PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y OPERACION DE UNA UNIDAD GENERADORA OPERADA CON TURBINA A GAS, TIPO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S.A.

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

FERNANDO JARAMILLO HINOJOSA

Quito, Mayo de 1.979

Certifico que este desarrollo de Tesis ha sido realizado en su totalidad por el Sr. Fernando Jaramillo

Ing. Patricio Burbano de Lara

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO :

Al Sr. Ing. Patricio Burbano de Lara

Director de Tesis.

CONTENIDO.-

pag.

Introducción 1

Capítulo 1

DESCRIPCION Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD OPERADA CON TURBINA A GAS TIPO INDUSTRIAL.

1.1.- Descripción de la unidad. 4

1.2.- Turbina a gas 7

1.2.1.- Principios de operación de una turbina a gas. 7

1.2.2.- Disposición de la turbina 11

1.2.3.- Datos de diseño de la turbina 12

1.2.4.- Descripción de la turbina a gas 13

1.3.- Generador y Sistema de Excitación 25

1.3.1.- Generador 25

1.3.2.- Sistema de excitación 29

1.4.- Servicio Eléctrico de Estación 32

1.4.1.- Centro de control de motores 38

1.4.2.- Baterías y cargador 41

1.5.- Sistemas de Control 42

1.5.1.- Computador 42

1.5.2.- Controlador para mantenimiento 46

1.5.3.- Panel de operación por computador 48

pag.

1.5.4.- Panel de operación por el control local o auxiliar 59

1.5.5.- Teletipo impresor 64

1.5.6.- Tablero de medida e interruptores de presión 67

1.6.- Sistema de Arranque de la Turbina 69

1.7.- Diagramas esquemáticos 70

1.8.- Comentarios 80

Capítulo 2.-

FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL OPERACION Y MANIOBRA. 82

2.1.- Controlador Operacional Automático Tipo Híbrido 82

2.1.1.- Procesador central. Descripción géneral de funcionamiento 84

2.1.2.- Sistema analógico de control de velocidad 91

2.1.3.- Sistemas de señáles de entrada y salida 110

2.1.4.- Consola de operación 117

2.1.5.- Teletipo impresor 122

2.2.- Control Auxiliar Local o Emergente de Operación. 134

pag.

2.2.1.- Operación de los sistemas de control independiente del LMC. 136

2.2.2.- Sistemas automáticos de transfe - rencia de control 146

2.3.- Invertidor

2.3.1.- Especificaciones 154

2.3.2.- Principios de operación 155

2.3.3.- Descripción del circuito 156

2.3.4.- Accesorios del invertidor 157

2.4.- Sistema de Control de Excitación.Regulador Automático de Voltaje. 159

2.4.1.- Componentes del sistema de excitación. 159

2.4.1.- Regulador automático de voltaje 160

2.5.- Control de Combustible 167

2.5.1.- Control de bombas de transferencia de combustible 170

2.6.- Sistemas de Aceite Lubricante 173

2.6.1.- Operación del sistema de lubricación. 173

2.7.- Sistema de Aire a Presión 175

2.7.1.- Sistema de aire de refrigeración de la turbina 176

pag.

2.8.- Sistemas Auxiliares de Control 178

2.8.1.- Detección de encendido 178

2.8.2.- Sistema controlador de vibración 179

2.9.- Datos de Operación 180

2.10- Comentarios 184

Capítulo 3.-

FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL AUTOMATICO DE OPERACION. 186

3.1.- Secuencias de Arranque 186

3.1.1.- Condiciones previas al arranque 188

3.1.2.- Arranque normal 210

3.1.3.- Arranque de emergencia 227

3.2.- Secuencia Automática de Sincronización y Toma de Carga. 228

3.2.1.- Sincronización 228

3.2.2.- Control lógico de sincronización manual y automática 231

3.2.3.- Selección automática de carga 234

3.3.- Secuencia de Parada de la Unidad 242

3.3.1.- Parada normal 242

3.3.2.- Parada de emergencia 248

3.4.- Comentarios 252

pag.

Capítulo 4.-

OPERACION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION DE LA UNIDAD. 254

4.1.- Sistemas de Detección, Anunciación y Alarma 254

4.1.1.- Sistemas de detección 254

4.1.2.- Sistemas de anunciación 255

4.1.3.- Alarmas 255

4.2.- Protección de la Turbina. Diagramas Lógicos de Operación 277

4.2.1.- Vibración 278

4.2.2.- Temperatura de cojinetes y aceite lubricante 280

4.2.3.- Temperatura en cavidades de álabes estacionarios y aire de enfriamiento en el rotor 281

4.2.4.- Temperatura de álabes 282

4.2.5.- Temperatura de escape 282

4.2.6.- Temperatura de combustible 283

4.2.7.- Temperatura de soporte del piñón reductor 283

4.2.8.- Detección de fuego 283

4.2.9.- Control de bajo voltaje de tensión contínua 284

pag.

4.2.10.- Válvulas aisladoras del compresor 284

4.2.11.- Programa de descarga 285

4.2.12.- Disparo y bloqueos de la unidad 286

4.3.- Protección del Generador 287

4.3.1.- Vibración.Cojinetes del generador 287

4.3.2.- Temperatura de aceite lubricante en cojinete 288

4.3.3.- Temperatura en el estator 288

4.3.4.- Sistemas de enfriamiento 289

4.3.5.- Relés de protección 289

4.3.6.- Diagrama unifilar de los sistemas de protección 291

4.3.7.- Carta de operación de los dispositivos de protección 292

4.3.8.- Bloques lógicos de operación de protecciones 293

4.4.- Protección de la Unidad Turbina-Generador en Conjunto 294

4.4.1.- Análisis de las condiciones de operación de la unidad a frecuencias menores a 60cic/seg. 294

pag.

4.5.- Comentarios 300

Capítulo 5.-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 303

5.1.- Conclusiones 303

5.2.- Recomendaciones 310

5.3.- Bibliografía 314

INTRODUCCION .-

El área de consumo a la cual sirve el sis - tema de la Empresa Eléctrica "Quito" S.A.,ha presentado un incremento en su demanda con una rata de crecimiento variable entre 14 y 17% anual prácticamente impredecible, razón por la cual se presentó una irregularidad y una incapaci - dad de cubrir completamente y con un nivel de reserva apropiado todos los requerimientos de generación tanto a nivel de carga base como también en carga de pico.

Con el objeto de cubrir especialmente la demanda de pico durante el invierno y parte de la deficiencia de carga base en el verano,la Empresa instaló una unidad equipada con turbina a gas de 27.000 K.W. en la subestación de Guangopolo.Esta unidad que originalmente fue planeada para operar principalmente durante los picos del sistema alrededor de 3.000 horas por año,debió ser utilizada 16 y hasta 24 horas del día como planta base debido a condiciones de emergencia del sistema en cuanto a disponibilidad de generación se refiere.

Las principales causas de estas situaciones emergentes han sido la realización de los mantenimientos periódicos programados de 1977-78 en las unidades de las centrales diesel e hidráulicas,así como también la dificultad de máximo aprovechamiento de las centrales hidroeléctricas causada por

los veranos irregulares y prolongados que impiden la elaboración de un programa de despacho de carga anticipado que se ajuste a la curva de demanda del sistema.

Por otro lado los reservorios de regulación diaria han dejado de serlo por el material de arrastre en el río y también por el comportamiento de la carga.

Esta serie de condiciones han obligado a utilizar la unidad operada con turbina a gas además de planta de pico como central de carga base, emergencia o de reserva la cual ha obligado a modificar los criterios de control y operación de la unidad.

En esta tesis se realizará un análisis de las condiciones normales y emergentes de operación, así como los criterios de los procedimientos de control automático y operación que en base a la experiencia y a los criterios prácticos de operación del sistema han sido necesario adoptarlos.

Considerando el tipo sofisticado de los sistemas de control y la dependencia directa de la normal operación de la unidad con la alta eficiencia de estos sistemas, el análisis de esta tesis se centrará especialmente en el estudio de la operación de los complejos sistemas de control de la unidad, sin descuidar desde luego el estudio del resto de sistemas vitales de la unidad.

El desarrollo se desenvolverá con un criterio práctico, técnico-pedagógico con el objeto de que en el futuro esta te-

sis se pudiera adoptar como manual básico de entrenamiento y familiarización con los sistemas y procedimientos de control y operación de esta unidad y otras similares, tanto para los ingenieros así como también para el personal especializado de nivel medio que desarrolla funciones de operación y mantenimiento en turbinas a gas.

CAPITULO 1.-

DESCRIPCION Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD OPERADA CON TURBINA A GAS TIPO INDUSTRIAL .-

1.1.- Descripción de la Unidad.-

La central generadora instalada en la Empresa Eléctrica "Quito" S.A., es una unidad Westinghouse modelo W-251-B2, tipo paquete que contiene dentro de una misma estructura modular y compacta a la turbina de accionamiento, el generador y todos los sistemas eléctricos de potencia, control, protección y auxiliares.

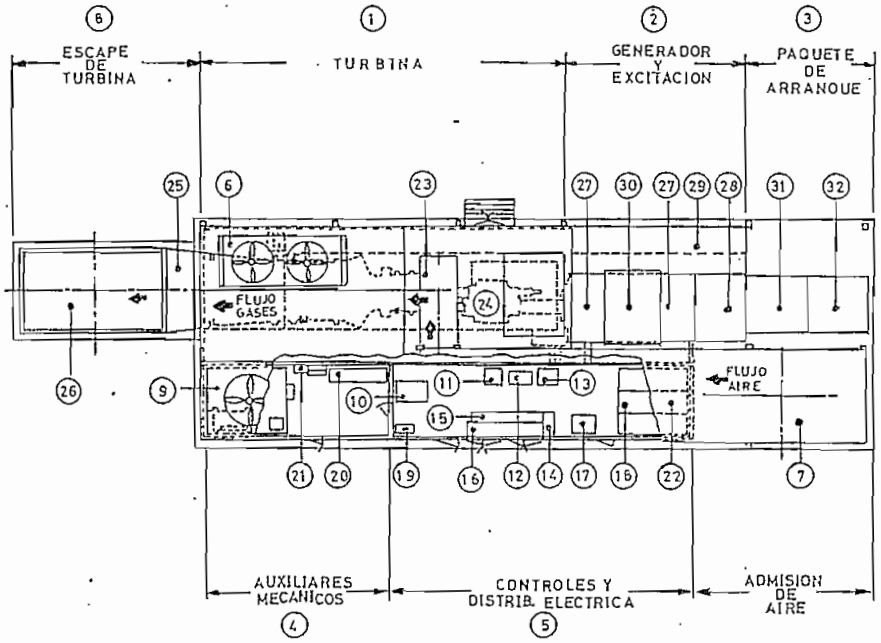
Este tipo de unidades generadoras han sido diseñadas con el objeto de proveer de una solución rápida, económica y de fácil instalación a los requerimientos de crecimiento de demanda tanto de reserva como de pico en un sistema eléctrico.

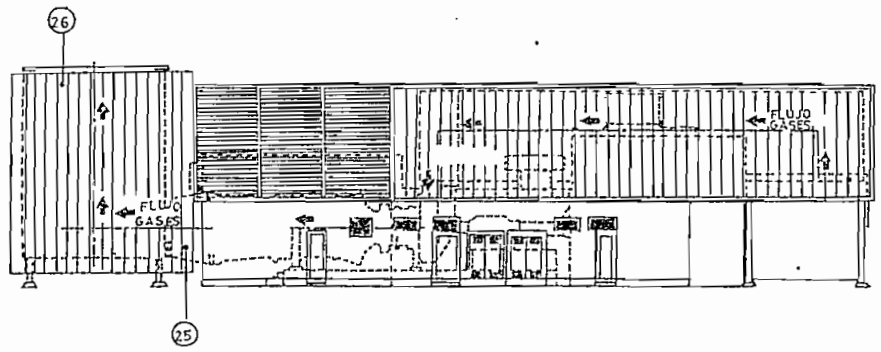
Para minimizar y simplificar el trabajo de montaje en sitio, el diseño de estas unidades se lo ha dividido en cinco grandes grupos o módulos como se puede apreciar en la figura 1.1-1.

a.- Turbina y acoplamiento reductor

b.- Generador y excitación

c.- Paquete de arranque





1. BLOQUE DE TURBINA
2. GENERADOR Y EXCITACION
3. PAQUETE DE ARRANQUE
4. PAQUETE MECANICO
5. CONTROLES Y DISTRIBUCION ELE
6. ENFRIADORES
7. ADMISION DE AIRE
8. SISTEMA DE ESCAPE
9. SISTEMA DE LUBRICACION
10. COMPUTADOR
11. CONSOLA DE OPERACION Y LM
12. TELETIPO
13. CUBICULO DE RELES
14. CONTROL DE MOTORES C.C.
15. CONTROL DE MOTORES C.D.
16. COMPARTIMIENTO DE BATERIAS
17. REGULADOR DE VOLTAJE
18. CUBICULO DE 15 KV
19. CARGADOR DE BATERIAS
20. GABINETE DE SISTEMAS MECAN DE CONTROL
21. UNIDAD DE PROTECCION DE INC
22. SILENCIADOR DE ENTRADA DE A
23. ADMISION A LA TURBINA
24. PIÑON REDUCTOR
25. TRANSICION DE ESCAPE
26. SILENCIADOR DE ESCAPE
27. GENERADOR
28. EXCITACION
29. ENTRADA DE AIRE DE ENFRIAM DEL GENERADOR
30. SALIDA DE AIRE DE ENFRIAM DEL GENERADOR
31. MOTOR VIRADOR
32. PAQUETE DE ARRANQUE

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL - 79	DISPOSICION GENERAL DE LA PLANTA	TESIS PROFES
DIBUJÓ: L.A.R.		DIAGRA I.I.-
S/ESCALA		S/ACOTA
FERNANDO JARAMILLO H.		

d.- Estructura de los sistemas mecánicos auxiliares y de control

e.- Sistema de control.

Todo el cableado y tubería dentro de estas unidades son terminados en fábrica, soportados mediante bandejas especiales para cables y tuberías. En sitio es necesario solamente realizar conexiones de cables entre módulos mediante conectores de acoplamiento tipo "plug".

En igual forma el trabajo de interconexión de plomería ha sido reducido requiriendo solamente pequeños acoplamientos El acoplamiento de los cinco grandes módulos se complementa mediante la instalación de los ductos de entrada de aire y escape de gases de combustión, los enfriadores de aire y aceite y sus tuberías; en este tipo de unidad los sistemas de enfriamiento son por aire.

Los enfriadores están montados en la parte superior y posterior de la unidad, considerando la normal atenuación del sonido.

El combustible líquido en este caso diesel Nº2, se alimenta a la unidad por gravedad desde dos reservorios de 250.000 galones cada uno hasta llegar a las bombas elevadoras de presión de entrada del sistema de combustible.

Todos y cada uno de los módulos se encuentran convenientemente alineados y nivelados sobre una estructura soporte de vigas I. El reservorio de aceite lubricante es una parte

integral de la estructura.

En la página 1.1-1 se indican vistas exteriores (planta y perfil) del conjunto de módulos que conforman la turbina a gas.

1.2.- Turbina a Gas.-

1.2.1.- Principios de Operación de una Turbina a Gas.-

La teoría de operación de una turbina a gas, está basada en la "Segunda Ley de Newton" F=ma, la cual en una turbina a gas, "M veces a", significa la cantidad de variaciones de movimiento o aceleraciones de una masa de gas cuando pasa a través de la turbina, siendo F la fuerza neta o empuje obtenido con la energía cinética de los gases de combustión a alta velocidad temperatura y presión.

Los gases al golpear contra los álabes de la turbina convierten su energía cinética en energía mecánica, moviendo el eje o rotor en donde se encuentran acoplados la turbina y el generador eléctrico con su excitatriz.

Con el objeto de entender como se desarrolla el trabajo termodinámico de una turbina a gas, a continuación se hará una rápida descripción de los pasos básicos de operación de una turbina a gas denominada Ciclo Brayton, ver la figura 1.2.1-1.

Ciclo Brayton

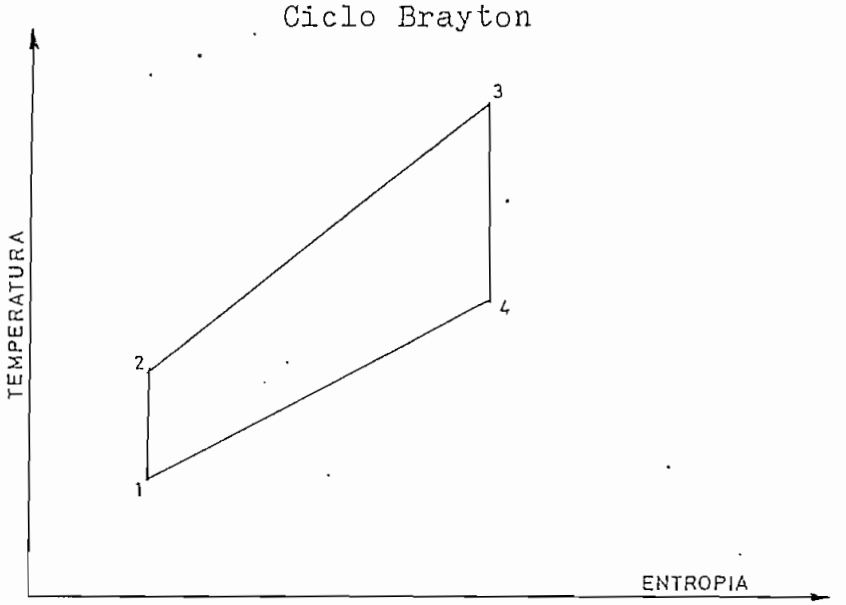


FIGURA: 1.2.1 - 1

El ciclo consiste de cuatro fases : compresión,adición de calor,expansión y expulsión de calor.

El total de trabajo que es producido durante un ciclo está directamente relacionado al total de calor adicionado al flujo de trabajo mediante el combustible.

La cuantificación de la transferencia de calor que se desarrolla durante el ciclo indicará el trabajo que la turbina de gas puede producir.

Si la variación de calor es indicada tanto por temperatura como por la entropía,el ciclo Brayton puede ser representado gráficamente en un diagrama temperatura-entropía como se indica en la figura 1.2.1-1.

Considerando que la definición de entropía es la "variación de la cantidad de calor por unidad de temperatura" o sea $dS = \frac{dQ}{Ts}$, entonces $dQ = Ts.dS$ en donde Q es calor en BTU/lb.,T es temperatura en ^{o}R (como función de S) y S es entropía en BTU/lb.

De la misma manera que la presión necesita una área para describir una fuerza, la temperatura necesita de la entropía con el objeto de definir la variación de la cantidad de calor.

Examinando el ciclo Brayton, el punto 1 se define como las condiciones de presión y temperatura ambiente previos al empleo en el ciclo, por tanto se puede deducir que las condiciones iniciales a las cuales se sucederá el ciclo tienen importancia fundamental en el nivel de temperatura y entropía, al cual se desarrollará el trabajo térmico, con marcada influencia en la potencia de salida y la eficiencia del ciclo de la turbina a gas.

La turbina a gas toma el aire a esas condiciones y lo comprime hasta una presión de trabajo. Un incremento en la presión causa un incremento de temperatura del aire, esto se indica en la figura como el cambio desde el punto 1 al punto 2; se considera este cambio como una función ideal sin transferencia de calor, razón por la cual la función sigue una línea vertical recta.

El trabajo desarrollado durante este proceso es igual al producto de la masa del fluído y el cambio en temperatura (altura desde el punto 1 al punto 2).

$$W_{comp} = m\,(h_2 - h_1)$$

Luego de la compresión el aire es enviado al sistema de combustión, en donde se produce una generación adicional de calor, mediante la adición de combustible y el encendido

de la mezcla, elevando la temperatura hasta niveles muy altos. Este incremento de temperatura se lo realizará teóricamente a presión constante y en el diagrama es representado por el cambio del punto 2 al punto 3.

La cantidad de adición de calor QA es igual al producto del flujo de masa y el cambio de temperatura del punto 2 al punto 3.

$$QA = m\ (h3-h2)$$

Cuando la mezcla entra a la sección de turbina, la presión cae y la mezcla se expande contra los álabes de la turbina. Esto causa que el eje al cual están unidos los álabes gire.

El gas continuará expandiéndose, hasta que la presión caiga hasta el nivel de la presión atmosférica.

Esta caída de presión con expansión y disminución de temperatura se indica en la figura mediante el cambio desde el punto 3 al punto 4. El trabajo de expansión durante esta etapa es igual :

$$WT = m\ (h3-h4)$$

En este punto, la temperatura de la mezcla es todavía alta comparada con el ambiente, indicando que una representativa cantidad de energía calórica restante permanece en la mezcla gaseosa. Este calor es expulsado cuando la mezcla se enfría hasta la temperatura ambiente, esto se indica en el segmento del ciclo desde el punto 4 al punto 1 o sea :

$$QR = m\ (h4-h1)$$

La cantidad de trabajo obtenible desde el ciclo (WT) es igual al calor adicionado (QA), menos el calor perdido (QR).

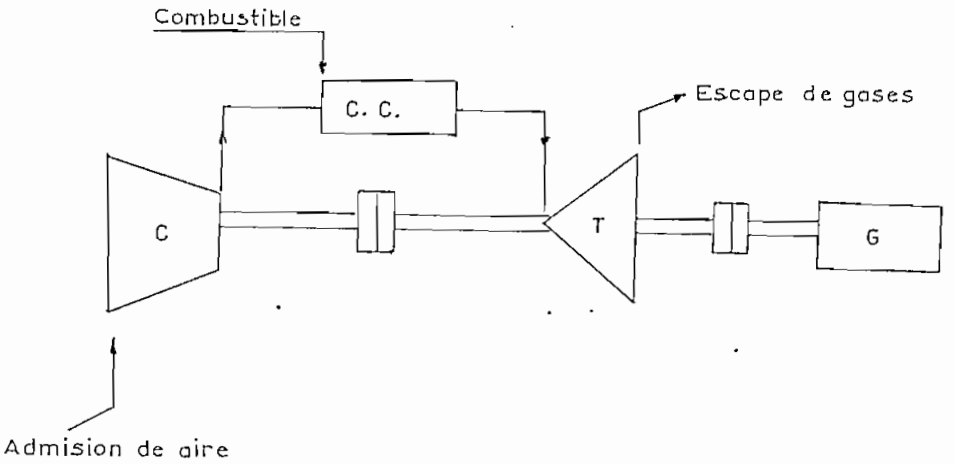
La eficiencia térmica (η) del ciclo es la relación de la cantidad de calor empleado en el trabajo al calor adicionado.

$$\eta = \frac{QA - QR}{QA} = 1 - \frac{h4-h1}{h3-h2}$$

De acuerdo a cálculos se ha llegado a determinar un promedio ideal de eficiencia térmica del 40%, suponiendo que la eficiencia mecánica de la unidad es del 100%.

1.2.2.- Disposición de la Turbina.-

El tipo de arreglo de la turbina es el de "Ciclo Abierto", que es el más simple para turbinas a gas. Consiste en un compresor de aire, una cámara de combustión, una turbina acoplada al compresor de aire por un lado y por el otro a un generador eléctrico. El funcionamiento es simple ya que el compresor de aire proporciona el carburante a la cámara de combustión a una determinada presión donde se mezcla con el combustible produciéndose la combustión, saliendo los gases de la cámara para producir un cambio de energía cinética en energía mecánica al chocar contra los álabes de la turbina moviendo a esta última y finalmenta escapando los gases a la atmósfera. (Fig.1.2.2.1)



C = compresor

CC = cámara de combustión

T = turbina

G = generador

Ciclo abierto Fig.1.2.2.1.

1.2.3.- Datos de diseño de la Turbina.-

Condición de entrada	: 65°F.
Flujo de aire	: 261.7 lb/seg,
Capacidad	: 26050 Kw
Presión de entrada	: 1082 PSI
Velocidad	: 4894 R.P.M.
Temperatura nominal de escape	: 952°F
Presión de escape	: 10.97 P.S.I.

1.2.4.- Descripción de la Turbina a Gas.-

El tipo de turbina instalada denominada W-251-B2, posee un solo eje y un elemento productor de potencia de un solo ciclo consistente de :

a.- Un compresor de alta eficiencia de 18 etapas

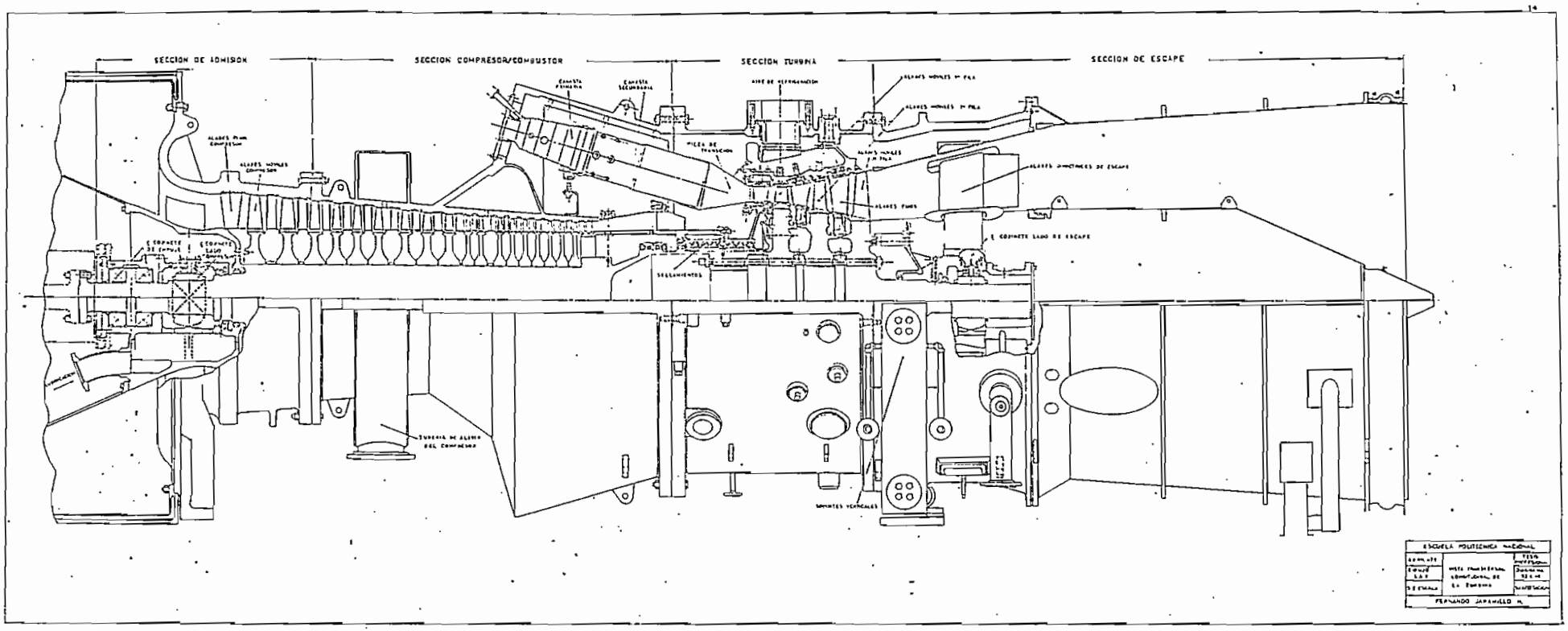
b.- Una cámara de combustión equipada con 8 combustores dispuestos en un arreglo circular alrededor del eje de la turbina.

c.- Una turbina de reacción de 3 etapas.

El aire atmosférico es enviado a través de la entrada principal hacia el compresor en donde es comprimido aproximadamente a 10 atmósferas y dirigido dentro de la cámara combustora y combustores en un flujo uniforme.

El combustible introducido dentro de los combustores se quema, elevando la temperatura de la mezcla de aire y productos de combustión; La mezcla comprimida y calentada de gas flúye a través de la turbina cayendo en presión y temperatura en cuanto la energía calórica es absorbida y convertida en trabajo mecánico de rotación.

Los gases producto de la combustión son introducidos en la turbina; del total de la capacidad de trabajo que pueden desarrollar los gases en expansión, las dos terceras partes se utilizan para mover el compresor y el eje de salida, y solamente la tercera parte se emplea para desarro-


SECCION DE ADMISION
SECCION COMPRESOR/COMBUSTOR
SECCION TURBINA
SECCION DE ESCAPE
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FERNANDO JARAMILLO H.

llar trabajo exterior, en este caso generación eléctrica. El gas es luego expulsado a través del difusor y silenciador de escape.

La turbina W-251-B2 está dividida en cuatro partes principales : Fig.1.2.4-1.

1.- Sección de entrada o admisión

2.- Sección compresora-combustora

3.- Sección turbina

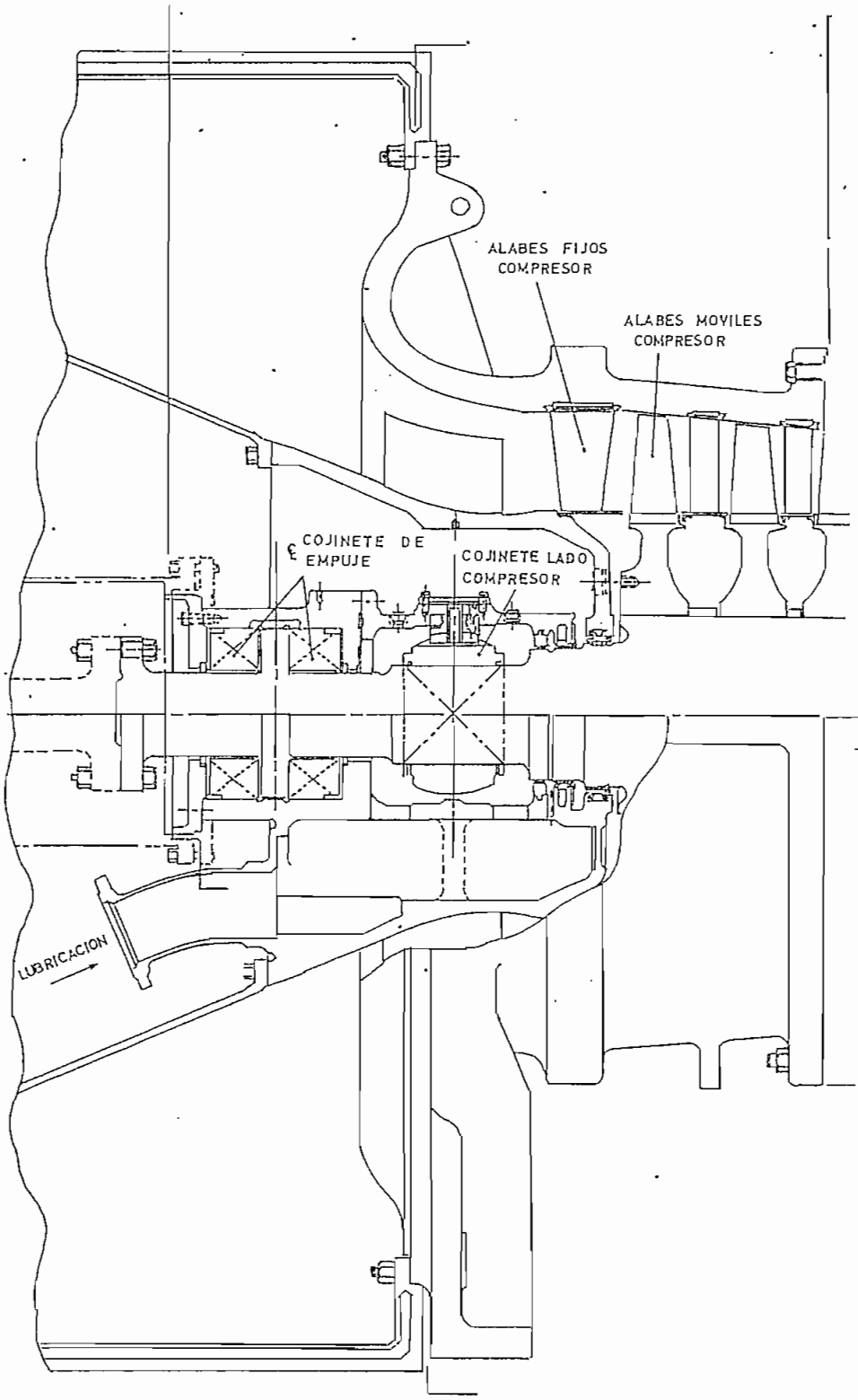
4.- Sección de escape.

1.2.4.1.- Sección de entrada o admisión.-

Actúa como un sistema de paso del aire que fluye hacia el compresor y provee una estructura para los cojinetes de empuje y soporte del eje del compresor. Fig.1.2.4.1-1.

a.- Carcasa.-

La carcasa de entrada de aire en forma de campana permite un fácil acceso de aire a los álabes guías del compresor. Este tipo de entrada es diseñado con el objeto de tener una alta eficiencia aerodinámica para que no presente resistencia al aire y de esta manera sea despreciable la pérdida en el conducto de entrada.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL-79	SISTEMA DE ENTRADA O ADMISION DE AIRE AL COMPRESOR	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.,R.		DIAGRAMA 1.2.4.1 - 1
S/ESCALA		S/ACOT
FERNANDO JARAMILLO H.		

b.- Cojinetes.-

La turbina emplea dos cojinetes guías-soportes para sostener el compresor; además se emplea un cojinete de empuje para absorver el empuje axial del rotor. Estos cojinetes son lubricados a presión por el sistema principal de aceite lubricante. El sellamiento del aceite en las cámaras de los cojinetes se logra mediante sellos tipo laberinto.

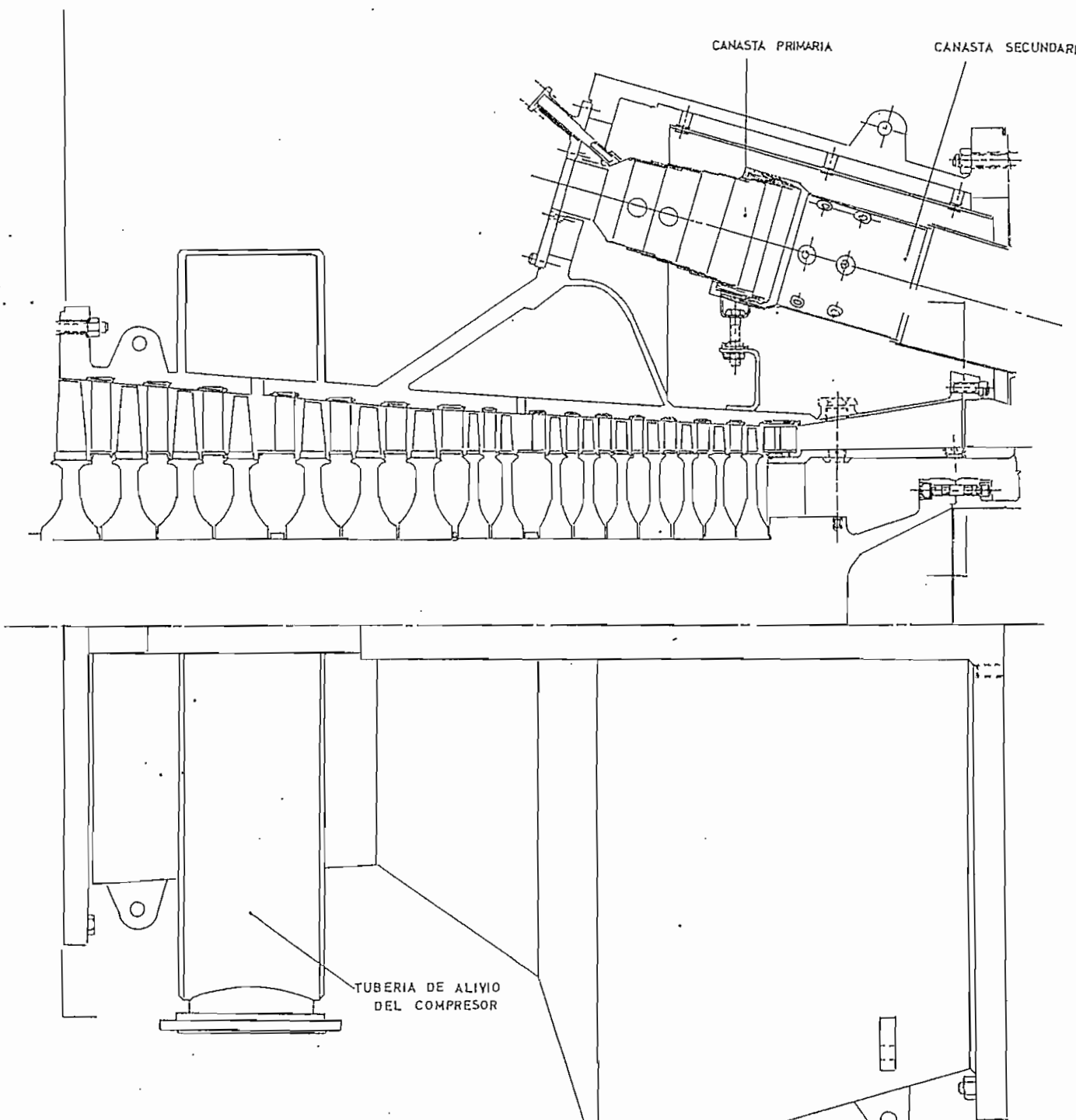
1.2.4.2.- Sistema compresor-combustor.- Fig.1.2.4.2-1

a.- Carcasa.-

Se encuentra fabricada en dos mitades y empernadas en la línea horizontal central, lo cual da una facilidad para el mantenimiento, posee tomas de aire a presión que se emplean para refrigeración de las partes calientes de la turbina y para dotar una presión de sello en todos los sistemas de sellamiento por laberinto tanto en el compresor como en la turbina.

Contiene los segmentos de álabes estacionarios o diafragmas del compresor.

Posee además un drenaje en la parte inferior de la cámara de combustión que sirve para proteger a la turbina de la acumulación del combustible líquido no quemado durante los arranques fallidos.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL-79	SISTEMA COMPRESOR-COMBUSTOR	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.R		DIAGRAMA 1.2.4.2-1
S/ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

b.- Sistema de combustión.- Fig.1.2.4.2-2.

Este sistema consta de : canastas combustoras, boquillas de inyección de combustible, bujías de encendido, detectores de llama y tubos de llama cruzada.

Las canastas combustoras comprenden básicamente tres partes :

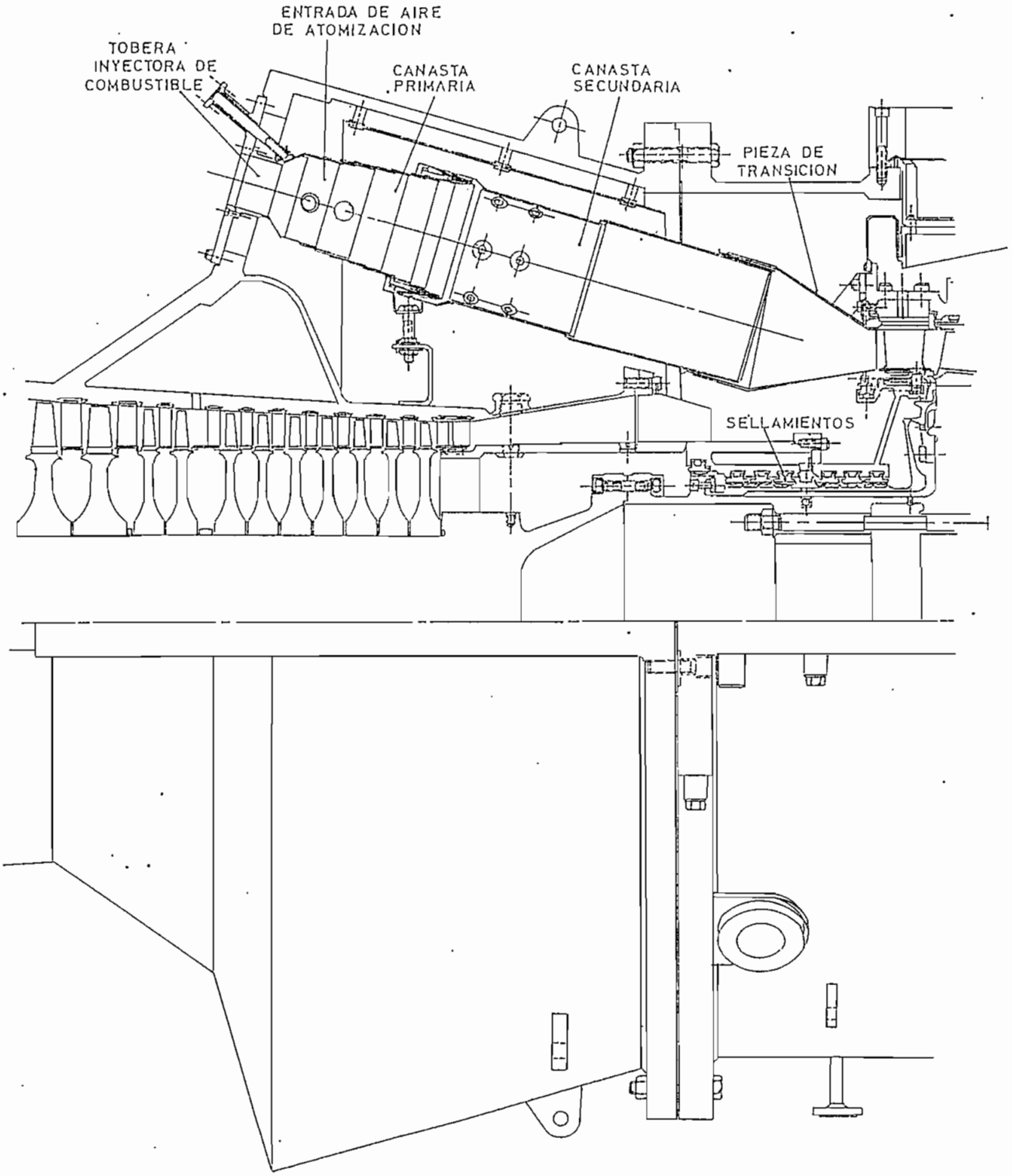
Canastas primarias, secundarias y piezas de transición.

Las canastas primarias y secundarias tienen por objeto recibir el combustible pulverizado enviado por las toberas de inyección a alta presión y mezclado con aire en forma aerodinámica para evitar turbulencias con el objeto de producir combustión y proporcioanr suficiente energía calorífica a los gases para acelerar su masa suficientemente y entregar la potencia deseada al rotor de la turbina.

Las piezas de transición colocados al final de las canastas secundarias dirigen los gases hacia la primera etapa de álabes estacionarios de la turbina.

Las canastas combustoras existen en número de 8 y se numeran en sentido horario desde la parte superior de la turbina mirando en la dirección del flujo de salida de los gases.

Las boquillas inyectoras envían hacia las canastas combustoras el combustible pulverizado en una cantidad preestablecida y con un ángulo de abertura de chorro in-



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
Abril - 79	Sistema de Combustión	Tesis Profesional
Dibujo: L.A.R.		Diagrama: 1.2.4.2-2
S/Escala		S/Acotación
FERNANDO JARAMILLO H.		

variable.

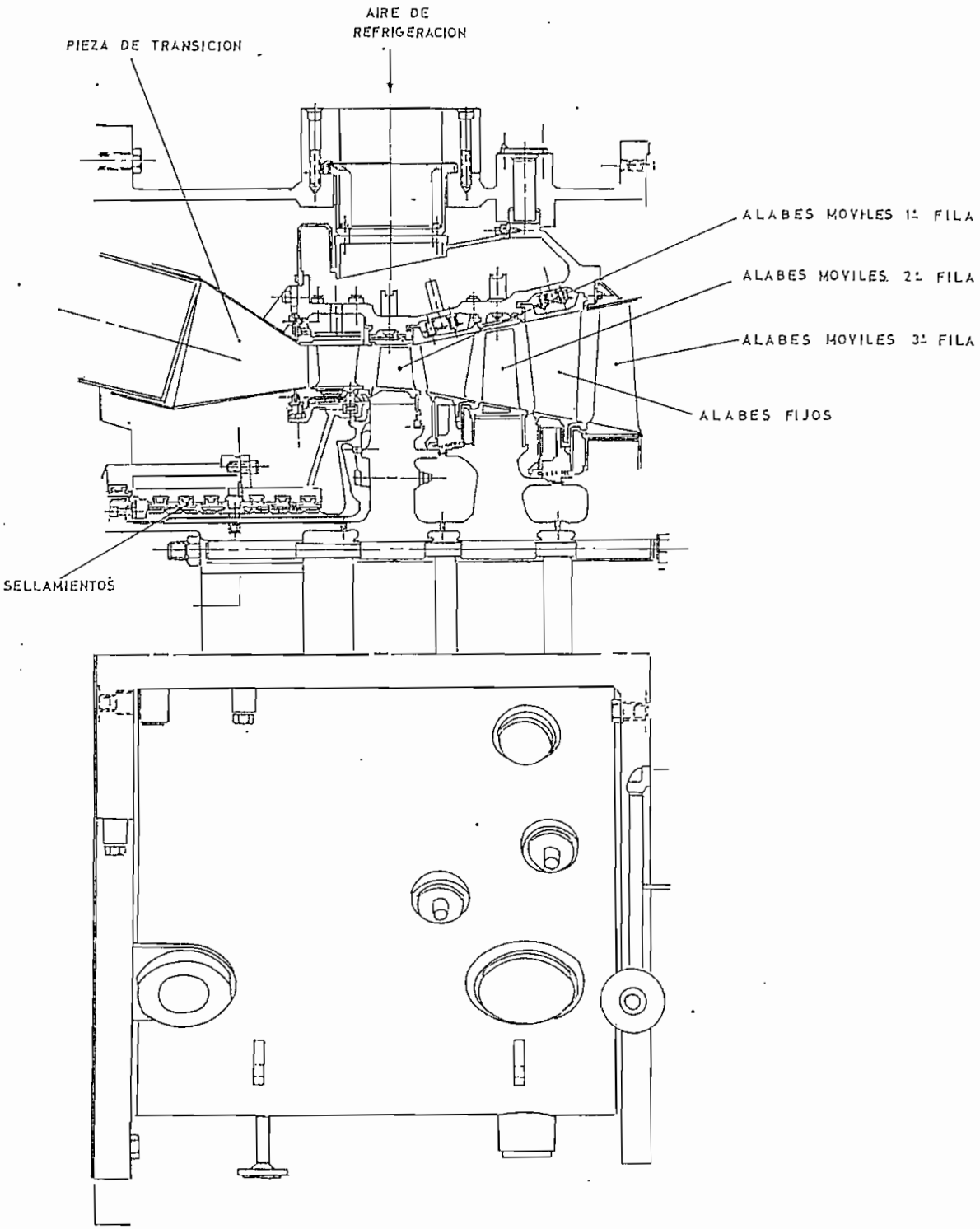
El sistema de combustión de la turbina se encuentra dividido en dos partes simétricas, con cuatro canastas combustoras para cada uno. Cada grupo de cuatro canastas combustoras se encuentran unidos entre sí mediante los llamados "tubos de llama cruzada", los cuales tienen por objeto conducir la llama de combustión iniciada en la primera de las canastas combustoras de cada grupo hacia las otras tres, aprovechando la diferencia de presión entre la canasta en combustión y la canasta fría.

