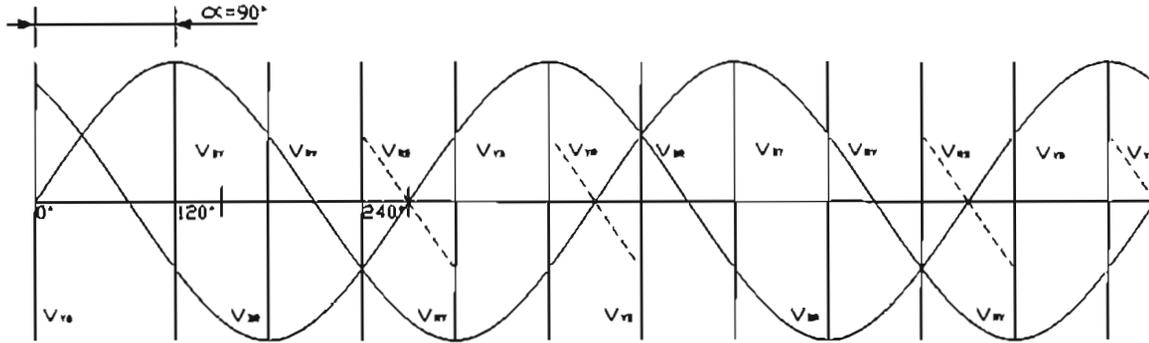


FIGURA C.3

Para un ángulo de retardo para el disparo de los SCR de 90° , se tiene el análisis que se muestra en la siguiente figura, las formas de onda que se rectifican se indican con línea punteada.



El área sombreada indica la energía que es recibida por la carga

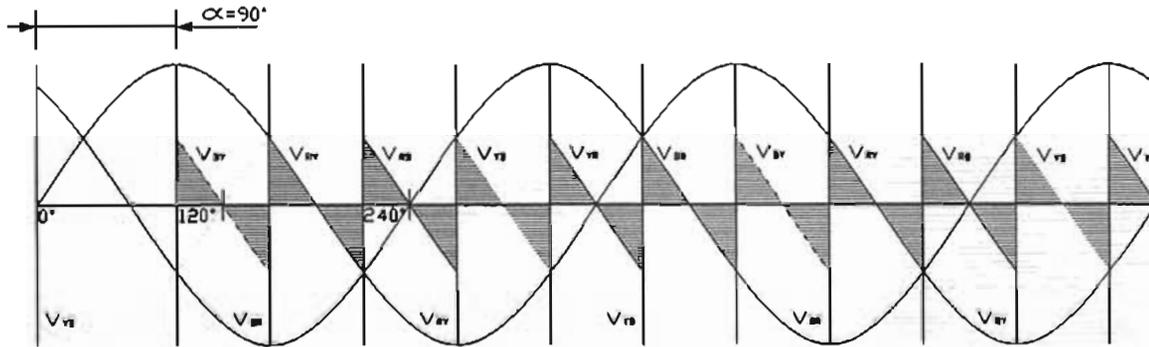
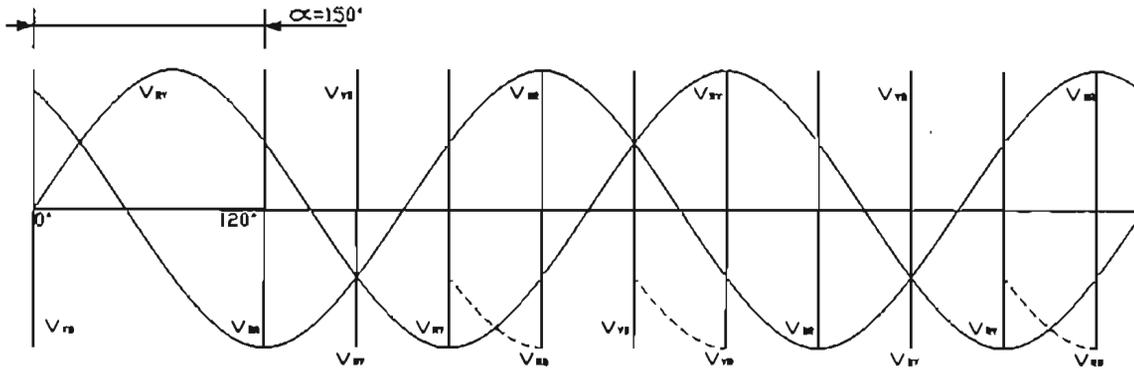
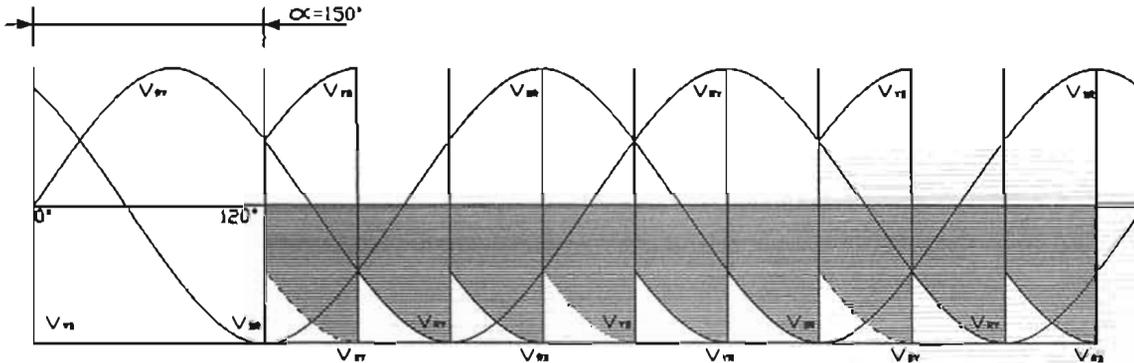


FIGURA C.4

Para un ángulo de retardo para el disparo de los SCR de 150° , se tiene el análisis que se muestra en la siguiente figura, las formas de onda que se rectifican se indican con línea punteada.



El área sombreada indica la energía que es recibida por la carga.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KOSOW, I. L. *Maquinas eléctricas y transformadores*. Barcelona, Reverté, 1980.

CHAUPRADE, R. / MILSANT, F. *Control electrónico de los motores de corriente alterna*. Barcelona, Gustavo Gili, 1983.

MALONEY, T. J. *Electrónica industrial moderna*. Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997.

OGATA, K. *Ingeniería de control moderna*. Prentice-Hall Hispanoamericana, 1980.

HURLEY, J. *Overview of power system stability concepts*. Abstract IEEE, 1980.

NMX-J-501-ANCE-1994. *Regulador automático de tensión (RAT) para sistemas de excitación para generadores sincros de centrales de generación*. Especificaciones y métodos de prueba.

IEEE Transactions on Energy Conversion. *Digital excitation technology - a review of features, functions and benefits*. Vol. 12, No.3, 1997.

SEPAC S.A., *Archivo Regulador automático de voltaje PF11010010*. Central de Documentación Técnica.

www.geindustrial.com