La combustión de la mezcla presurizada de combustible-aire es iniciada mediante la descarga de dos bujías, una por cada lado de combustores; son de tipo retractable operadas por la presión de la cámara combustora y operan a una tensión entre electrodos de 7.500 voltios.

Cada lado de combustión posee un "detector de llama", dispositvo que mira el área de combustión y detecta la presencia de radiación ultravioleta de una longitud de onda entre 1.900 a 2.900 amgstroms, dando inmediatamente indicación de presencia o ausencia de llama.

1.2.4.3.- Sección Turbina.- Fig.1.2.4.3-1

La carcasa de la turbina se encuentra conformada en dos mitades con su unión horizontal en la parte media con el objeto de facilitar la inspección y el mante -



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL-79	SECCION TURBINA	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.R.		DIAGRAMA 1.2.4.3 -1
S / ESCALA		S / ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

nimiento.La cubierta interior de la turbina o cilindro fabricado de acero al carbón,provee el recinto cerrado para las etapas de los segmentos estacionarios de la turbina y es la continuación de la cámara combustora a alta presión. Existen tres etapas de segmentos estacionarios y álabes móviles;los segmentos estacionarios dirigen el flujo de gases a alta velocidad contra loa álabes de la turbina ocasionando la rotación del rotor.

Tanto los segmentos estacionarios como también los álabes rotativos de la turbina son elementos de la turbina en los cuales se ha puesto en práctica toda la tecnología de materiales resistentes en la temperatura y corrosión ,eficiencia aerodinámica,resistencia térmica y mecánica de materiales,estudios de esfuerzos por vibración y fuerzas centrífugas,etc.

De los criterios de diseño que se emplean en la fabricación de loa álabes fijos y móviles,se deduce que es muy difícil de-finir la composición exacta de estos,además cada casa fabricante mantiene un estricto secreto acerca de los procedimientos de fabricación.

En forma muy general se anotará que entre los componentes principales de los segmentos fijos están el cobalto y el aluminio.y de los móviles el niquel y el aluminio.

Además es necesario indicar que con carácter opcional los segmentos y álabes pueden ser recubiertos con una capa ex-

terior de alta dureza y resistente a la corrosión por temperatura y presencia de elementos corrosivos en el combustible,todo esto se realiza mediante procedimientos alta - mente tecnificados de electrolisis.

Se emplean sellamientos especiales entre etapas para evi - tar la fuga de gases alrededor de los álabes y segmentos por fuera del camino de flujo de gases.Las tres etapas de segmentos directrices se encuentran refrigerados mediante conductos que los atraviesan longitudinalmente.

El aire refrigerante se lo toma de la descarga del compresor y se lo envía a los segmentos mediante conductos a través del cilindro interior de la turbina o continuación de la cámara combustora.

Los álabes giratorios de la primera etapa son refrigerados.mediante aire tomado de la misma descarga pero suministrados a través de su base de anclaje en los anillos aseguradores de ellos al eje rotativo.

El lado de escape de la turbina está montado sobre un sistema de anclajes flexibles,los cuales le permiten absorber las dilataciones térmicas sin que se pierda su alineamiento ni sus calibraciones propias entre rotor y parte estacionaria.

1.2.4.4.- Sección de Escape.- Fig.1.2.4-1

Después que han pasado por la turbina los gases

de combustión entran a la sección de escape.Es allí donde los gases que han sido reducidos en presión y temperatura son calentados y descargados al escape.

La carcasa de la sección de escape está compuesta de la carcasa de los cojinetes,el cono de salida del difusor de escape y la carcasa exterior.

La carcasa exterior y el cono de escape se encuentran unidos mediante álabes con forma aerodinámica especial para evitar turbulencias en el escape de los gases.

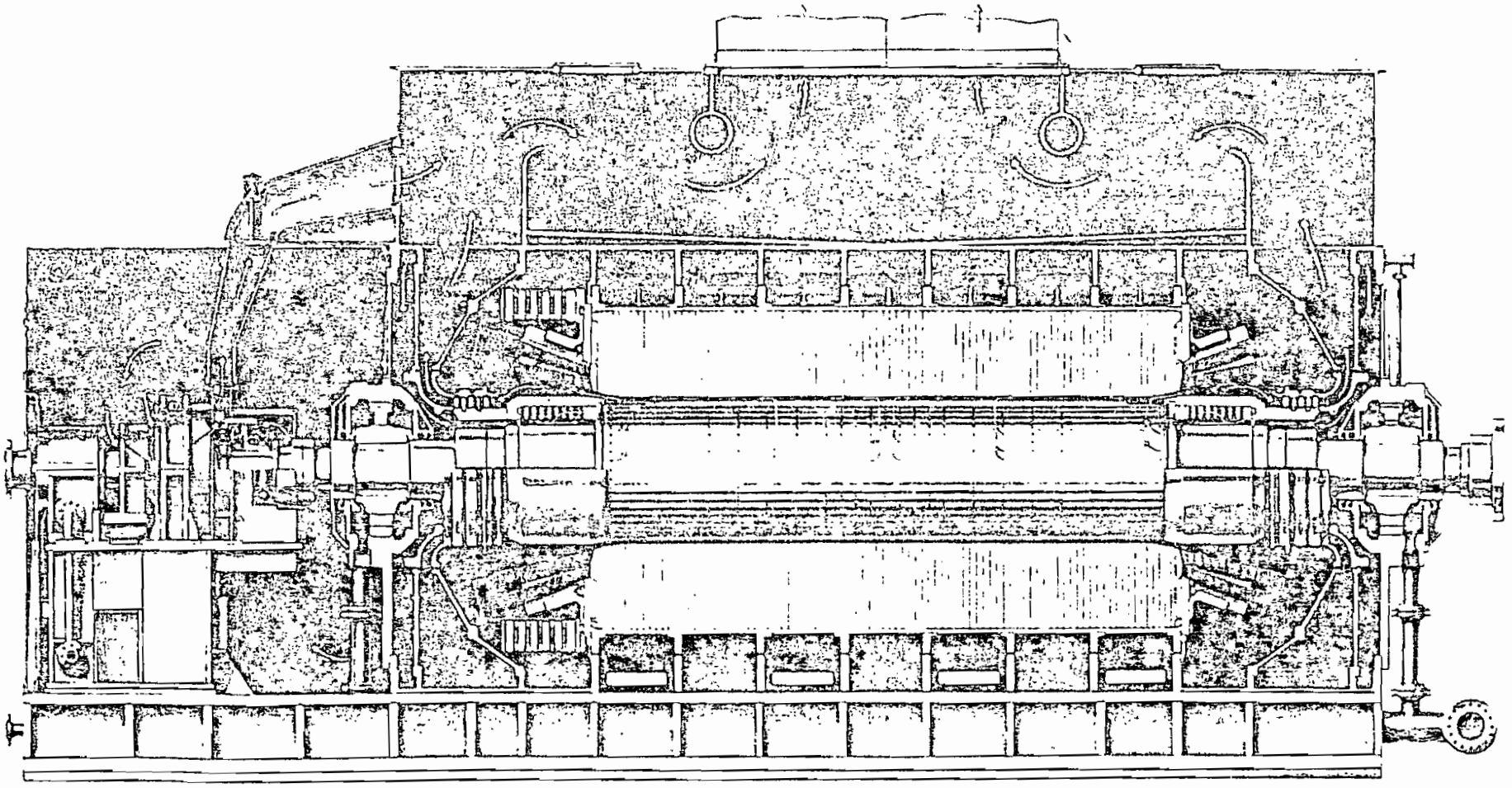
En esta sección se encuentra ubicado el cojinete guía-soporte del eje lado de escape.

1.3.- Generador y Sistema de Excitación.- Fig.1.3-1

1.3.1.- Generador.-

Datos de diseño del generador.

Tipo TAW 840/60	Fases : 3
Frecuencia 60cic/seg.	Voltaje 13.8 K V
Conexión Y	R.P.M. 3.600
M A V 32.15	M W 27.3
MVAR 16.9	P.f. 0.85
Amp.Estator 1345	Amp.Rotor 635
Vol.Rotor 165	Normas ANSI
Altitud max. 2850 m.	Tem.Aire Entrada 25°C.
Temp.Aire Exterior 25°C.	



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL - 79	GENERADOR Y SISTEMA DE EXCITACION	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.R		DIAGRAMA 1.3.1 - 1
S/ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

Temp.Rotor 285°C. Temp.Estator 110°C.

Clase de aislamiento:B

El generador es de tipo exterior,refrigerado por aire,polos no salientes,tipo de excitación sin escobillas.
La estructura del generador está instalada dentro de un cubículo tipo exterior,auto soportado con aberturas tanto para entrada como para salida de aire.La admisión del aire de refrigeración se lo hace a través de filtros y silenciadores;la descarga se lo hace directamente a la atmósfera a través de un silenciador en la parte superior del cubículo.
Tanto el generador como la excitación se encuentran soportados sobre la misma estructura metálica,existiendo un acoplamiento tipo rígido entre el eje del generador y el de la excitación.
El generador se encuentra sostenido mediante dos cojinetes guías-soportes empotrados en las paredes del cubículo del generador.
El sistema de generador-excitación es pre-ensamblado en fábrica y posee incorporados dentro de su cubículo varios auxiliares como los transformadores de corriente y potencial,el equipo de puesta a tierra del neutro.
El generador posee 6 detectores de temperatura tipo resistencia calibrados para 10Ω a 25°C.,embebidos entre las bobinas de estator y se los emplea para la detección re-

nota de la temperatura de bobinados.

El sistema de lubricación de los cojinetes del generador está alimentada del sistema principal de lubricación de la turbina.A los dos lados de cada uno de los cojinetes existe una cámara de sellamiento tipo laberinto a la cual se le inyecta aire a presión desde el sistema de servicio estación con el objeto de prevenir fugas de aceite hacia el exterior de los cojinetes.

El cuerpo mismo de los cojinetes se encuentra aislado de la respectiva carcasa mediante una pequeña película de material aislante de Micarta con el objeto de evitar la circulación de corrientes producidas por inducciones parásitas en el rotor; estas corrientes al circular del rotor a la carcasa a través de los cojinetes producen daño en la superficie del material anti-fricción del cojinete.Con el objeto de descargar a tierra las corrientes inducidas existe un sistema de escobilla rozante al eje que lo conecta a tierra.

Con el objeto de detectar la presencia de corrientes circulantes desde el eje hacia la parte estacionaria a través de los cojinetes existe un dispositivo que automáticamente es energizado cada 24 horas y comprueba si el eje está eléctricamente aislado y no existen corrientes circulantes a través de los cojinetes.

Un detector de vibración se encuentra instalado en cada uno de los cojinetes,son de tipo de aproximación al eje y

necesitan de un ajuste especial, detectan las vibraciones mediante la variación de la aproximación del eje al cuerpo del cojinete, tienen una calibración de operación entre 0.05" y 0.06".

Existen tres termocuplas en el sistema de aire para refrigeración; en la entrada y la salida de aire del generador y en la salida de aire de la excitación.

Con el objeto de controlar la temperatura de operación de los cojinetes, existen termocuplas en el drenaje de aceite de los dos cojinetes del generador y un cojinete de la excitación.

1.3.2.- Sistema de Excitación.- Fig.1.3.2-1

Datos de diseño del sistema de excitación.

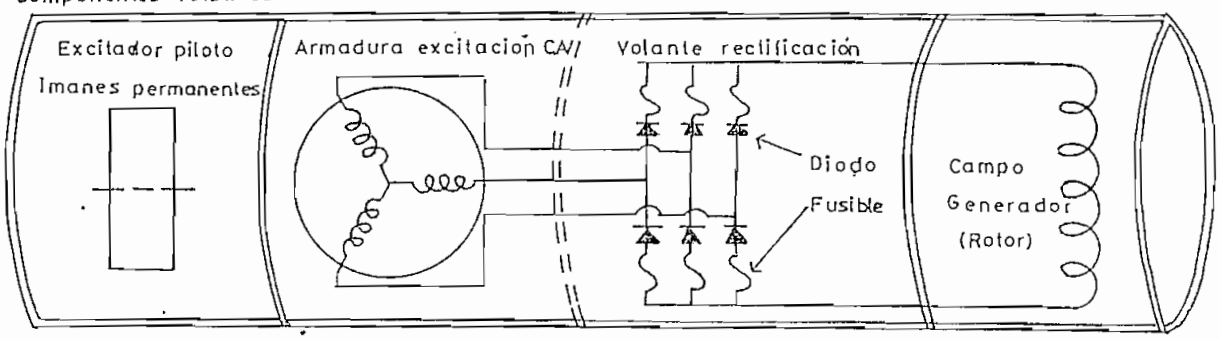
a.- Generador de imanes permanentes.

Tipo FMG-16	8.4 KVA
3.600 R.P.M.	100 volt.
Elevación temp. 60°C.	48.5 Amp.
.95 f.p.	3 fases
420 cic.	

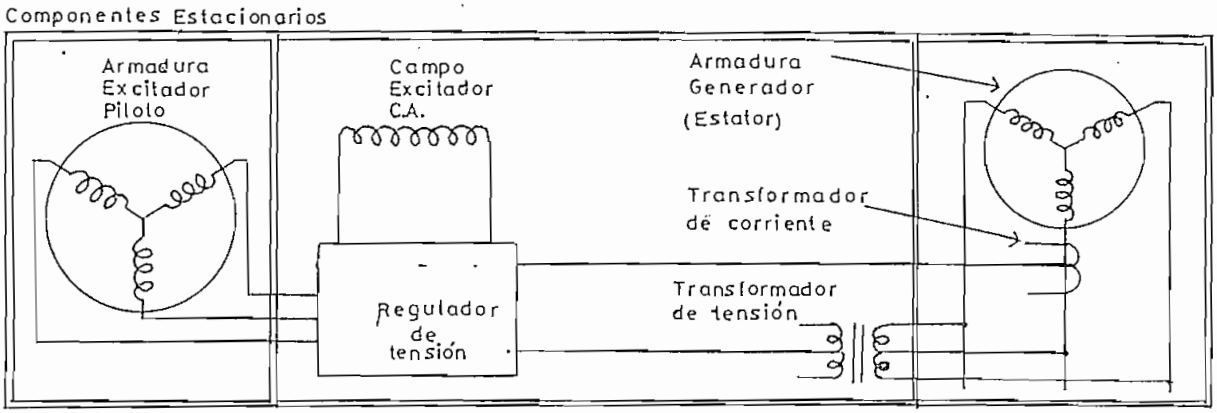
b.- Excitatriz

185 KW	3.600 R.P.M.
220 V.	845 Amp.
Elevación de Temp. 60°C.	

Componentes rotativos



Componentes Estacionarios



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL -79	-SISTEMA DE EXCITACION	TESIS PROFESIONA
DIBUJÓ: L.A.R.		DIAGRAMA 1.3.2 - 1
S/ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

El sistema de excitación rotativo sin escobillas incluye los siguientes acoplados al aje :

a.- Excitación piloto de imanes permanentes.-

Es un generador de imanes que provee potencia al regulador de voltaje el cual controla el campo estacionario de tensión alterna de la excitación.

b.- Excitador alterno.-

La salida de la armadura rotativa de este excitador alterno alimenta a través del eje a los diodos de silicón montados en el volante de rectificación del eje.

c.- Volante de fusibles y diodos.-

Es allí donde la salida del excitador de alterna es rectificado por los diodos de silicón.La corriente continua resultante es conducida mediante cables aislados a través del eje hacia el campo rotativo delgenerador.

d.- El sistema de rectificación está protegido contra fallas en los diodos mediante fusibles conectados en serie,que poseen dispositivos indicadores que pueden ser inspeccionados durante la operación,permitiendo un mantenimiento adecuado.

e.- Conexiones internas.-

Todos los elementos rotativos están solidamente conectados entre sí.No existen terminales externos entre el

excitador y el campo del generador, las únicas conexiones externas existentes son entre el estator de la excitatriz piloto, el campo de excitación de alterna y el circuito de control.

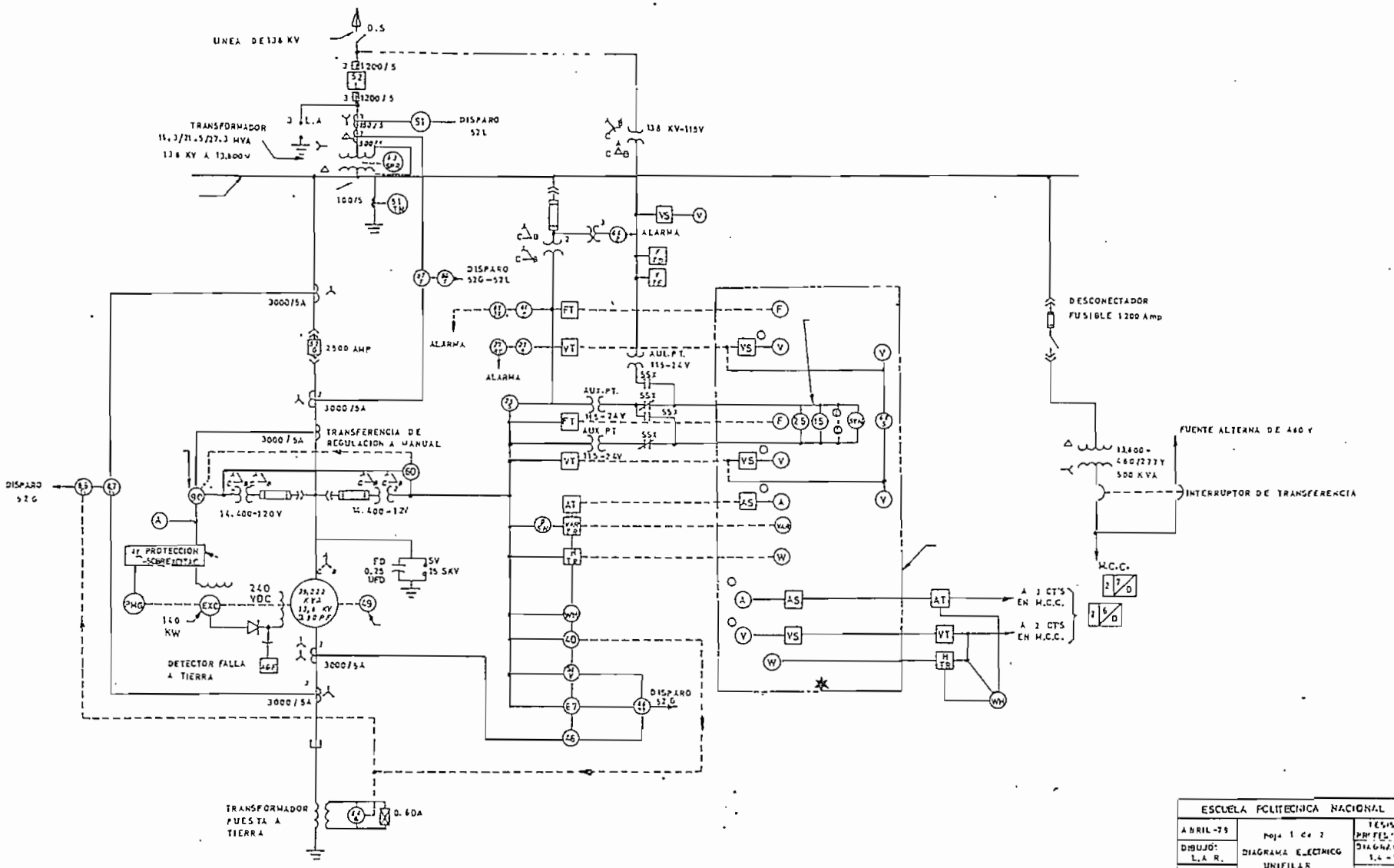
El sistema de excitación posee un circuito de refrigeración de aire, formado por el ducto de admisión con filtros, un ventilador rotativo montado sobre el eje y el ducto de salida de aire, todo esto formando un recinto cerrado mediante el cubículo propio porta-excitación.

1.4.- Servicio Eléctrico de Estación.-

Los servicios auxiliares en una planta eléctrica de cualquier tipo son todos los instrumentos, máquinas y equipos que sirven para mantener en operación, puesta en servicio y controlar el paro (normal o de emergencia) de la estación.

La capacidad de los servicios auxiliares varía según el tipo de planta eléctrica que se trate; por ejemplo :

Tipo de Planta	% de la Capacidad instalada
Termoeléctrica convencional	7 a 10%
Hidroeléctrica convencional	3%
Con Reactor Nuclear	15%
Turbina a gas tipo Jet	0.03%
Turbina a gas tipo Industrial	2%



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL-79	Hoja 1 de 2	TESIS PROFES.
DIBUJO: L.A.R.	DIAGRAMA ELECTRICO UNIFILAR	DIAGRAM 1.4
S/ESCALA		S/ACOTA
FERNANDO JARAMILLO H.		

TERRUPTOR DE SINCRONIZACION

EDIDOR DE FRECUENCIA

EDIDOR DE VARS

RADUCTOR DE FRECUENCIA

ELEDUCTOR DE VOLTAJE

ELEDUCTOR DE CORRIENTE

NTERRUPTOR DEL AMPERIMETRO

ELE DIFERENCIAL DEL GENERADOR

ELE DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR

ELE DE BLOQUEO

ELE DE BAJA FRECUENCIA

ELE DE BAJO VOLTAJE

ELE DE PERDIDA DE EXCITACION

ELE DE SOBRECORRIENTE CON VOLTAJE CONTROLADO

ELE DE POTENCIA

ELE DE SECUENCIA NEGATIVA

EGULADOR DE VOLTAJE

(54/G) RELE DE SOBREVOLTAJE

VAR TR TRADUCTOR DE VARS

W TR TRANSDUCTOR DE WATT.

CAMBIADOR DE FASE

VS INTERRUPTOR DE VOLTIMETRO

SOBRE EL TABLERO DE CONTROL

(51/N) SOBRECORRIENTE DEL NEUTRO

(SYN) SINCRONOSCOPIO

(L) LAMPARA DE SINCRONIZACION

(60) RELE DE BALANCE DE VOLTAJE

MEDIDORES DE DOS ESCALAS

(WH) MEDIDOR DE WATTIOS / HORA

(54/3) RELE DE TIERRA DEL NEUTRO

(49) CONTROL DE TEMPERATURA DEL GENERADOR

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL -79	hoja 2 de 2	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.R.	DIAGRAMA ELECTRICO UNIFILAR	DIAGRAMA 1.4 - 1
S/ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

En el caso de la unidad en estudio, la capacidad instalada para servicios auxiliares es de 1.27% de la capacidad total de la Planta.

Como el equipo eléctrico de estación tiene diferentes niveles en la demanda de energía, no es conveniente asignar un mismo nivel de tensión; puesto que la corriente necesaria para cada uno de ellos sería de diferente valor y se tendría por lo tanto variedad en el equipo de protección y control con los siguientes problemas en cuanto a partes de repuestos se refiere. Con el objeto de evitar este problema, se adopta el sistema de diferentes niveles de tensiones y se acomoda en cada uno de ellos el equipo eléctrico de características similares.

En el caso de la unidad de la Empresa Eléctrica "Quito", se tiene los siguientes niveles :

480 volt.	3 fases	c.a.
240 volt.	2 fases	c.a.
120 volt.	1 fase neutro	c.a.
125 volt.		c.d.

Con el objeto de mantener a la unidad con un coeficiente alto de disponibilidad de operación, se han previsto dos tipos de alimentación para los servicios auxiliares de servicio estación. (Fig. 1.4-1)

El un tipo considerado como normal que se alimenta desde la barra principal de 13.8 Kv a través de un desconecta-

dor de cuchillas-fusibles de 1.200 Amp.,hacia el transformador de 500 KVA,13.800/48v. y de allí mediante un interruptor automático al centro de distribución de energía.

El otro tipo de alimentación del servicio estación y considerado como emergente se lo toma desde una línea de distribución proveniente de la Central Hidroeléctrica de Guangopolo de 6.3 Kv., a través de un transformador de 6.300v./480 y 250KVA y mediante un interruptor automático con un enclavamiento eléctrico y mecánico con el abastecimiento normal,hacia el centro de distribución de energía.

Mediante el sistema de alimentación normal se asegura que la unidad se provea de energía para su servicio de estación tanto que en el caso que la unidad se encuentre generando así como en el caso de que ésta se encontrare parada,a través del transformador principal de 138/13.8 Kv. hacia la barra principal del switchgear a 13.8 Kv.,desde donde se alimenta al transformador principal de 500 KVA y 13.800/430v.del servicio de estación.

Mediante la alimentación desde la fuente alterna de 480 v. se asegura que la unidad permanezca con servicio estación a pesar de que la unidad se encontrare parada y la línea de transmisión de 138 Kv de INECEL,se encontrare de-energizada ya que la línea de 6.3 Kv que alimenta a la fuente alterna de 480 v,se encuentra energizada desde los barrajes de generación de las principales centrales hidraúli -

cas de la Empresa Eléctrica "Quito".

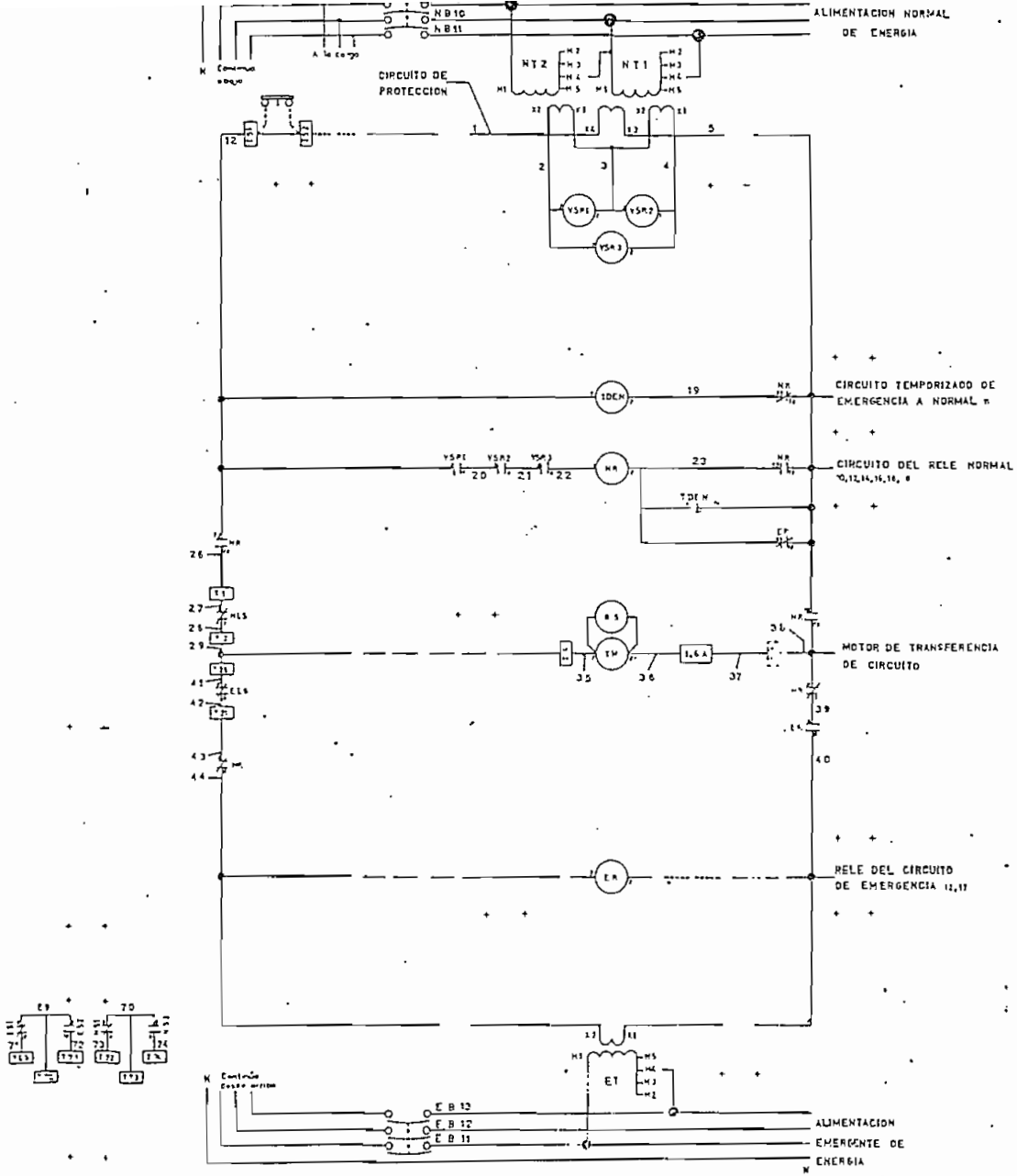
El sistema de cambio del servicio de estación normal al emergente y viceversa es automatico, (Fig.1.4-2)

La iniciación de la transferencia del servicio normal al servicio de emergencia se inicia por la de-energización de los relés de voltaje VSR1,VSR2,VSR3 cuyos contactos VSR1-20 VSR2-21,VSR3-22 se abren de-energizando el relé NR (relé normal) en el cual los contactos NR-39 se cierran,permitiendo la alimentación al motor de transferencia TM,desde el secundario del transformador colocado en las barras de alimentación del lado de emergencia e iniciando el cierre del interruptor EB (Emergency Braker) y abriendo el NB (Normal Braker).

En el caso de re-establecimiento de tensión en el lado de alimentación normal,la transferencia se realiza por la energización simultánea de los relés VSR1,VSR2,VSR3 y el relé de accionamiento temporizado con un retraso de 60 segundos TDN.

Al energizarse los relés sensores de voltaje VSR,se cierran los contactos VSR1-20,VSR2-21,VSR3-22 y si luego de 60 segundos se cierran los contactos 3-4 del relé TDNE se energiza el relé normal (NB) el cual cierra sus contactos 13-14 y 15-16 que alimentan al motor de transferencia (TM) que en este caso cierra el interruptor NB y se abre el EB.

El enclavamiento eléctrico de la operación de los dos sistemas ordenadores de transferencia se lo realiza me-



NOMENCLATURA DE LOS COMPONENTES

SIMBOLO	DESCRIPCION
E	EMERGENCIA
N	NORMAL
Y	BLOQUE DE TERMINALES
NR	RELE NORMAL
ER	RELE DE EMERGENCIA
TM	MOTOR DE TRANSFERENCIA
BS	FRENO DE SOLENOIDE
TDEN	RELE TEMPORIZADO
NLS-ELS	INTERRUPTOR LIMITADOR
NT1, NT2, ET	TRANSFORMADORES DE CONTROL
YSR	RELE DE BAJO VOLTAJE
TDNE	TEMPORIZADO NORMAL DE EMERGENCIA
TDEN	TEMPORIZADO
TPB	PULSADOR DE PRUEBA
NBPB	PULSADOR REPOSICIONADOR DEL INTERRUPTOR NORMAL
EBPB	PULSADOR REPOSICIONADOR DEL INTERRUPTOR DE EMERGENCIA
NL	LAMPARA INDICADORA, ALIMENTACION NORMAL
EL	LAMPARA INDICADORA, ALIMENTACION DE EMERGENCIA
FU	FUSIBLES
NRI	RELE AUXILIAR - FUENTE NORMAL
ERI	RELE AUXILIAR - FUENTE DE EMERGENCIA

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ASIGNATURA	SISTEMA AUTOMATICO DE TRANSFERENCIA	LAMINA
DIBUJO	DEL CIRCUITO ELECTRICO	ESCALA
ESCALA		
FERNANDO JARAMILLO M.		

diante la operación alternada y opuesta de los contactos del relé NR,7-8, 5-6 así como los contactos 5-6 del relé de emergencia ER.

La unidad posee un sistema detector por pérdida de tensión en el barraje de servicio estación,para el caso de que tanto el sistema de barraje de generación así como el sistema emergente fallaren en la alimentación del servicio de estación,en este caso el sistema detector de falta de tensión conecta automáticamente el grupo de almacenado de emergencia a la alimentación de corriente contínua,al mismo tiempo que se emite una alarma sonora.

1.4.1.- Centro de Control de Motores (MCC).-

El centro de control de motores se lo emplea para la distribución de energía y localización de controles de las diferentes cargas de los servicios auxiliares de la unidad.

Esta centralización de controles provee facilidad de operación y mantenimiento con un mínimo de personal.Se encuentra ubicado en un solo cubículo y directamente opuesto a la consola de operación en el cuarto de control.

Este centro se encuentra dividido en dos secciones,el sistema de corriente contínua (125v.) y el sistema de corriente alterna 480v.,240v., y 125v.,las dos secciones se encuentran ensamblados conjuntamente una al lado de la otra formando un solo cubículo.

El sistema de corriente alterna está conformada por tres barras horizontales de 480 v. y diseñados para sostener una corriente de falla de 22.000 Amp.(r.m.s.) Un interruptor principal de 600 Amp.,provee la alimentación hacia las barras de 480 volt.,desde los cables principales de salida del transformador de servicio.

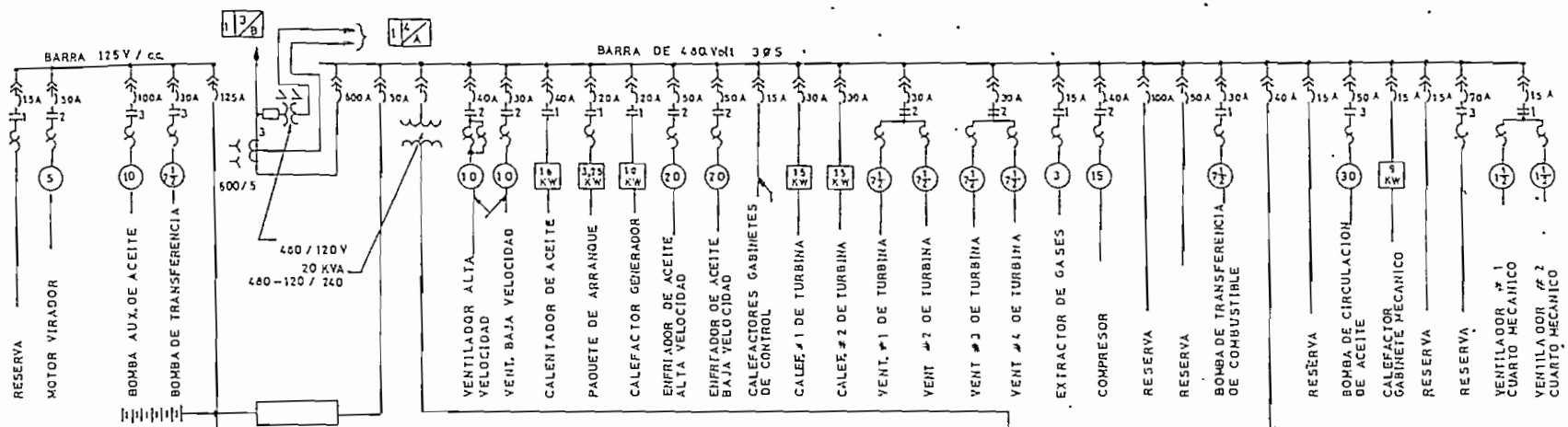
El sistema de corriente contínua de 125 volt.,alimentado desde el cargador de baterías se extiende sobre toda la sección de distribución de auxiliares a corriente contínua.

Cada uno de los compartimientos de distribución es del tipo combinado de arrancador e interruptor automático de desconexión.Cada cubículo es desconectable del sistema de barraje y posee sistemas de enclavamiento por facilidad de mantenimiento.

Todas las unidades de arrancadores poseen un sistema de protección para su desconexión,ya que la cubierta de cada cubículo puede ser abierta solamente si se ha desconectado previamente el interruptor de alimentación.

Cada unidad arrancadora posee tres modos de operación : "manual","desconectado" y "automático";los cuales pueden ser seleccionados mediante una perilla de tres posiciones En el caso de operación automática,el control puede ser operado remotamente desde los sistemas principales de control.

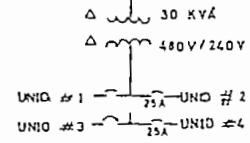
El diagrama unifilar de servicios auxiliares de la unidad



AUX. TRANSF. PRINC.	20	1	2	20	GAB. CUARTO MECANICO
BARRAJE DE 15 KV	30	3	4	20	ALUMB. EMERGENCIA
PANEL DE RELES DE PROTECCION	30	5	5	20	RESERVA
RESERVA	30	7	8	30	INVERTIDOR
ILUMIN. TURBINA	30	9	10	30	REGUL. DE VOLTAJE
INTERRUPTOR 138 KV	30	11	12	100	ALIM. 125 Volts. c.c
LOCALIZACION	AMP		circ		LOCALIZACION
PANEL DE DISTRIBUCION DE 125 Volts. cc.					

BARRA DEL NEUTRO

CALEFACTOR MCC	20	1	2	20	ALUMBRADO DE EMERGENCIA
LUCES Y TOMACORRIENTES	20	3	4	20	ALUMBRADO EXTERIOR
ILUMINACION TURBINA	20	5	6	20	REGULADOR DE VOLTAJE
ILUMINACION CUBICULOS	20	7	8	20	RESERVA – 120 V
ILUM. CUARTO MECANICO	20	9	10	20	GABIN. CUARTO MECANICO
TCORR. CUARTOS DE CONTROL	20	11	12	20	PAQUETE DE ARRANQUE
TOMACORRIENTES TURBINA	20	13	14	20	RESERVA
CALEFACTORES MOTORES DE VENTILADORES	20	17	16	20	RESERVA – 120 V
	20	15	18	20	RESERVA – 120 V
SISTEMA CONTRA INCENDIOS	20	19	20	30	INVERTIDOR
RESERVA – 120 V	20	21	22	30	CALEFACTOR CUBICULO DE BATERIAS
INTERRUPTOR 138 KV–240 V	20	23	24	30	CALEFACTORES, BARRAJE 15 KV – 240 V
	20	25	26	30	
RESERVA – 240 V	20	27	28	30	RESERVA – 240 V
	20	29	30	30	
LOCALIZACION			120/240 V		LOCALIZACION
PANEL DE DISTRIBUCION DE 120/240 V. 2 CABLES c.c.					



AIRE ACONDICIONADO CUARTO DE CONTROL

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL – 79	DIAGRAMA UNIFILAR DE SERVICIOS AUXILIARES	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO L.A.R.		DIAGRAMA E.A.I – 1
S / ESCALA		S / ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

muestra los diferentes niveles de tensión y el arreglo por la importancia de los mismos,observándose preponderantemente los niveles de 480 volt.a.c. con 21 circuitos,240 volt.a.c. con 6 circuitos,120 volt.a.c. con 13 circuitos y 125 volt.c.c. con 12 circuitos.Fig.1.4.1-1.

El sistema contiene tres transformadores de corriente de relación 600/5 Amp. y dos transformadores de potencial de relación 480/120 volt.,que se emplean en el sistema de medida de energía del servicio de estación.

1.4.2.- Baterías y Cargador.-

El cubículo de baterías está colocado en el lado izquierdo y exterior de la estructura de control eléctrico y se encuentra completamente sellado y aislado del resto de la unidad.El cargador de baterías está colocado en el cuarto de control eléctrico.

El banco de baterías provee suficiente energía para tres horas de iluminación de emergencia,sistema de motores de c.c. y sistema de control en caso de pérdida completa del sistema de corriente alterna.

El cargador de baterías es de 480 volt.,60 cic/seg.,tres fases;completamente automático operado por rectificadores de silicón controlados.Posee un sistema de alarma por bajo voltaje de c.c. y c.a.,sistema de detección de falla a tierra,potenciómetros para el ajuste de voltaje flotante y ecualizador.Se incluye un sistema de carga ecualizadora

auto-desconectable mediante relé temporizado.
El cargador mantiene completamente cargado al banco de baterías y provee alimentación de corriente contínua a toda la unidad.

1.5.- Sistemas de Control.-

Considerando que el objetivo del presente trabajo es realizar un análisis detallado de los procedimientos de control, operación y mantenimiento de la unidad; a continuación se realizará una introducción más detallada acerca de la descripción y principios de operación de cada uno de los equipos y sistemas de control.
La unidad contiene los siguientes equipos de control :

Computador controlador (P-50) Analógico Digital
Controlador para mantenimiento local o auxiliar (LMC)
Consola de operación por computador
Consola de operación por controlador local
Gabinete de medida e interruptores de presión
Teletipo impresor, enviador-receptor

1.5.1.- Computador.-

El controlador tipo Prodac-50 (P-50) se encuentra localizado en el cuarto de control. Desarrolla todas las secuencias; dirije todas las operaciones lógicas digitales y funciones analógicas de control. Emplea señales de volta

jes analógicos y operación de contactos de salida (CCO).
En el mismo cubículo se encuentran tanto el sistema digital como el control analógico y el sistema de cableado para interconexión entre partes interiores como exteriores al computador.
En la misma estructura se encuentran las alimentaciones de energía, un panel de mantenimiento y demás soportes para cablería, conectores y circuitos impresos.
El computador tipo híbrido se encuentra dividido en los siguientes grandes grupos de control :

1.5.1.1.- Procesador Central.-

En la parte principal del computador digital posee capacidad de 14 términos por cifra y posibilidad de almacenamiento de 16.334 términos en su memoria. Para facilidad de mantenimiento el sistema lógico de cada término no está localizado en una sola carta, de tal manera que una mala función en un término puede ser asociado a la carta respectiva.
La operación completa del computador está controlada por el sistema de ejecución ordenado mediante programas tanto de tipo estandard como programas especiales necesarios para controlar la operación de la unidad de acuerdo a las necesidades del sistema.
El programa total se encuentra para facilidad dividido en 19 cintas plásticas perforadas que son leídas por el computador mediante una lectora, sea ésta del tipo lento que

cubre la operación en 2 horas ó la del tipo rápido que realiza la lectura en 30 minutos.

El programa cubre entre otras funciones las de controlar procesos como por ejemplo las siguientes :

Control de prioridades
Sistemas de contactos de entrada y salida
Comunicación con la consola de programación
Interrupciones
Sistema numérico y converciones
Detección de computadora muerta y re-establecimiento
Funciones analógicas y conversiones
Alarmas
Secuencia de control
Entrada analógica
Control de turbina y generador
Sincronización
Revisión de alarmas
Contadores de operación

1.5.1.2.- Bloque Analógico de Entrada.-

Esta parte del controlador P-50 rige las funciones del sistema analógico como son : velocidad, transferencia de combustible, control de presión de combustible.

En este sistema se emplean amplificadores tipo convencional que generan señales de comando mediante voltajes analógicos que comandan las válvulas de paso y presión de

combustible como una función de las demandas de operación de la unidad y los niveles de referencia de velocidad y carga impuestas por el computador.

1.5.1.3.- Sistema Analógico de Entrada (AI).-

El controlador registra los valores de voltaje correspondientes a las varias entradas analógicas; empleando un convertidor analógico-digital, los cuales son almacenados en una localización de memoria predesignada, listos para ser leídos cuando se requieren por los diferentes controles, programas de secuencia y protección.
El tipo de variables registradas son de diferentes tipos como por ejemplo : temperaturas, presiones, frecuencia, voltajes, etc.

1.5.1.4.- Sistemas de Entrada de Señales (CCI).-

Se emplea para indicar al computador el estado de todos los dispositivos de control, como son : temperaturas, interruptores, posición de dispositivos de protección, operación y maniobra. Las señales llegan a cartas especiales que pueden iniciar un respuesta en 4 milisegundos.
Los contactos de señales de entrada son periódicamente registrados y su estado (abierto o cerrado) es almacenado en la memoria del computador.
Los diferentes programas en secuencia especial deben referirse a la memoria para verificar el estado general de

la planta.

1.5.1.5.- Sistema de Salida de Señales (CCO).-

Ciertos programas seleccionan localizaciones de memoria, cuyos registros operan relés con contactos embebidos en mercurio y que a su vez envían señales de operación a los diferentes dispositivos de la central : válvulas, interruptores, luces indicadoras, etc.

1.5.1.6.- Señales de Salida.-

La mayoría de las señales analógicas de salida desde el computador son generadas por operación sucesiva de los contactos para señales de salida (CCO).
Las señales que requieren rápida respuesta son generadas en el bloque analógico.
La transferencia de combustible es programada mediante sistemas digitales que generan un voltaje correspondiente al valor almacenado en el registro de control de programa. Esto permite un control flexible y rápido del combustible.

1.5.2.- Controlador para Mantenimiento (LMC).-

El controlador para el mantenimiento local permite controlar la operación durante períodos de salida programada o no del control principal P-50.
El sistema de interconexión y rastreo es tal, que el con-

trol auxiliar asume automáticamente el control de la operación si ocurre una transferencia manual o una salida por falla del control principal.

Como el controlador local o auxiliar provee una mínima parte de reserva para el sistema analógico, este controlador no puede asumir la totalidad del control de funciones que cumple el sistema principal, por tanto en lo posible se debe regresar el control principal. Sin embargo y de acuerdo a experiencias, el control auxiliar permite operar la unidad en forma muy segura y con una pequeña supervisión de operación por parte del operador durante períodos largos, inclusive se lo ha utilizado durante semanas seguidas.

Considerando que el controlador local o LMC, es un elemento emergente de control, su capacidad de supervisión de los parámetros de operación es menor que la capacidad del P-50 especialmente en lo que a temperatura de álabes y escape se refiere, por tanto debido a criterios de seguridad las curvas referenciales de velocidad de arranque y cargas tienen niveles inferiores que las del computador, esta razón por la cual la capacidad de toma de carga cuando se trabaja con el LMC es menor que el computador.

Este sistema auxiliar controla la unidad desde el arranque hasta cerca de la velocidad sincrónica, aproximadamente el 95% de la velocidad nominal. Después del encendido el sistema analógico del LMC eleva automáticamente la se

ñal de demanda de combustible de acuerdo a un programa de incremento temporizado, sujeto solamente al límite de la temperatura de álabes de la turbina.

Al llegar al 95% de la velocidad sincrónica el operador debe manualmente incrementar la velocidad hasta el 100% sincronizar la unidad al sistema y tomar la carga de - seada.

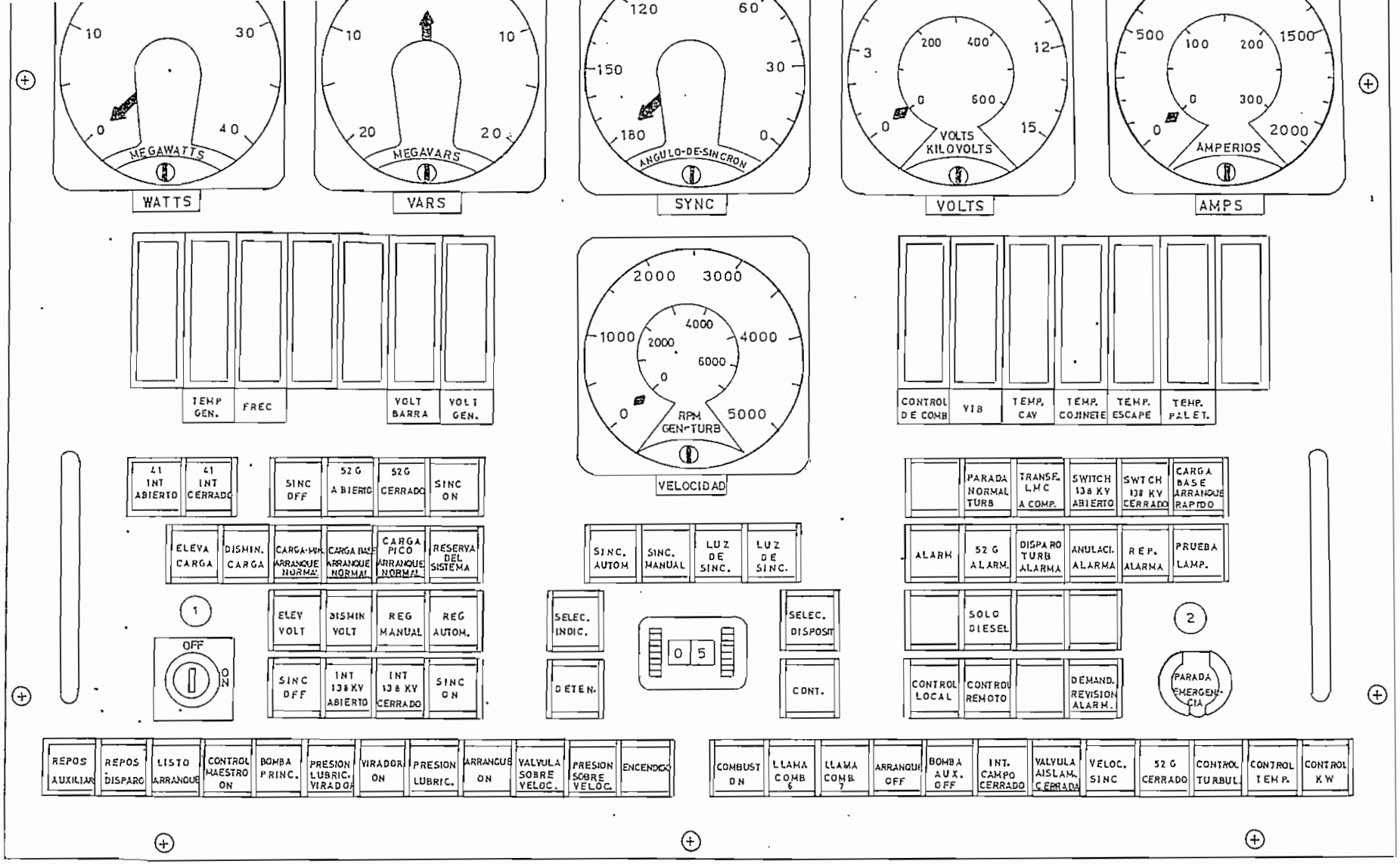
El LMC controla directamente la abertura de la válvula principal de paso de combustible y la válvula by-pass reguladora de presión de combustible y de esta forma indirectamente se controla la velocidad o la carga y la temperatura de paletas de la turbina.

Cuando la unidad está operando con el P-50, el LMC opera como un sistema de rastreo para asegurar el mínimo cambio de posición de las válvulas de combustible durante la transferencia.

El sistema de control del sistema auxiliar se basa en la observación de parámetros y la comparación con valores límites máximos de temperatura de paletas, vibraciones y baja velocidad; iniciándose el disparo de la unidad al sobrepasar alguno de los valores maximos pre-establecidos.

1.5.3.- Panel de Operación por Computador. Fig. 1.5.3-1.

El panel de operación por computador se encuentra ensamblado en la consola principal de operación que soporta también el panel de operación por control auxiliar (LMC).



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL -79	PANEL DE OPERACION POR COMPUTADOR	TESIS PROFESIONAL
DIBUJO: L.A.R.		DIAGRAMA 1.5.3-1
S / ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

y a todo el equipo de control auxiliar en la parte superior.Este panel de operación tiene la posibilidad de ser colocado fuera de la unidad para operación remota o trabajar en paralelo fuera de la unidad para mayor flexibilidad de operación remota.

El panel de operación consiste de :

Botones pulsadores de operación

Botones indicadores luminosos

Indicadores analógicos

Indicadores analógicos operados por computador

Interruptores varios

1.5.3.1.- Interruptores Pulsadores y Lámparas Indicadoras.

Cada uno de los botones pulsadores cumple una función de tipo lógico que será analizado en detalle posteriormente y todos estos indican la aceptación de la operación mediante su propia señal luminosa.

Existen tres tipos de interruptores especiales de importante operación selectiva y son :

a.- Interruptores con llave ON-OFF.-

Permite la operación del no autorizado uso de los 5 botones pulsadores de detención de secuencia de arranque con indicación luminosa (hold push botton),los cuales permiten al operador realizar la función de operación desde el arranque hasta la sincronización mediante

5 etapas :

1.- Bomba de circulación de aceite operando

2.- Motor virador en operación

3.- Paquete de arranque en operación

4.- Presión de aire para disparo de sobre velocidad lista

5.- Velocidad sincrónica

La selección de operación de cada uno de los pasos de arranque que se lo realiza mediante el respectivo botón pulsador de detención "HOLD" y la continuación del proceso se ordena mediante el pulsador "GO".

b.- Pulsadores selectores de lecturas analógicas.-

Se emplea para realizar lecturas de diferentes parámetros de operación tanto de turbina como de generador,utilizando un solo indicador para dos o más lecturas.Para tal efecto mediante el selector de dos dígitos (00-99) se coloca el número del indicador y se presiona el selector de indicador "SELECT IND",luego se coloca el número del dispositivo mediante el cual se realiza la lectura y se presiona el botón selector de dispositivos,"SELECT DIV" e inmediatamente aparece en el indicador escogido el valor de voltaje,frecuencia,vibración temperatura,etc.,del dispositivo seleccionado.
La codificación tanto de indicadores como de dispositivos se encuentran en la tabla 1.5.3-2.

c.- Pulsador de parada para emergencia.-

Las funciones de este dispositivo de protección son:

Indicación luminosa de aceptación de la orden por parte del computador.

Abertura del interruptor del generador e interruptor de campo.

Corte inmediato del paso de combustible.

Desaceleración normal de la turbina y secuencia normal del motor virador.

En general las normas más importantes para la operación de los botones pulsadores son los siguientes :

1.- Todos los pulsadores se encuentran en posición normalmente abierta,es necesario presionarlos para indicar la operación.

2.- El tiempo mínimo necesario que se debe mantener presionado el pulsador para iniciar la operación es de 1.2 segundos.

3.- No se debe presionar más de un pulsador al mismo tiempo ya que esto puede producir malas aceptaciones de órdenes y fallas en la operación.

Existen cuatro pulsadores para los cuales el tiempo de realización de la operación es igual al tiempo que se los mantiene presionados;estos son :

1.- Incremento de carga ("Load Raise")

2.- Decremento de carga ("Load Lower").

Tabla 1.5.3-2

TABLA DE DISPOSITIVOS DE SELECCION E INDICADORES

Indicador	Dispositivo	Descripción
01		Vatios
	01	Generador
	02	Barra Auxiliar
02		Vars
	03	Generador
03		Sincronoscopio
04		Voltios
	04	Generador Fase A-N
	05	Generador Fase B-N
	06	Generador Fase C-N
	07	Barra Fase A-N
	08	Barra Fase B-N
	09	Barra Fase C-N
	10	Línea Fase A-N
	11	Línea Fase B-N
	12	Línea Fase C-N
	13	Barra Auxiliar Fase A-N
	14	Barra Auxiliar Fase B-N
	15	Barra Auxiliar Fase C-N
05		Amperios
	16	Generador Fase A

Indicador	Dispositivo	Descripción
	17	Generador Fase B
	18	Generador Fase C
	19	Barra Auxiliar Fase A
	20	Barra Auxiliar Fase B
	21	Barra Auxiliar Fase C
06		Reserva
07	22	Temperatura del Generador
	22	RTD 1
	23	RTD 2
	24	RTD 3
	25	RTD 4
	26	RTD 5
08		Frecuencia
	27	Generador
	28	Sistema
09		Amperios Corriente de Campo (c.c.)
10		Voltaje de Campo (c.c.)
11		Voltaje de la barra del Sistema.
12		Voltaje del Generador
13		Velocidad (RPM)
14		Señal de control de combustible.
15		Vibración
	29	V1B Compresor

Indicador	Dispositivo	Descripción
	30	V2B Turbina
	31	V2B Generador Lado Compresor.
	32	V4B Generador Lado Excitación.
16		Temperatura de cavidades
	33	1 DC1-1
	34	1 DC1-2
	35	1 DC2-1
	36	1 DC2-2
	37	1 DC3-1
	38	1 DC3-2
	39	1 DC4-1
	40	1 DC4-2
17		Cojinete y Temperatura de aceite.
	41	LT 17 Turbina
	42	LT 18 Turbina
	43	LT 19 Turbina
	44	LT 20 Turbina
	45	LT 21 Turbina
	46	LT 22 Turbina
	47	LT 23 Turbina
	48	LT 24 Turbina
	49	LT 25 Drenaje Generador lado compresor.

Indicador	Dispositivo	Descripción
	50	LT 26 Drenaje Generador lado excitación
	51	LT 27 Reservorio de aceite
	52	LT 28 Reservorio de aceite
	53	LT 31 sin aplicación
	54	LT 32 sin aplicación
18		Temperatura de escape
	55	LT 9
	56	LT 10
	57	LT 11
	58	LT 12
	59	LT 13
	60	LT 14
	61	LT 15
	62	LT 16
	63	Promedio = Cuatro primeras
	64	Promedio = Cuatro segundas
19		Temperatura de paletas
	65	LT 1
	66	LT 2
	67	LT 3
	68	LT 4
	69	LT 5
	70	LT 6
	71	LT 7

Indicador	Dispositivo	Descripción
	72	LT 8
	73	Promedio = Cuatro primeras
	74	Promedio = Cuatro segundas
20		Reserva
21		Sin aplicación

3.- Incremento de voltaje ("Volt.Raise")

4.- Decremento de voltaje ("Volt.Lower")

1.5.3.2.- Indicadores Analógicos.-

Se encuentran localizados en la mitad superior del tablero de control, la fila superior contiene los siguientes indicadores :

Tres indicadores convencionales:

1.- Megawatts del generador

2.- Megavars del generador

3.- Angulo de sincronización

Dos indicadores operados por el computador:

1.- Voltios del generador

2.- Amperios del generador

La segunda fila contiene :

Cuatro indicadores convencionales

1.- Control de combustible (Fuel Cont)

2.- Velocidad (Speed)

3.- Voltaje del generador (Inc.Gen.Volts)

4.- Voltaje de la barra principal (Run Bus Volt)

Cuatro indicadores de repuesto o reserva

Siete indicadores operados por el computador :

1.- Frecuencia (Freq)

2.- Vibración (Vib) (en milésimas de pulgada)

3.- Temperatura de cavidades de paletas ^{o}F (Disc.Cav.)

4.- Temperatura de cojinetes ^{o}F (Brg)

5.- Temperatuta de escape (Exha.Temp.)

6.- Temperatura de paletas ^{o}F (Blade Temp.)

7.- Temperatura del estator de generador ^{o}F (Gen.Temp.)

Todos los indicadores alambrados tipo convencional son independientes del computador y siempre indican el mismo parámetro de medida.

En este panel de operación existen también los respectivos pulsadores para determinación de carga mínima, base, pico y reserva. El probador de lámparas (Lamp.Test), el revisor de alarmas operadas (Demand.Review), el pulsador de paro normal (Turbine Normal Stop) y otros controles cuya operación se detallará en el desarrollo de los procedimientos de operación.

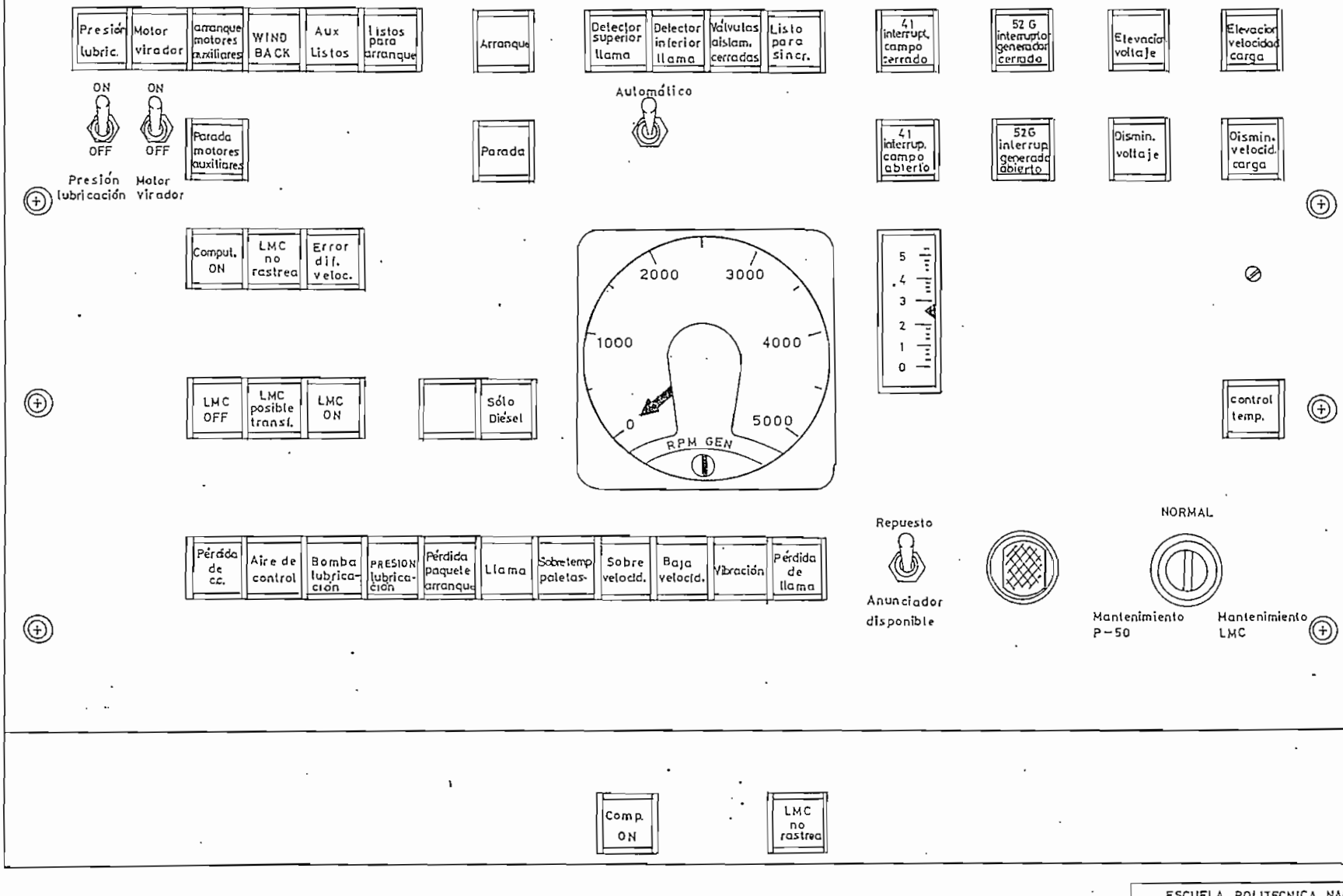
1.5.4.- Panel de Operación por el Control Local o Auxiliar. (LMC) Fig.1.5.4-1

Este panel permite mantener la operación normal de la turbina durante salidas programadas o automáticas del computador. Durante estas operaciones algunos indicadores del panel del control por computador permanecen en operación.

El panel de control auxiliar se encuentra localizado inmediatamente arriba del panel de control por P-50.

Este panel contiene los siguientes controles :

1.- Interruptores pulsadores



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
ABRIL-79	PANEL LOCAL DE OPERACION (LMC)	TESIS PROFESIONAL
DIBUJÓ: L.A.R.		DIAGRAMA 15.4-1
S/ESCALA		S/ACOTACION
FERNANDO JARAMILLO H.		

2.- Interruptores pulsadores con indicación luminosa

3.- Lámparas indicadoras

4.- Indicadores analógicos

5.- Interruptores varios

Los medidores de megawatios,ángulo de sincronización,voltaje del generador,voltaje de la barra,megavars del panel de control por computador no se duplican en este panel ya que siendo alambrados directamente permanecen en operación durante paros del computador.

1.5.4.1.- Interruptores Pulsadores y Lámparas Indicadoras.

Al igual que en el panel del P-50,son del tipo normalmente abiertos,deben ser presionados para iniciar la operación y producen señal luminosa como aceptación de la orden respectiva.

1.5.4.2.- Indicadores Analógicos.-

Este panel posee solamente dos :

a.- Velocidad del generador (RPM.Gen)

Esta señal proviene del sistema analógico de control de velocidad y se deriva de dos sensores montados en el lado de excitación.

b.- Demanda de combustible (Fuel Domand)

Este indicador tipo regla,muestra la señal de salida de control de combustible en una escala de 0-5 volt. d.c.

Esta señal se mantiene en permanente rastreo de la señal de control de combustible del computador, con el objeto de permitir una normal transferencia del un sistema de control al otro

1.5.4.3.- Interruptores Especiales.-

Existen cuatro interruptores manuales de dos posiciones y un interruptor de operación mediante llave.

a.- Interruptor de tres posiciones operado por llave.-

Este interruptor selector permite bloquear el control sea del sistema auxiliar (LMC) o del sistema del computador (P-50); la posición intermedia o normal permite mantener a los sistemas de transferencia en disponibilidad completa. Normalmente este selector se lo emplea para realizar trabajos de mantenimiento en cualquiera de los dos sistemas de control.

b.- Interruptor de dos posiciones para presión de aceite de lubricación (Lub-Press, ON OFF)

Se lo emplea para conectar o desconectar la bomba auxiliar de corriente contínua de aceite de lubricación. Cuando la presión de aceite es suficiente, se cierran los contactos del relé de presión 63/1 y obtenemos la respectiva señal luminosa en la ventanilla indicadora "Lube Press".

c.- Interruptor de dos posiciones para motor virador (Turning gear, ON-OFF).-

Energiza el motor virador durante procesos de parada de la unidad,con el objeto de evitar deformaciones en el eje de·la unidad por acumulación de calor en la parte media superior del rotor de·la turbina.

d.- Interruptor de paso de combustible,encendido automático de detención del proceso.(Fuel and Ignition Automatic/Hold).

Este interruptor inicia la secuencia de combustible y encendido; o sea :

1.- Restablece el sistema de disparo por sobreveloci - dad.

2.- Mantiene durante 35 segundos la chispa para encendido.

3.- Abre la válvula de combustible.

4.- Permite el paso de aire de atomización durante 90 segundos.

5.- Energiza la bomba principal de combustible.

e.- Interruptor anulador-posicionador de alarma sonora.- Silencia la alarma sonora y restablece su operación normal.

1.5.4.4.- Botones Pulsadores de Indicación de Alarmas.-

Existen en la parte inferior del panel 11 pulsadores indicadores de alarma,la operación en cada uno de ellos evita la capacidad de reposición del LMC.Si una con

dición de alarma se presenta, el indicador se enciende hasta que el pulsador lo anula mediante presión. Todas las alarmas son anuladas automáticamente mediante la transferencia del P-50 al LMC.

Todas a excepción de la de aire de instrumentación "Inst. Air" causan parada de emergencia de la unidad durante las operaciones del LMC.

Las alarmas son las siguientes :

1.- Pérdida de corriente contínua (Loss of D.C.) opera cuando el voltaje baja de 105 VDC.

2.- Pérdida de aire de instrumentos (Inst.Air)

3.- Alta temperatura de aceite lubricante (Lube Temp.)

4.- Baja presión de aceite lubricante (Lube Press)

5.- Pérdida del paquete de arranque (Loss of Starting Device)

6.- Pérdida de llama (Flame)

7.- Sobre temperatura de paletas (Bp Over Temp.)

8.- Sobre velocidad (Over Speed)

9.- Baja velocidad (Under Speed)

10.- Vibración (Vib)

11.- Fuego (Fire)

1.5.5.- Teletipo Impresor .-

El teletipo impresor enviador-receptor, del tipo denominado ASR-35, se encuentra localizado cerca del panel de operación. Este teletipo es el centro de intercambio de

información entre el computador y el personal de operación.Posee una capacidad de impresión de cien términos por minuto.

A través del teletipo,el computador imprime los datos de operación requeridos cada cierto período de tiempo y de acuerdo al programa de información pre-codificado en el computador,imprime las alarmas detectadas por el computador.

En igual forma el operador puede extraer del computador a través del teletipo todo tipo de información,tanto de operación como de programación.Todo tipo de respuesta del computador así como de datos de operación y alarmas,se imprimen precedidas por el tiempo de ocurrencia de acuerdo con el sistema de temporización del reloj del computador.

1.5.5.1.- Mensajes de Alarma.-

Inmediatamente que la condición anormal se presenta,el computador imprime el tiempo de ocurrencia,la condición,identificación y el mensaje de alarma.

Tan pronto como la condición anormal desaparece,el computador imprime el restablecimiento de la condición normal y la hora a la cual ocurre.

Mediante el pedido del operador de revisión de alarmas; "Demand-Review",se puede obtener una completa re-impresión de todas las condiciones de alarmas existentes.

Existen 84 posibilidades de presentación de alarmas, cuyas condiciones de operación y restablecimiento se encuentran codificadas y serán analizadas posteriormeneto en detalle.

1.5.5.2.- Entradas Analógicas al Computador.-

Se define por análogo a una variable contínua, acoplada y relacionadá matemáticamente con otra cantidad o elemento. En este caso de los sistemas de control de la turbina, es la relación entre los valores detectados por cualquiera de los dispositivos de control; por ejemplo : temperatura y termocupla, etc.

Para determinar cualquiera de los valores analógicos se siguen los siguientes pasos :

a.- Se determina en la tabla la entrada analógica requerida.

b.- Se presiona el "interruptor de atención" en el teletipo.

c.- Se imprime las letras AI (Analog Imput) en el teletipo.

d.- Se imprime el número de la entrada analógica requerida.

e.- Se presionan las teclas "Line Feed" y "Return".

Este procedimiento de operación y el código de entradas analógicas serán analizadas detenidamente en el Capítulo 2

en la sección de funcionamiento del teletipo.

1.5.6.- Tablero de Medida e Interruptores de presión.-

Fig 1.5.6-1.-

Este gabinete de control se encuentra localizado en el paqute de auxiliares mecánicos y contiene los siguientes bloques de control :

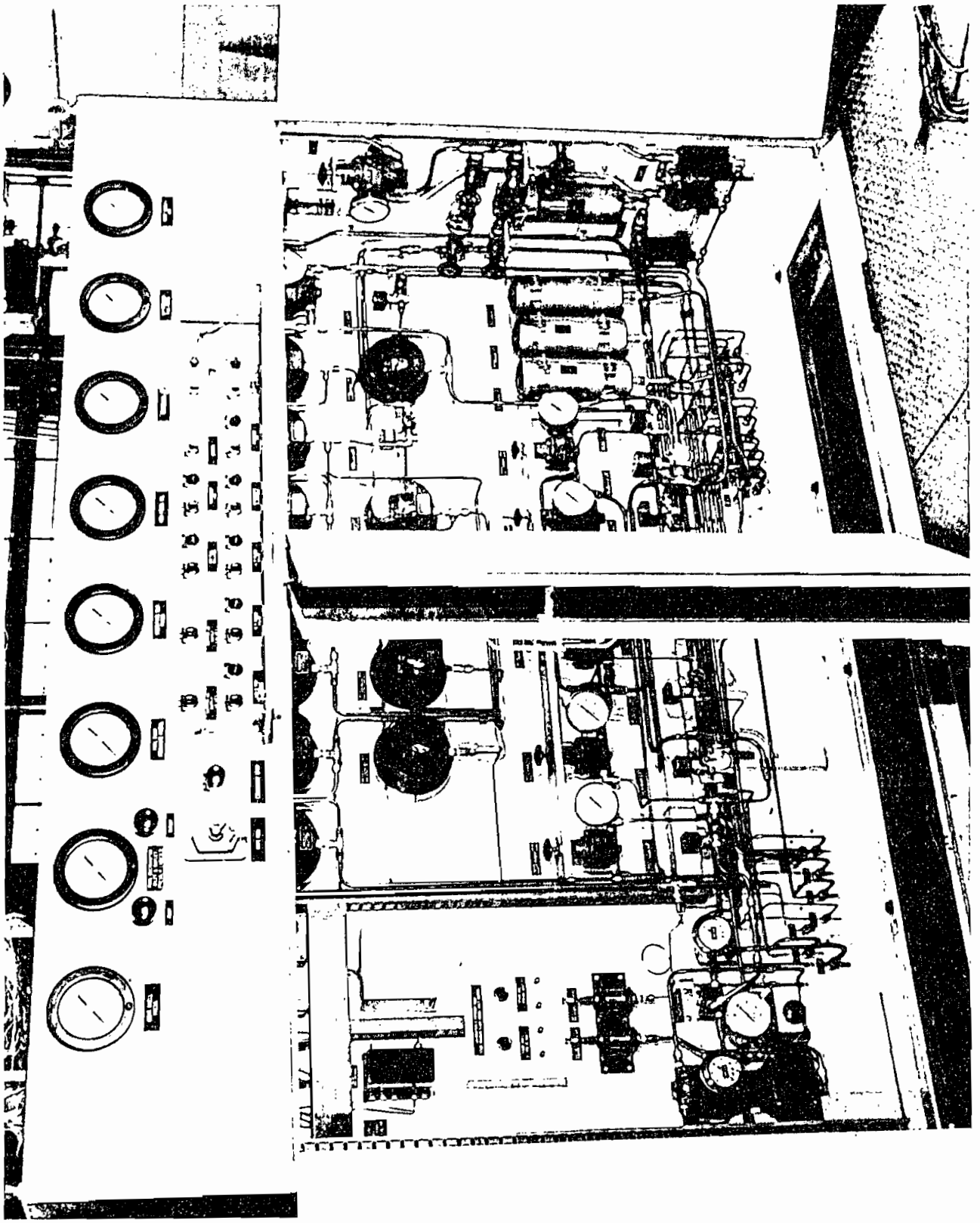
- Válvulas solenoides operadas por el controlador
- Medidores e indicadores de lectura directa
- Interruptores de mantenimiento y operación incluyendo un botón de parada de emergencia y uno de bloqueo de operación.
- Equipo de control para funciones auxiliares

1.5.6.1.- Indicadores de Presión.-

Existen 11 indicadores de presión : 4 en el interior y 7 en el exterior del gabinete.

Los existentes en el interior son :

- Señal de salida de combustible
- Señal de la válvula limitadora presión-temperatura
- Presión a la salida del filtro F-1 del sistema de aire.
- Presión a la salida del filtro F-3 del sistema de aire.



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
Abril · 79	Tablero de Control de Presiones	Tesis Profesional
Dibujó: L.A.R.		Diagrama: I.3.0·1
s/Escala		s/Acotación
FERNANDO JARAMILLO H.		

Los indicadores existentes en el exterior son :

- Entrada de combustible al distribuidor de toberas
- Descarga de la bomba de combustible
- Presión de aceite de cojinetes
- Presión de la cámara combustora
- Alta presión de aceite
- Alimentación de aire de instrumentos
- Disparo de sobrevelocidad

1.6.- Sistema de Arranque de la Turbina.-

El sistema de arranque es uno de los bloques principales en la operación de la turbina.

La potencia suficiente para arrancar la turbina se obtiene de un motor diesel de 800 HP, el cual está acoplado al eje generador-turbina mediante un convertidor hidráulico de torque.

El motor diesel y el convertidor de torque aceleran la turbina desde 3 r.p.m., que es la velocidad de giro con motor virador hasta 1.000 r.p.m., en un tiempo aproximado de cinco minutos, instante en el cual se produce el encendido.

Una vez que se ha producido el encendido, la aceleración de la turbina con la ayuda del paquete de arranque es continuado hasta las 3.000 r.p.m., velocidad a la cual el dispositivo de arranque es desconectado.

El motor diesel empleado en dicha unidad es un motor CUMMINS Modelo VTA-1710 de 800 HP.

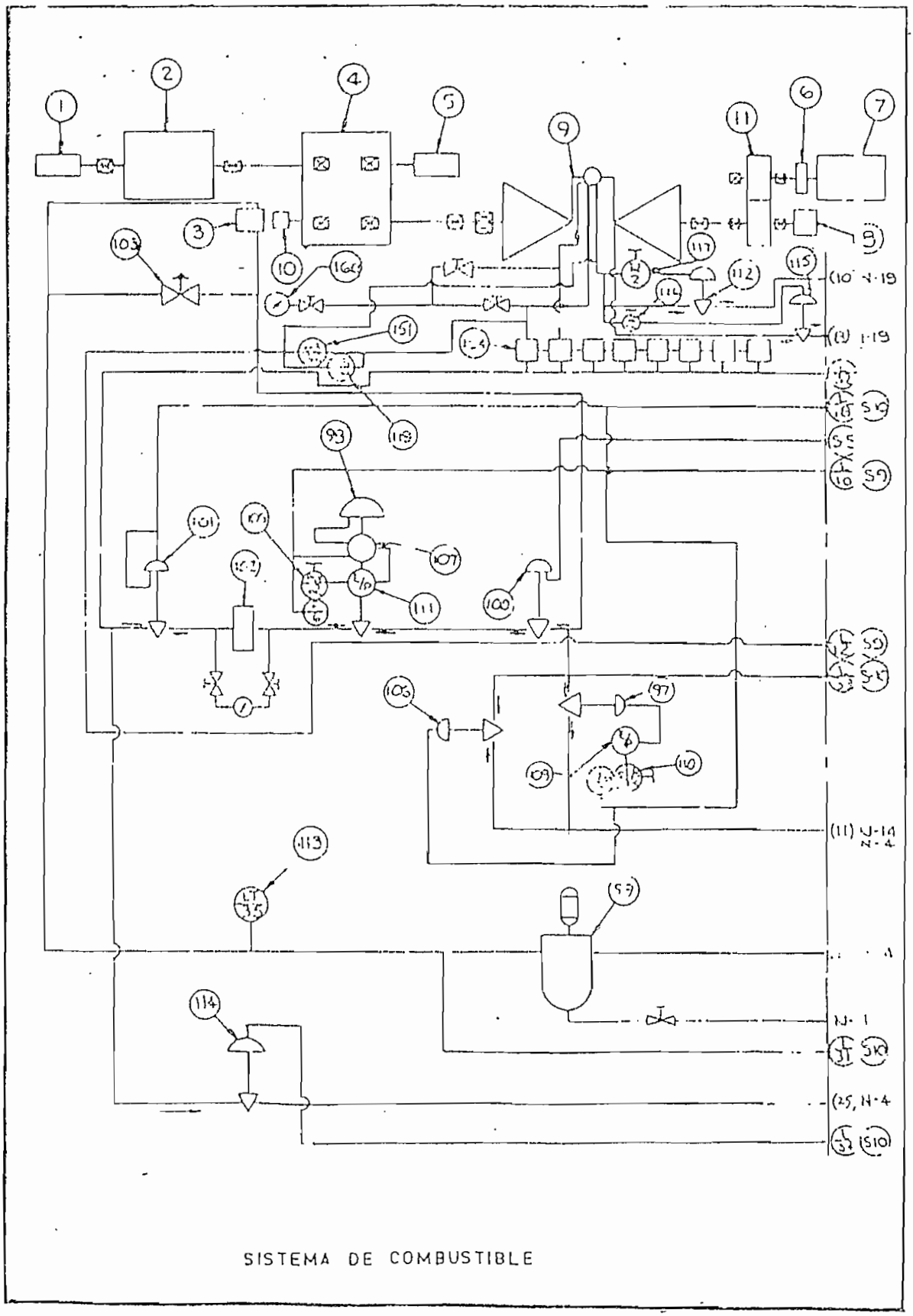
La potencia para arrancar el motor es obtenido de un banco de baterías de 24 voltios,que se encuentra en el mismo módulo de arranque.

El tablero de control de arranque de la unidad puede ser operado en forma remota desde el tablero principal de control de operación o manualmente desde el mismo cubículo del motor de arranque.Condición esta última muy apropiada cuando se tratan de realizar pruebas de los sistemas de control de arranque o pruebas de giro del motor diesel.

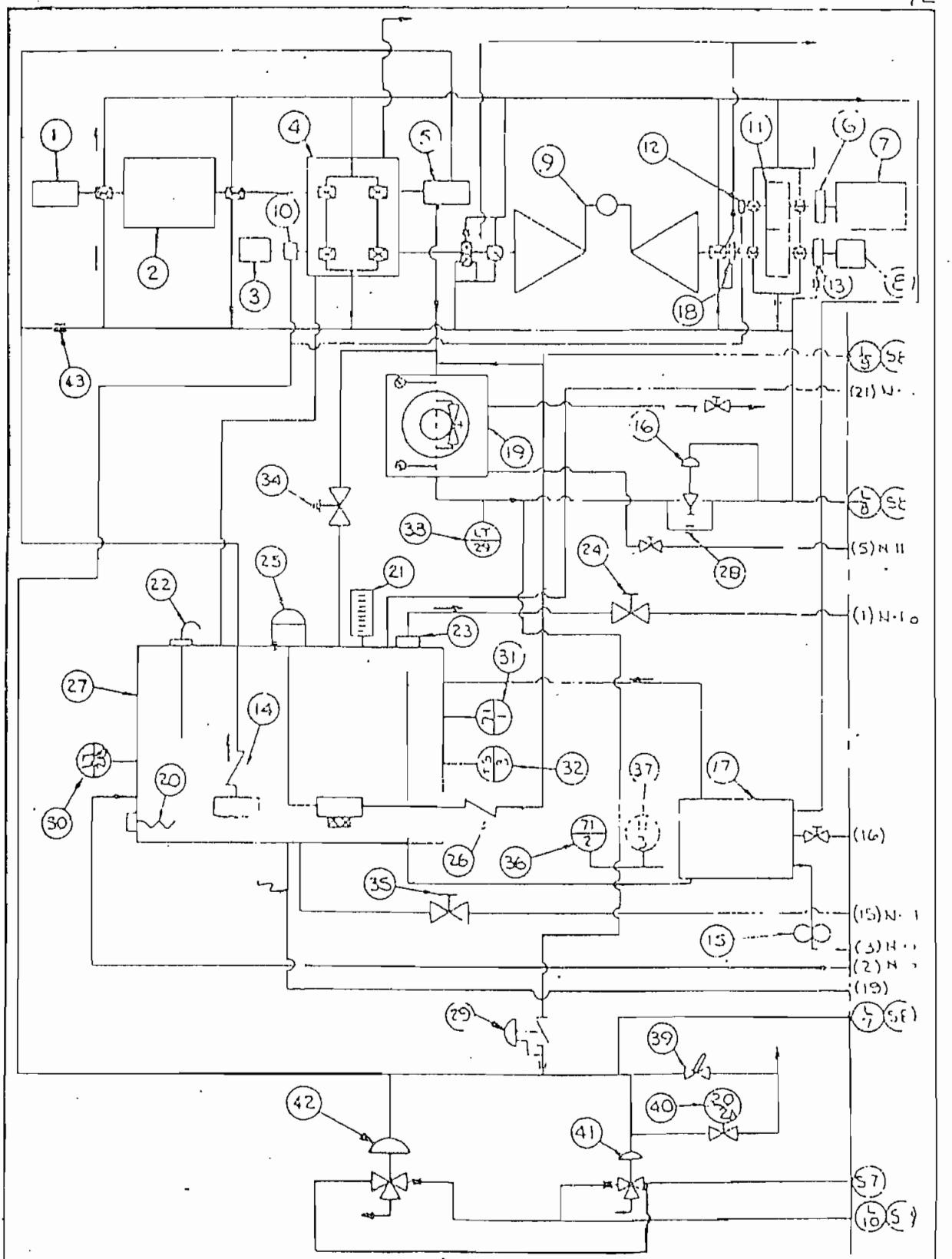
La unidad diesel posee las protecciones normales o estandard para un motor de ese tipo como son :baja presión de aceite lubricante,alta temperatura de agua de refrigeración sobre-velocidad y una protección especial denominada "sobre-acoplamiento" que opera cuando el motor de arranque no es desconectado del eje de la unidad a velocidades mayores a 3.000 r.p.m.

1.7.- Diagramas Esquemáticos.-

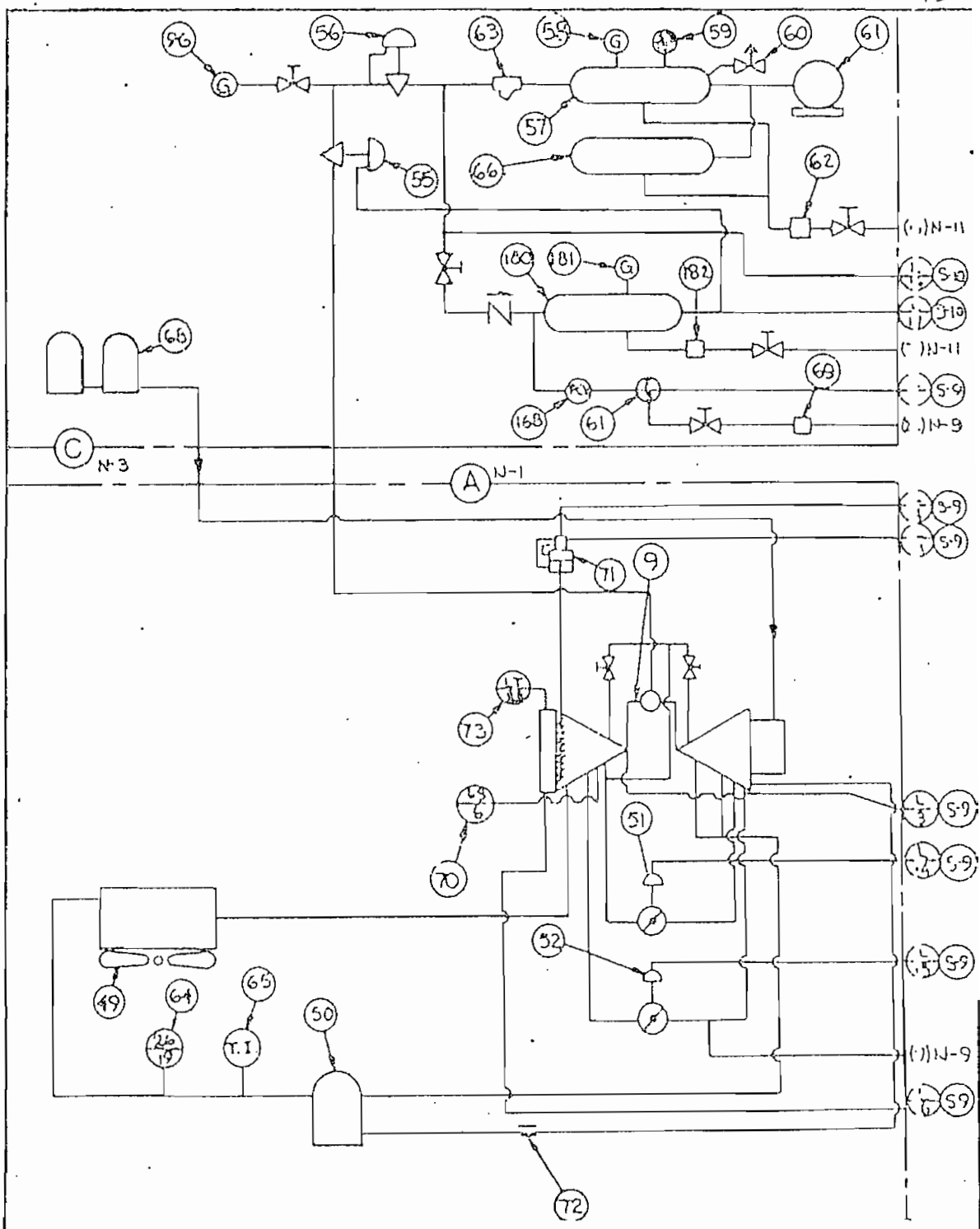
A continuación se adjuntan los diagramas esquemáticos de cada uno de los sistemas de operación,combustible, aceite,aire y control;además un índice numérico de cada uno de los dispositivos empleados. Ver tabla 1.7-1.



SISTEMA DE COMBUSTIBLE



SISTEMA DE LUBRICACION



SISTEMA DE AIRE A PRESION

LISTA DE DISPOSITIVOS DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DE CONTROL.- Tabla 1.7-1.

1.- Excitador
2.- Generador
3.- Bomba de combustible
4.- Piñón principal
5.- Bomba de lubricación
6.- Convertidor de torque
7.- Paquete de arranque
8.- Motor virador
9.- Turbina a gas
10.- Disparo de sobre velocidad-turbina
11.- Piñón de arranque
12.- Disparo de sobre velocidad-arrancador
13.- Embrague,motor virador

SISTEMA DE ACEITE.-

14.- Válvula de control (bomba principal)
15.- Bomba (Enfriador de aceite)
16.- Regulador de presión
17.- Drenaje
18.- Embrague de arranque
19.- Filtro de aceite
20.- Calentador de aceite
21.- Termómetro de reservorio

22.- Indicador de nivel

23.- Extractor de gases

24.- Válvula de control del extractor

25.- Bomba auxiliar

26.- Válvula de control de bomba auxiliar

27.- Reservorio

28.- Regulador de presión

29.- Regulador de disparo de sobre velocidad

30.- Termocupla de reservorio

31.- Interruptor de nivel

32.- Interruptor de temperatura

33.- Válvula de descarga

35.- Válvula de drenaje

36.- Interruptor de nivel inferior

37.- Interruptor de nivel superior

38.- Termocupla en línea de cojinetes

39.- Disparo manual

40.- Solenoide, disparo de sobre velocidad

41.- Válvula piloto, disparo de sobre velocidad

42.- Válvula piloto, disparo de sobre velocidad

43.- Orificio para regulación

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE LA TURBINA,VALVULAS DE AISLAMIENTO, AIRE DE ATOMIZACION.-

49.- Enfriador

50.- Filtro

51.- Válvulas de aislamiento del compresor (A.P)

52.- Válvula de aislamiento del compresor (B.P)

55.- Válvula de aislamiento-aire de atomización

56.- Regulador-aire de atomización

57.- Tanque reservorio-aire de aotmización

58.- Medidor-aire de atomización

59.- Relé de presión (63-121)

60.- Válvula de descarga-aire de atomización

61.- Compresor de aire

62.- Drenaje

63.- Filtro

64.- Relé de temperatura

65.- Indicador de temperatura

66.- Tanque receptor

67.- Filtro de aire de instrumentos

68.- Extinguidor de incendios

69.- Trampa de humedad

70.- Relé de presión para encendido

71.- Sin aplicación

72.- Extrangulamiento

73.- Termocupla,admisión de aire

SISTEMA DE COMBUSTIBLE.-

96.- Medidor-aire de atomización

97.- Regulador de presión-descarga de la bomba

98.- Válvula extranguladora

99.- Filtro de succión

100.- Válvula-disparo de sobre velocidad

101.- Válvula de aislamiento

102.- Filtro de alta presión

103.- Válvula de seguridad-bomba principal

104.- Distrubuidor de flujo

105.- Regulador 62/F-6-Válvula extranguladora

106.- Válvula reguladora-descarga de bomba

107.- Posicionedor de válvula

109.- Transductor (Volts/Press)

110.- Regulador 63/F-6-descarga de bomba

111.- Transductor (Volts/Press)

112.- Válvula de drenaje del combustor

113.- Entrada-bomba principal

114.- Válvula de drenaje-admisión

115.- Válvula de drenaje-turbina

116.- Drenaje de turbina (PCV-56)

117.- Drenaje de combustor (PCV-2)

118.- Disparodor

GABINETE DE MANOMETROS Y RELES DE PRESION.-

123.- Activador 63/8-1- válvula de aislamiento

124.- Activador 63/8-1- válvula de aislamiento

126.- Relé de presión 63/10- entrada al compresor

127.- Relé de presión 63/7- disparo de sobre velocidad

128.- Relé 63/11- aire de instrumentos

129.- Relé 63/4- aceite de cojinetes

130.- Relé 63/1- aceite de cojinetes

131.- Relé 63/3- alta presión de aceite

132.- Activador 20/10-1- válvula de aislamiento

133.- Activador 20/10-2 válvula de aislamiento

134.- Línea desde el combustor-20/25

135.- Válvula 20/35- aire de instrumentos

136.- Sin aplicación

137.- Transductor-presión cámara combustora

138.- Regulador 4- aire de instrumentos

139.- Regulador 3- aire de instrumentos

140.- Regulador 28- aire de operación

141.- Regulador 50- alimentación del transductor

142.- Sin aplicación

143.- Regulador 22- aire de instrumentos

144.- Filtro 1- aire de instrumentos

145.- Filtro 2- aire cámara combustora

146.- Alimentación aire de instrumentos

147.- Disparo de sobre velocidad

148.- Aceite para cojinetes

149.- Presión- cámara combustora

150.- Alimentación de aire,63/21

151.- Relé 63/90- presión diferencial de toberas

153.- Relé 63/9 DS- entrada bomba principal

154.- Válvula 20/17 - aire de atomización de combustible.

155.- Válvula 20/1 D- combustible

158.- Transductor- descarga de la bomba

159.- Alimentación de aire

160.- Tobera de combustible

161.- Distribución de combustible

162.- Descarga- bomba de combustible

163.- Alta presión de combustible

164.- Secador- aire de instrumentos

165.- Tanque reservorio

166.- Tanque reservorio

167.- Regulador -alimentación de aire de instrumentos

168.- Medidor

170.- Trampa de humedad

AIRE DE ATOMIZACION.-

180.- Tanque receptor

181.- Medidor

182.- Drenaje contínuo

1.8.- Comentarios.-

Considerando a la unidad como tipo paquete en la cual todos los sistemas se encuentran ubicados en la forma más compacta posible,la disposición de todos los sistemas tanto principales como auxiliares se encuentran dispuestos de acuerdo a las necesidades prácticas de operación y las necesidades de supervisión y control de cada uno de los equipos.

La sala de control brinda todas las facilidades de supervisión de operación,tanto de los sistemas de control y protección como de los sistemas de distribución de energía para los dispositivos auxliares.

Un elemento de perturbación en la sala de control es la ubicación del rectificador-cargador de baterías, dada la gran capacidad,este elemento discipa una gran cantidad de calor que altera en forma notable la distribución calórica en la sala de control;si consideramos que uno de los principales factores que influyen en la eficiencia de operación del computador es el mantener una temperatura media ambiente estable,al estar localizado el cargador de baterías frente al computador,obliga a los elementos de acondicionamiento de aire a trabajar más intensamente.

Si se admite que los demás elementos y barrajes discipan una determinada cantidad de calor,la falla de cualquiera de los cuatro acondicionadores existentes hacen que la temperatura ambiente del cuarto de control se eleve hasta niveles cercanos al de alarma y pone en riesgo la apro -

piada operación del computador.

La unidad presenta facilidad de acceso hacia el recinto propio de la turbina para realizar inspecciones y reparaciones menores,pero durante mantenimientos mayores en la turbina,se ha demostrado que el espacio interior no es suficiente para realizar determinados trabajos para los cuales se necesita emplear máquinas-herramientas de gran capacidad y tamaño.La determinación del espacio mínimo necesario empleado en el diseño y construcción de la unidad se basa en la aplicación de herramientas especiales,hidráulicas y neumaticas,en la realización de los mantenimientos mayores,lo cual demanda una gran inversión de capital. Este criterio de trabajo tiene poca validez en nuestro medio dada la dificultad de conseguir herramientas especiales de trabajo,por tal motivo al emplcar sistemas equivalentes de trabajo,se ha encontrado que el espacio interior es insuficiente creándose dificultades y demoras en la realización del trabajo.

Todos y cada uno de los módulos principales que conforman la unidad,se encuentran separados mediante paredes debidamente aisladas tanto para el nivel de ruido como también para la temperatura,especialmente el recinto de la turbina propulsora con el resto de los módulos,obteniéndose de esta manera un apropiado nivel de seguridad tanto del personal de operación como de los equipos instalados.

CAPITULO 2.-

FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL OPERACION Y MANIOBRA.-

2.1.- Controlador Operacional Automático Tipo Híbrido.-

Las necesidades de control del sistema turbina-generador de acuerdo a los requerimientos más sofisticados de control para todos los procesos de operación ,se han cubierto mediante un sistema lógico digital que se basa en los dos conceptos de la teoría de control moderno :

Primero,el concepto de la emisión de señales anticipadas o adelantadas de control de un proceso (feed-forward characterization) y el concepto de calibración de retro-alimentación de un proceso.Estos dos criterios hacen que el sistema de control y operación de la turbina,estén de acuerdo a las características de diseño.

Segundo,el concepto de controladores mediante circuitos integrados y los conceptos de programación utilizados para lograr una unidad de alta confiabilidad de operación con mínimas necesidades de mantenimiento.

En general el sistema realiza las siguientes grandes funciones de control :

- Dirige,codifica,acepta y envía las señales de control de entrada y salida.
- Desarrolla procedimientos de chequeo.
- Ordena la impresión de registros de operación y alarma.

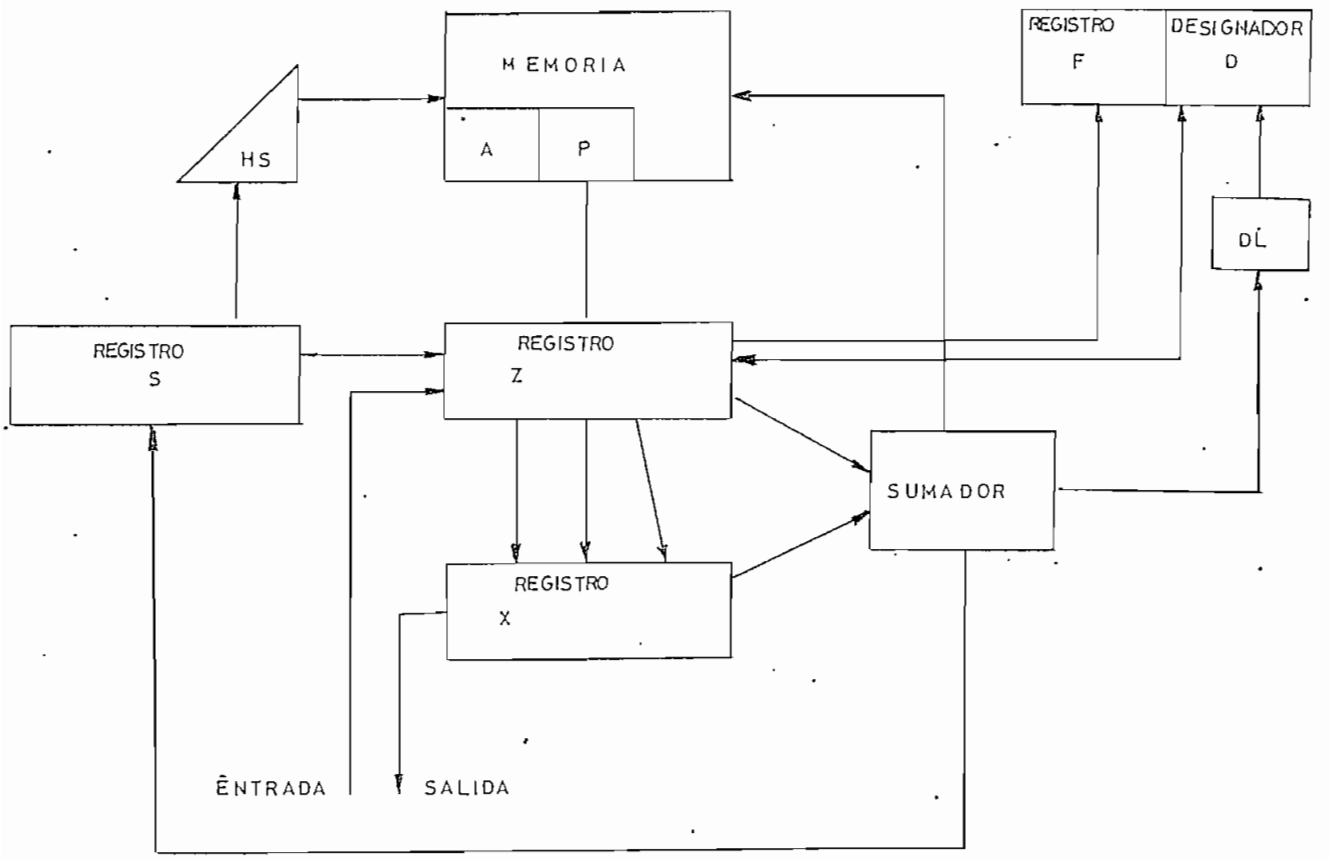


FIGURA: 2.1.1 - 1

PROCESADOR CENTRAL, BLOQUES DE CONTROL

- Selecciona valores de alarma o protección
- Notifica al operador de toda condición riesgosa o peligrosa en la operación.
- Almacena ciertos datos de operación en el momento de la falla y permite al operador introducir los cambios necesarios para corregir la operación anormal de la unidad.

Tomando en consideración que el criterio en el desarrollo del presente trabajo es el análisis de las funciones de todos y cada uno de los elementos de control,pero de manera interrelacionada a su aplicación del control de operación de la unidad turbina generador,no se realizará un análisis de la operación intrínsica del computador y todos sus subsistemas,ya que por lo extenso y complicado del procedimiento no tendría aplicabilidad al desarrollo del presente trabajo,sin embargo a continuación se dará una breve descripción de su sistema de procesamiento central con el objeto de aclarar criterios de aplicación posterior.

2.1.1.- Procesador Central.Descripción General de Funcionamiento.Fig.2.1.1-1

El sistema de procesamiento del computador P-50, consiste funcionalmente hablando,de una sección de control, una sección aritmética,una sección de entrada y de salida I/O y una sección de memoria.Sin embargo es difícil definir por separado cada uno de estos grandes bloques de pro-

cesamiento,pues una parte de la una sección puede conformar una parte de la otra sección.

a.- Memoria .-

Se emplea una memoria con una capacidad de 4K (4096 términos) la cual se puede extender mediante la adición de cuatro módulos K hasta lograr más de 16K. El tamaño del término es de 14 elementos binarios dígitos (bits). El sistema de almacenamiento de la memoria es mediante elementos de ferrita .El elemento de memoria es un pequeño disco de ferrita de 0.05" de diámetro.Debido a la característica propia de magnetización de la ferrita,el sistema es binario por naturaleza,o sea que posee dos estados de saturación magnética,el estado magnetizado es un "uno" y el desmagnetizado es un "cero".

La fuerza de magnetización es operada mediante corrientes que circulan a través de los alambres de operación que pasan a través de cada uno de los elementos de memoria,Fig.2.1.1-2.

La una mitad de los alambres de operación de elementos de memoria están colocados en el camino X y la otra mitad en el camino Y;cada uno de los cuales lleva solamente la mitad de la corriente necesaria para saturar magnéticamente el elemento de memoria,por tanto será necesario el aporte de las corrientes para seleccionar un elemento.

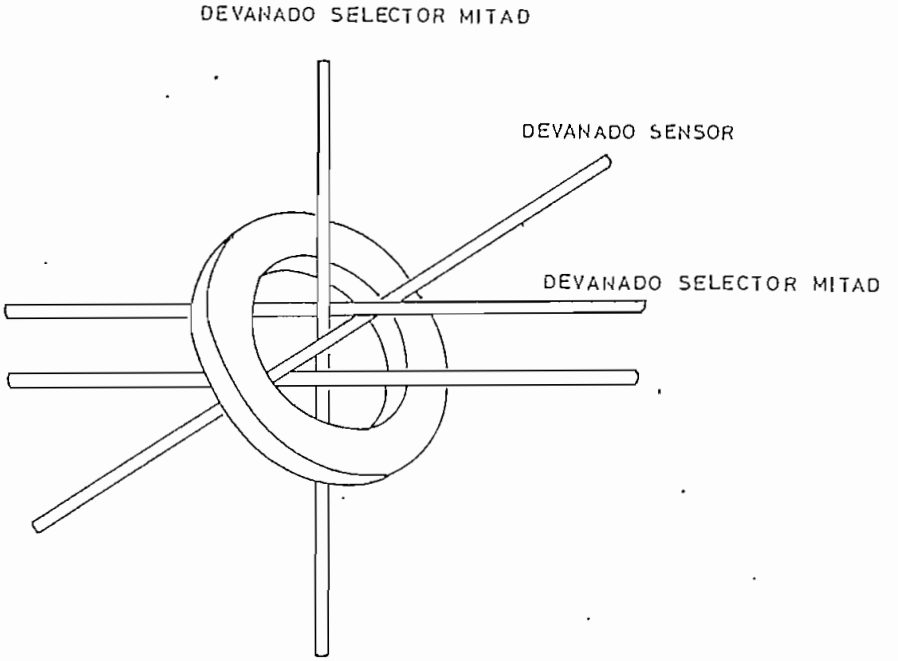


FIGURA: 2.1.1 - 2
ELEMENTO DE MEMORIA

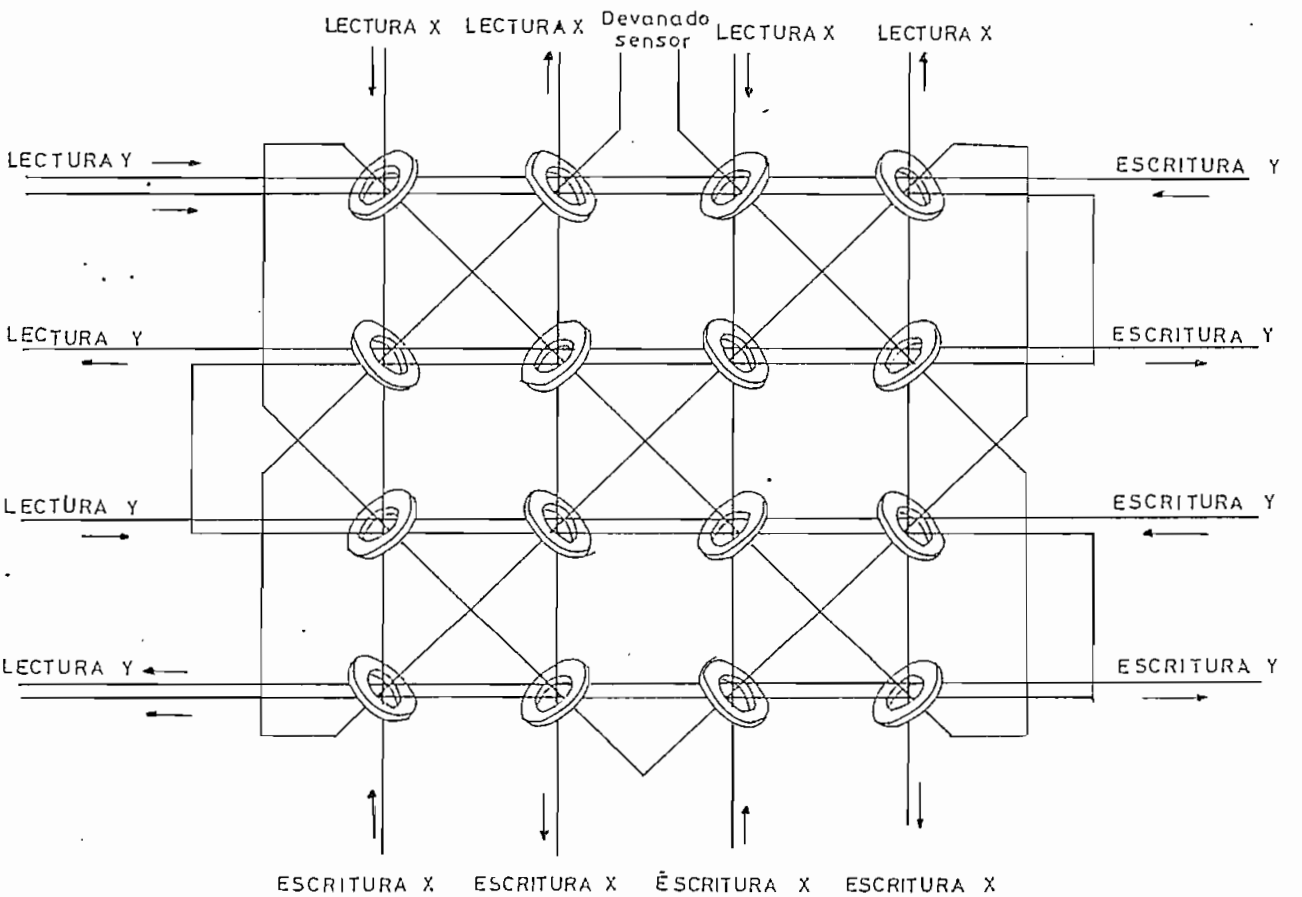


FIGURA: 2.1.1 - 3
ALAMBRADO DE UN PLANO DE MEMORIA

Existen además alambres sensores de presencia de magnetización, cuyas detecciones son almacenadas en el registro "Z". Fig.2.1.1-2

Si un devanado o conductor es energizado y el otro conductor es de-energizado, la corriente resultante es solamente la mitad de la necesaria para selectar el elemento de memoria en el estado original.

Si ambos devanados son energizados y la corriente fluye en la dirección que excita el elemento de memoria, la corriente resultante es igual a dos mitades de la corriente necesaria o sea el valor de corriente necesario para trasladar al elemento de memoria a otro estado.

Si se arreglan 16 elementos individuales de memoria como se indica en la figura 2.1.1-3 se obtiene el llamado "plano de memoria" en donde los devanados de excitación se han dispuesto en dos grupos o "mitades selectoras" X y Y.

El devanado sensor se energiza mediante la variación del campo magnético en el elemento de memoria, este voltaje de inducción es medido cada vez que se lee el elemento de memoria.

Si no existe voltaje inducido cuando se lee la memoria se asume que el elemento está en el estado cero, si un voltaje aparece en el elemento sensor cuando se lee la memoria, se asume que el elemento de memoria está en el estado uno. La detección de la presencia de voltaje o no

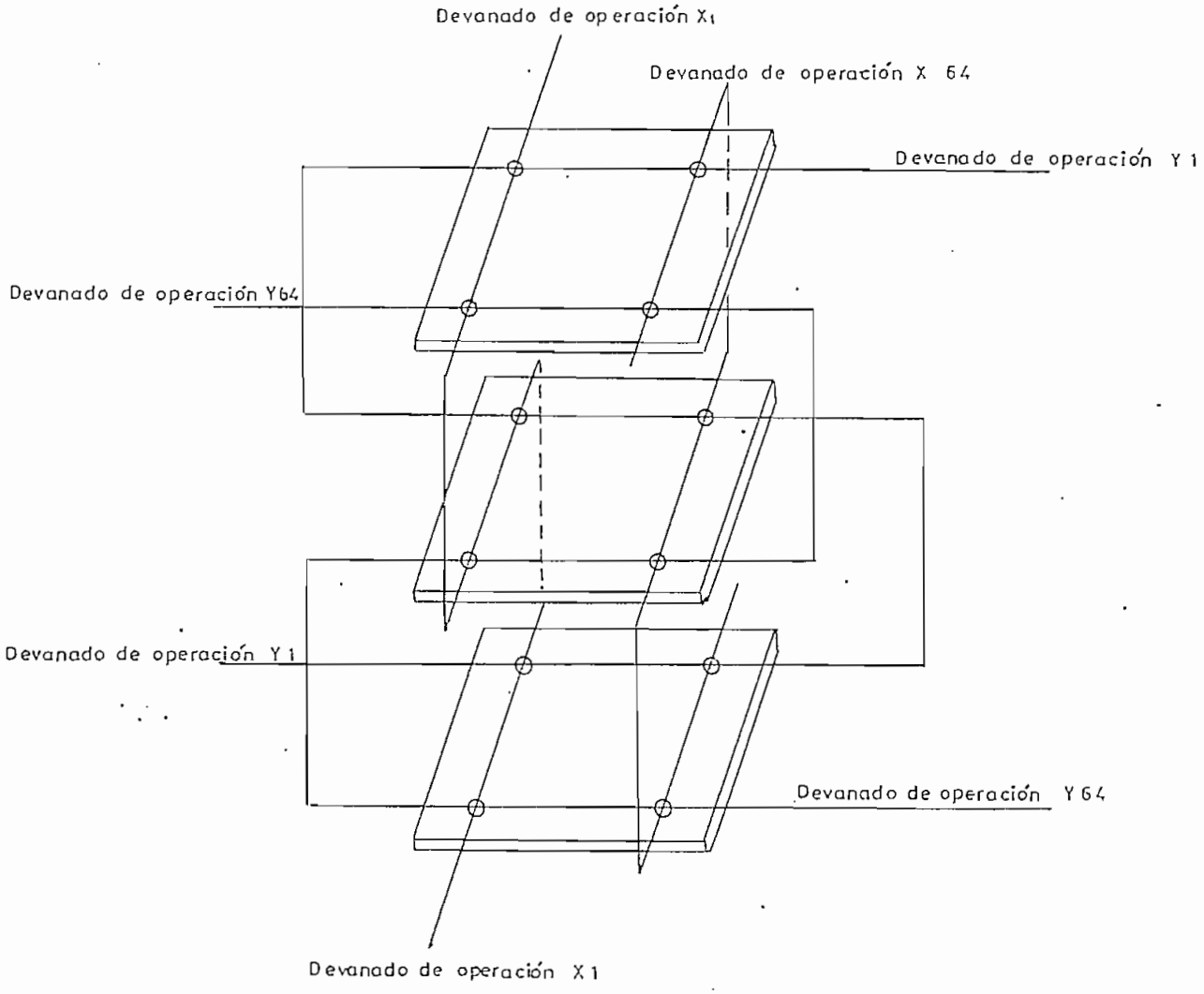


FIGURA: 2.1.1 – 4

PLANOS DE MEMORIA

en el elemento sensor es acumulado en el registro "Z. La computadora PRODAC 50 (P-50) usa 64 líneas X,64 líneas Y y 14 planos.Fig.2.1.1-4.

b.- Selectores de Medio Término.- (Half-Selects)

Los circuitos selectores de medio término (HS) se emplean para determinar la dirección o localización de memoria en la cual se almacenará la información.

c.- Registros Internos.-

Un registro es un elemento de almacenamiento como paso previo a la entrada o salida de la memoria principal o como paso intermedio en la realización del proceso.Existen dos registros internos :

1.- Registro Acumulador "A".

Es un acumulador de 14 elementos para la unidad aritmética que almacena los resultados de las operaciones aritméticas y lógicas.

2.- Registro Contador "P".

Es un registro de 14 elementos que contiene la localización de la instrucción desarrollada.Luego de la ejecución de cada instrucción se incrementa en uno.

d.- Registros Internos con Indicación Visual.-

1.- Registro de Localización "S".

Es una localización de 14 elementos que sirve como punto de partida del sistema de localización del término medio.

2.- Registro "Z".

Se emplea para recibir la salida de la memoria, conjuntamente con el registro "X" genera la entrada al elemento sumador.

3.- Registro "X".

Maneja la salida del procesador central.

4.- Función Registro "F".

Es un registro de 6 términos que recibe la información del registro "Z" y que determina que tipo de instrucción se debe desarrollar.

5.- Función Sumadora (Adder).

Incrementa el avance del contador "P", permitiendo el avance del proceso o transferencia de control.

6.- Registros Designadores.

Provee un almacenamiento luminoso de la examinación del último número escrito en la memoria y los codifica en 5 grupos :

-Cero o no
-Positivo o negativo
-Par o impar
-Traslado de término
-Sobrecarga de memoria

Toda la operación del sistema de procesamiento está regulado mediante un control temporizador de entrada y salida de cada elemento procesador, el cual premite especialmente

en el sistema I/O el rastreo y secuenciación de datos y órdenes en forma prioritaria de acuerdo a la necesidad y al orden de llegada al computador, sin interferencia de la una a la otra y sin superposición de señales lo cual implicaría una mala operación del computador.
El análisis de este sistema de control no será materia de estudio en el presente trabajo, debido a la profundización extensa que se deberá realizar.

2.1.2.- Sistema Analógico de Control de Velocidad.-

El sistema de control de velocidad es uno de los más complejos y eficientes en su operación, permiten mantener un alto porcentaje de regulación, tomando en consideración las referencias de velocidad, temperatura y carga dadas por la programación del computador mediante los parámetros del control tomados durante la realización del proceso.
Previamente a la descripción del funcionamiento del sistema de control de velocidad, se desarrollará un análisis de la teoría de control aplicada a la programación del computador.

2.1.2.1.- Teoría de Control Velocidad-Carga.-

El principal criterio empleado en la filosofía del funcionamiento es el llamado "Control hacia adelante, anticipado o pre-establecido" (feed-forward). Este sistema unido a la lectura de parámetros, tales como :

Velocidad de la turbina,presión en la cámara combustora y temperaturas son empleadas en recalibrar la señal de demanda de combustible de control,de una manera no lineal , permitiendo gran flexibilidad y precisión en el control de las respuestas así como también la operación de la turbina dentro de los límites de diseño pre-establecidos.

Este sistema de control permite controlar automáticamente el programa de trabajo de las válvulas de combustible para trabajar con combustible líquido,gaseoso o sistema mixto.

Se preveen todos los pasos de control para mantener el ciclo de temperatura,la velocidad de la turbina,carga y el porcentaje de incremento de carga,además se controla el procedimiento de aceleración durante el arranque y se mantiene el rango de la turbulencia del compresor.

En general las funciones de control velocidad-carga, se puede definir en la siguiente forma :

1.- Control de turbulencia al arranque y con carga

2.- Programa de control anticipado durante el arranque

3.- Control total de temperatura durante el arranque

4.- Control de velocidad desde la velocidad mínima,sincrónica y máxima capacidad de carga.

5.- Control de temperatura a carga mínima,base,pico y reserva

6.- Control de carga desde la operación en vacío hasta máxima capacidad de carga

7.- Control de incremento de carga

8.- Límites máximos y mínimos de flujo de combustible

9.- Regulación de presión de descarga de la bomba principal de combustible.

10.- Control de transferencia automática de un tipo de combustible a otro.

El sistema de control velocidad-carga se encuentra dividido en siete canales de control mediante programación y cinco canales físicos de control, esta división es la siguiente :

Canales de Control Programado :

1.- Control de turbulencia al arranque y con carga.

2.- Temperatura límite de escape para control de arranque normal y de emergencia de alarma y disparo.

3.- Temperatura límite de paletas para control de arranque normal y de emergencia de alarma y disparo.

4.- Programación de control anticipatorio durante los arranques normal y de emergencia.

5.- Control de temperatura a cargas : base, pico y reserva .

6.- Proceso de arranque supeditado al control de temperatura.

7.- Control permanente de MW para carga mínima.

Canales Físicos de Control :

1.- Canal principal de velocidad.

2.- Canal auxiliar de velocidad.

3.- Control de transferencia automática entre dos ti - pos de combustible.

4.- Control de la presión de descarga de la bomba principal de combustible.

5.- Control de posición de álabes de entrada al compresor (Opcional).

Este sistema combinado de control en unión con el siste - ma de secuencia del computador provee las siguientes funciones :

1.- Control de velocidad desde mímina hasta hasta velocidad sincrónica.

2.- Control de temperatura desde la operación en vacío hasta máxima capacidad de carga con control de incremento de carga.

Las funciones anteriormente especificadas aseguran que la turbina estará completamente protegida contra turbulencias en el compresor;altas temperaturas a la entrada,escape y paletas de la turbina;excesivos incrementos de carga, grandes cambios de velocidad durante cambios transitorios de carga;excesivos incrementos de combustible durante sobrecargas,pequeños flujos de combustible que darían como consecuencia la pérdida de llama.Las funciones especifica

das cumplen los requisitos de las normas NEMA en su publicación "Gobernación de Turbina a Gas" (SM 32-1960),con relación a la estabilidad de un sistema y la capacidad de ajuste de respuestas transitorias.

Además una característica de referencia de velocidad es computada para asegurar una aceleración de la turbina en un intervalo fijo de tiempo;esta referencia es físicamente exteriorizada como una referencia de demanda analógica de velocidad para el sistema del canal físico de control de velocidad.

Cada uno de los siete canales de control programados son computados por el programa de control después que el programa de rastreo ha obtenido la medida de las variables velocidad,presión en el combustor y temperaturas.La menor de las señales de demanda de combustible es luego seleccionada para ser usada como límite de señal de demanda de combustible del canal físico de velocidad.

Las funciones más significativas del control velocidad - carga son las siguientes :

a.- Referencia programada de la curva de tiempo velocidad-carga.

b.- Programación anticipatoria de demanda de combustible.

c.- Modos de control de operación;son :

- Modo 0 Pre-encendido
- Modo 1 Aceleración

- Modo 2 Sincronización
- Modo 3 Carga por temperatura
- Modo 4 Carga a Mws fijos

d.- Función del Canal Auxiliar de Velocidad.-

e.- Programador para dos tipos de combustible. (No aplicable a esta unidad).

a.- Curva Referencial de Tiempo-Velocidad-Carga.-

Es un dato de operación introducida al computador mediante programación.Fig.2.1.2.1-1 y 2.1.1-2. En base a esta referencia el controlador rastrea,compara y reajusta los parámetros de control para aceleración y toma de carga.

b.- Programación anticipatoria de Demanda de Combustible.-

La referencia de demanda de combustible es establecida como una función del tiempo para asegurar el arranque en un intervalo de tiempo fijo,lo cual se establece en el programa de secuencia del computador.

Con el objeto de asegurar la apropiada operación de la turbina en cualquier momento,la característica de la señal "Demanda de Combustible" es limitado al valor inferior de acuerdo a los reajustes realizados como función de los siguientes parámetros de operación de la turbina :

b.1.- Error de velocidad durante un rango amplio y des-

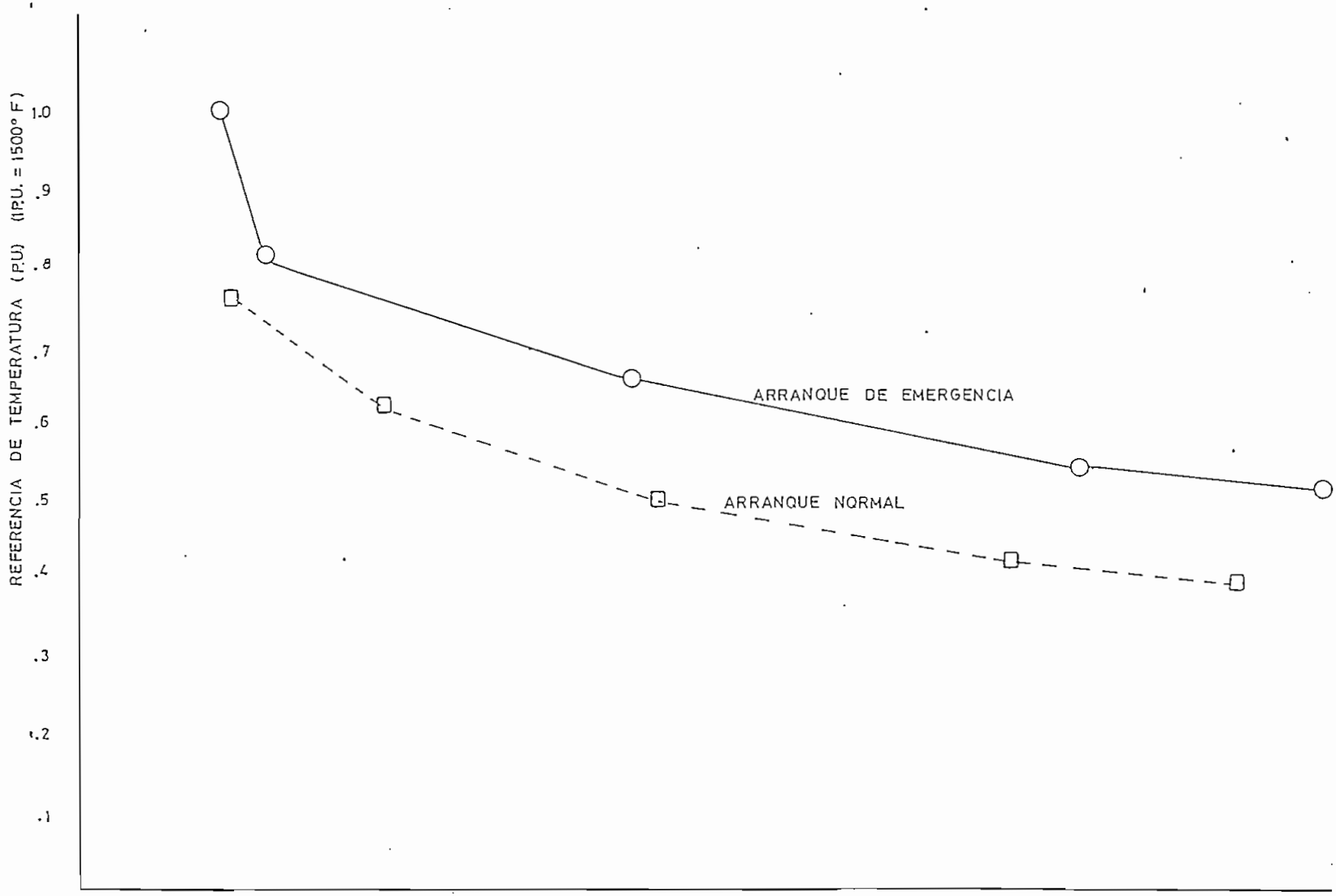


FIGURA: 2.1.2.1 – 1

REFERENCIA DE TEMPERATURA

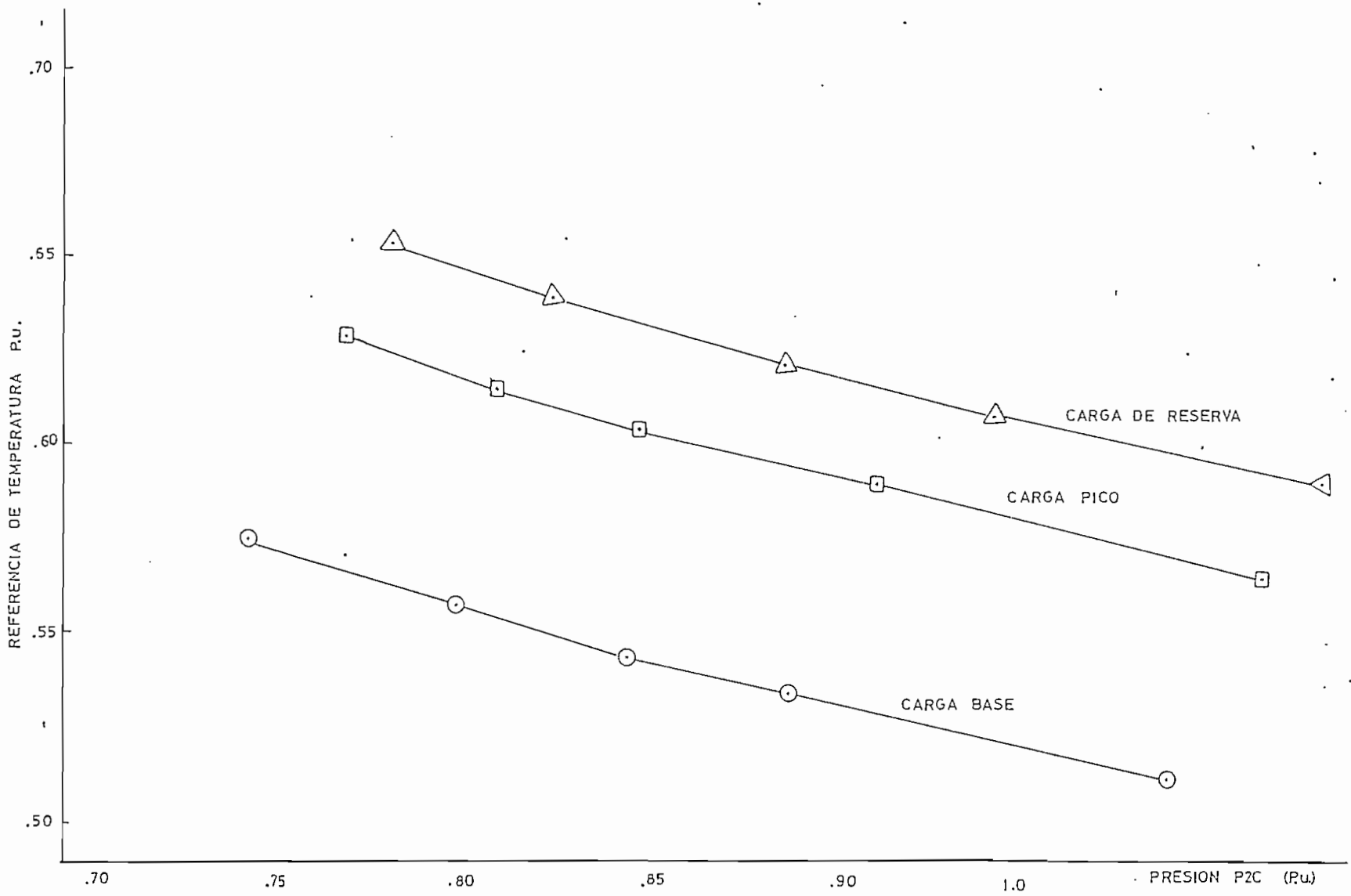


FIGURA: 2.1.2.1 – 2

REFERENCIA TEMPERATURA – CARGA

pués que el interruptor principal de la unidad ha sido cerrado.

b.2.- Calibración de la presión de cámara combustora desde el encendido hata el 100% de carga.

b.3.- Calibración de temperatura durante la aceleración, arranque y carga de la turbina.

Las secuencias empleadas para computar la velocidad y carga de referencia son las siguientes :

Velocidad de referencia WR

$$WR_{(t)} = WR_{(t-\Delta t)} + a_{(t-\Delta t)} \cdot Dt$$

en donde :

a = fn (WR) para aceleración normal

a = fe (WR) para aceleración de emergencia

$$Wmin \leq WR \leq W\ synch$$

Carga de referencia DR

$$LR = \frac{1}{T_D} \int_{t=sinc.}^{t=carga} (100\%)\ dt + D_R\ (0)$$

$$D\ min \leq D_R \leq D\ \ sist.reserva$$

en donde :

T_D = Repeticiones por segundo, necesarias para fijar el tiempo para alcanzar la carga deseada.

D_R (0) = Carga inicial

La demanda de combustible será la siguiente :

$Q_{FW} = (W_R - W)$ K para control de velocidad

$Q_{FD} = KD_R + \frac{1}{S} (D_R - D)$ para carga con control de carga.

$Q_{FD} = KD_R$ para carga.

La señal anticipatoria de demanda de combustible, Q_{FD}, es comparada con la salida de los canales de control de programa de velocidad y el valor inferior es seleccionado como señal de control.

Para asegurar la apropiada operación de la turbina durante todo el tiempo la característica de la demanda de combustible está limitada por las siguientes variables de planta :

1.- Error de velocidad después de que el disyuntor ha sido cerrado.

2.- Presión de la cámara combustora desde el encendido hasta el 100% de carga.

3.- Calibración de temperatura durante la aceleración, arranque y carga de la turbina.

c.- Modos de Control de Operación.-

- Modo 0 (Pre-encendido)

Se denomina a la secuencia lógica de colocación en ope-

ración de todos los sistemas auxiliares necesarios y la anulación de todas las alarmas y dispositivos de bloqueo y protección.La indicación que el Modo "O" se encuentra en control es la obtención de la indicación luminosa de "Ready to Start" en el tablero.

Durante este modo de operación,la turbina es acelerada hasta el 20% de la velocidad sincrónica.

- Modo 1 (Aceleración)

Automáticamente mediante la secuencia del programa,el Modo O se transfiere al Modo 1.La referencia de velocidad WR,se incrementa de una manera predeterminada como una función de tiempo y WR es transformada en una señal de posición de válvula de combustible.

Existen diferentes funciones para arranques normales y emergentes.

La presión de la cámara combustora y la temperatura de entrada al compresor son variables. Són usadas para determinar la temperatura de referencia para el arranque; a su vez ésta es empleada como referencia para los controles de temperatura de escape y paletas para proveer una acción limitadora si los valores de temperatura se exceden.

- Modo 2 (Sincronización)

Luego de que se ha cumplido el Modo 1,se transfiere automáticamente al Modo 2, durante el cual el computador

opera la unidad para lograr las condiciones previas de velocidad,voltaje y ángulo de desfasamiento iguales al del sistema,luego de lo cual sincroniza la unidad al sistema y toma carga hasta el valor de carga mínima requerida.

- Modo 3 (Carga a Mws Fijos)

Se inicia luego de que el valor de carga ha sido admitido por la unidad.En este tipo de control el límite de carga es otro de los limitadores de la señal de demanda de combustible (CSO).

En carga mínima,la referencia del límite de Mws permanece fija en el pre-establecido por el operador y el control ajusta el valor de carga a esa referencia.

En carga base,pico o reserva la referencia de carga es incrementada al mínimo de cada tipo de carga de acuerdo a la referencia de la curva carga-tiempo,hasta que el control de temperatura tome el control.

- Modo 4 (Control de Carga por Temperatura).

Este control entra automáticamente en operación luego de que el disyuntor del generador se ha cerrado y cualquiera de los selectores de tipo de carga haya sido seleccionado.

El control de temperatura impide que en casos de disminución de frecuencia del sistema o sobrecargas la turbina asimile carga mayor que la permitida por los rangos

de temperatura permitidos por cada tipo de carga.

d.- Función del Canal Auxiliar de Velocidad.-

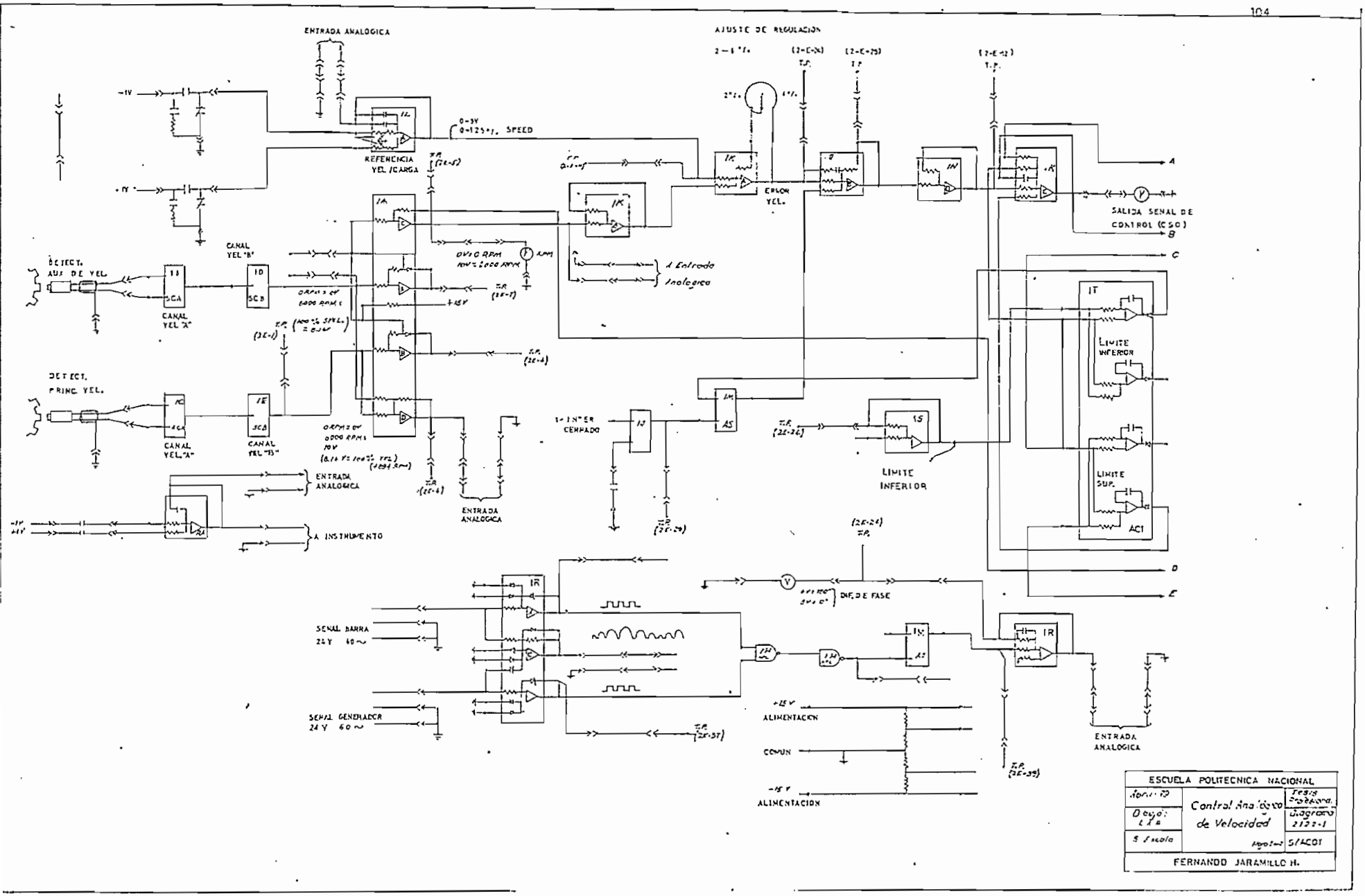
Con el objeto de dotar de una mayor seguridad al sistema controlador de velocidad se ha previsto un segundo canal de velocidad.Este canal genera una rata de cambio de error de velocidad y una señal de error de velocidad.Si las dos variables se encuentran fuera de límites pre-determinados el total de la demanda de combustible se corta hasta que los límites de error sean alcanzados.

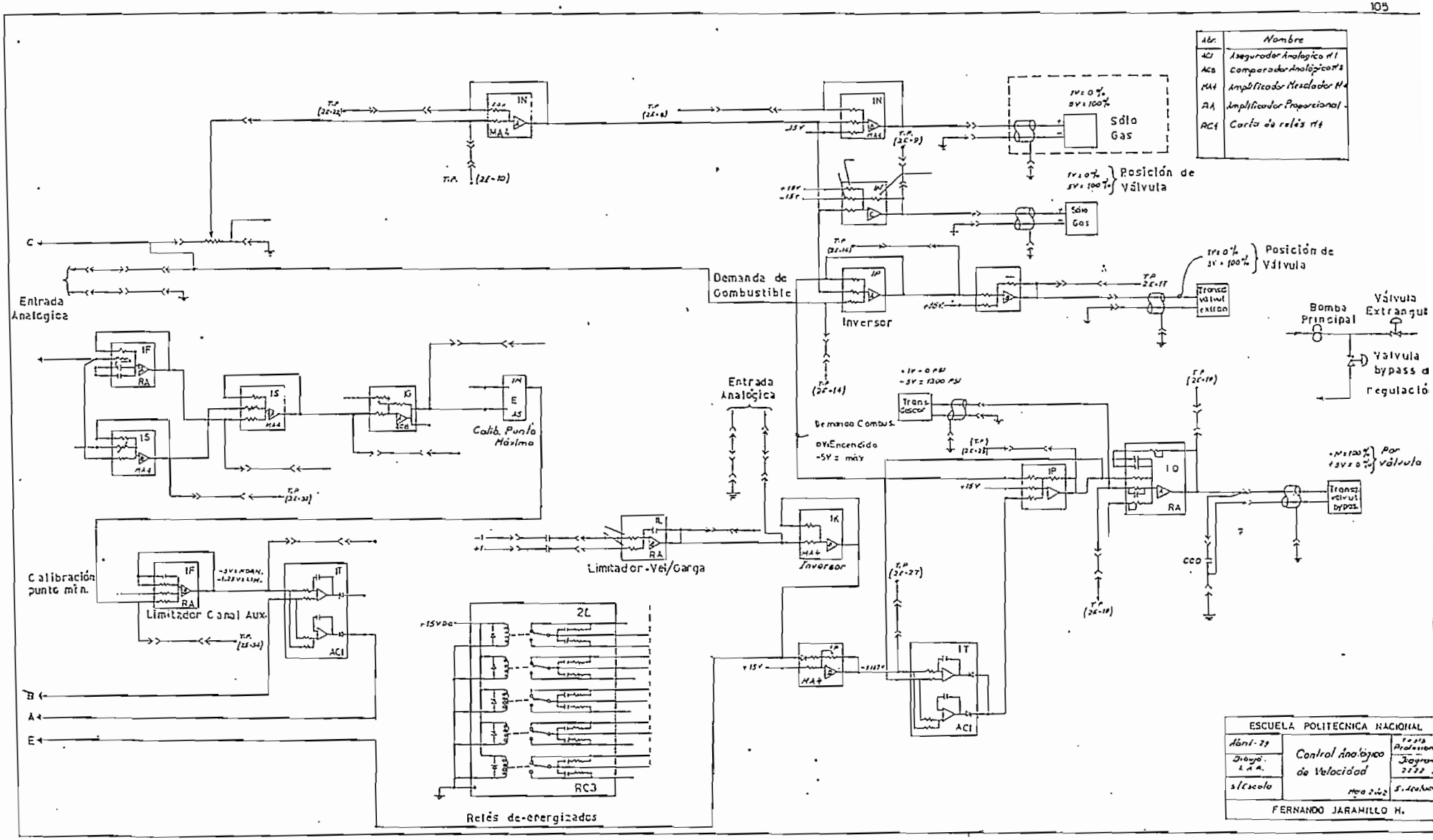
Esta función de control es importante durante una operación de rechazo de carga,ya que de esta manera se asegura que la unidad no alcance los niveles de disparo por sobre velocidad.

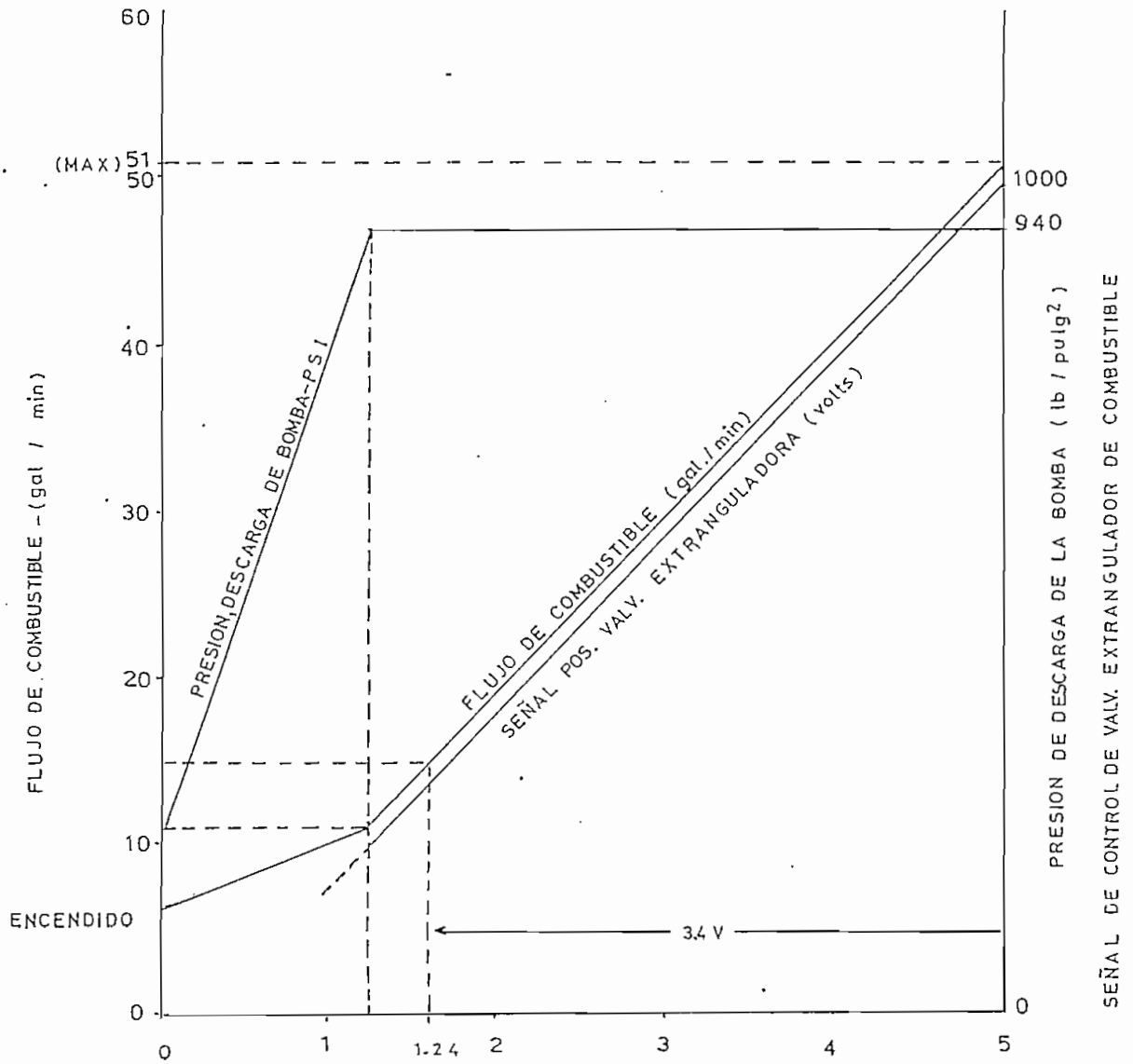
2.1.2.2.- Bloque Analógico de Control de Velocidad.-

Fig.2.1.2.2-1

En este bloque de control,los impulsos provenientes del detector principal de velocidad son convertidos a un voltaje proporcional a la velocidad por los canales de velocidad A y B.Este voltaje es puesto de tal forma que 4 voltios representa el 100% de la velocidad;es comparado con el voltaje de referencia de velocidad determinado por el computador llamado también salida analógica del computador.


ENTRADA ANALOGICA
AJUSTE DE REGULACION
REFERENCIA VEL./CARGA
SPEED
ERROR VEL.
SALIDA SEÑAL DE CONTROL (CSO)
DETECT. AUX DE VEL.
CANAL VEL "A"
CANAL VEL "B"
DETECT. PRINC. VEL.
CANAL VEL. "A"
CANAL VEL "B"
A Entrada Analogica
LIMITE INFERIOR
LIMITE SUP.
ACT
LIMITE INFERIOR
ENTRADA ANALOGICA
A INSTRUMENTO
ENTRADA ANALOGICA
DIF. DE FASE
SEÑAL BARRA 24 V 60 ~
SEÑAL GENERADOR 24 V 60 ~
ALIMENTACION
COMUN
ALIMENTACION
ENTRADA ANALOGICA
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Control Analógico de Velocidad
FERNANDO JARAMILLO H.


Abr. | Nombre
AC1 | Asegurador Analógico #1
AC8 | Comparador Analógico #8
MA4 | Amplificador Mezclador #4
RA | Amplificador Proporcional
RC4 | Carta de relés #4
Sólo Gas
Posición de Válvula
Demanda de Combustible
Inversor
Entrada Analógica
Calib. Punto Máximo
Calibración punto mín.
Limitador Canal Aux.
Limitador-Vel/Carga
Relés de-energizados
Bomba Principal
Válvula Extrangul
Válvula bypass de regulació
Por válvula
Trans. Descar
Demanda Combus.
0V=Encendido
-5V = máx
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Control Analógico de Velocidad
FERNANDO JARAMILLO H.



FLUJO DE COMBUSTIBLE, SEÑAL VALVULA EXTRANGULADORA DE COMBUSTIBLE

PRESION DE DESCARGA DE LA BOMBA VS SEÑAL DE CONTROL DE COMBUSTIBLE.

FIGURA: 2.1.2.2 - 2

CONTROL DE COMBUSTIBLE

La señal principal de velocidad es alimentada a un amplificador proporcional 1K-B.,en donde se coloca al mismo rango que la señal de referencia de velocidad.El error de velocidad es generado por el amplificador 1K-A,el cual tiene un reóstato de regulación que en un rango de 2-6% retro-alimenta al circuito.El error de velocidad pasa a través de un amplificador proporcional (RA-B) y su inversor (MA4-D) y si no existe limitación en el bloqueador analógico ACI,la señal de error de velocidad se convierte en la "Señal de Control de Combustible" (CSO).

Al incrementarse la señal de control de combustible,el flujo se incrementa por elevación de la presión a la salida de la bomba principal de combustible.

Cuando la presión de descarga de la bomba de combustible se eleva sobre el valor normal,un posterior incremento de la señal de combustible (CSO) causa la abertura de la válvula reguladora de paso de combustible.La relación entre la señal CSO,el voltaje controlador de presión y el voltaje posicionador de la válvula de paso se indica en la figura 2.1.2.2-2.

Los ajustes y ganancias para la válvula de paso para combustible se desarrollan en los amplificadores 1P-A y 1P-B El amplificador 1P-C genera la calibración de la presión de la descarga de la bomba limitada solamente por el asegurador analógico 1T,que usa como máximo punto de calibración la salida del amplificador 1P-D.

La calibración de la señal para descarga de la bomba, es comparada con la señal del transductor a la salida de la bomba y el error se alimenta al amplificador 1Q-A, el cual tiene una función de reposición. La salida alimenta un voltaje al posicionador de la válvula by-pass o reguladora de presión.

La señal de control de combustible (CSO) puede ser limitada usando los bloqueadores analógicos 1T-A, 1T-B y 1T-C. Las tres señales incluyen una calibración límite inferior de carga o combustible, inmediatamente que el disyuntor del generador 52G se cierra para prevenir estados transitorios en el sistema de combustión (amplificador 1S-D). Existe también la señal limitadora de temperatura, control de Mw y turbulencias en los amplificadores 1L-B y 1K-D y una señal función limitadora dependiente del cambio de velocidad medida como reserva por el canal auxiliar de velocidad (1A, 1D), después de que el interruptor 52G se cierra. La variación del cambio de velocidad es medida por el amplificador 1F-A; si la velocidad excede un valor mínimo predeterminado o si el cambio de velocidad excede un valor determinado, mientras la velocidad excede a algún valor pre-establecido, el valor de la señal CSO definido por el amplificador 1K-C es operado desde 5V hasta el valor del encendido aproximadamente 1.25v.

A continuación se darán las especificaciones generales de los dos canales de velocidad A y B.

a.- Canal de Velocidad A.-

Este canal acepta una onda sinusoidal de entrada de 0-4500 cic/seg.,y 0.1 a 16 V ac R.M.S. y genera una salida que es constante en longitud de onda pero al doble de la frecuencia de entrada.

Entrada.- Onda sinusoidal de 0-4500 cic/seg.y 0.1 a 16 V ac R.M.S.

Salida.- Aproximadamente 85 seg.,15 Vd.c,pulsos al doble de la frecuencia de entrada.

Alimentación : + 15 Vdc a 150 mA.

- 15 Vdc a 40 mA.

b.- Canal de Velocidad B.-

Convierte la entrada de amplitud constante y de 0 a 9.000 picos/seg. de frecuencia a un voltaje de 0 a + 10 Vdc.,proporcional a la frecuencia de los pulsos. Además se genera un voltaje de frecuencia de - 10 Vdc.

Entrada.- Pulsos de 85 microsegundos de longitud de onda con amplitud de 0 a + 15 Vdc y de 8.800 pulsos por segundo.

Salida.- 0 a + 10 Vdc proporcionales a la entrada de 0 a 9.000 p.p.s., - 10 de referencia.

Alimentación : + 15 Vdc a mA.

- 15 Vdc a mA.

El bloque analógico de control de velocidad posee puntos para medidas de voltaje y frecuencias a la entrada y salida de los diferentes y más importantes amplificadores.

Mediante estos puntos de prueba se puede determinar la normalidad o anormalidad de los amplificadores y le de - tección de fallas en los diferentes bloques de amplificación.

2.1.3.- Sistemas de Señales de Entrada y de Salida.-(I/O)

La supervisión de la operación por parte del computador puede desarrollar solamente a través de la comunicación con el sistema de detección en toda la unidad. Esta comunicación consiste en la entrada y salida de las variables del sistema.

El programa de ejecución del sistema de entrada y salida de variables (I/O),controla la comunicación de las variables digitales o aquellas que tienen dos estados.

Son llamadas variables digitales aquellas cuyo estado puede ser descrito por el número binario cero (0) o el uno (1).

Para dirigir o controlar las variables de operación,estas deben ser convertidas en números binarios que puedan ser operados por el computador.

Una entrada digital puede ser representada por un contacto de entrada que el computador puede controlar si está abierto o cerrado.Estas entradas pueden ser convenientemente agrupadas en registros que contienen un cierto número de entradas correspondiendo al número de elementos en la estructura de un término,que en el caso de este computa -

dor es de 14, el sistema decimal. Un contacto o el grupo de contactos pueden ser comprobados por programación.

Las operaciones de entrada y salida pueden ser divididas en dos clases : aquellas que pueden ser operadas por un interruptor y aquellas que operan completándose contínua - mente. Entre las primeras tenemos la operación de cierre de contactos de salida y la segunda es la operación de entrada a la memoria del computador.

La secuencia de operación de los interruptores requiere un tiempo de atraso entre cada operación sucesiva mientras se espera que se complete la interrupción. Esta espera o tem - porización puede ser manejada por el sistema de repartición de tiempo del computador.

El concepto de repartición del tiempo es absolutamente importante en la programación del control, esto permite a la unidad central de procesamiento ser empleada completamente en el control del programa evitando que se realicen funciones de menor importancia con el resultado de ciclos con tiempo muerto.

El sistema de ejecución para el esquema de entrada y salida de señales emplea dos técnicas en la repartición del tiempo:

1.- Ordenar las señales de acuerdo al nivel de importancia.

2.- Suspender la entrada o salida de determinadas señales.

El programa de control está organizado mediante un sistema de prioridades de manera que los interruptores de siste - mas más importantes son revisados más frecuentemente.
Cada determinada secuencia del programa genera un pulso de prueba que chequea el estado de los determinados contactos de interrupción.
Existe un tiempo necesario determinado para que el sistema exterior reaccione a una orden por el procesador central.
Si la función es de salida,es un pre-requisito que esta or den de salida conozca que el sistema exterior no está ocupado y listo para aceptar la orden.
Si la función es una entrada,pre-requisito es que se prepa re para la entrada de la señal.
Un interruptor de entrada puede ser empleado en cada caso para advertencia de entrada o de salida,para notificar al procesador central que el sistema exterior está listo y que se puede enviar la orden.

2.1.3.1.- Sistemas de Interruptores de Entrada.-

Los interruptores para señales de entrada se u- san para obtener la atención del procesador central en ca- da secuencia de chequeo de interruptores.En el caso de au- sencia de señales de interrupción,el procesador central ó- pera como si encontrara desconectado del sistema exterior dependiente de este sistema de señales de entrada,conse -

cuentemente el tiempo del programa necesario para propósitos de control se reduce.

En cambio la mitad de los interruptores operables deben ser chequeados para poder localizar uno activado.Debido a esto es descable mantener el número de interruptores de entrada restringidos al mínimo.El promedio de tiempos de rastreo es de 36,72,108,144 micro segundos dependiendo de la cantidad de interruptores posibles : 16,32,48 y 64.

De acuerdo a lo indicado anteriormente,un interruptor de entrada puede servir para definir un tiempo particular en el proceso,puede ser empleado como detector de señales o como nivel de alarma,o puede definir una secuencia en un lazo de control.

En un sistema de control de señales de entrada se deben considerar las normales restricciones de acoplamiento entre el sistema de programación puro y el sistema físico real de señalización.El sistema físico presenta una limitación absoluta de su capacidad,debido a su esencia electromecánica de construcción.El orden de interrogación realizada por el interrogador se inicia por la localización 01,luego 02,03 hasta ...n,en donde n es la localización de memoria para el interruptor que tiene la señal,además existe una prioridad para el interruptor que ha sido energizado.

La capacidad de operación de interruptores varía desde 15 interruptores por segundo a 200 interruptores por segundo

El total de interruptores necesarios para controlar el proceso es de 64;los cuales tienen su asignación de memoria desde la localización 00001 hasta 00100.El interruptor con instrucción de mayor prioridad se coloca en la 00001 y el de menor en la localización 00100.

En el sistema de interruptores de entrada y salida existen dos tipos de contactos;el subsistema de contactos de cierre para entrada y el subsistema de cierre de contacto para salida.

- Subsistema de contactos de cierre para entrada (CCI).- Son contactos de tipo rápido embebidos en mercurio que proveen una entrada simultánea de 14 elementos de memoria al computador,se emplean en variedad de aplicaciones : detección de procesos,comunicación entre bloques de computación,registro de secuencias de eventos y recolección de datos telemétricos de operación.
- Subsistema de contactos de cierre para salida (CCO).- Este sistema provee al computador un control directo de los dispositivos localizados en el exterior del computador.Los siguientes son ejemplos de aplicación de los CCOs:

1.- Los CCOs pueden ser usados individualmente o en grupos para comunicarse con el personal de operación mediante luces,sumbadores,alarmas y desplazamientos digitales.

2.- Pueden ser usados para iniciar procesos en la planta como arrancar motores,operar posicionadores de válvulas, etc.

3.- CCOs se pueden usar para ordenar secuencias de operación de los dispositivos de operación en una orden particular o en tiempos específicos.

4.- Proveen al computador una capacidad de salidas analógicas.

Los contactos de salida son agrupados en registro de 14 contactos cada uno.Si la capacidad de salida es de un máximo de 200 registros de salida,esto da un total de 2.800 contactos individuales por segundo.

2.1.3.2.- Principios de Operación de los Contactos de Salida.-

Los relés con contactos de cierre para salida se encuentran combinados en grupos de 14 y cada uno de ellos se denomina un "registro" de contactos de salida.
La señal de salida propiamente dicha ocurre de todo el registro en un mismo instante,tal que el estado de los 14 relés de cada registro puede ser combinado simultáneamente.
Cada registro tiene una localización de memoria para cada término y para cada canal;entendiéndose por canal el bloque de circuitos que permiten la entrada y salida de las órdenes de operación para cada registro.Por tanto cada registro se define únicamente mediante la especificación de dos números,una localización para su término y su canal.
Como a cada interruptor le corresponde su elemento de memoria,por tanto cada interruptor o relé CCO está definido

mediante la especificación de tres números que son :

- El número del término
- El número del canal
- El número o localización del elemento de memoria.

El ejemplo siguiente muestra el estado inicial y final de un registro de relés luego de ser operado por el término de datos.Nótese que cuando cada vez que un elemento del término es "uno",el relé es operado y cuando es "cero",el relé es de-energizado.

	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Registro Inicial	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R
Término de datos	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Registro Final	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R

S = operado

R = de-energizado

Cada relé CCO tiene una bobina de operación y una bobina de desconexión;por tanto dos canales son requeridos,un canal para operación y un canal para desconexión.Por cada "uno" del canal de operación,el relé es operado;mientras que por cada "uno" en el canal de desconexión el relé es de-energizado.

Los dos sistemas de operación funcionan mediante un siste-

ma de interbloqueo y se desarrollan con diferencia de tiempo mínimo (18 micro segundos).

En la tabla de CCIs y CCOs dada por el fabricante se indican éstos con la respectiva descripción de cada uno,el canal y el elemento de memoria para su operación.

Cada uno de estos elementos puede ser operado voluntariamente por el respectivo personal autorizado,mediante determinado procedimiento que se especificará cuando se analice la operación del teletipo.

2.1.4.- Consola de Operación.-

A continuación se describirá los principales bloques de control,así como también las bases de la operación de la unidad,mediante la consola de operación;consideraciones éstas importantes y necesarias para el análisis posterior de las secuencias lógicas de cada uno de los procedimientos de operación de arranque,sincronización y carga de la unidad.

2.1.4.1.- Botones Pulsadores de Control.-

El sistema de operación de los botones pulsadores se basa en la teoría de funcionamiento del "Sistema de Señales de Entrada y Salida" del computador.

Un término del sistema de contactos de entrada (CCIs) y un interruptor son asignados para cada panel de operación.De los 14 elementos del término CCI,8 se asignan a la identificación de la posición de selección para lectura de los

indicadores analógicos y 6 elementos son usados para identificar el pulsador que fue presionado.

Cada término CCI es leído en minisegundos y la información se almacena para continuar con el procesamiento.En el caso de que se mantenga presionado un pulsador la lectura del término se realiza cada 0.1 segundo,permitiendo la realización continuada de los diferentes procesamientos de control hasta que el pulsador deja de ser presionado.

a.- Control de Interruptor del Generador.-

El pulsador de cierre del interruptor del generador tiene aceptación de operación solamente si la selección de operación se encuentra en local y el control de sincronización en manual.

Existen diferentes interbloqueos de interruptores bajo el control manual,los cuales son :

- Bloqueo para cierre del interruptor de campo.
- Interruptor del generador debe ser abierto antes de abrir el interruptor de campo.
- El interruptor de campo debe ser cerrado,el control maestro energizado,bloqueos anulados y el sistema de sincronización manual en operación.

b.- Sincronización.-

El procedimiento de sincronización se encuentra relacionado tanto al interruptor del generador como también al interruptor de línea.El selector de sincronización conectado en la posición de "manual",permite controlar la

velocidad,el nivel de voltaje y el cierre del interruptor.

c.- Control de la Turbina.-

Además de las condiciones normales de arranque y parada,existen posibilidades de arranque y parada de emergencia.

El paro de emergencia causa abertura inmediata del interruptor del generador e inicia la parada de la turbina.

El botón de parada de emergencia se encuentra localizado separado del resto de pulsadores y es fácilmente identificable.

La operación del pulsador normal,reduce la carga al valor mínimo,aproximadamente al 10% de carga base,antes de abrir el interruptor del generador e iniciar el procedimiento de paro de la turbina.

El arranque normal se encuentra combinado también con la selección de carga,después de que cierra el interruptor del generador el procedimiento de carga de la unidad entra en operación de acuerdo al programa de carga seleccionado.

El control de carga mínima limita la toma de carga a un valor de Mws pre-establecido,mientras que los valores de carga base y pico son limitados por los valores de temperatura.

Los tres tipos de control de carga:mínima,base o pico son transferibles entre sí a cualquier momento de la o -

peración mientras que la selección de carga de reserva es admitida solamente después de cerrar al interruptor del generador por tanto se puede obtener la asimilación de la orden de arranque en condición de carga de reserva.

d.- Control del Generador.-

Los pulsadores para incremento o disminución de voltaje terminal del generador permiten regular el voltaje para sincronización y control de carga reactiva durante la operación con carga.La coordinación de estos controles con el regulador automático de voltaje es la de dar la base de regulación al regulador.En condición automática,el regulador automático de voltaje se pone en operación inmediatamente después de que se cierra el interruptor de campo del generador.

e.- Alarma.-

La ocurrencia de cualquier condición anormal en la operación pone al sistema bajo la condición de alarma cumpliendo las secuencias de señalización que son : operación de luz señalizadora,indicación sonora.Mediante la pulsación del botón de reposición de alarma "Alarm Reset" se anulan las señalizaciones de condición de alarma,pero la indicación luminosa persiste hasta que la falla ha sido anulada.

f.- Prueba de Lámparas.-

La presión del pulsador de lámparas,activa todas la

luces bajo la condición de centelleo,pudiendo de esta manera determinar cual de ellas se encuentra fuera de servicio.

2.1.4.2.- Equipo Detector de Vibración.-

Existen cuatro juegos de amplificadores de vibración;dos detectores de vibración de la turbina y dos en el generador,los cuales alimentan la señal de entrada a los amplificadores produciendo una señal de salida de 1 a 5 voltios d.c.,proporcional al desplazamiento de 0 a 5 milésimas de pulgada (mils) para cada uno de los detectores , lo cual permite al computador controlar los niveles de vibración y poner a la unidad en condición de alarma o emergencia si fuera necesario.

2.1.4.3.- Equipo Sensor de Llama.-

Dos juegos de amplificadores detectores de llama son controlados en la consola de operación,de acuerdo a la colocación de los detectores Edison de llama,uno para cada lado de llama A y B.Los amplificadores emiten la señal que es rastreada periódicamente por el computador con el objeto de controlar la presencia de llama en los dos lados de la cámara combustora.

2.1.5.- Teletipo Impresor.-

El teletipo es el elemento más importante de comunicación entre el operador y el sistema de control automático realizado por el computador. Mediante éste el operador puede conocer todas las condiciones normales y anormales de operación.Se puede investigar el origen de alarmas; variar calibraciones propias del programa con el objeto de lograr condiciones diferentes de operación ;se puede conocer contenidos específicos del computador;averiguar condiciones anormales de operación que implican salidas emergentes de la unidad,etc.Cada uno de los procedimientos de operación del teletipo serán descritos a continuación.
En los ejemplos indicados;un espacio en blanco significa espacio en la impresión y) representa regreso a comenzar en el renglón inmediato o fin del código.

a.- Carga Binaria.-

Código BL)

Cuando esta función es indicada,la cinta perforada en formato binario estandard es leído por la memoria principal del computador a través del lector sea éste el tipo rápido o el de tipo lento.

b.- Perforación Binaria.-

Código BP XX/XX)

Mediante este programa se obtiene una cinta con perfora-

raciones binarias tipo estandard con el contenido de las localizaciones de memoria indicados en el código.

Ejemplo :Obtener las condiciones de las localizaciones octales de la 600 a la 700.

Código BP 600/700 ↵

El teletipo perforará una cinta con los contenidos de dichas localizaciones.

c.- Chequeo de cinta grabadora.-

Código CT ↵

Este programa permite término a término los contenidos de las localizaciones de memoria indicados en la cinta que es pasada nuevamente por el lector rápido.Si existieran discrepancias entre lo almacenado y lo perforado en la cinta,el teletipo imprime : la localización,el contenido de la cinta y el contenido de la memoria.

Ejemplo : CT ↵

loc.	Cont. cinta	Cont. memoria
762	32300	32301

d.- Carga Numérica.-

Código NL ↵

Permite alimentar valores en sistema octal o decimal a la memoria principal.

Ejemplo :

NL ↵

= 1022

Localización	Contenido
24026	1022	24026
21	1023	00021
↵	Carácter Terminal	

e.- Lectura de Carga de Memoria.-

Código OD XX/XX ↵

El teletipo imprime los valores en octal del contenido de las localizaciones especificadas en el código.

f.- Localización de Límites.-

Código LM XXXXX/XXXXX ↵

Este programa es empleado como paso previo selectivo al desarrollo de otros anotados anteriormente, mediante la indicación de localizaciones de memoria se hace conocer al computador que en éstas se realizará algún tipo de operación y solamente dentro de esos límites; por ejemplo; una carga numérica o una lectura de los contenidos de esas localizaciones. El computador de esa manera aisla ese grupo de localizaciones del resto de la memoria y acepta cualquier operación dentro de esos límites, fuera de ellos no acepta y considera como error la orden dada anteriormente.

g.- Sincronización del Tiempo.-

Este programa permite sincronizar el sistema de contaje de tiempo del computador al tiempo real del sitio donde opera la unidad.

Código: UT + HH/ + MM/ + DD/ + YY /

En donde : UT = Código de carga

HH = Valor de horas (0-23)

MM = Valor de minutos (0-59)

DD = Día del año (0-364)

YY = Año de cada siglo (0-99)

h.- Prueba de CCOs.-

Código: CO Término/Elemento del Término/Estado /

En donde : Término = el correspondiente al CCO

Elemento = el correspondiente al término del CCO

Estado = 1 para cerrar

0 para abrir

El término y el elemento de término se encuentran en la correspondiente tabla de CCOs.

i.- Prueba de CCI.-

Código: CI Canal/Elemento del Término/Estado /

En donde : Canal = Canal de operación correspondiente a CCI

Elemento = El correspondiente al término del CCI probado

Estado = 1 para cerrar

0 para abrir

El canal y el elemento del término se encuentran en la correspondiente tabla de CCIs.

j.- Prueba de Entradas Analógicas (AI).-
Código AI XX)
Mediante este programa se pueden determinar todos los parámetros analógicos de operación de la unidad.
El número de la entrada analógica se puede obtener de la correspondiente lista.(Tabla 2.1.5-J)

k.- Mensaje de Termocupla Abierta.-
Normalmente cuando existe una termocupla abierta se imprime la alarma correspondiente "Open T/C".
Con el objeto de determinar cual de las termocuplas es la fallosa se averigua el contenido de la localización 374771 OD 37471/37471.
Si el valor es negativo dicha termocupla es la fallosa.

l.- Determinación de último Pulsador Operado.-
El contenido de la localización 43644 indica el código del último pulsador presionado en la consola de la operación.

m.- Programa de Control de Operación.-
Mediante este programa y cada determinado tiempo, se puede obtener los 20 valores pre-establecidos.
Los valores de estos parámetros se acumulan en las localizaciones de la 30311 a la 30334.La impresión de los datos de operación se realiza en el sistema decimal.

Tabla 2.1.5-J.-

Código de Entradas Analógicas (AI).-

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
1	LT-17	
3	LT-18	
5	LT-19	
7	LT-20	
11	LT-21	
13	LT-22	
15	LT-23	
17	LT-24	
21	LT-34	
23	LT-30	
25	LT-33	
27	LT-35	
31	LT-36	
33	LT-25	
35	LT-26	
37	LT-31	
41	LT-32	
43	LT-37	
63	RTD-1	Temperatura Generador-RTD
65	RTD-2	Temperatura Generador-RTD2
67	RTD-3	Temperatura Generador-RTD3

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
71	RTD-4	Temperatura Generador-RDT4
73	RTD-5	Temperatura Generador-RTD5
75	RTD-6	Temperatura Generador-RTD6
77	AUXKW	Kilowatios barra Auxiliar
101	EXVLT	Voltaje del campo de excitación.
103	GNVAR	Vars del Generador
105	GEN1A	Amperios Fase 1 Generador
107	GEN2A	Amperios Fase 2 Generador
111	GEN3A	Amperios Fase 3 Generador
113	FREQ1	Frecuencia de la barra
115	AUX1V	Voltaje barra auxiliar Fase 1
117	AUX2V	Voltaje barra auxiliar Fase 2
121	AUX3V	Voltaje barra auxiliar Fase 3
123	AUX1A	Amperios barra auxiliar Fase 1
125	AUX2A	Amperios barra auxiliar Fase 2
127	AUX3A	Amperios barra auxiliar Fase 3
131		Sin aplicación

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
133	1DC12	Temperatura de cavidades 2
135	1DC22	Temperatura de cavidades 4
137	1DC32	Temperatura de cavidades 6
141	RC2	Temperatura de enfriamiento del rotor.
143	LT-13	Temperatura 5 de escape
145	LT-14	Temperatura 6 de escape
147	LT-15	Temperatura 7 de escape
151	LT-16	Temperatura 8 de escape
153	LT-27	Temperatura de aire de enfriamiento.
155	LT-28	Reservorio de aceite lubricante.
157	LT-29	Alimentación de aceite de cojinetes.
161	39V1	Vibración cojinete excitación 1
163	39V2	Vibración cojinete 2 del generador.
165	39V3	Vibración cojinete 3 del generador.
167	39V4	Vibración cojinete 4 de turbina.
171	BLIND	Indicador de temperaturas de paletas.

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
173	EXIND	Indicador de temperatura de escape.
175	BRIND	Indicador de temperatura de cojinete.
177	DIIND	Indicador de temperatura de cavidades.
201	VIIND	Indicador de vibración
205	RVIND	Indicador del voltaje de barra del sistema.
207	FVIND	Indicador de voltaje de campo del generador.
211	FIIND	Indicador de amperios del campo del generador.
213	FQIND	Indicador de frecuencia
221	MCCSO	Señal de combustible del LMC (CSO).
223	VTIND	Indicador de voltaje
225	AMIND	Indicador de amperios
227	BUS1V	Voltaje de la barra Fase 1
231	BUS2V	Voltaje de la barra Fase 2
233	BUS3V	Voltaje de la barra Fase 3
235	GNFRQ	Frecuencia del generador
237	GEN1V	Voltaje del generador Fase 1
241	GEN2V	Voltaje del generador Fase 2

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
243	GEN3V	Voltaje del generador Fase 3
245	LNE1V	Voltaje de línea Fase 1
247	LNE2V	Voltaje de línea Fase 2
251	LNE3V	Voltaje de línea Fase 3
253	1DC11	Temperatura 1 de cavidades
255	1DC21	Temperatura 2 de cavidades
257	1DC31	Temperatura 3 de cavidades
261	RC1	Temperatura 1 del rotor de enfriamiento.
263	LT9	Temperatura 1 de escape
265	LT10	Temperatura 2 de escape
267	LT11	Temperatura 3 de escape
271	LT12	Temperatura 4 de escape
273	MNSPD	Señal de velocidad del canal principal.
275	SPBCK	Señal de velocidad del canal auxiliar.
277	GNWAT	Watts del generador
301	GASPR	Presión de alimentación de gas.
303	LT1	Temperatura 1 de álabes
305	LT2	Temperatura 2 de álabes
307	LT3	Temperatura 3 de álabes
311	LT4	Temperatura 4 de álabes

AI Nº	Símbolo Análogo	Descripción
313	LT5	Temperatura 5 de álabes
315	LT6	Temperatura 6 de álabes
317	LT7	Temperatura 7 de álabes
321	LT8	Temperatura 8 de álabes
323	FLIND(CSO)	Señal de control de combustible.
325	SPLDL	Señal limitadora de velocidad y carga.
327	COMBR	Presión cámara combustora
331	SPREF	Señal de referencia de velocidad.
333		Sin aplicación
335	AVE LT9-16	Promedio de termocuplas LT9 a LT16.
337	BLSPRD	
341	AVE LT1-8	Promedio de termocuplas LT1 a LT8.

n.- Programa de Record de Falla.-

Es uno de los subprogramas de mayor utilización durante la operación de la unidad, pues acumula determinados parámetros de operación durante el momento de alguna falla de la unidad así como los datos de operación durante los 6, 12, 18, 24, 30, 36 segundos y 1, 2 , 3, 4 ,5 minutos previos al disparo de la unidad.

El código para la obtención de dicho programa es PA.

Los datos de operación en un total de 10 quedan almacenados en las localizaciones de la 26100 a la 26111.

Los datos de operación registrados son :

AI 327 Presión cámara combustora

25 Termocupla 33.Temperatura,entrada al compresor

113 Frecuencia

255 Termocupla 10 (Cavidades)

335 Promedio termocuplas 9 a 16

161 Vibración (V1) cojinete de excitación

163 Vibración (V2) cojinete,generador,lado excitación.

63 Temperatura generador RDT

277 Mws generador

273 Señal de velocidad,canal principal.

2.2.- Control Auxiliar Local o Emergente de Operación.-

El sistema de control auxiliar de operación (LMC) está diseñado con el criterio de mantenerse permanentemente en reserva o resguardo del control principal de operación (P-50) por cualquier eventualidad de falla de éste. La experiencia ha demostrado que este sistema auxiliar (LMC) reune muchas cualidades y puede ser utilizado casi con la misma solvencia y confiabilidad que el control por computador. El LMC emplea como señales referenciales para su control de la operación muchas señales tanto de entrada como de salida (CCI y CCO) que también son empleados por el control mediante P-50, estos sistemas de interconexión se indican en la figura 2.2-1.

Este empleo en paralelo de estas señales de control permiten mantener a los dos sistemas de control en disponibilidad completa de rastreo y transferencia entre los dos ya sea automáticamente como en forma manual.

Con el objeto de ordenar lógicamente el estudio más detenido del funcionamiento de los sistemas de control de operación del LMC, se analizará primero los sistemas independientes de control y luego se analizará los sistemas de transferencia del control entre el LMC y el computador.

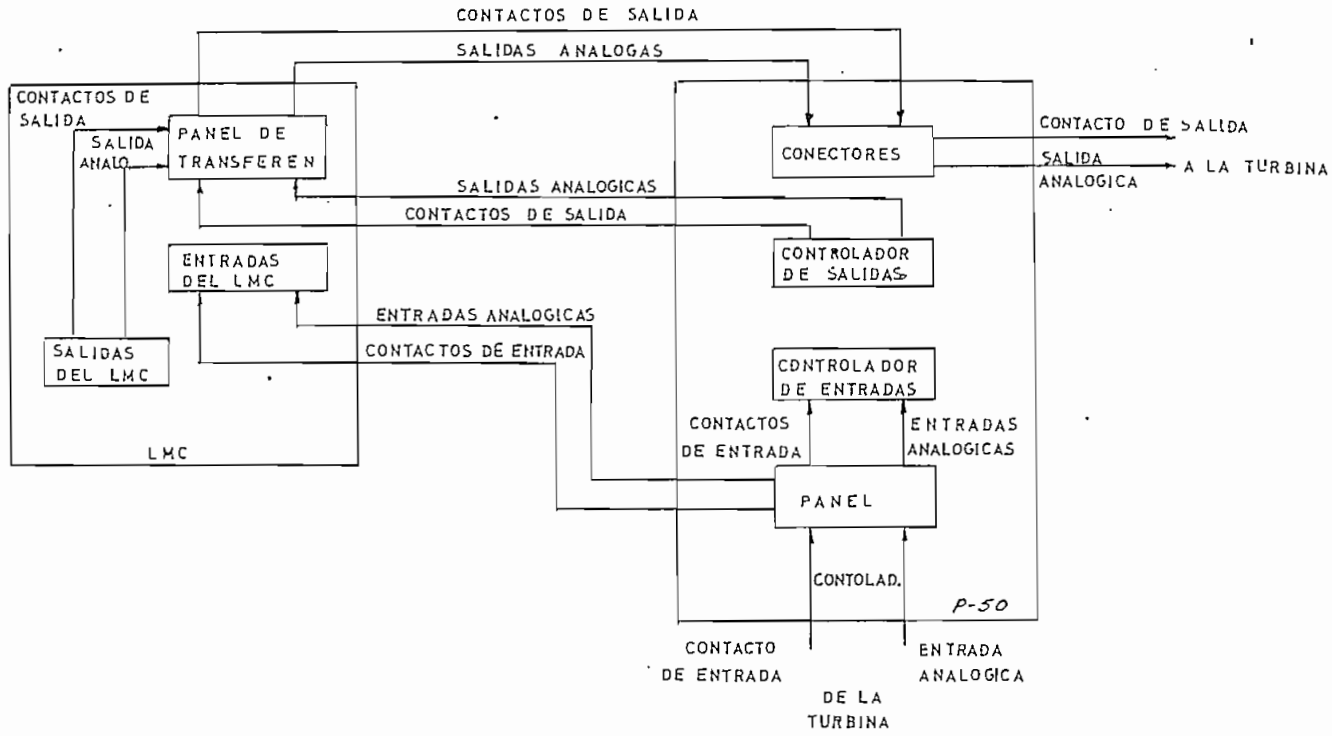


FIGURA: 2.2 – 1

INTERCONEXION ENTRE L M C Y P – 50

2.2.1.- Operación de los Sistemas de Control Independiente del LMC.

2.2.1.1.- Control Analógico.-

El sistema de control analógico del LMC controla directamente la posición de la válvula de paso o estrangulamiento de combustible y la posición de la válvula de bypass o de regulación de presión de combustible. Consecuentemente el LMC controla indirectamente la velocidad o carga de la turbina, la presión de la descarga de la bomba de combustible y la temperatura de las paletas de turbina, elementos básicos en el control de operación de una turbina.

Además el sistema analógico de control del LMC dirige y compara contra valores límites máximos : la temperatura; vibraciones en el lado del compresor y lado de escape de turbina; baja velocidad del eje. El sistema analógico del LMC inicia el disparo de la unidad solamente en base a estos parámetros indicados.

Este sistema analógico controla automáticamente a la unidad desde el encendido hasta el 95% de la velocidad sincrónica, tanto la orden de arranque como la sincronización y toma de carga se realiza manualmente por el operador.

Inmediatamente al encendido, el sistema analógico del LMC incrementa automáticamente y proporcionalmente la demanda de señal de combustible en base a un programa pre-establecido de demanda de combustible-tiempo. El sistema analógico

del LMC requiere las siguientes señales desde el panel de control :

1.- Condición de operación del P-50
2.- Selección de combustible
3.- Posición del interruptor del generador
4.- Presencia de llama
5.- Demanda de incremento de combustible por parte del operador.
6.- Demanda de decremento de combustible por parte del operador.

El sistema analógico requiere la información de las siguientes señales analógicas :

1.- Velocidad
2.- Demanda de combustible por parte del computador (P-50)
3.- Demanda de señal para la válvula by-pass por el P-50
4.- Demanda de señal para la válvula de paso de combustible por el P-50
5.- Demanda de señal de voltaje para encendido
6.- Presión de la descarga de la bomba principal de combustible.
7.- Presión de la cámara combustora
8.- Temperatura de etapa de paletas
9.- Vibración en el lado del compresor
10.- Vibración en el lado de escape de la turbina

El sistema analógico desarrolla las siguientes señales lógicas de salida (CCO) ;

1.- Límite de temperatura con activación de la señal luminosa en el panel,inicia el corte o previene el incremento de combustible.
2.- Señal de posibilidad de arranque
3.- Señal luminosa de error de rastreo del LMC.En condición del bloqueo del LMC (P-50 solamente) no existe rastreo,se previene la transferencia.
4.- Rastreo del LMC al P-50.Señal de capacidad de transferencia.
5.- Señal de error de rastreo LMC/P50.Prevención de transferencia.
6.- Señal luminosa de error de detención de velocidad entre los dos canales A y B del LMC.
7.- Señal luminosa de velocidad en valor cercano de combustible del LMC termina.
8.- Anulación de señal de alarma por vibración;si la vibración se encuentra en valores inferiores al límite absoluto,el comando de disparo no trabaja.
9.- Señal de anulación de alarma por sobretemperatura en paletas,el comando de disparo no trabaja.
10.- Señal de velocidad mayor al 60%.Se inicia la desconexión del dispositivo de arranque.

El sistema analógico desarrolla las siguientes señales analógicas de salida :

1.- Demanda de posición para la válvula de by-pass de combustible.
2.- Demanda de posición para la válvula extranguladora de combustible.
3.- Señal de demanda de combustible para el computador (CSO).
4.- Señal de corrección de la válvula de by-pass, para el sistema analógico del P-50.
5.- Señal de demanda de combustible para el panel de control (CSO).
6.- Señal de medición de velocidad para el panel de control.

En términos generales el control analógico desarrolla las siguientes funciones :

El controlador de velocidad compara la velocidad medida con el rango calibrado de velocidad y produce una señal proporcional al error entre las dos señales.

Este control está normalmente a 4% de regulación, el rango varía entre 2% y 6% de regulación.

Igual que en el sistema principal de control mediante P-50, el control del LMC está sujeto a límites máximos y mínimos.

El límite de demanda de combustible está representado por

1,25 voltios como valor mínimo,en la señal de control y es establecido por la presencia de llama y el cierre del disyuntor del generador,esta señal es completamente anulada a 0% mediante la señal de pérdida de llama.

El límite máximo varía desde 25% al 100% de flujo de combustible,dependiendo solamente del nivel de control por pre-sobrevelocidad.

Bajo condiciones normales de operación este control de pre-sobrevelocidad establece el límite del 100%,la turbina deberá aproximarse al 110% de velocidad que es el límite para el disparo de la unidad mediante el dispositivo mecánico,para que el control del LMC disminuya del 110% al 25% de señal de combustible.El propósito de esta disminución es evitar el paro completo de la unidad por condición de emergencia y restaurar la condición estable de velocidad cerca de la sincrónica en el mayor tiempo posible.

Durante el arranque o cuando el interruptor de generador está abierto,el control de temperatura detiene el incremento de velocidad y disminuya la señal de combustible si el promedio de temperatura de paletas es mayor o igual que la referencia.

La referencia de temperatura se desarrolla mediante dos funciones cada una genera una curva como función de la presión en la cámara combustora.

La una curva es el punto máximo de temperatura con el disyuntor abierto.El otro valor añadido al primero es cuando el disyuntor está cerrado y la suma de los dos es igual al máximo valor de temperatura para operación.Este sistema emplea la misma señal de presión en la cámara combustora que el empleado por el P-50.

El promedio de temperatura de paletas es determinado de las ocho termocuplas colocadas en ese sitio y amplificado el promedio.Cuando se encuentra operando el control mediante el P-50,el sistema de detección de temperatura de paletas del LMC se encuentra desconectado y durante una transferencia la señal de temperatura del LMC entra en operación con un determinado retraso con el objeto de evitar operación de protecciones por detecciones transitorias de valores de temperatura.

La referencia de temperatura será comparada con el promedio de temperaturas medidas y una señal de error es generada,esta señal de error tiene dos diferentes aplicaciones una para incremento y otra para disminución de temperatura previamente amplificadas.Estas dos señales son limitadas mediante un ancho de banda muerta muy estrecha.Las dos señales de error,luego de pasar por un sistema de amplificación proporcional se transforma en la señal de demanda de combustible (CSO) limitada al 110%.

La sensibilidad de amplificación o vías del sistema aumenta conforme la señal de salida CSO,de manera que a mayor cantidad de combustible mayor capacidad de rectificación

posee el sistema de control de combustible, lográndose mayor estabilidad en el sistema de control de carga y velocidad.

La señal CSO del P-50 como del LMC, tienen la misma forma de aplicación al control de la abertura de la válvula de paso de combustible marchando permanentemente en completo paralelismo y pueden transferirse al control cada una indistintamente.

2.2.1.2.- Procedimientos de Operación de la Turbina mediante el LMC.-

La turbina es operada mediante el control auxiliar de operación o LMC, por el operador, mediante el siguiente procedimiento :

a.- Secuencia de Arranque.-

El procedimiento de arranque mediante el LMC a pesar de ser completamente automático se lo considera un proceso que debe ser controlado en forma muy minuciosa ya que el control de alarma por sobretemperatura se basa solamente en el promedio de valores en las ocho termocuplas detectoras de temperatura en las paletas de la turbina; por tanto este sistema de control no es completamente confiable en el caso de que una de las canastas combustoras se encontrare en condición anormal de operación, de allí que necesariamente durante el control de operación mediante el LMC se hace necesario tomar lecturas manualmente mediante el teletipo en cada una de las termocuplas de control.

Esta previsión se hace imperiosa durante el procedimiento de arranqué en él cual las termocuplas son relativamente altas.El procedimiento normal de arranque mediante el LMC es el siguiente :

1- Colocación de todos los interruptores de distribución de fuerza en la posición de conectado,estos son :
120 Vac, 125 Vdc , 48 Vdc.
Las tres lámparas indicadoras de conectado deberán iluminarse.

2- Si la computadora no se encuentra en operación,se debe colocar el interruptor de llave en la posición de wetacmaint.

3- Reponer la alarma de pérdida de corriente contínua "LOSS OFF DC",presionando el correspondiente pulsador.

4- Colocar en la posición de conectado a los pulsadores de"presión de lubricación" y "virador".

5- Presionar el pulsador de "posibilidad de transferencia del LMC";la lámpara indicadora deberá iluminarse.

6- Colocar el interruptor del anunciador en la posición de "reposición".

7- Presionar al pulsador del "LMC conectado",la lámpara deberá iluminarse al igual que las de "Presión de lubricación" y "Virador".

8- Colocar el interruptor de encendido en la posición "Automática".

9- Presionar el selector de combustible "Diesel".

10-. Anular cada una de las alarmas presionando cada uno de los pulsadores,los cuales darán indicación luminosa al verificar la anulación de la alarma.

11- Presionar el pulsador de "Arranque de motores auxiliares",el pulsador se iluminará y la indicación de "Parada de motores auxiliares desaparecerá.

12- Los indicadores de "Retroinspección","Auxiliares listos" y "listo para el arranque" deberá iluminarse.

13- Presionar el pulsador de "Arranque",el indicador de "Parada" deberá desaparecer.

14- El dispositivo de arranque acelerará la turbina hasta la velocidad de encendido.La indicación luminosa de "Virador" deberá desaparecer.

15- Los detectores de "Llama superior" y "Llama inferior" deberán iluminarse cuando el encendido se haya completado.

16- El LMC acelerará a la turbina a lo largo de una curva determinada,las "válvulas de aislamiento o purga" de la cámara combustora se cierran.

17- Al 95% de velocidad,la indicación de "interruptor de campo cerrado" y "listo para sincronizar" se iluminarán. La señalización de "Interruptor de Campo Disparado" desaparece.

18- Se debe igualar el voltaje del generador al voltaje de la barra mediante los pulsadores de "Elevación de voltaje" y "Disminución de voltaje" y empleando los indicadores colocados en la consola de operación por P-50.

19- Ajustar la velocidad de la turbina mediante los pulsadores "Elevación,Carga-Velocidad" y "Disminución,Carga-Velocidad".

20- El pulsador de "Cierre del Interruptor de Generador" deberán presionarse cuando el ángulo de defazamiento leído en la consola principal de operación esté entre 0° y 10°.La lámpara de "Cierre" se iluminará y la de "Disparo" se anulará.

21- El operador deberá seguir el procedimiento de carga y descarga de la unidad mediante los pulsadores de "Elevación" y "Disminución" y de acuerdo a las variaciones de carga por minuto pre-establecidos,aproximadamente 0,22 v/min.,de señal de demanda de combustible.En igual forma se analizará el control de voltaje o de carga reactiva del generador.

b.- Parada Normal de la Unidad.-

El siguiente es el procedimiento de parada normal de la unidad que el operador debe seguir :

1- Reducir el voltaje de carga activa (Mw) y carga reactiva (MVAR) a un valor mínimo,aproximadamente 3MW y 0.5 MVAR.

2- Abrir el interruptor del generador presionando el pulsador luminoso respectivo.

3- Se debe mantener la unidad girando a velocidad sincrónica por un tiempo aproximado de dos minutos,con el objeto de acelerar el proceso de enfriamiento de la unidad.

4- Presionar el pulsador de parada de la unidad;inmediatamente se produce el corte de combustible y la unidad entra en el proceso de desaceleración.

5- Colocar el interruptor de alarmas en la posición de "Reset".La unidad también puede pararse automáticamente mediante la operación de cualquiera de las alarmas a excepción de la alarma de "Aire de Instrumentación";como se explicó en la descripción del LMC.

2.2.2.- Sistemas Automáticos de Transferencia de Control.- Fig.2.2.2-1.

2.2.2.1.- Sistema Lógico de Transferencia.-

El secuenciador;conteniendo los relés en un total de 43 y sus circuitos asociados,es el elemento que realiza toda la secuencia lógica requerida para cumplir la transferencia automática de control al LMC en el caso de que se presentare una falla en el computador.

El sistema de transferencia del P-50 al LMC; o del LMC al P-50 consiste de varios subsistemas que son :

a.- Posibilidad de Transferencia

b.- Relés de Transferencia

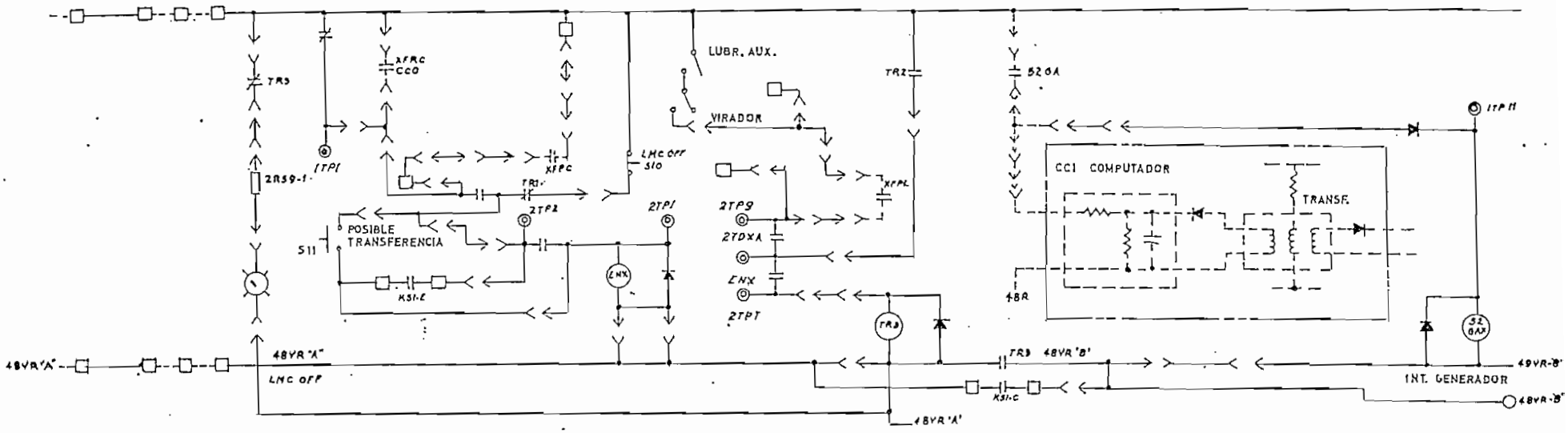
c.- Sistema Lógico de Inhibición de Transferencia

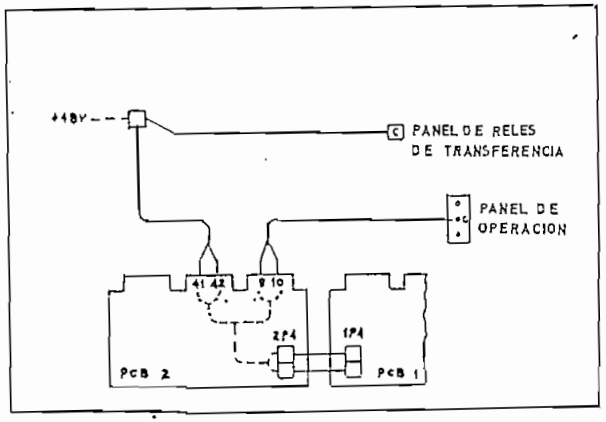
d.- Sistema de Transferencia del P-50 al LMC.

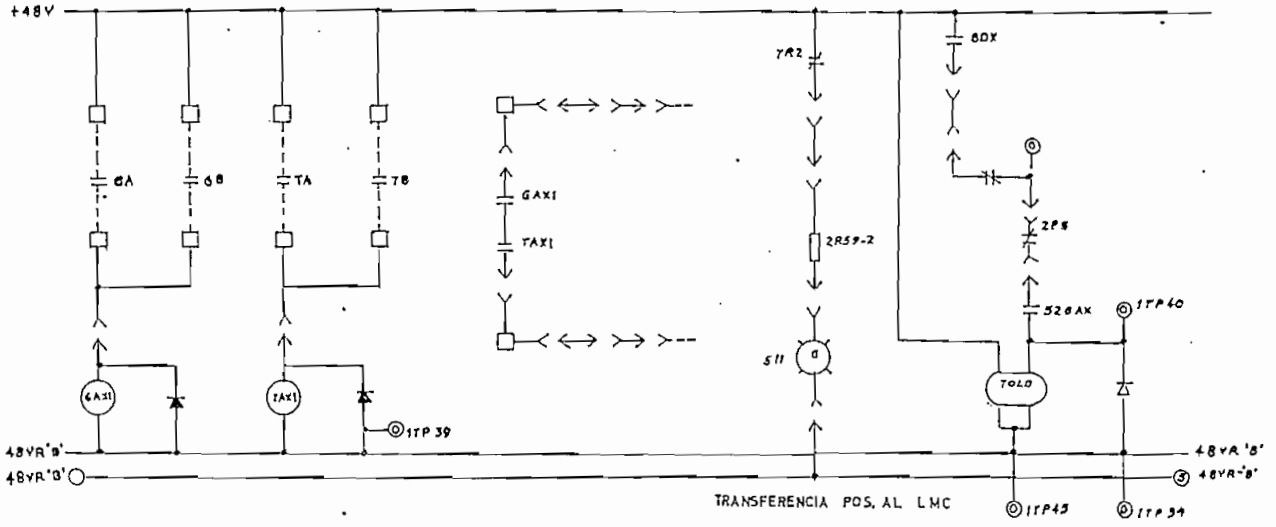
e.- Sistema de Transferencia del LMC al P-50

a.- Posibilidad de Trasnferencia.-

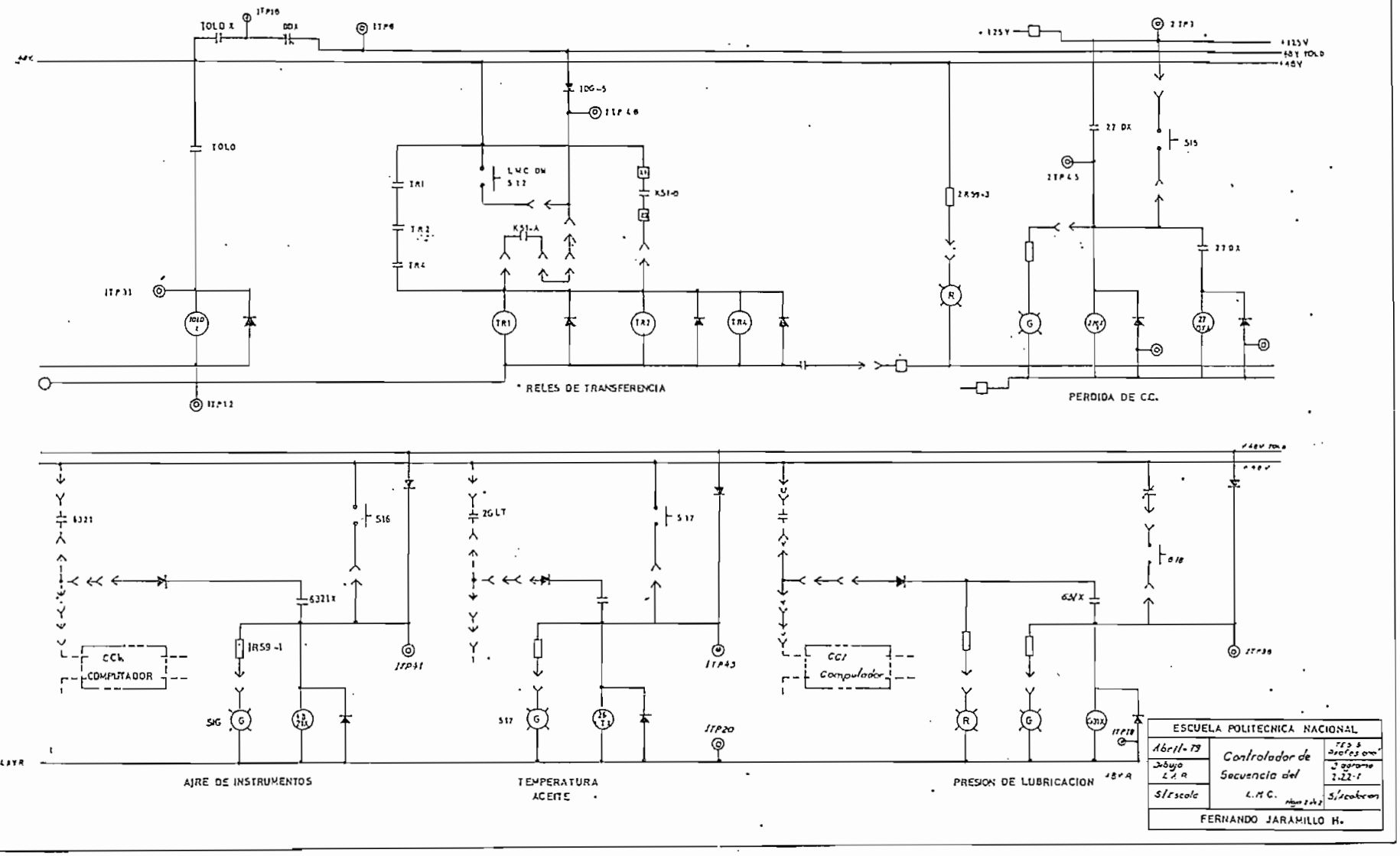
Con referencia al diagrama del secuenciador,hojas 1 y 2; si el sistema se encuentra bajo la operación del P-50 ,







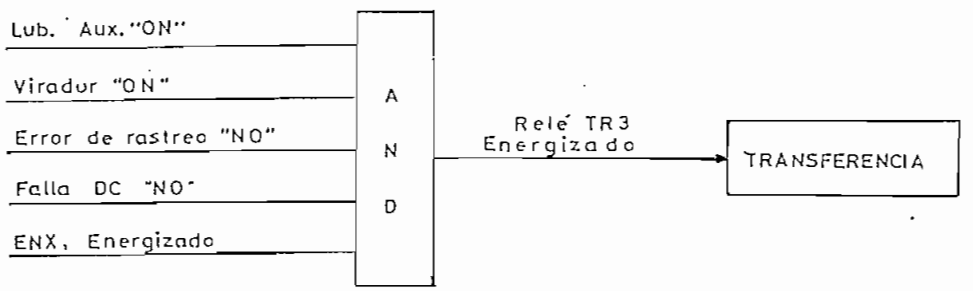
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
Abril-79	Controlador de Secuencia del L.M.C. Hoja 1 de 2	Tesis Profesional
Dibujó: L.A.R.		Diagrama: 2,2,2 -1
s/Escala		s/Acotación
FERNANDO JARAMILLO H.		


TOLO X
DDX
TOLO
TR1
TR2
TR4
LMC ON
K51-A
K51-B
2R59-3
27 DX
S15
27 DX
+125V
+48V TOLO
+48V
RELES DE TRANSFERENCIA
PERDIDA DE C.C.
6321
S16
2GLT
S17
6321X
1R59-1
CCI
COMPUTADOR
CCI
Computador
S16
S17
AIRE DE INSTRUMENTOS
TEMPERATURA
ACEITE
PRESION DE LUBRICACION
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Abril-79
Dibujo
L.A.R.
S/escala
Controlador de
Secuencia del
L.M.C.
FERNANDO JARAMILLO H.

presionando el pulsador S 11 de "posibilidad de transferencia" se energiza el relé ENX.Si el interruptor de "lubricación auxiliar" (Aux Lube) está conectado,el interruptor de "Virador" (Turning Gear) está conectado,no existe error de rastreo y no está presente la alarma de falla de "corriente contínua" (relé 27 DX).La energización del relé ENX,causa la energización del relé de transferencia "TR3".La energización del relé TR3 activará la barra 48 VR "B".

Los relés de transferencia TR1,TR2,TR4 están en la barra de 48 VR-"B".Si esta barra no es activada,los relés de transferencia no son energizados y el control no puede ser transferido al LMC;es necesario que estos tres relés sean energizados para posibilitar la transferencia al LMC.La pérdida de cualquiera de las condiciones previas a la aceptación de la transferencia de-energizará al relé TR3 y el sistema de operación del LMC se desconectará. El relé ENX puede desconectar presionando el pulsador desconectador del LMC (LMC OFF).

Lógicamente el sistema de condición de transferencia puede representarse mediante el siguiente diagrama bloque :



Cuando el relé TR3 es energizado,la transferencia es posible.

b.- Relés de Transferencia.-

Los relés de transferencia TR1,TR2 y TR4 son empleados para operar contactos y salidas analógicas desde el sistema principal de control y LMC,tal que solamente el sistema de control en servicio es conectado al proceso.

Estos relés son de-energizados por la operación del P-50 y energizados durante la operación del LMC.

c.- Inhibición de Transferencia.-

El sistema de inhibición de transferencia está localizado en el sistema analógico del LMC;la operación del sistema de transferencia o del bloqueo se realiza a través de los contactos XFPC y XFPL.

El contacto XFPC debe abrirse para permitir una transferencia al P-50 y el XFPL debe cerrarse para permitir la transferencia al LMC.

El LMC rastrea al sistema de control del P-50 mediante la comparación de tres señales equivalentes de cada sistema.Estas señales son :

1- Señal de demanda de combustible (CSO).

2- Señal para la válvula extranguladora de combustible.

3- Señal para la válvula de By-pass de combustible.

Si se presenta un error ya sea alto o bajo entre cualquier par de estas señales y si la turbina es operada por el P-50 se presenta una señal de error de rastreo.

Este error del LMC opera una alarma luminosa y previene la transferencia manual al LMC. Si se realiza una transferencia automática al LMC durante la presencia del error en el rastreo, la turbina saldría de operación.

Cuando el sistema está operando con LMC y se presenta un error en la comparación de señales, esta información se emplea para prevenir una transferencia insegura o peligrosa al control del P-50.

La señalización de alarma se anula cuando el error de rastreo desaparece o cuando la unidad ha salido de servicio.

d.- Sistema de Anulación de Alarma del LMC.-

Cuando el sistema está operando mediante el control del P-50, la barra de 48 V-R es desactivada por la abertura del contacto normalmente abierto en el relé TR2.

La mayoría de las alarmas están en la barra 48 VR y deben ser anuladas en el momento de transferencia al sistema del LMC; esto se cumple automáticamente mediante el relé "TOLD X" y la barra de + 48 V "TOLD".

La transferencia automática es iniciada mediante la de-energización del relé "TOLD".

Normalmente el relé "TOLD" es energizado cuando el relé "DDX" es energizado y el relé 89X-3 está de-energizado. (89X-3 está energizado cuando la turbina está operando bajo el control del LMC). El relé TR1 está de-energizado y el relé 52 GAX está energizado (Interruptor del generador cerrado).

La transferencia automática es iniciada cuando el relé DDX es de-energizado,indicando que el computador está muerto.Esto es causa del cierre de contactos del relé "TOLD" energizando el relé "TOLD X".Con el relé "TOLD X" energizado y el relé DDX de-energizado,la barra + 48 V "TOLD" es activada.

Activando esta barra se energizan los relés de transferencia TR1,TR2 y TR3.Energizando TR2 se activa la barra 48VR.Si la barra +48 v "TOLD" y la barra 48 VR están activadas,todos los relés de alarmas,como por ejemplo el 6321-X de aire de instrumentos son energizados durante el tiempo de atraso del relé "TOLD".Si una condición de alarma no existe,el relé permanece energizado cuando la señal del relé "TOLD" es anulada y son de-energizadas las barras +48 V "TOLD" y 48 VR.

e.- Transferencia desde el P-50 al LMC.-

La transferencia desde el P-50 al LMC puede ser iniciada automáticamente mediante el circuito detector de computador muerto o manualmente presionando el pulsador de "LMC ON";el cual de-energiza el relé DDX causando un pulso en el relé "TOLD",el cual realiza las funciones indicadas en el acápite anterior.

Si el sistema se encuentra operando mediante el control del P-50 con el interruptor del generador cerrado y si la transferencia es posible,la de-energización del relé DDX iniciará una transferencia automática.

f.- Transferencia desde el LMC al P-50.-

La transferencia de control desde el LMC de regreso al P-50 se desarrollará de acuerdo a las siguientes reglas:

1.- La transferencia al sistema de control por P-50 debe ser iniciada manualmente por el operador.

2.- La transferencia debe iniciarse solamente desde la consola de operación local no de la remota.

3.- El P-50 debe mantenerse en control de la velocidad mediante velocidad de referencia limitante del CSO.

4.- La transferencia puede realizarse solamente con la unidad sincronizada a la línea,no puede realizarse la transferencia durante el procedimiento de aceleración o arranque.

5.- La transferencia no es premitida cuando existe un error de rastreo.

6.-La transferencia es permitida solamente cuando el computador funciona apropiadamente.

7.- La transferencia no es permitida cuando el interruptor de mantenimiento se encuentra en posición de LMC.

Cuando el sistema de rastreo del P-50 trabaja apropiadamente y las señales o demanda de combustible del P-50 y el LMC son idénticas se realiza la transferencia sin variaciónes peligrosas de carga.

Luego de la transferencia,el operador puede seleccionar la deseada carga de operación para el P-50 y ajustar la operación de la unidad a los procedimientos normales de control con el P-50.

Es necesario indicar que inmediatamente después de la transferencia al LMC; el valor de temperatura de paletas es limitada al valor de temperatura de carga pico, por tanto si la transferencia del P-50 al LMC ocurre durante cargas mayores que la carga pico, se producirá una reducción de carga al valor de carga pico inmediatamente después de la transferencia.

En igual forma; el cambio en temperatura ambiente que pueda tender a sobrecargar térmicamante a la unidad, resultará en una reducción automática de carga como una función de la temperatura de paletas.

2.3.- Invertidor.-

2.3.1.- Especificaciones.-

Fabricante	:	Solidstate Controls, Inc.	
Modelo	:	W-CR-267-DCA	
Alimentación de Entrada	:	129 V DC (105-140 V DC) 38.8 Amps. 120 V AC.	
Salidas	:	118 V AC +.4% 16.9 Amps. 60 cic/seg 1 Fase	118 V AC + 4% 8.4 Amps. 60 cic/seg. 1 Fase

Onda sinusoidal, filtrada con menos del 15% de distorsión.

Temperatura
de trabajo : -10° a $40^{o}C$.

Accesorios : Interruptor Estático de transferencia.
Interruptor Electro-mecánico.
Interruptor Sensor de frecuencia.

2.3.2.-Principios de Operación.-

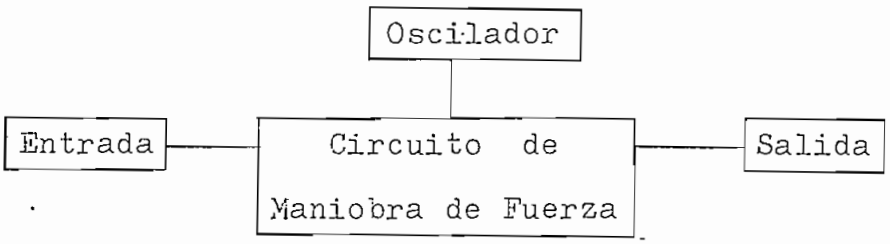
El sistema de operación del computador y LMC demanda la necesidad de una alimentación de fuerza que reúna determinadas cualidades en amplitud y frecuencia de onda que eviten distorsiones en los procedimientos de computación. Básicamente el invertidor es un sistema alimentador de potencia para los sistemas de control, el cual se auto-alimenta de la barra principal de corriente contínua y mediante un elemento oscilador produce una onda de salida con una amplitud de 118 VAC $\pm$ 4% y una frecuencia exacta de 60 ciclos sobre segundo.

Esta onda sinusoidal de salida permanece en sincronismo con la onda sinusiodal del sistema ya que el sistema de protección del invertidor durante una operación anormal de su sistema de oscilación hace una transferencia automática de alimentación para los sistemas de control desde el invertidor hacia el sistema normal de servicio de estación; debiendo esta transferencia realizarse con ningún desfasaje de onda, por tanto las dos ondas tanto la principal como la de emergencia

marcan cero grados de defasamiento entre sí..

2.3.3.-Descripción del Circuito.-

El invertidor puede considerarse dividido en cuatro grandes bloques de control : entrada,salida,oscilador y el circuito de maniobra de fuerza.



Básicamente la entrada es una fuente de corriente contínua que provee una señal de fuerza libre de estados transitorios para el circuito de maniobra.

El circuito oscilador genera pulsos de frecuencia propia para controlar el circuito de maniobra;en igual forma y alternativamente invierte la polaridad de la señal de contínua para generar una onda cuadrada de mayor capacidad.

La onda resultante es regulada y filtrada por un filtro de armónicas en el bloque de salida.

La operación de un inversor estático puede ser simulado mediante interruptores como se indican en la figura 2.3.3-2

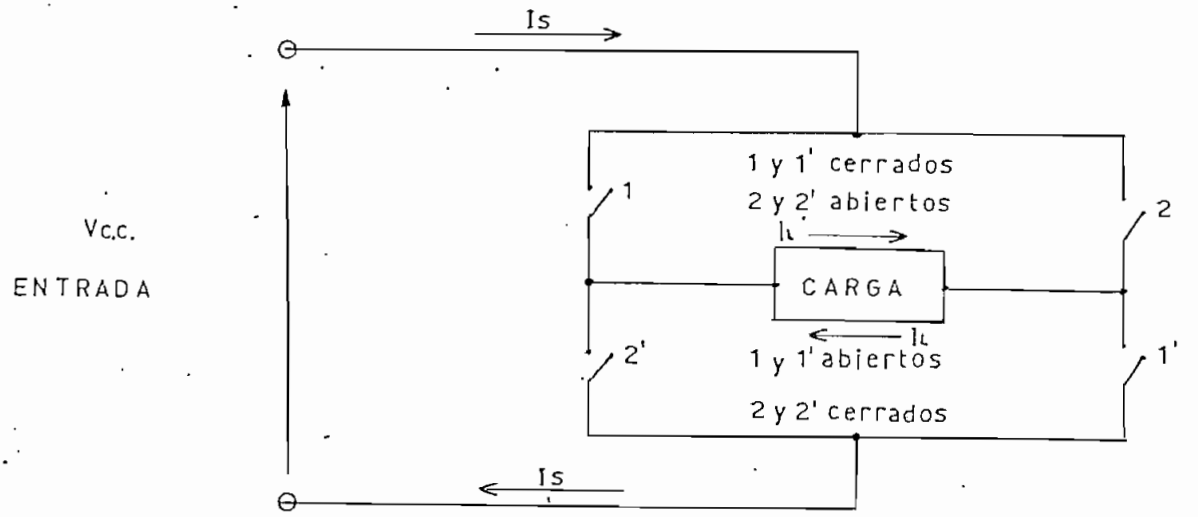


fig.2.3.3-2.

Los interruptores 1 y 1' operan simultáneamente igual que 2 y 2'.En el diagrama se puede ver mientras la corriente de entrada circula siempre en el mismo sentido,la corriente en la carga fluye alternativamente en un sentido y en otro.
El inversor estático del invertidor realiza esta misma función pero mediante sistemas electrónicos tipo estático.

2.3.4.-Accesorios del Invertidor.-

a.-Accesorio Eléctronico de By-pass.-

Este dispositivo provee la alternabilidad de una fuente alterna para la carga en el caso de falla del invertidor Se proveen botones pulsadores de transferencia desde el invertidor hacia la fuente alterna y repone la alimenta - ción normal para propósitos de prueba.

El tiempo de transferencia en caso de falla es menor que

50 milisegundos.

b.- Alarma de bajo voltaje DC.-

Esta alarma de bajo voltaje contínuo en la alimentación provee información al operador que tanto el banco de baterías como el sistema de rectificación o cargador están operando incorrectamente.En el caso de esta unidad el nivel de alarma se encuentra en 105 VAC;esta alarma no produce disparo del invertidor.

c.- Interruptor Estático de Transferencia.-

Este interruptor desarrolla la función de transferencia bajo cualquiera de las tres siguientes condiciones anormales de operación :

1-Falla o deterioración en la onda sinusoidal del invertidor.

2-Falla o deterioración del voltaje sinusoidal de salida.

3-Una sobrecarga que exceda la capacidad de corriente del invertidor.

d.- Sistema General de Alarma.-

Las condiciones de operación que accionan el sistema general de alarma son :

1-Bajo voltaje DC de alimentación

2-Invertidor fuera de frecuencia

3-Voltaje alternativo bajo

4-Invertidor fuera de sincronismo

En general el sistema inversor o invertidor posee gran capacidad y seguridad de operación al mismo tiempo que provee

gran maniobrabilidad.

2.4.- Sistema de Control de Excitación.-Regulador Automático de Voltaje.-

2.4.1.- Componentes del Sistema de Excitación.-Fig.1.3.2-1

El sistema de excitación se encuentra compuesto de las siguientes partes :

a.- Excitación piloto de imanes permenentes.-
Es un generador de alta frecuencia que provee alimentación para el regulador automático de voltaje;el cual controla el campo estacionario del excitador de alterna.

b.- Excitador de Alterna.-
La salida de la armadura rotativa de este excitador es enviada a lo largo del eje hacia los diodos montados en el volante de rectificación.

c.- Volante de rectificación y fusibles.-
En este punto la salida del excitador de alterna es rectificada por los diodos de silicón;la corriente directa resultante es llevada a través del eje al campo rotativo del generador.Los fusibles pueden ser inspeccionados en operación.

d.- Regulador automático de voltaje.

2.4.2.- Regulador Automático de Voltaje.-

El regulador automático de voltaje se emplea para controlar, regular y mantener el nivel de voltaje y potencia reactiva generada por el generador de la unidad; esto se logra controlando el campo del excitador de alterna· cuyo sistema rotativo controla el campo del generador.
La alimentación de potencia para el regulador se toma de las tres fases del generador de imanes permenentes, 420 cic/seg., y acoplado directamente al eje de la unidad.
La regulación del voltaje se realiza por un amplificador de potencia compuesto de thyristores inversores, operando ya sea manualmente mediante un "ajustador de base" o automáticamente mediante un "detector de error de voltaje" en respuesta a los valores terminales de voltaje y corriente del generador principal.
Este sistema de regulación está diseñado para funcionar en interrelación con el computador.
El regulador diseñado en forma de bloques de control, puede ser agregado en algunas funciones opcionales como son : limitadores, compensadores y dispositivos de protección.

2.4.2.1.- Operación del Regulacor Automático de Voltaje.-

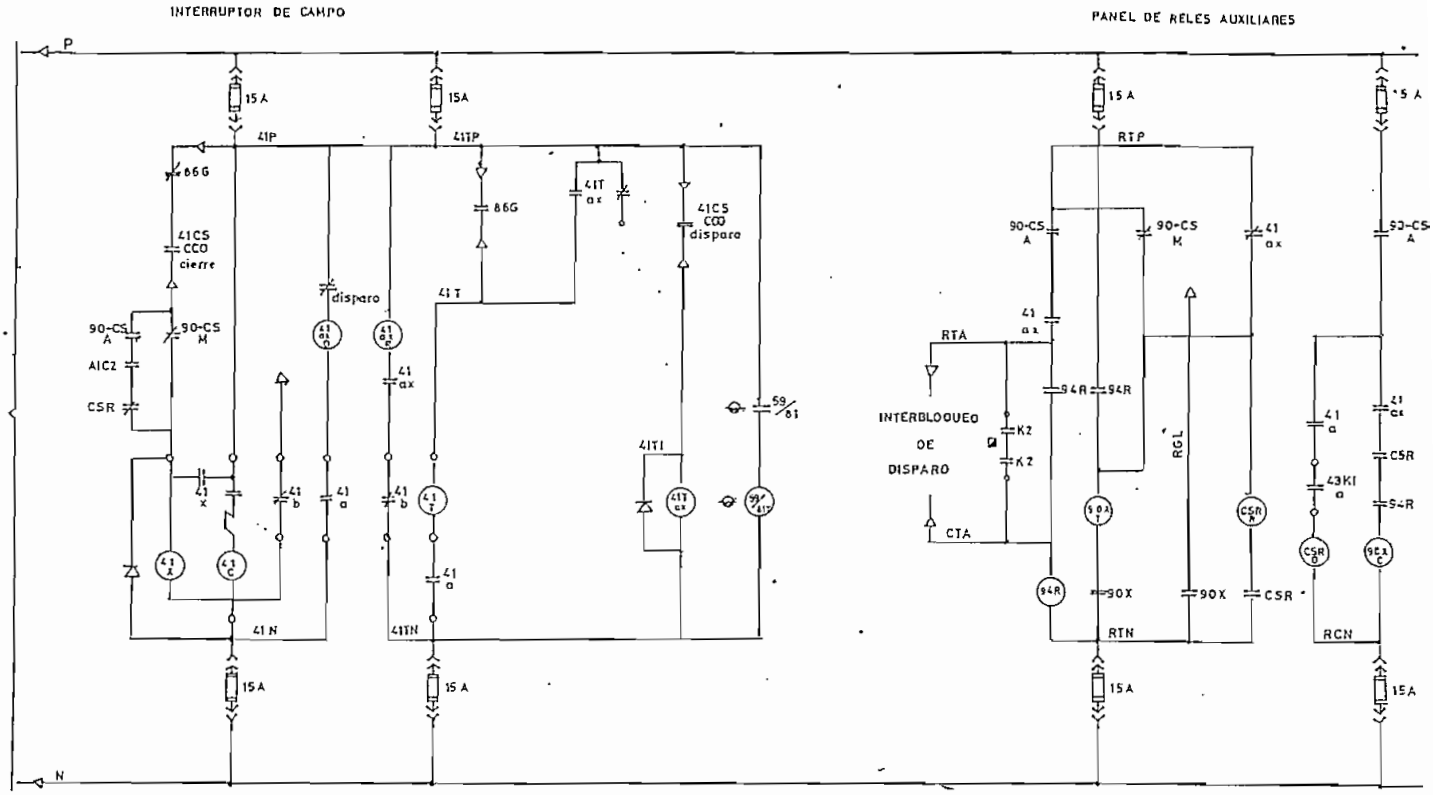
La descripción de la operación básica del regulador de voltaje se desarrollará asumiendo que la unidad se encuentra operando a velocidad sincrónica.

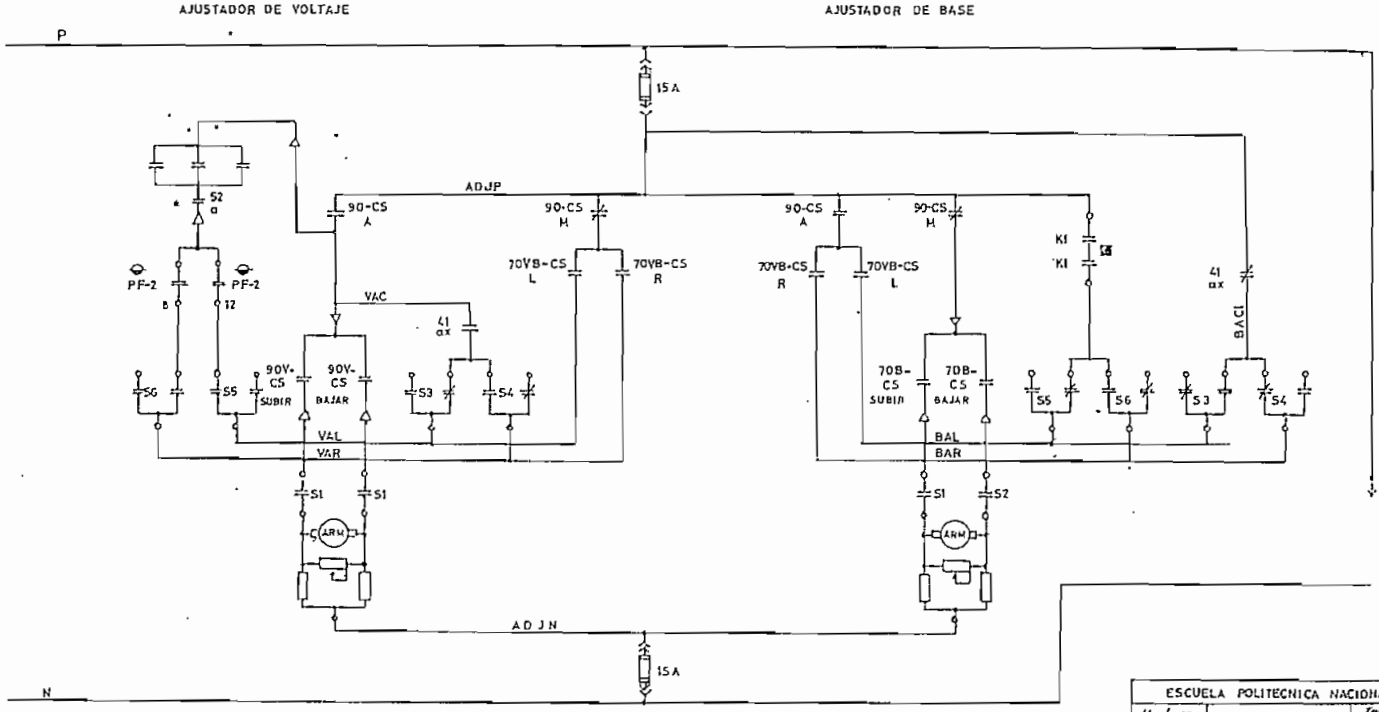
El diagrama 2.4.2.2-1 muestra el sistema típico de excitación con el regulador automático de voltaje (R.A.V.).Con el regulador fuera de operación la salida del mezclador de señales es desconectado mediante los contactos del relé 90X y solamente el ajustador de base se encuentra controlando el generador trifásico de pulsos,que a su vez controla a los thyristores invertidores del amplificador trifásico de poder.

La salida del ajustador es de suficiente rango para operar la unidad desde el voltaje de sincronización hasta el límite máximo.Con el regulador en servicio;el detector de error de voltaje es conectado a través del módulo mezclador de señales y contactos de relé al circuito de rectificación.

Es importante indicar qué el "valor base de excitación" para la unidad está sólidamente determinado por la calibración del ajustador de base.La acción d l regulador a través del sistema detector de error, mezclador de señales y control de sensibilidad controlada en más o menos desde el valor de excitación base.El valor base de excitación es el valor con el cual la unidad trabajaría con el regulador de voltaje fuera de servicio.Con el regulador en servicio;el valor de "Excitación base" puede ser seleccionado a cualquier valor entre el requerido para el trabajo sin carga y el trabajo de plena carga dentro de las capacidades nominales del generador.

La señal de salida en más o menos del mezclador de señales es suficiente para satisfacer todas las condiciones de exci-





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL		
Abril-74	Diagrama de Control Regulador Automático de Voltaje	Tesis Profesional Diagrama 2472-1
Dibujó: L.A.R		
S/Escala		s/prueba
FERNANDO JARAMILLO H.		

tación dentro del rango de ajuste de nivel base.

La acción del circuito de regulación que permite en control en más o en menos tomando como referencia el nivel base, se desarrolla como se indica a continuación : Asumiremos que el regulador se encuentra en servicio con voltaje terminal balanceado, esto significa que el detector de voltaje y el mezclador de señales tienen una señal de salida igual a cero. Luego de esta condición asumiremos que la carga reactiva a la unidad inicia un incremento; el incremento de carga tiende a disminuir el voltaje de la unidad, causando una señal de error positivo emitida desde el detector de error de voltaje y una señal de error negativa desde el mezclador de señales. El regulador reaccionará para mantener el voltaje terminal dentro del rango de señal de error. La señal positiva de error producirá una componente de elevación de excitación necesaria para anular el descenso en el voltaje terminal de la unidad.

El nivel de ganancia ajustable del regulador es tal que; sobre el rango desde vacío a carga y factor de potencia nominales en el generador, la variación total desde las condiciones de equilibrio se mantendrán dentro de $\pm$ 0.5% de el voltaje terminal de generador.

Similarmente una reducción en la carga reactiva de la unidad generará una señal de error negativo y el regulador producirá una señal necesaria para la reducción de la excitación de la máquina con el objeto de mantener el voltaje terminal de la unidad.

Parte importante del regulador automático de voltaje es el circuito amortiguador de oscilación, el cual mediante ajustes apropiados mantiene al regulador con un amplio grado de capacidad de respuesta a cada una de las oscilaciones del sistema.

Se prevee también de circuito instantáneo limitador de corriente con el objeto de prevenir daños en el amplificador de potencia durante variaciones excesivas en los procesos de regulación.

2.4.2.2.-Secuencias de Control Manual.-Fig.2.4.2.2-1.-

Con el selector de control de regulación 90CS en posición "manual"; la siguiente secuencia será usada:

1-Cerrar el interruptor de campo (Dispositivo 41), usando 41-CS :

a-Se energiza 41 X

b-Se cierra contacto 41 Xa

c-Se energiza 41 c

d-Se cierra el interruptor de campo 41

e-El dispositivo 70 B-CS se encuentra controlando el sistema de regulación.

2-Antes de transferir al control automático se debe anular el valor de amperaje indicado en el indicador que para tal efecto existe; mediante el control del 70 VB-CS. Después que la diferencia de amperaje ha sido anulada; el selector 90CS puede ser cambiada a la posición automáti-

ca sin que ocurran cambios bruscos en la regulación.

La transferencia al control automático usando el selector 90CS debe preceder a los siguientes pasos:

a-El relé de transferencia del regulador 90-X se cierra.

b-Relé CSR se cierra.

c-El relé 43K1 en la salida del mezclador de señales se cierra.

d-El regulador se encuentra ahora en control y el 90 V-CI ajusta el voltaje.

3-Disparo del regulador puede ocurrir debido a la transferencia a manual; mediante el selector 90CS o mediante la protección de sobre-excitación OXP.

a-Antes de transferir al control manual, anular el valor de amperaje del medidor mediante el regulador 70VB-CS. En igual forma después que el amperaje ha sido anulado el selector 90CS puede ser transferido a automático.

b-Los relés OXP-1, OXP-2 y relé K-2 disparan el relé 90X debido a una condición de sobre-excitación. Siempre que el relé 90X se desconecta, se anula la operación del regulador y la operación se transfiere a manual.

4-Cuando la corriente de campo excede un valor predeterminado, el relé K-1 se energiza y repone el potenciómetro de ajuste de base a un nivel predeterminado.

5-El relé temporizador OXP-1 empieza la operación después que el regulador es disparado, con el objeto de dejar al regulador en un valor preseleccionado de excitación base,

listo para entrar nuevamente en servicio normal.

6- Si una sobre-excitación no es anulada; después de un corto intervalo, el relé temprizado energiza el relé K-3; cuyos contactos se emplean para alarma y disparo de la unidad.

7- Cuando el control del regulador se ha disparado, el selector 90CS debe ser colocado en la posición manual antes de cerrar el interruptor 41.

2.4.2.3.- Secuencia de Control Automático.-

Con el selector 90 CS en la posición de automático ocurrirá la siguiente secuencia :

1.- El interruptor de campo (41) se cierra automáticamente mediante la orden de los dispositivos principales de control de la unidad al llegar ésta al 90% de velocidad sincrónica.

2.- Los contactos auxiliares del interruptor 41 energizan el relé 90X y conecta al regulador al control de voltaje a través del relé 43 K1.

3.- Si el regulador saliera de servicio no podrá ser repuesto hasta que el selector 90 CS fuera colocado en la posición de "manual" o al interruptor de campo (41), abierto.

2.4.2.4.- Sistema Detector de Tierra.-

El sistema de excitación sin escobillas, que utiza rectificadores rotativos no posee terminales externos,

por tanto se emplea un sistema de protección contra falla a tierra que no se utiliza en los sistemas convencionales. El sistema de excitación sin escobillas están equipados con un juego de anillos rozantes en dos diferentes lugares del rotor, que permiten chequeos intermitentes de posibles fallas a tierra. A través de la operación ya sea de un circuito manual o de un circuito temporizado automático que operan a escobillas que hacen contactos con los anillos rozantes y energizan circuitos de detección.

El sistema automático de detección de tierra opera cada 24 horas. En el momento de la detección de una falla a tierra se realiza una señalización luminosa en el panel de excitación y se emite una alarma sonora durante el período en el cual se desarrolla el chequeo. Las escobillas de detección se encuentran fuera de contacto de los anillos rozantes.

El propósito de realizar chequeos y anular las fallas de circulación de corrientes a tierra es evitar la circulación de estas corrientes a través de los únicos puntos de contacto que posee el eje con la estructura estacionaria de puesta a tierra que son los cojinetes, los cuales sufren progresivos deterioros que acortan peligrosamente la vida útil de operación de los mismos.

2.5.- Control de Combustible.-

Durante todo el tiempo que se tiene presencia de combustión en la turbina, el combustible debe ser controlado de acuerdo a una variedad de funciones, cualquiera de ellas

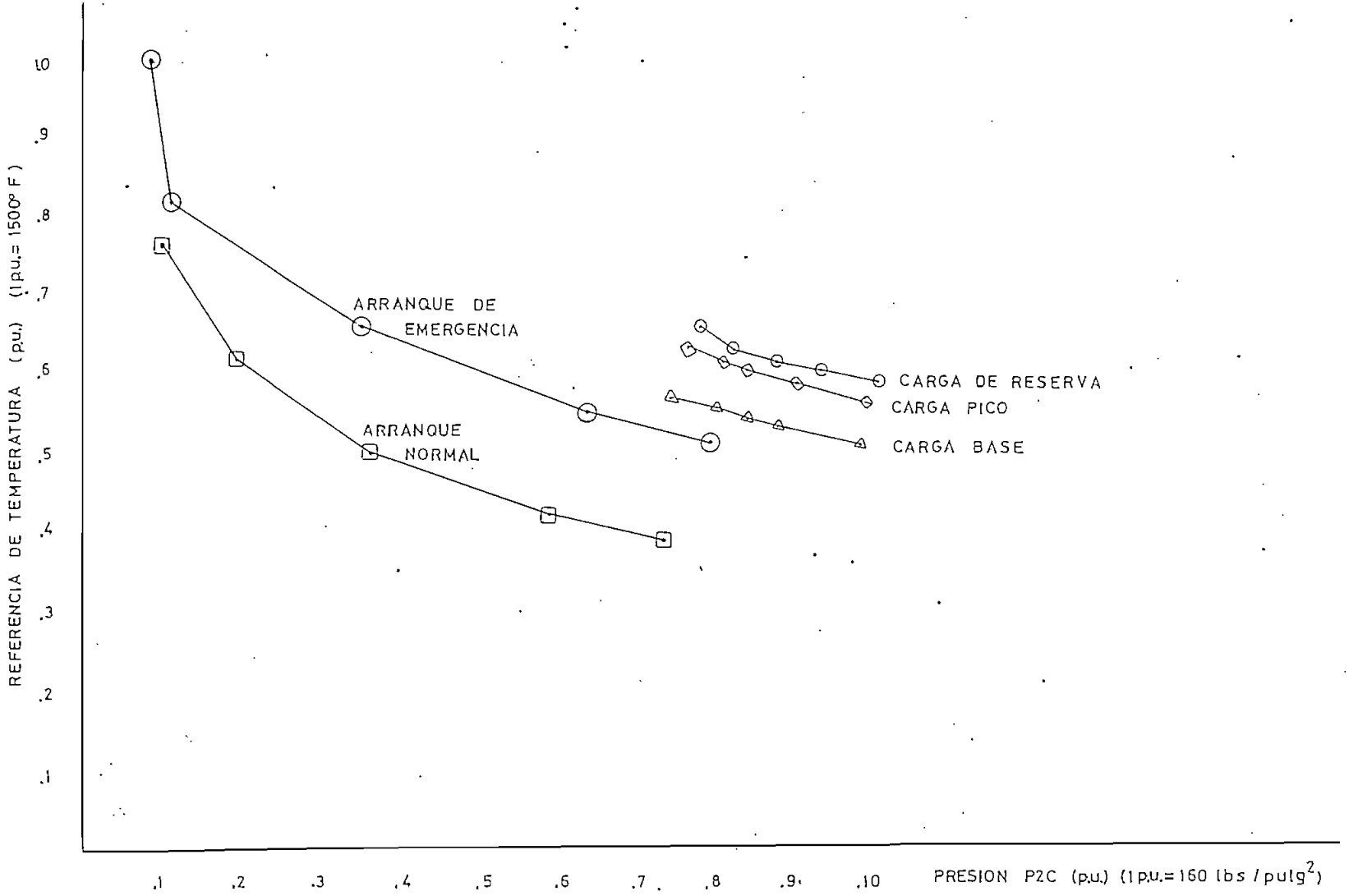


FIGURA: 2.5 - 1
CURVAS REFERENCIALES DE CONTROL DE TEMPERATURA

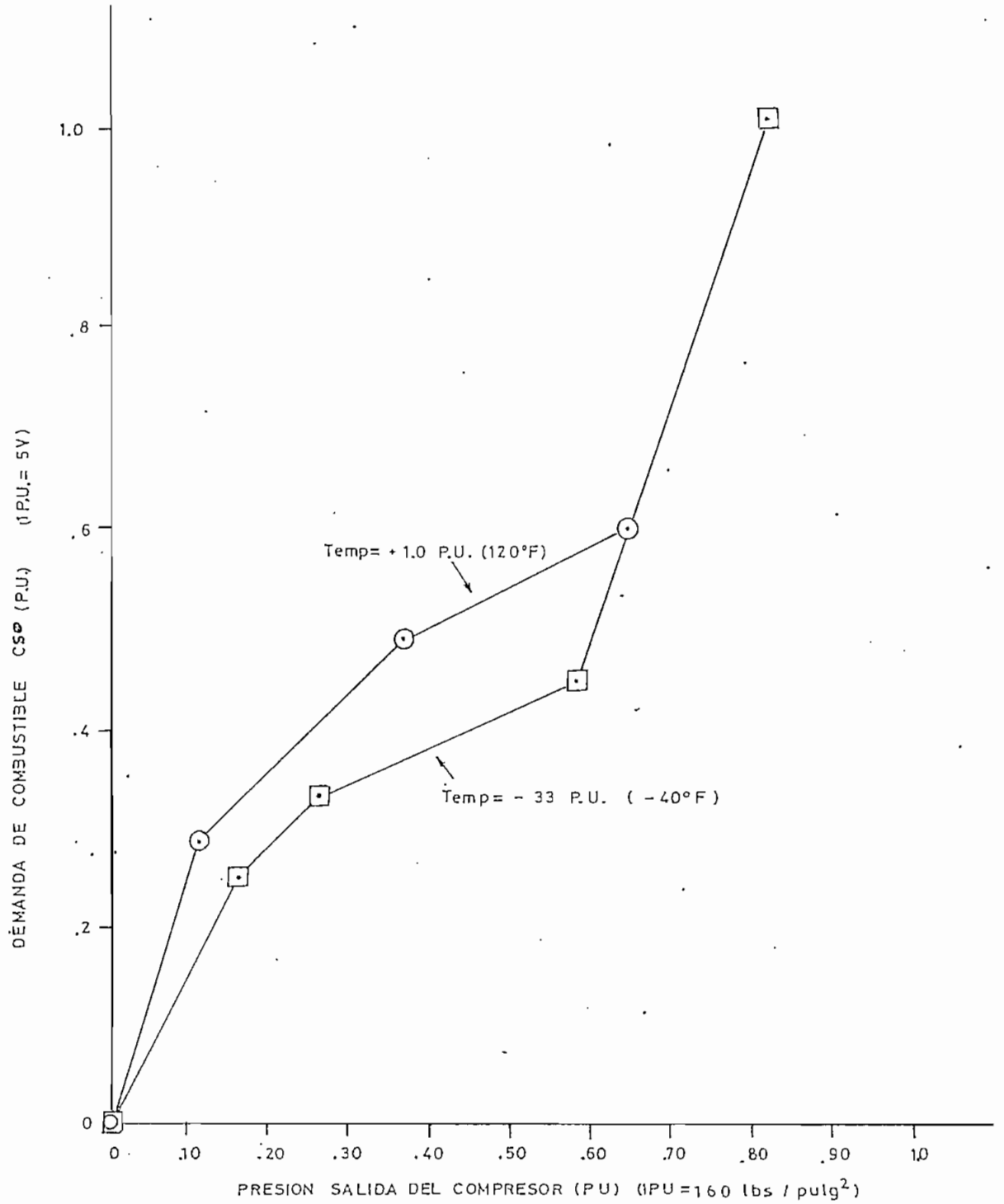


FIGURA: 2.5 — 2

CONTROL DE TURBULENCIA

puede desarrollar un control de acuerdo a las necesidades requeridas.En general del conjunto de señales que controlan el flujo de combustible,la señal que demanda el menor valor de flujo de combustible,es la que toma a su cargo el con - trol (Item 2.1.2.)

En el procedimiento de arranque,el flujo de combustible provee tanto una secuencia segura de arranque,así como también rangos limitados de temperatura de acuerdo al diseño de la turbina.Inmediatamente que se establece el encendido , el P-50 controla el programa de aceleración que controla el flujo de combustible de acuerdo al programa de velocidad que es una función no lineal.

Existen dos funciones de control que sirven para controlar el flujo de combustible como medida de protección ,la una es el control de sobretemperatura en las paletas de la turbina como función de la presión en la cámara combustora; (Fig.2.5-1)

La otra función es el control de turbulencia que emite una señal de control de combustible como función de la presión de la cámara combustora y la temperatura de aire de admi - sión (Fig.2.5-2).

2.5.1.- Control de Bombas de Transferencia de Combustible.- Fig.2.5.1-1.

Cuando una secuencia de arranque es iniciada,el control maestro (L4) emite su señal de aceptación de orden e iniciación de secuencia (estado 1);cualquiera de las bom - bas ya sea AC ó DC es arrancada dependiendo de la condi -

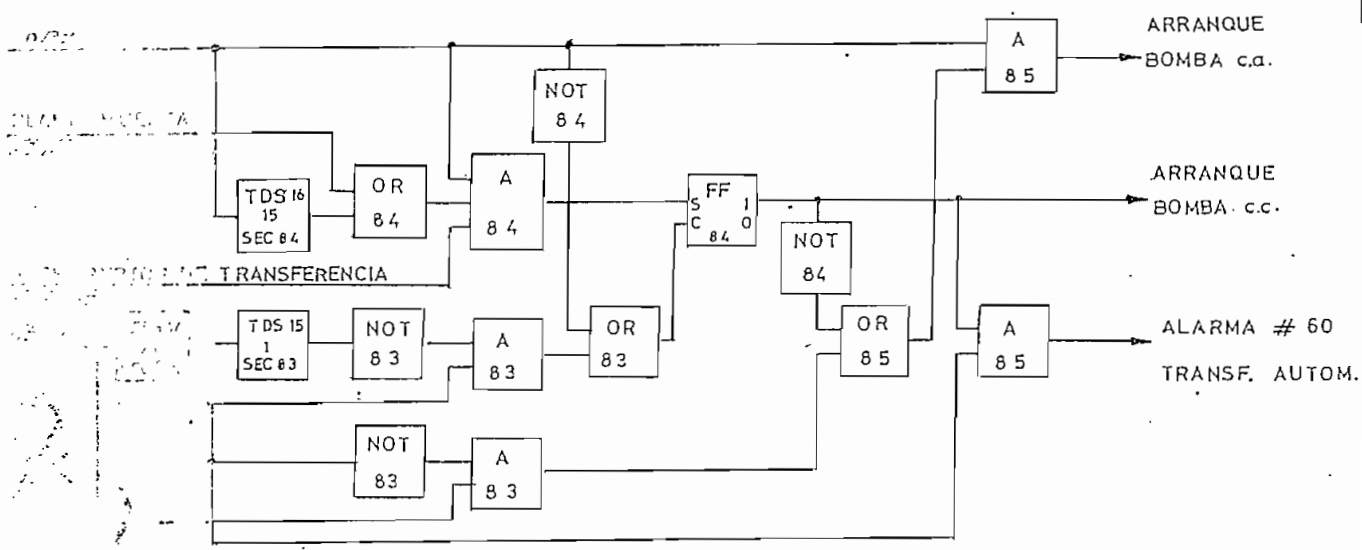


FIGURA: 2.5.1-1

CONTROL LOGICO DE BOMBAS DE COMBUSTIBLE

ción de tensión en el servicio de estación, la cual es determinada por el dispositivo detector de pérdida de tensión en el cargador de baterías (27A).

En el caso de falla de operación de la bomba de AC se puede realizar una transferencia automática hacia la bomba de DC- mediante la operación del relé 63-DT (relé de presión para transferencia).

Si la bomba de DC es empleada durante el arranque ésta operará hasta la sincronización, cuando el interruptor del generador (52 GA) se cierra; se realizará un intento de arrancar la bomba de AC y las dos bombas operarán por 20 segundos, luego de este tiempo el bloque lógico FL (flip-flop) asociado con la bomba de DC es desactivada y si la presión se mantiene, la bomba de AC permanece en operación y la bomba DC sale de servicio.

Luego de una transferencia a la bomba de DC y si después de 20 segundos no se mantiene suficiente presión para operar el relé 63-9 AS, se presentará la alarma y el disparo de la unidad por baja presión de aceite lubricante.

Si se presentara una caída de presión de aceite lubricante indicada por el relé 63-9 DT, la función FL (flip-flop) se energizará; la bomba de DC arranca y la de AC se detiene.

La bomba de DC continuará operando hasta que la unidad salle de operación o hasta que el temporizador (20 segundos) es manualmente de-energizado a través de la consola de operación.

Existen controles adicionales necesarios para la transferen

cia de control con diferente tipo de combustible gas a diesel o diesel a gas;pero en el caso de esta unidad este tipo de control no tiene aplicación.

El sistema de control para señal de demanda de combustible (CSO) se analizó detenidamente en el estudio del sistema analógico de control de la unidad.

2.6.- Sistema de Aceite Lubricante.-

Los sistemas de lubricación requeridos para la turbina generador y otros equipos,se encuentran constituídos o interconectados en un solo gran sistema de lubricación.

En general el sistema de lubricación es del tipo de circulación forzado compuesto de:tanques sumideros,enfriadores, filtros y válvulas.

La unidad en sí compuesta por la turbina-generador,se encuentra protegida contra la pérdida de aceite lubricante o alta temperatura de aceite lubricante en la entrada de los diferentes sistemas de lubricación.

Los sistemas de arranque y giro de la turbina mediante virador se encuentran eléctricamente interbloqueados de manera que la turbina no puede ser girada si no existe la requerida presión de aceite lubricante.

2.6.1.- Operación del Sistema de Lubricación.-

El aceite de lubricación es alimentado desde el reservorio principal (item 33) al filtro principal (item 25) mediante :

1.-La bomba auxiliar de lubricación (item 31),durante el arranque o cuando la bomba principal (item 5) no está disponible.

2.-Mediante la bomba principal (item 5).Cuando la bomba principal tiene suficiente capacidad para alimentar aceite a todo el sistema,la bomba auxiliar (item 31) se de-energiza mediante la acción del relé de alta presión de aceite,63/3 (item 157).

La termocupla LT-29 (item 44) controla la temperatura de salida del filtro principal.Una porción del aceite filtrado es enviado al sistema de control hidráulico y otra parte es enviado a los cojinetes.El aceite de drenaje de cojinetes es recolectado en el sumidero principal (item 23) antes de ser enviado al reservorio principal (item33).

Si la termocupla LT-29 (item 44),localizada a la entrada de la alimentación de cojinetes,detecta una temperatura superior a la de calibración,energiza la bomba de circulación para enfriamiento de aceite,la cual lo envía hacia los radiadores o enfriadores de aceite.El sistema de control provee arranques sucesivos controlados de acuerdo al nivel de temperatura de los ventiladores del sistema de enfriamiento.

El aceite enfriado es retornado al reservorio principal de aceite,cuya temperatura es controlada por la termocupla LT-28 (item 36) la cual opera los sistemas de protección previniendo el arranque de la unidad si la temperatura del

aceite se mantiene sobre el nivel pre-establecido.
Existe en el reservorio principal un calentador de aceite (item 26) el cual mantiene la temperatura del aceite den - trol de los límites deseables mediante el contactor 26/3 (item 38).
El sistema de aceite lubricante está dotado de diferentes termocuplas que mantienen el control en diferentes puntos y provee señales al sistema analógico-digital.
Las siguientes termocuplas controlan la temperatura de ca- da uno de los sistemas de lubricación de cojinetes :

- LT-17 Drenaje de cojinete,lado generador
- LT-18 Drenaje de cojinete,lado turbina
- LT-19 Cojinete del reductor,lado generador
- LT-20 Drenaje del piñón reductor
- LT-21 Drenaje del cojinete del reductor
- LT-22 Cojinete del compresor
- LT-24 Cojinete de la turbina
- LT-23 Cojinete de empuje
- LT-25 Drenaje del cojinete del generador,lado de turbina
- LT-26 Drenaje del cojinete del generador,lado de exci - tación.

2.7.- Sistema de Aire a Presión.-

El sistema de aire a presión que se encuentra dividi do en sistema de control y sistema de combustión;está ali- mentado principalmente mediante el compresor de la turbina y en forma auxiliar por un grupo de compresor-eléctrico que

se lo emplea también para el servivio de aire de estación. Normalmente tanto en la unidad parada como también durante el proceso de arranque,el compresor de la turbina se encuentra conectado a la atmósfera y las dos válvulas de aislamiento (items 61 y 62) se cierran cuando la turbina ha alcanzado el 95% de velocidad.El objeto de mantener conectado a la atmósfera el compresor durante arranque es evitar resistencias dinámicas en la aceleración y evitar turbulencias en el compresor ya que por diseño la eficiencia del lado de admisión es mayor durante bajas velocidades que la eficiencia de los álabes pequeños,lado de expulsión,que la tienen mayor durante velocidades altas.

Cuando la unidad se encuentra fuera de operación y durante el proceso de arranque,se alimentan los sistemas neumáticos de control mediante el compresor de servicio estación; luego de que durante el arranque la unidad ha alcanzado el 95% de velocidad,al cerrarse las válvulas de aislamiento el compresor comienza a alimentar al sistema de aire de atomización de toberas y al sistema de aire de control.

Cuando la presión de control llega a 80 lb/plg^2 se desconecta el compresor auxiliar y la alimentación de aire a presión queda conectada al compresor de la turbina.

2.7.1.- Sistema de Aire de Refrigeración de la Turbina.-

Este sistema está diseñado para proveer aire de refrigeración a los componentes de la turbina expuestos a

gases calientes.

Mediante el arropiado soplado de aire de refrigeración a las partes calientes; los gases de combustión son aislados de los demás componentes de la turbina.

El aire extraído desde la cámara combustora es pasado a través de un intercambiador de calor. El aire refrigerado es transferido hacia la turbina para refrigerar los álabes rotativos a través de un camino formado por el eje y una cubierta sobre el eje llamado tubo torque, el cual contiene parte de los sellamientos de la etapa final del compresor.

Este aire de refrigeración provee un límite a los gases calientes de combustión hacia los sellos rotativos y estacionarios.

La efectividad del sistema de aire de refrigeración se mide en los espacios entre etapas del camino de gases calientes.

Si la temperatura en cualquiera de las áreas calientes excede a los límites pre-establecidos, el sistema de control dará alarma respectiva e iniciará una secuencia de descarga de la unidad hasta el valor de carga mínima, imprimiendo respectivamente la alarma de "Descarga".

Una vez que se ha obtenido el valor de carga mínima, el operador podrá seguir los siguientes procedimientos :

1.-Si la condición de alarma ha sido corregida, el operador podrá controlar la carga de la unidad mediante los pulsadores, "Incremento de carga" o "Disminución de carga" o seleccionar mediante los pulsadores respectivos cualquiera de las cargas : "Base", "Pico" o "Reserva del Sistema".

2-Si las condiciones de alarma no han sido corregidas,el operador puede controlar la unidad solamente mediante el modo de control "Control de Kilowatios" y emplear los pulsadores de "incremento" y "Disminución" para cargar la unidad hasta el valor base.Lógicamente esto se podrá realizar mediante un previo chequeo de todas las condiciones térmicas de operación y asegurar de que el nuevo incremento de carga no involucre un peligro para la unidad.

Otra función importante del sistema de aire de control es mantener listo para operar el dispositivo de disparo por sobre velocidad de la unidad.Cuando la unidad alcanza el 20% de velocidad durante el proceso de arranque se energiza la válvula solenoide (item 163) y se presuriza el sistema con aire,el cual en una operación corta completamente la admisión de combustible a la turbina.

2.8.-Sistemas Auxiliares de Control.-

Entre los sistemas auxiliares de control de la unidad se encuentran el sistema de detección de encendido y el sistema de detección de vibración.

2.8.1.-Detección de Encendido.-

El sistema se compone de cuatro monitores detectores de combustión;dos para cada lado de combustión de la turbina,La pérdida de combustión en cualquiera de los dos lados de combustión produce inmediatamente la condición de alarma y el disparo de la unidad.

El detector de llama es un dispositivo que mira el área de

combustión para detectar la presencia de radiación ultravio leta dentro del rango de 1.900-2000 angstroms de llama de - combustión.

Cada detector consiste de un lente especial;dos electrodos de metal purificado y sellados en gas.Un voltaje de 1000 - VAC es aplicado a los electrodos.Cuando fotones d luz ultravioleta de longitud de onda apropiada y en cantidad suficiente impactan en los electrodos,una corriente pulsante de corta duración circula entre ellas;estos pulsos de corriente ocurren respectivamente durante todo el tiempo en el cual continúa la estimulación por fotones.

La señal de pulsos es transmitida a un amplificador en donde es filtrada,integrada y amplificada.La señal amplificada se emplea para energizar el relé indicador de presencia de- llama.

2.8.2.-Sistema Controlador de Vibración.-

El equipo controlador de vibración se encuentra colocado en el panel de operación,el cual controla la vibración de la turbina,turbina-generador y cojinetes de excitación.

El sistema completo de detección comprende:Cinco amplificadores detectores instalados en la consola de operación y detectores de vibración localizados en los cojinetes de la turbina,generador y excitación,los cuales envían las señales a los respectivos amplificadores.

El control de los rangos de vibración se realiza a través

del computador (P-50). Un voltaje contínuo proporcional al desplazamiento vibratorio se alimenta a cada amplificador cuya señal de salida es rastreada permanentemente por el computador y se emplea también para obtener indicación visual en milésimas de pulgada en el indicador del panel de operación.

Los siguientes son los puntos de lectura de vibración y el respectivo número de la alarma impresa en caso de alta vibración:

Alarma N°	Impresión	Sitio de lectura
19	VIB SHDN	Disparo por alta vibración
33	VB4 GNO	Generador, lado de excitación.
34	VB3 GNL	Generador, lado del compresor.
45	VB2 TURB	Turbina
46	VB1 COMP	Cojinete axial del compresor.
79	VB5 EXC	Excitación

2.9.-Datos de operación.-Fig.2.9-1.-

La carta de control de operación se la ha elaborado tomando en consideración la importante supervisión de cada uno de los grupos más importantes de los dispositivos indicadores de parámetros en las diferentes condiciones de operación.

EMPRESA ELECTRICA "QUITO" S.A.

CENTRAL TURBINA A GAS GUANGOPOLO

REGISTROS DE OPERACION DE LA TURBINA Y GENERADOR

DEPARTAMENTO DE GENERACION
UNIDAD NO.

DIA	FECHA	MES	AÑO

		HORAS (Unidad)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
																					15	30				
POTENCIA	MW	A1																								
POTENCIA	MVAR	03																								
TENSION	KV	237																								
INTENSIDAD	AMPS	109																								
FRECUENCIA	C/S	413																								
FACT POTENCIA	(Cosmo ϕ)																									
TEMPERATURA ARMADOS *1	(promedio)																									
	(máxima)																									
	(mínima)																									
TEMPERATURA	salida comp°F	41																								
EXCITATRIZ	amp, volt																									

TEMPERATURAS GRADOS (°F.)

AMBIENTE		25																								
	RC-1	261																								
	RC-2	141																								
CAVIDADES	(promedio)																									
	máx. 1 - DC																									
	mín 1 - DC																									
COJINETES	LT-17	1																								
	LT-18	3																								
	LT-19	5																								
	LT-20	7																								
	LT-21	11																								
	LT-22	13																								
	LT-23	15																								
	LT-24	17																								
	LT-25	33																								
	LT-26	35																								
	LT-27	45																								
ESCAPE	(promedio)	335																								
	máx - LT																									
	mín - LT																									
PALETAS	(promedio)	341																								
	máx - LT																									
	mín - LT																									

PRESIONES: AIRE - COMBUSTIBLE - LUBRICANTE: (PSI) = Lbs./pulg²

COMBUSTIBLE	(P-2C)	327																								
FILTRO ACEITE BAJA PRESION	entrada																									
	salida																									
DESCARGA COMBUSTIBLE																										
DISPOSITIVO VELOCIDAD																										
LUBRICACION ALTA PRESION																										
LUBRICACION COJINETES																										
BOQUILLAS COMBUSTIBLE	1																									
	2																									
	3																									
	4																									
	5																									
	6																									
	7																									
	8																									
	9																									
FILTRO COMBUS. ALTA PRESION (HP)	salida																									
	entrada																									
FILTRO COMBUS. BAJA PRESION (LP)	salida																									
	entrada																									

VIBRACIONES EN MILS.

1	161																									
2	163																									
3	165																									
4	167																									
5																										
CAMBIADOR TAP (HP)	volt																									

TIEMPO DE OPERACION

ENERGIA KWH

CONSUMO DE DIESEL (Galones)

VISTO BUENO

JEFE DE LA CENTRAL

Bajo esta consideración la carta de registros de operación se encuentra dividida básicamente en cinco grupos de datos de operación :

1.-Datos de producción como son : Mw, MVAR, KV, etc; y además las temperaturas en los bobinados del generador.

2.-Temperaturas en los bloques principales de control de turbina, compresor (ambiente), cavidades de paletas, cojinetes, escape, paletas.

3.-Presiones de control y operación de aire, combustible, aceite lubricante.

4.-Vibraciones en los cuatro cojinetes principales de la unidad.

5.-Datos de operación necesarios para programación de mantenimiento, consumo de combustible, generación total, rendimiento de la unidad.

Se incluye además un dato de control de operación del cargador de baterías, elemento importante en la confiabilidad del sistema automático de control.

Cada lectura posee el número del respectivo valor analógico (AI) con el cual se debe preguntar al computador. Los datos de operación que no posean el respectivo AI, deben ser leídos en cada punto de control o mediante el selector de dispositivos que para tal efecto existe en la consola de operación.

La carta de datos de operación de una extensión aparentemente exagerada de acuerdo a la experiencia cubre todas las ne

cesidades de supervisión horaria de los dispositivos de operación, lográndose de esta manera una fácil detección de condiciones anormales que alerten y eviten salidas intempestivas de la unidad. Al mismo tiempo que se pueden detectar posibles causas de fallas de la unidad generadora.

2.10.- Comentarios.-

En general todos y cada uno de los bloques de control analizados cubren las necesidades de supervisión automática de operación y protección como se analizará en el siguiente capítulo.

Del análisis general del funcionamiento de los principales elementos de control,se desprende que cada función y proceso representa una parte muy importante de todo un proceso final de control;de allí que el funcionamiento óptimo de cada parte representa en el funcionamiento eficiente de todo el sistema de control.

El computador,elemento principal de control al cual convergen todas las señales parciales de los chequeos de operación,representa conjuntamente con todos sus subsistemas el sistema crítico de la eficiencia del sistema de control,ya que cualquiera mala operación en sus sistemas intrínsicos representa la anulación completa del sistema de control por computador.

El sistema alternativo de control o LMC,con sus sistemas automáticos de transferencia para asimilación de control, permite controlar el proceso normal de control de operación sin que se sucedan paros intempestivos de la unidad,el desarrollo de los procedimientos de control mediante el LMC cubre todos los requerimientos de operación de la unidad con solamente un mayor grado de atención por parte del personal de operación,por tanto en este caso la operación es-

tá sujeta adicionalmente a las consiguientes fallas humanas.

Como se puede deducir,la confiabilidad de la operación se basa en la efectiva transferencia de funciones de control desde el computador (P-50) al control local auxiliar (LMC) y viceversa,este sistema de transferencia ha demostrado gran solvencia y confiabilidad.

De acuerdo a los registros de falla,una sola vez durante 8.000 horas de operación se ha sucedido una falla en la operación del sistema de transferencia.

CAPITULO 3.-

FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL AUTOMATICO DE OPERACION.-

3.1.- Secuencias de Arranque.-

La mayor parte de los circuitos de diseño de la turbina, los procedimientos de control, los límites de temperatura etc.; se basan en la aplicación de los procedimientos de arranque.

Dada la importancia de este procedimiento de operación se realizará en este acápite un análisis de los procedimientos completos de arranque de la unidad, su secuencia lógica de realización, sus limitaciones y las protecciones que controlan este procedimiento. Todos los análisis de control se realizará en base a la operación del sistema principal de control que es el computador.

Se entiende por secuencia de arranque a todas las operaciones realizadas por el operador y el sistema automático de control, que permiten llevar a la unidad desde el estado de "lista para arrancar", hasta la velocidad sincrónica.

El sistema de control brinda al operador la posibilidad de seleccionar el procedimiento de arranque en forma completamente automática y en forma manual así como también existe la posibilidad de realizar arranques con control remoto de operación.

La filosofía de control de arranque requiere gran cantidad de información del estado de la unidad, la cual puede ser

llevada a cabo solamente a través del sistema de contactos de entrada (CCI).Toda esta información es generada mediante interruptores de operación,medidas de temperatura,relés de presión y otros instrumentos.

El sistema de entrada del estado general de la planta se desarrollará como una información de secuencia lógica ;en igual forma el sistema de control de salida del procesador (CCO) se desarrollará mediante un sistema lógico predeterminado de arranque,el cual será analizado en forma individual.

Para asegurar un mínimo de arranques,muchos dispositivos de control deben ser accionados en paralelo con el objeto de completar diferentes secuencias de control.En igual forma varios tiempos de atraso por secuencia incompleta deben ser intercaladas con el objeto de incrementar la disponibilidad de la central;por ejemplo al permitir el intento de encendido durante tres veces consecutivas.

La filosofía básica de la operación del sistema lógico de control es armar un sistema maestro de control y coordinar la operación de un selector para iniciar la secuencia de arranque.Esto asegura que un arranque tenga lugar dentro de un intervalo definido de tiempo.

El equipo empleado en el sistema de control es diseñado a prueba de fallas,en donde cualquier anormalidad en sus componentes determina una salida de servicio o en este caso una detención del procedimiento de arranque de la unidad.

De todas maneras el procedimiento normal es revisar todo el sistema de control y anular cualquier condición anormal de operación, antes de realizar un intento de arranque de la unidad.

3.1.1-Condiciones previas al Arranque.-

Se denominan condiciones previas al arranque a todas las secuencias de operación que debe realizar el operador con el objeto de obtener la indicación luminosa en el tablero de control de "listo para arrancar". La no obtención de esta señal indicadora bloquea todo intento de arranque, tanto manual como automático.

Los siguientes son los chequeos y revisiones que debe realizar el operador con el objeto de lograr la disponibilidad para el arranque de la unidad:

a.-Revisar.

1-Correcto nivel de aceite en el reservorio.

2-Correcto nivel de diesel para el motor de arranque.

3-Nivel correcto de refrigerante en el motor de arranque

4-Válvulas de alimentación de combustible completamente abiertas.

5-Válvulas de retorno de combustible completamente abiertas.

6-Revisar fugas en las tuberías de combustible.

7-Válvulas de paso de aire al sistema de disparo por sobre velocidad en posición cerrada.

8-Interruptor selector de operación del paquete de arran

que,en posición "automático."

9-Chequear posición correcta de las bujías de encendido.

10-Todos los sistemas neumáticos e hidráulicos del paquete de arranque en operación normal.

b.-Comprobar la operación normal del computador (P-50).

c.-En el centro de control de motores (MCC),localizada en la sala de control se deben realizar las siguientes operaciones :

1-Todos los disyuntores de los tableros de alimentación, tanto de c.c. como de c.a.,deben ser colocados en la posición de "conectado."

2-Los interruptores selectores de los siguientes dispositivos auxiliares de operación,deben ser colocados en la posición de "automático."

-Bomba de combustible de corriente contínua.

-Bomba auxiliar de aceite.

-Motor de virador.

-Enfriador rápido de aceite.

-Enfriador lento de aceite.

-Bomba de circulación de aceite.

-Calentador de aceite.

-Auxiliares del paquete de arranque.

-Enfriador lento de aire.

-Enfriador rápido de aire.

-Extractor de vapores.

-Ventiladores.

-Bomba de combustible de c.a.

- Calentadores del generador.
- Compresor de servicio estación.

El no colocar alguno de los disyuntores en la posición "conectado",así como el no colocar algún selector en "automático",previene el arranque y se imprime la respectiva alarma.

d.- Todas las perillas selectoras en el gabinete de controles neumáticos deben colocarse en "automático" y en "reset".La falla en la selección imprimirá la respectiva alarma.

e.- Los sistemas de operación del invertidor deben encontrarse en la posición normal de trabajo.

f.- Cuando todos los sistemas de protección de la turbina han sido repuestos,se obtendrá la indicación luminosa de "Disparo de la turbina,anulado".

g.- La indicación luminosa de "Auxiliares de turbina anulados" en el panel de operación se obtendrá cuando se cumplan las siguientes condiciones :

1- Regulador de voltaje en "automático".
2- Selector de arranque en "automático".
3- Interruptor de campo "abierto".
4- Selectores de los tableros en la posición correcta.
5- Sistema analógico de velocidad,listo para operar.
6- Presión de descarga del compresor menor de 15" de presión de agua.
7- Temperatura de aceite sobre $70^{o}F$.
8- Detectores de llama,normales.

h.-La indicación luminosa de "Listo para arranque" se encenderá inmediatamente después de "Disparo anulado" y "Auxiliares de turbina anulados".

Cumplidas todas las condiciones anteriores, la unidad se encuentra lista para arrancar.

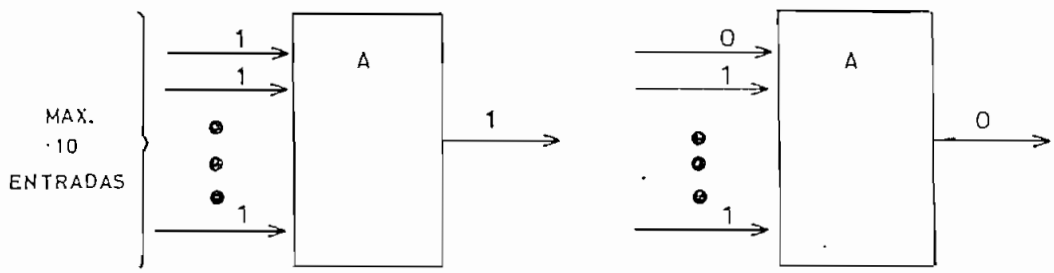
3.1.1.1.-Condiciones previas, Diagramas lógicos de bloques.-

Toda la operación secuencial del control se lo realiza mediante programación y se puede representar mediante diagramas lógicos de control.

Las funciones lógicas utilizadas en el sistema de control son :

a.-Función AND (A).

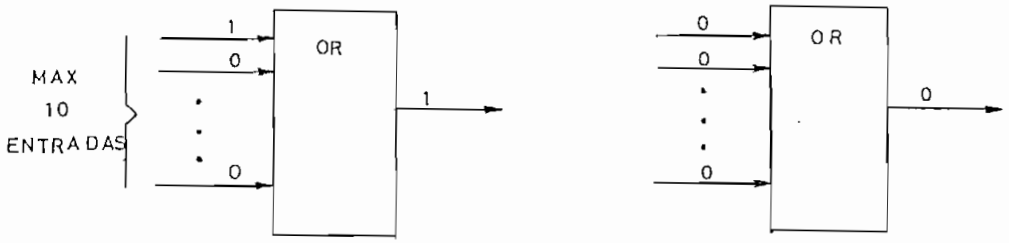
El bloque de control que emite su respuesta al cumplirse todas las funciones necesarias para ello. La emisión de cualquiera de ellas impide la emisión de la señal de respuesta.



b.-Función OR (OR).

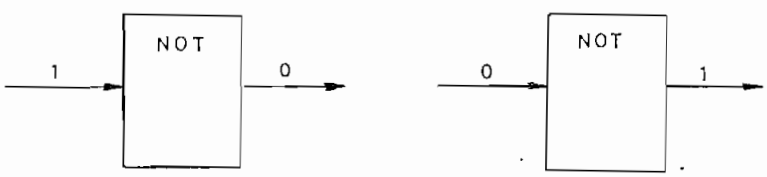
Bloque de control en el cual el cumplimiento de cualquiera de las funciones de entrada es suficiente para emitir

la función de salida.



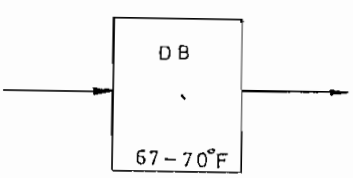
c.-Función NOT (NOT).

Función inversora de una sola entrada en la cual la señal de entrada se invierte en la respuesta.



d.-Función banda muerta,DB (DB).

Bloque de control de operación que emite respuesta UNO o CERO dentro de rangos de calibración pre-establecidos,por ejemplo control de temperaturas,alarmas,presiones,etc.

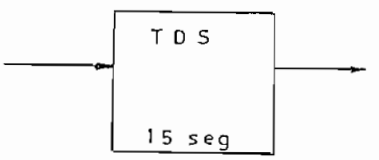


e.-Función retardadora o tiempo de atraso en horas.(TDH).

Bloque de control en el cual la respuesta posee un atraso en horas después de recibir la señal de entrada.

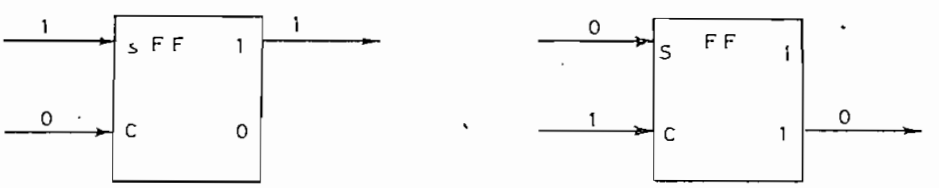
f.-Función retardadora o tiempo de atraso en segundos (TDS).-

Función similar a la anterior con el tiempo de control en segundos.



g.-Función emisora-anuladora (FF).-

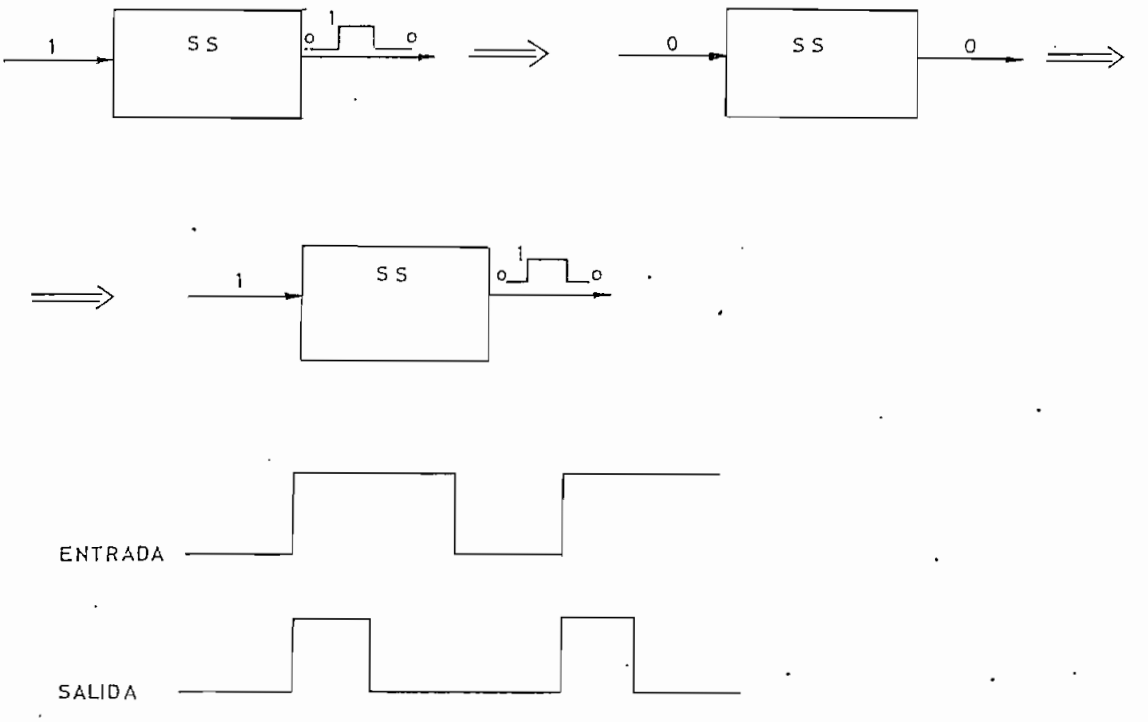
Posee dos entradas lógicas,una necesaria para emitir una salida o SET INPUT (S) y otra para anular la salida o CLEAR INPUT (C).



h.-Función de disparo unitario (SS).-

Bloque de control que emite un pulso de salida y luego se de-energiza para cada valor de UNO lógico en la entrada; esta entrada debe anularse y luego presentarse nuevamente

para obtener otro pulso en la salida. El número de pulsos de la salida es contado por el procesador central.



Cada bloque lógico de control posee una denominación de función, tanto las funciones de entrada como las de salida poseen la indicación del número del dispositivo al cual pertenecen.

Una barra sobre la indicación de la función de entrada significa el inverso negativo de la función o sea NO a la variable lógica.

A todos los dispositivos de control se los ha codificado en la lista adjunta nominada como "tabla de dispositivos de control". Tabla 3.1.1.1-1

Tabla 3.1.1.1-1.-

Dispositivos de Control.-

Símbolo	Función
1E	Pulsador, disparo de emergencia
101E	Arranque de emergencia
1S	Sin aplicación
5N	Pulsador, parada normal
105	Sin aplicación
2I	Temporizador de encendido
2P	Temporizador de purga
2S	Temporizador, motor de arranque
4	Función del contactor maestro
5EO	Pulsador, parada de emergencia, panel de operación.
5EP	Pulsador, parada de emergencia, panel mecánico.
5X	Memoria, parada normal
14M	Nivel de velocidad principal
14A	Nivel de velocidad auxiliar
15S	Función de control de velocidad
18A	Contactos de giro del motor de arranque.
18D	Arranque, motor Diesel
18T	Disparo, motor Diesel
201D	Válvula solenoide, aislamiento de combustible.

Símbolo	Función
2017	Válvula solenoide,aire de atomización.
20101	Válvula solenoide,aisiamiento del compresor.
20102	Válvula solenoide,aislamiento del compresor.
202A	Válvula solenoide,disparo de sobrevelocidad.
202B	Válvula solenoide,drenaje carcaza de la turbina.
2025	Válvula solenoide,drenaje cámara combustora.
2035	Válvula solenoide,aire de instrumentación.
25	Función,sincronización automatica
2619	Temperatura,aire de refrigeración
26BA	Temperatura de álabes,sobre el límitc absoluto.
26BD	Temperatura alta de álabes,diferencia sobre la referencia.
26EA	Temperatura de escape,sobre el límite absoluto.
26ED	Temperatura alta de escape,diferencia sobre la referencia.
27A	Bajo voltaje c.a.del cargador.

Símbolo	Función
27B	Bajo voltaje, barra del generador
27DC	Pérdida de c.c., bomba auxiliar de lubricación.
27D	Bajo voltaje de c.c., en el control
27L	Línea muerta
31X	Relé de encendido
38	Alta temperatura de cualquier cojinete.
38D	Alta temperatura en el drenaje
39S	Alta vibración, nivel de arranque
39R	Alta vibración, nivel de giro
39V1	Vibración, cojinete del compresor
39V2	Vibración, cojinete de turbina
39V3	Vibración, cojinete generador; lado excitación.
39V4	Vibración cojinete generador, lado turbina.
41CC	Interruptor de campo, contacto de cierre.
41CT	Interruptor de campo, contacto de disparo.
41C	Interruptor de campo, cierre
41T	Interruptor de campo, abertura
41A	Interruptor de campo, contacto normal abierto.

Símbolo	Función
43LH	Int.Autom.Calentador de aceite
43IA	Int.Autom.Compresor estación
43TC1	Int.Autom.Ventilador #1,Turbina
43TC2	Int.Autom.Ventilador #2,Turbina
43VE	Int.Autom.Extractor de gases
43LCL	Int.Autom.Enfriador lento de aceite
43LCH	Int.Autom.Enfriador rápido de aceite
43AA	Int.Autom.Compresor aire de atomización.
43TG	Int.Autom.Virador
43ALP	Int.Autom.Bomba auxiliar de lub.
43CP	Int.Autom.Bomba de circulación de aceite.
43TPA	Int.Autom.Bomba de transferencia (c.a.)
43TPD	Int.Autom.Bomba de transferencia (c.c.)
43MC	Pos.Autom.Interruptores centro de motores.
43IA1	Int.Autom.Válvula aislante,aire de instrumentos,
43I	Int Autom.Encendido
43T	Transferencia Aut-Man.Regulador
43V1D	Int.Autom.Vál.Aislamiento diesel
43V2	Int.Autom.Diparo de sobre velocidad

Símbolo	Función
43PSG	Pos.Autom.Int.Control dispositivos mecánicos.
43SD	Int.Paquete de arranque.Posición Automática.
43L	Int.Transferencia.Local-Remoto(Loc)
43R	Int.Transferencia.Local-Remoto(Remoto).
43SR	Interruptor de seguridad
43STM	Int.Manual.Sincronización Man-Aut.
43STA	Int.Autom.Sincronización Man-Aut.
43RA	Select.Regulador.Automático
43RM	Selector Regulador.Manual
43RGA	Selector Regulador.Automático
43RGM	Selector Regulador Manual
43FG	Selector de combustible,gas
43FO	Selector de combustible,diesel
43LSB	Selector de arranque,carga base
43LSP	Selector de arranque,carga pico
43LSR	Selector de arranque,carga de reserva.
43LSM	Selector de arranque,carga mínima
48T1	Secuencia incompleta,tiempo de encendido.
48T1A	30 segundos para alcanzar presión de lubricación (631).

Símbolo	Función
48T1B	40 segundos para operación del virador.
48T2	Secuencia incompleta,presión de sobre velocidad.
48T3	Temporizador,secuencia incompleta
48T4	Secuencia incompleta,disparo motor de arranque.
52GCC	Int.Generador,contacto de arranque
52GCT	Int.Generador,contacto de disparo
52GC	Cierre,Int.Generador
52GT	Abertura,Int.Generador
52GA	Int.Generador,contacto abierto
152LCC	Int.Línea,contacto local de cierre
152LCT	Int.Línea,contacto local de abertura.
52LA	Int.Línea.Contacto abierto
52LC	Int.Línea.Cierre
52LT	Int.Línea.Abertura
60CF	Desbalance de voltaje,regulador
62C	Tiempo del ciclo de enfriamiento
62Q	Temporizador,falla de lubricación
631	Presión de aceite en cojinetes.
631A	CCO auxiliar,631 disparo diesel
633	Relé alta presión en cojinetes
634	Presión en cojinetes,arranque virador.

Símbolo	Función
636	Relé presión cámara combustora, encendido.
6381	Relé de presión, válvula de aislamiento 1, cerrada.
6382	Relé de presión, válvula de aislamiento 2, cerrada.
639D	Relé de presión, salida divisor de filtro.
639DS	Relé de presión, bomba principal de combustible (Normal-cerrado).
639DT	Relé de presión, bomba principal de comb. (Transferencia a bomba aux.)
6310	Relé de presión, señal de entrada al compresor.
6311	Relé de presión, aire de instrumentos
6321	Relé de presión, presión deferencial de atomización.
65CL	Interruptor, disminución velocidad/carga.
65CR	Interruptor, elevación velocidad/carga.
66P	Contador del ciclo de purga
66PNZ	Contador de purga
66S	Contador de disparos
70AL	Reóstato de disminución de voltaje
70AP	Reóstato de ajuste de voltaje, nivel de arranque.

Símbolo	Función
70AR	Reóstato de elevación de voltaje
70BL	Reóstato, disminución de base
70BR	Reóstato, elevación de base
70CL	Interruptor de disminución de voltaje
70CR	Interruptor de elevación de voltaje
711	Relé de nivel del reservorio de aceite, bajo abre.
712	Relé de nivel alto del reservorio de aceite.
713	Relé de nivel bajo del reservorio de aceite.
714	Relé de nivel del reservorio de aceite, alto abre.
73DH	Contactor del calentador de agua del motor de arranque.
73GA	Contactor, calentadores del generador
73LHX	Arrancador, calentador de aceite
74A	Alarma
81B	Baja frecuencia
86	Bloqueo
86G	Bloqueo, generador
86T	Bloqueo, transformador
88ALX	Arrancador, bomba auxiliar de lubricación.
88CP	Bomba de circulación de aceite
88LCH	Enfriador rápido de aceite

Símbolo	Función
88LCL	Enfriador lento de aceite
88CLX	Enfriador # 1 de turbina
88CHX	Enfriador # 2 de turbina
88TG	Virador
88TPA	Bomba de combustible de c.a.
88TPD	Bomba de combustible de c.c.
88VE	Extractor de gases
88X	Relé detector de fuego
90	Regulador de voltaje
90A	Regulador an automático
90M	Regulador en manual
AUXRS	Auxiliares repuestos
COMBR	Presión de la cámara combustora
DC1-1	Temp.Cavidad 1
DC1-2	Temp.Cavidad 2
DC2-1	Temp.Cavidad 3
DC2-2	Temp.Cavidad 4
DC3-1	Temp.Cavidad 5
DC3-2	Temp.Cavidad 6
DC4-1	Temp.Cavidad 7
DC4-1	Temp.Cavidad 8
EMERG	Arranque de emergencia
FD6A	Detector de llama,6A
FD6B	Detector de llama,6B
FD7A	Detector de llama,7A
FD7B	Detector de llama,7B

Símbolo	Función
FR1	Detector de incendio 1
FR2	Detector de incendio 2
GNLOK	Bloqueo generador
GNTP1	Protecciones 1 del generador
GNTP2	Protecciones 2 del generador
GNTD1	Diferencial del transformador
GNGRD	Tierra del generador
GND1F	Diferencial del generador
GNFDL	Pérdida de campo
GNREV	Potencia inversa
GNNEG	Secuencia negativa
GNCUR	Sobre corriente del generador
XRLOK	Alarma del transformador
FDGRD	Tierra en el campo
BSGRD	Tierra en la barra
GO	Pulsador "Adelante"
HOLD	Pulsador "Detención"
HOLD1	Det."Bomba Auxiliar"
HOLD2	Det."Virador"
HOLD3	Det."Motor de Arranque"
HOLD4	Det."Presión de Sobre velocidad"
HOLD5	Det."Velocidad Sincrónica"
LT1-8	Camino de paletas 1-8
LT9-16	Escape 1-8
LT17	Drenaje cojinete del reductor,lado generador.

Símbolo	Función
LT18	Drenaje cojinete del reductor, lado turbina
LT20	Drenaje del reductor
LT21	Drenaje cojinete del reductor
LT22	Cojinete guía del compresor
LT23	Cojinete de empuje
LT24	Cojinete guía de turbina
LT25	Drenaje cojinete del generador
LT26	Drenaje cojinete del generador
LT27	Reservorio de aceite
LT28	Reservorio de aceite
LT29	Alimentación a cojinetes
LT30	Descarga del compresor
LT31	Admisión de aire, generador
LT32	Salida de aire, generador
LT33	Admisión de aire, compresor
LT34	Cuarto de control
LT35	Entrada bomba principal de combustible.
LT36	Soporte, piñón reductor
PURGE	Purga en desarrollo
SSGON	Selector de sincronización "ON", 52G
SSGOF	Selector de sincronización "OFF", 52G
SSG	Memoria, selector de sincronización, 52G.

Símbolo	Función
SSLON	Selector de sincronización "ON", 152G.
SSLOF	Selector de sincronización "OFF", 152G.
SSL	Memoria, selector de sincronización, 152G.
STRG	Demanda de arranque.
XMRML	Misceláneos del transformador.

i.-Condiciones inhibidoras de arranque. Análisis del diagrama lógico de control.-

El bloque principal de control es el bloque OR (73-77) el cual emite su señal de inhibición de arranque con la presencia de cualquiera de las 10 señales de entrada. (Ver diagrama 3.1.1.1-i)

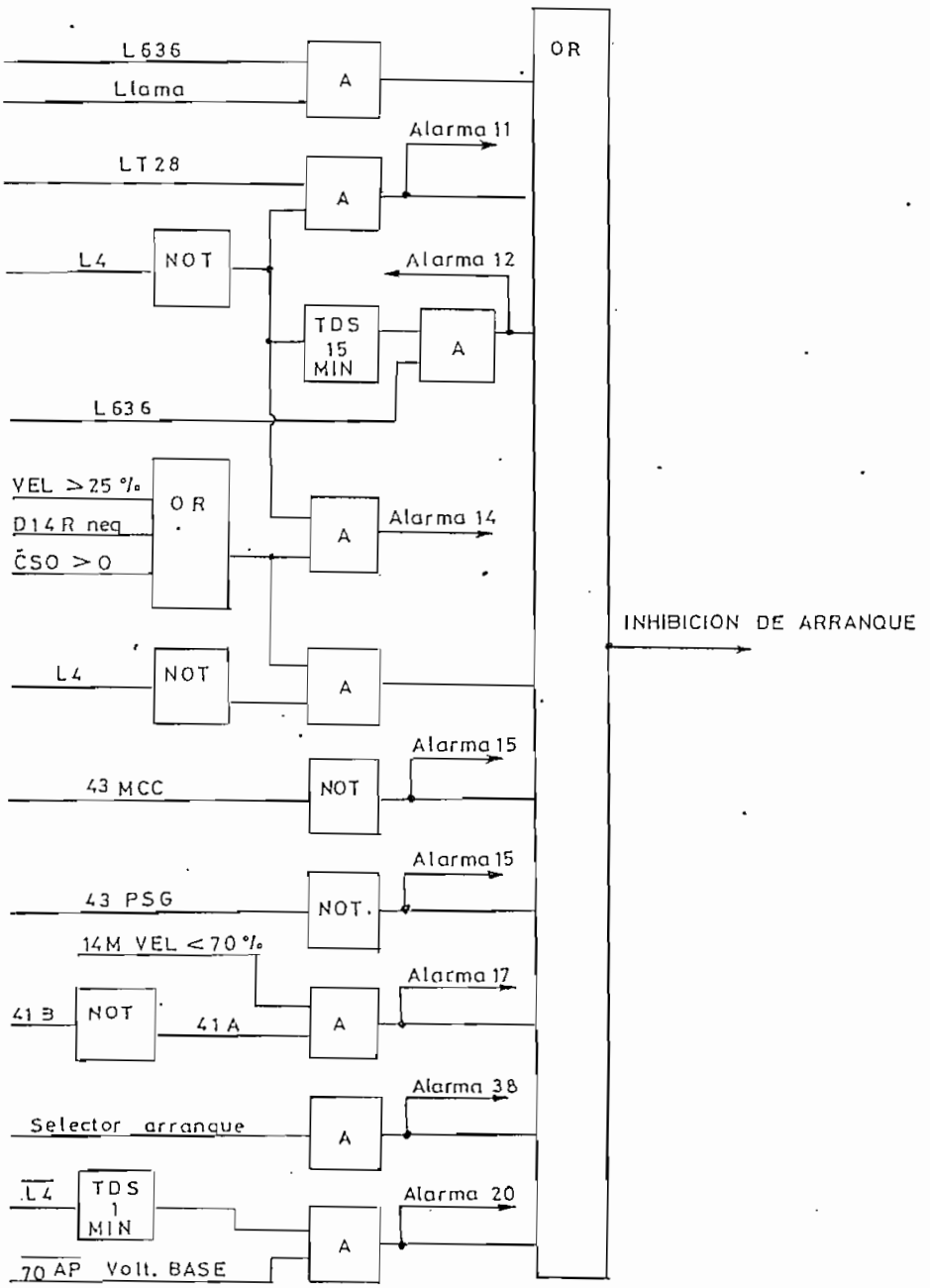


Fig.3.1.1.1-i

Las siguientes son las condiciones lógicas de operación que inhiben el arranque :

1-Presencia de llama en la cámara combustora,al mismo tiempo presión en la cámara combustora (L 636).Esta condición se presenta cuando existen posibles acumulamientos de combustible en la cámara combustora luego de arranques fallidos.Al mismo tiempo se presentarán las alarmas 1,2,3,y 4 (FD6A- FD6B- FD7A- FD7B) de ausencia de llama en la cámara combustora,condición combinada con que la velocidad de la unidad se encuentre menor al de lo normal,(14 M < 10%).

2-Baja temperatura en el reservorio de aceite (LT 28) la cual es controlada con una banda muerta (DB) de 67 70°F,en combinación con la asimilación de operación del control maestro (L4),esta falla produce la emisión de la alarma N.11.

3-Condición combinada de no aceptación de operación del control maestro (L4) y presión en la cámara combustora superior a 22 pulgadas de agua (636).No se presenta alarma.

4-No presencia del control maestro (L4) luego de 15 minutos de la parada (TDS-12) y presión mayor a 22 pulgadas de agua en la cámara combustora (636).Alarma N.12.

5-La unidad se encuentra girando al 25% de velocidad (D14R SPD < 25%) o se tiene una indicación de demanda de combustible positiva indicando una posible falla en el

control de combustible (D14R neg.,CSO pos.) y si no se encuentra armado el control maestro (L4),se debe presentar también la alarma N° 14.

6.-Alguno de los interruptores o selectores del centro de control de motores se encuentra colocado en posición de manual (43MC).Alarma N° 15.

7.-Prevención si alguno de los selectores de gabinete de manómetros se encuentra en posición incorrecta (43-PSG).Se presenta también la alarma N° 15.

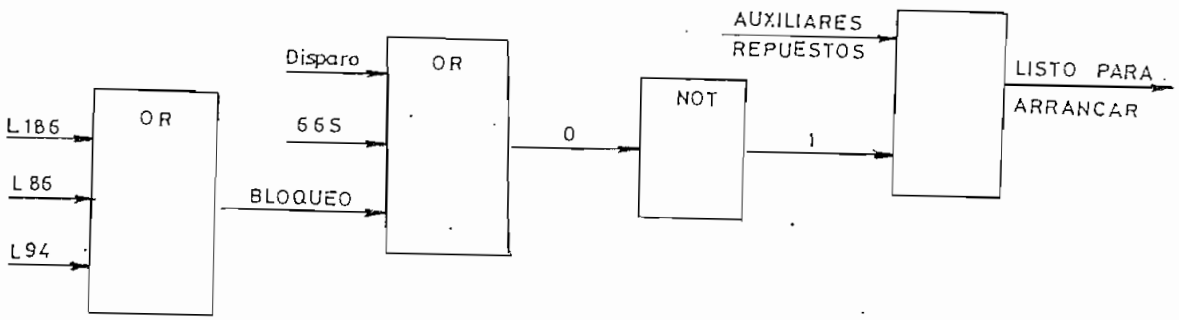
8.-Prevención de arranque si el interruptor de campo del generador se encuentra cerrado mediante el contacto auxiliar 41B y si la velocidad es menor al 70% (14M). Alarma N° 17.

9.-Se previene el arranque si el selector de arranque del motor diesel se encuentra en posición incorrecta. Alarma N° 38.

10.-No aceptación de arranque,si el reóstato de ajuste de voltaje del generador (70 AP) ha fallado en regresar a la posición inicial de arranque,después de 1 minuto de la parada.Alarma N° 20.

Una vez que todas las 10 condiciones inhibidoras de arranque han sido anuladas (Inhibición de arranque) y no tenemos presente la falla de 48v. (48v.falla),se obtiene la indicación luminosa de "auxiliares listos".

j.-Secuencia lógica de obtención de "Unidad Lista para Arrancar".



Si ninguno de los sistemas de bloqueo por operación de protecciones se encuentra operado (L186,L86,L94) o sea LOK OT =0 y si ninguno de los dispósitivos de disparo de la unidad está operando (Disparo,66S) se obtendrá la señalización de "Listo para arrancar",una vez que los bloqueos de los auxiliares se encuentran anulados.

3.1.2.-Arranque Normal.-

Se entiende por arranque el procedimiento de llevar la unidad desde el estado de "Listo para el arranque",hasta la velocidad sincrónica.

El sistema de control está diseñado para controlar el arranque de la unidad en forma remota o en forma local,así como también se prevee la capacidad de realizar el proceso en forma manual y en forma automática.

En el caso de la unidad de la Empresa Eléctrica "Quito" no existe opción de control remoto,pero tiene posibilidad de ser instalado.

3.1.2.1.- Descripción del Procedimiento de Arranque.-

En la siguiente descripción,las acciones del operador y la respuesta del control se los analizará en forma secuencial.

Es necesario indicar que debido al sistema temporizador de sucesión de órdenes del computador,el operador deberá mantener presionado el pulsador selector de operación por un tiempo mínimo de 1,2 segundos para que la orden sea aceptada.

1.-Control de la Unidad:

El operador deberá escoger cualquiera de las dos siguientes alternativas:

a.-Control Local:

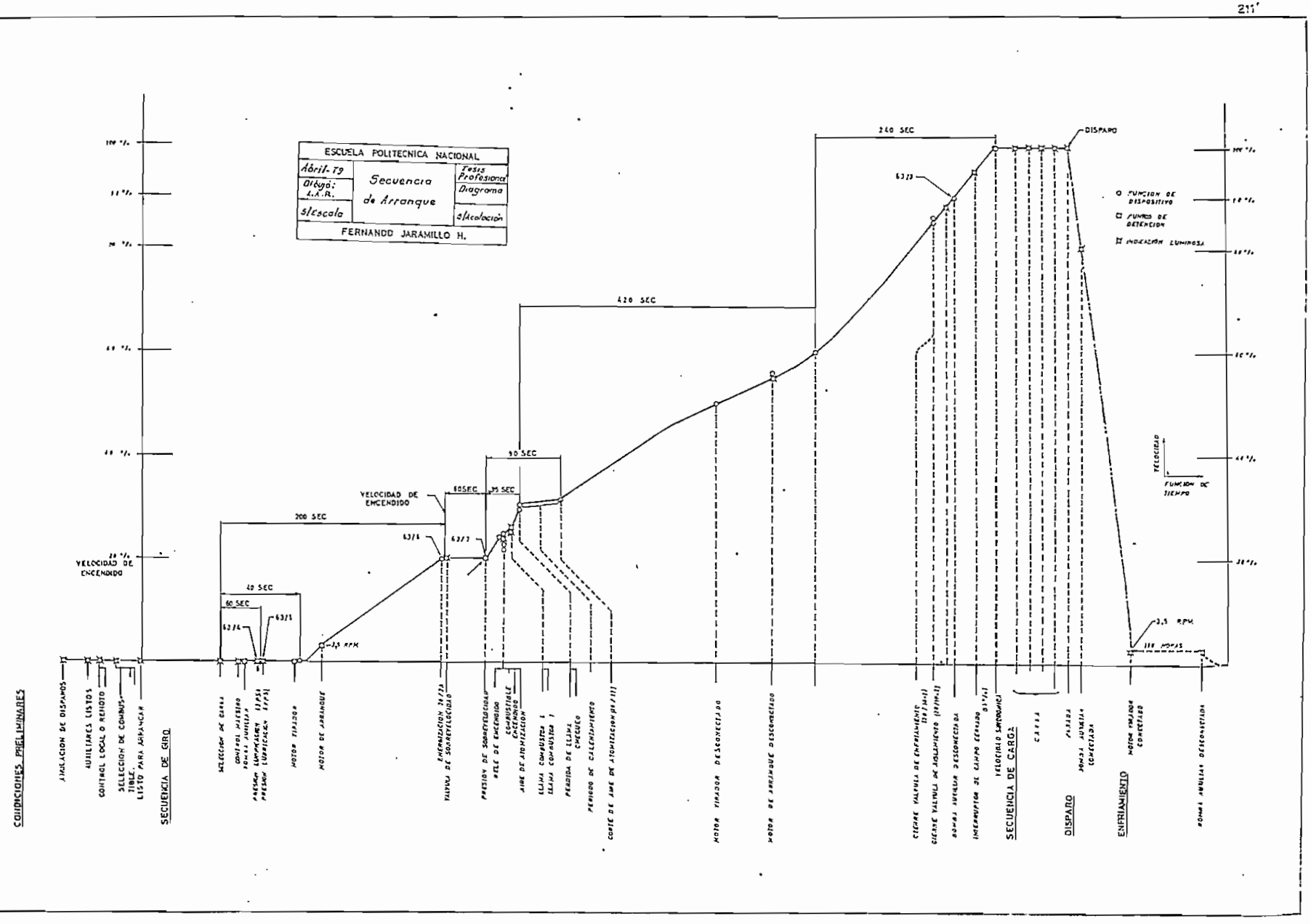
Para emplear el panel local de control de operación se deberá presionar el selector de "Control Local",el cual se iluminará al aceptar la selección.

b.-Control Remoto:

La unidad de la Empresa no posee esta alternativa pero el control local se anula al seleccionar la operación por "Control Remoto".

2.- Selección del Tipo de Combustible:"Diesel solamente".

A pesar de que la unidad se encuentra programada y dise-


ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Abril-79
Dibujó: L.A.R.
s/escala
Secuencia de Arranque
Tesis Profesional
Diagrama
s/Acotación
FERNANDO JARAMILLO H.
CONDICIONES PRELIMINARES
ANULACION DE DISPAROS
AUXILIARES LISTOS
CONTROL LOCAL O REMOTO
SELECCION DE COMBUSTIBLE. LISTO PARA ARRANCAR
SECUENCIA DE GIRO
SELECCION DE CARGA
CONTROL MAESTRO
BOMBA AUXILIAR
PRESION LUBRICACION
MOTOR TIRADOR
MOTOR DE ARRANQUE
ENERGIZACION
VALVULA DE SOBREVELOCIDAD
PRESION DE SOBREVELOCIDAD
RELE DE ENCENDIDO
COMBUSTIBLE ENCENDIDO
AIRE DE ATOMIZACION
LLAMA COMBUSTOR 1
LLAMA COMBUSTOR 2
PERDIDA DE LLAMA CHEQUEO
PERIODO DE CALENTAMIENTO
CORTE DE AIRE DE ATOMIZACION
MOTOR TIRADOR DESCONECTADO
MOTOR DE ARRANQUE DESCONECTADO
CIERRE VALVULA DE ENFRIAMIENTO
CIERRE VALVULA DE AISLAMIENTO
BOMBA AUXILIAR DESCONECTADA
INTERRUPTOR DE CAMPO CERRADO
VELOCIDAD SINCRONICA
SECUENCIA DE CARGA
CARGA
DISPARO
FALLADA
BOMBA AUXILIAR CONECTADA
ENFRIAMIENTO
MOTOR TIRADOR CONECTADO
BOMBA AUXILIAR DESCONECTADA
VELOCIDAD DE ENCENDIDO
40 SEC
60 SEC
200 SEC
60SEC
35 SEC
90 SEC
420 SEC
240 SEC
DISPARO
VELOCIDAD
FUNCION DE TIEMPO
FUNCION DE DISPOSITIVO
PUNTOS DE DETENCION
INDICACION LUMINOSA
3,5 RPM
100 HORAS

ñada para trabajar solamente con diesel,el sistema de control posee las dos alternativas:gas,diesel;por tanto debe ser seleccionado debidamente.

3.-Selección del Método de Sincronización y Carga.-

a.-"Auto Sync",para sincronización automática

b.-"Manual Sync",para sincronización manual de la unidad

Esta selección puede ser cambiada a voluntad en cualquier momento antes de la sincronización.

4.-Selección del Tipo Final de Carga :

Se debe seleccionar una de las cuatro siguientes posibilidades de carga máxima final y el procedimiento de aceleración :

a.-"Arranque Normal" .

El controlador requiere de un riempo de 11 a 12 minutos para sincronizar e iniciar la toma de carga para lo cual se debe escoger cualquiera de las siguientes opciones :

1.-"Carga mínima,Arranque Normal".

Se sincroniza la unidad y se acepta solamente una carga aproximada de 3Mw en un tiempo de 12 minutos.

2.-"Carga Base,Arranque Normal".

Se acepta el valor de carga base en un tiempo de 12 minutos posteriormente a la sincronización.Este procedimiento determina un tiempo total de arranque y toma de carga de aproximadamente 22 minutos.

3.-"Carga Pico,Arranque Normal".

En este procedimiento el control continúa la asimilación de carga desde base hasta el valor de carga pico. El tiempo desde el arranque hasta el valor de carga mínima es de 23 minutos.

b.-"Arranque Rápido".

En este procedimiento se reduce el tiempo desde el arranque a la toma de carga hasta 12 minutos :

1.-Para seleccionar este procedimiento el operador debe presionar el pulsador "Carga Base,Arranque Rápido".

De acuerdo a los criterios de operación y mantenimiento dados por el fabricante,un arranque rápido es equivalente a 40 ó 50 horas de carga "Base".Estos criterios han sido considerados por la Empresa Eléctrica como muy conservadores;por tal razón y dada la experiencia lograda después del mantenimiento mayor realizado en la turbina, se ha deducido que los esfuerzos térmicos desarrollados en el arranque de la unidad son más dañinos para las partes calientes de la turbina que lo que aconsejan los fabricantes;por tal razón se ha adoptado un factor de multiplicación igual a 2,por tanto un arranque rápido sería igual a 100 horas de operación con carga base,debiendo realizar una inspección de turbina y partes calientes cada 4 arranques "rápidos".

El gran esfuerzo térmico al cual es sometida la turbina durante este tipo de arranque ha obligado a prohibir completamente la realización de tal procedimiento.

El sistema de control permite re-seleccionar cualquiera de las formas de arranque y toma de carga.
Durante el proceso de arranque,el último de los pulsadores presionado será el que determine el procedimiento.

5.- La aceptación de cualquiera de los procedimientos de arranque queda asegurado cuando se tiene la indicación luminosa de "Control Maestro Operado".
A partir de este punto,la secuencia de arranque se desarrollará automáticamente.

Si por razones de mantenimineto o control de operación se necesita detener la secuencia de arranque,el control prevee esta posibilidad colocando en la posición de "Conectado" el interruptor con llave y presionano cada uno de los pulsadores de detención que para tal efecto existen.

El procedimiento de arranque no se continúa hasta que se presione el pulsador de "Adelante".

Los siguientes son los cinco pulsadores de detención de los procedimientos de arranque,los mismos que se detallarán a continuación de acuerdo a la secuencia normal de ocurrencia :

a.- Bomba auxiliar de lubricación,conectada

b.- Motor virador,conectado

c.- Grupo de arranque,conectado

d.- Presión de disparo de sobrevelocidad

e.- Velocidad sincrónica.

6.- Energización de Bombas.-

El controlador energiza la bomba auxiliar de lubricación y energiza las bombas de corriente contínua y corriente alterna de transferencia de combustible.

Punto de Detención N.1 : "Bomba Auxiliar Conectada". Mediante este procedimiento se logra mantener la presión de lubricante en todos los caminos de lubricación de cojinetes y se previene la operación del motor virador.La continuación de la secuencia se realiza presionando el pulsador "Adelante".

7.- "Presión de Lubricación para Virador,63PS4".

Se obtiene indicación luminosa y se inicia el arranque del motor virador (88TGX),al detectar presión de lubricación el relé 63/4.

8.- "Motor Virador Operando".

Se enciende el pulsador luminoso,la secuencia continúa a menos que el punto de detención N.2 ha sido activado.

Punto de Detención N.2 "Motor Virador Conectado". La unidad se mantiene girando permanentemente con el

motor virador hasta que el pulsador de "Adelante" sea presionado.

9.- "Presión de Lubricación,63PSI".

Luego de obtener esta indicación luminosa,el sistema de arranque es activado cuando la presión de lubricación se incrementa a 12 PSI detectada por el relé 63/1.Esto sucede 60 segundos después de iniciar la secuencia de arranque o cuando ha parado la unidad.

10.- "Paquete de Arranque,Conectado".

Se obtiene la respectiva indicación luminosa.

Punto de Detención N.3:"Paquete de Arranque Operando".

Permite a la unidad ser acelerada hasta 1000 RPM,impide el paso de combustible hasta que se presione el pulsador de "Adelante".

11.- En el momento que la presión de descarga del compresor alcanza 22 pulgadas de agua y se cierra el relé de presión de encendido 63/6.La turbina está lista para el encendido y se cierra la válvula 20/2A del sistema de disparo por sobre-velocidad.

12.- "Presión de Disparo por Sobre-velocidad".

Se obtiene señal luminosa y el relé de encendido 38X se energiza.

Punto de Detención N.4;"Presión de Disparo por sobre - velocidad".

La señal luminosa centellea, se mantiene la presión de disparo y se previene el encendido hasta que el pulsador de "Adelante" se presiona.

13.- "Encendido" y "Combustible".

Se enciende las dos lámparas.

a.- Relé de encendido, 31X se energiza.

b.- Se abre la válvula de paso de combustible.

c.- La válvula de aire de atomización se abre.

d.- Válvula de drenaje de la cámara combustora se cierra cuando se energiza el relé 88X.

14.- "Llama en el Combustor 6".

Se obtiene indicación luminosa tan pronto como se ha propagado la llama desde los combustores 3 ó 4 a través del 5 y 6 hasta el número 7, lo cual es sensado por los detectores F7A y F7B.

15.- "Llama en el Combustor 7".

Se obtiene indicación luminosa tan pronto como se ha propagado la llama desde los combustores 3 ó 4 a través de 2 y 1 hacia el combustor número 8, lo cual es sensado por cualquier detector de llama F8A ó F8B.

16.- La llama debe ser sensada en ambos combustores 7 y 8 dentro de 35 segundos de la energización del relé de encendido 88X o la unidad entrará en su período de purga de 90 segundos.

17.- El controlador disparará la unidad después del se - gundo intento de encendido, si la condición de llama no se ha logrado.

18.- Se abre la válvula de aire de atomización (20/17) durante 120 segundos.

19.- "Desconexión del Motor Virador".
La lámpara indicadora de operación del "Motor Virador" se apaga; se de-energiza el motor virador cuando el paquete ha llevado la unidad hasta el 50% de la nominal.

20.- Tan pronto como ha sido sensada la llama en los com bustores 7 y 8, el combustor inicia un período de 72 se - gundos durante el cual se reduce la presión en las tobe- ras.
Al final de este período se acelera la unidad mediante el incremento de la referencia de velocidad, de acuerdo al programa pre-establecido. La velocidad de la unidad es controlada mediante el circuito analógico que controla el flujo de combustible. El controlador mantiene un lími- te de flujo de combustible para proteger a la unidad de turbulencias o sobre-temperaturas en las paletas y es - cape durante el período de aceleración.

21.- "Desconexión del Paquete de Arranque".
La lámpara indicadora de conexión se apaga y se enciende la indicadora de "Desconexión del Paquete de Arranque".

El motor diesel de arranque es desconectado cuando la turbina alcanza el 55% de velocidad;esta condición debe cumplirse dentro de los 350 segundos después del encendido,en caso contrario el controlador dispara la unidad.

22.- "Válvulas de Aislamiento del Compresor Cerradas". Se enciende la lámpara indicadora a velocidad muy cercana de la sincrónica,cuando la presión de la salida del compresor alcanza 80 psig,en esta forma el sistema de aire a presión se encuentra alimentado por el compresor de la turbina.

23.- Conforme aumenta la velocidad,la salida de la bomba principal de aceite lubricante aumenta;cuando la presión alcanza 42 PSIG en el relé 63/3,la bomba auxiliar de aceite es de-energizada.La lámpara indicadora se enciende.

24.- Cierre del Interruptor de Campo.
Se tiene indicación luminosa y se cierra el interruptor de campo a una velocidad aproximada del 95%,a menos que hubiere sido seleccionado el pulsador de "Sincronización Manual".

25.- Velocidad Sincrónica.
La lámpara indicadora se encenderá cuando la unidad alcanza el 98% de velocidad.A continuación la velocidad se mantiene cerca del 100% para la sincronización.
La turbina debe alcanzar la velocidad sincrónica dentro

de los 240 segundos después de desconectar el paquete de arranque,en caso contrario el control disparará la uni - dad.

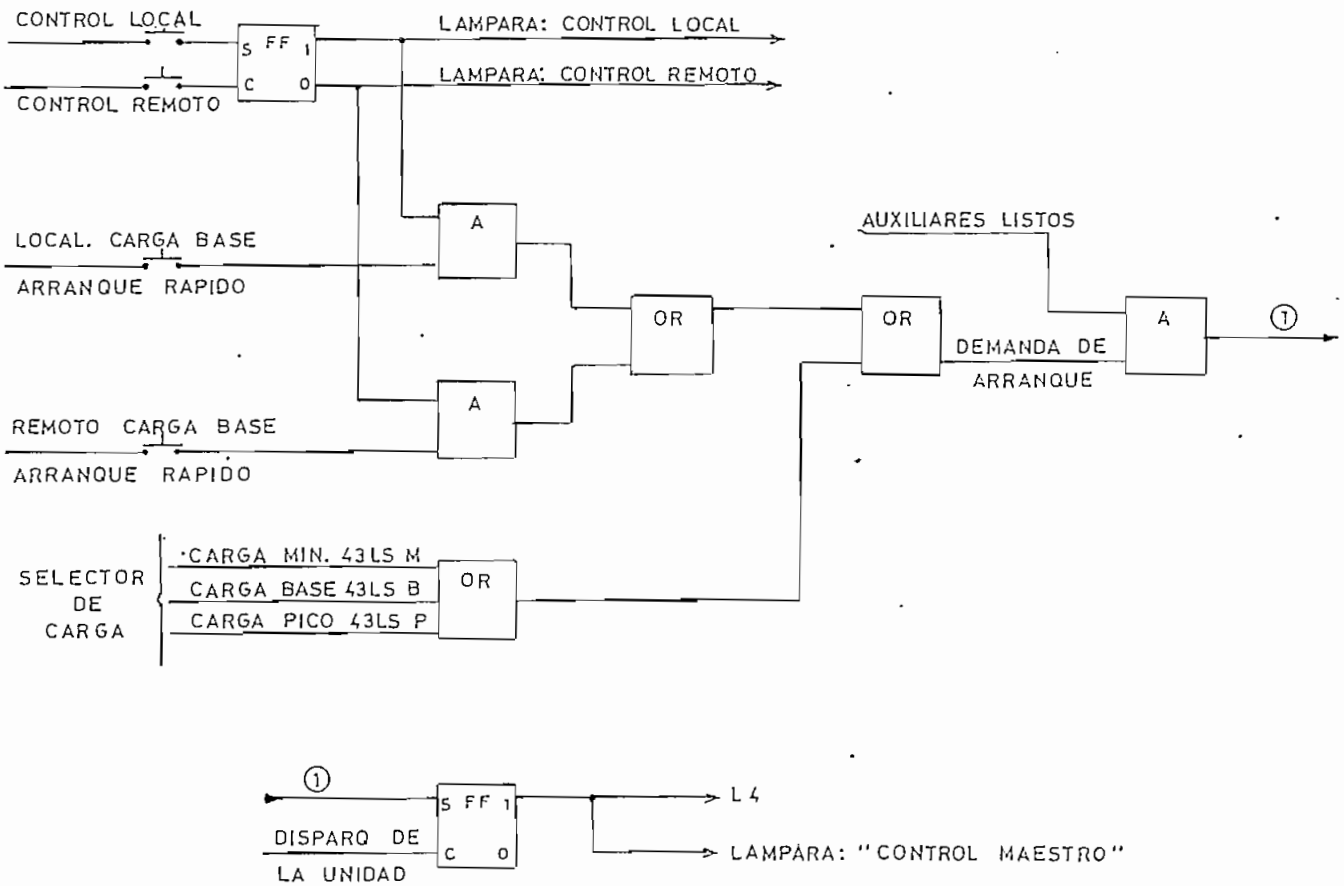
Punto de Detención N.5 : "Velocidad Sincrónica".

Presionando este pulsador,el control mantiene la velocidad de la unidad en velocidad sincrónica y previene la sincronización sea manual o automática.Luego de presionar el pulsador de "Adelante",la sincronización se lleva a cabo.

Cumplido todo este procedimiento secuencial,la unidad se encuentra lista para el procedimiento de sincronización.

3.1.2.2.- Secuencia de Arranque : Diagrama Lógico.-

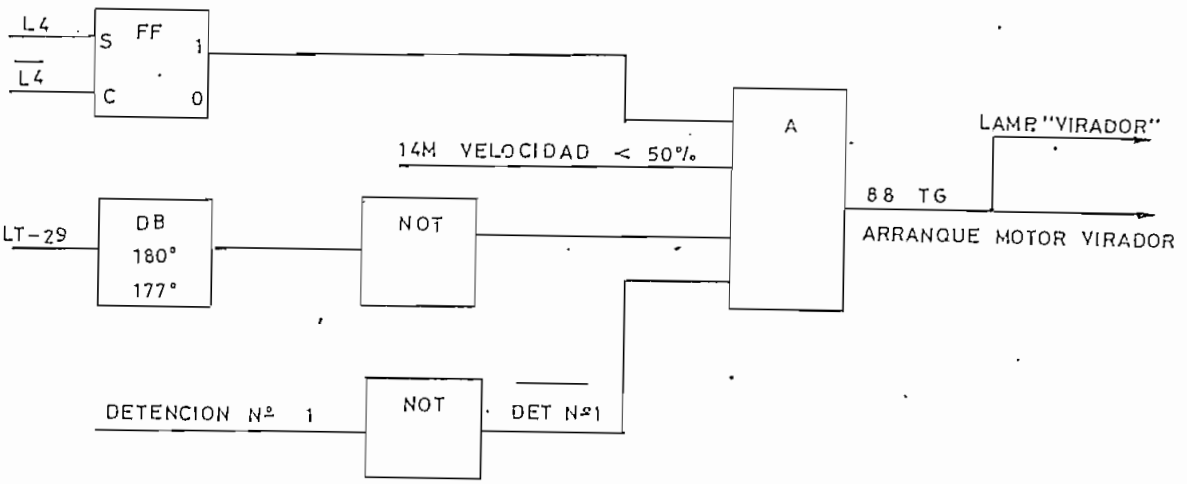
a.- Complementación del Control Maestro. (L4)



La secuencia de programación que tiene por objeto armar el control maestro L4, se basa en la aceptación de cada una de las condiciones previas al giro de la unidad, como son: Selección del Tipo de Control; Selección del Tipo de Carga; Señal de Correcta Operación de los Sistemas Auxiliares.

En general se puede decir que el control maestro es la aceptación de la disponibilidad completa y perfecta de todos los sistemas de control y operación de la unidad.

b.-Control de Operación del Motor Virador.-



Las condiciones previas a la operación del motor virador son :

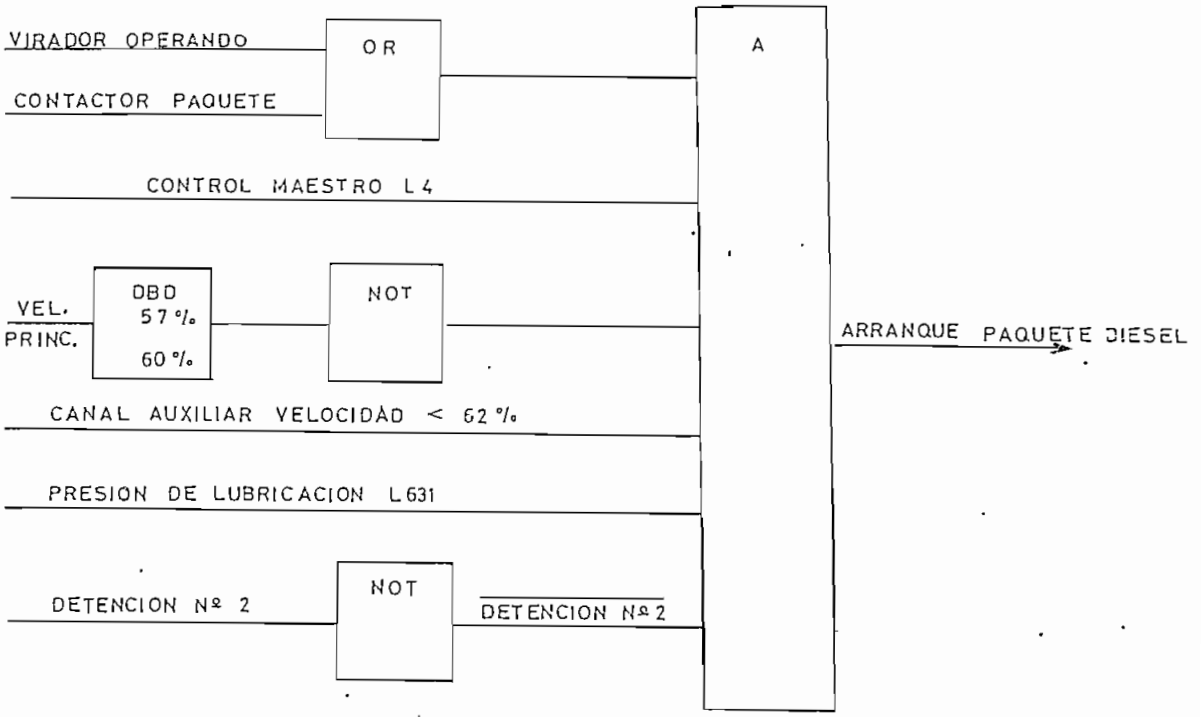
1.-Control maestro listo.

2.-Velocidad menor al 50%.

3.-Temperatura de aceite menor de 180°F a 177°F (82°C a 80°C).

4.-No selección del pulsador :"Detención Nº 1".

c.-Control del Paquete de Arranque.-



Las condiciones a cumplirse para el arranque del motor diesel son:

1.-Virador operando o contactor del paquete de arranque en posición correcta.

2.-Control maestro energizado.

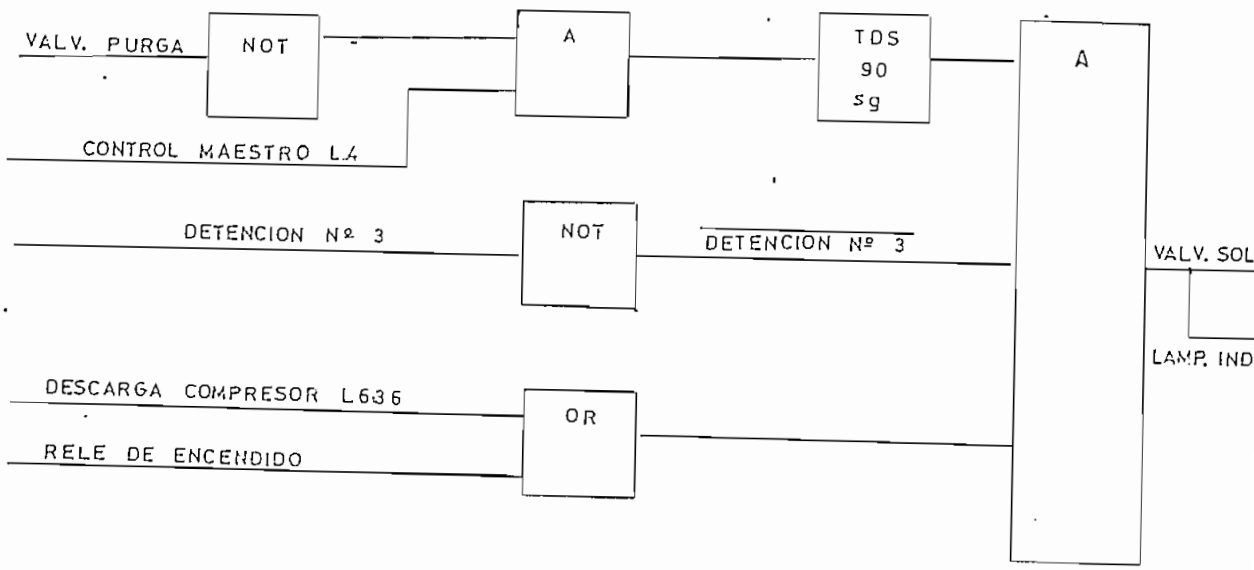
3.-Detección del canal principal de velocidad menor al 57% ó 60%.

4.-Detección del canal auxiliar de velocidad menor al 62%.

5.-Presión de lubricación suficiente para energizar el relé 631.

6.-No operación del pulsador "Detención Nº 2".

d.-Control de presión de disparo por sobre-velocidad.-



Condiciones para obtener presión de disparo de sobre-velocidad :

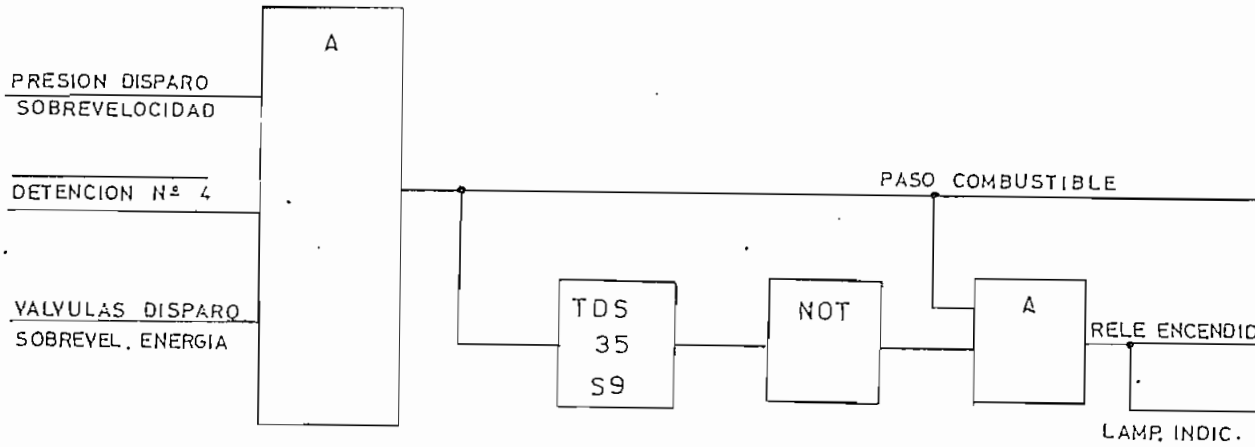
1.-Válvulas de purga de-energizadas.

2.-Control maestro energizado.

3.-No operación de pulsador "Detención Nº 3".

4.-Presión de descarga del compresor suficiente para energizar el relé 636 o relé de encendido energizado.

e.-Control de Encendido.



Condiciones para obtener encendido son:

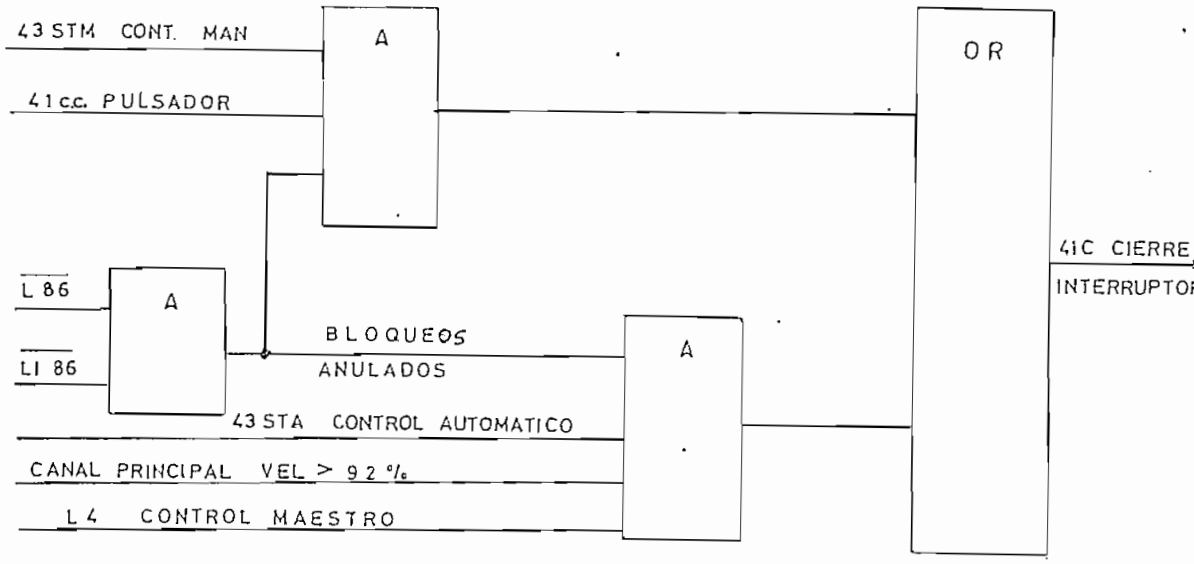
1.-Presión normal de disparo por sobre-velocidad.

2.-No operación del pulsador "Detención N^{O} 4".

3.-Válvulas de paso del disparo de sobre-velocidad, energizada.

4.-Paso normal de combustible.

f.-Control de Cierre del Interruptor de Campo.-



Las condiciones necesarias para cerrar el interruptor de campo son :

1.-Selector de operación en manual (43STM).

2.-Orden de cierre mediante el pulsador 41 C.C.,en caso de haber seleccionado el "Control Manual".

3.-Bloqueos del generador anulados (L86).

4.-Bloqueos del interruptor de línea anulados (LI86).

5.-Selección de operación en automatico (43STA).

6.-Detección de velocidad de la unidad > 92 .

7.-Control maestro en operación (L4).

3.1.3.- Arranque de Emergencia.-

Este procedimiento de arranque dada la característica de temperatura a la cual es sometida la turbina es considerado como "no aceptable" de realización por su efecto sobre la vida útil de la turbina.

Durante el arranque rápido,el tiempo de carga desde el arranque hasta el valor de carga base es el de 5 minutos;el pulsador a presionarse para obtener tal secuencia de arranque es el denominado "Carga Base,Arranque Rápido".

El control del sistema de arranque rápido se basa al igual que en el arranque normal en la curva referencial de velocidad que sigue el computador,en base a la temperatura de álabes,presión en la cámara combustora,tiempo y demanda de combustible.Ver diagramas :

2.1.2.1-1.- Referencia de temperatura de arranque normal y emergente,

2.1.2.1-2.- Referencia de temperatura para carga.

De acuerdo con los diagramas,la temperatura máxima a la cual se la somete a la turbina durante un arranque de emergencia es el 25% más que la temperatura durante un arranque normal.En igual forma se puede apreciar que el arranque de emergencia somete a la turbina a un esfuerzo térmico mayor que el resultante por toma de máxima carga posible que el el de "Reserva del Sistema".

El análisis de las desventajas de realizar el procedimiento de arranque de emergencia se lo realizó en el acápite 3.1.2.1.4-6.

3.2.- Secuencia Automática de Sincronización y Toma de Carga.-

3.2.1.-Sincronización.-

El sistema de control de la turbina está programado para realizar automáticamente todo el procedimiento de sincronización del generador con el sistema exterior y comprende :Capacidad de controlar la velocidad,regulación de amplitud de voltaje y rastreo del ángulo de defasamiento entre la frecuencia del sistema y la generada por la unidad.

El programa de sincronización es iniciado por el computador solamente cuando ha sido seleccionado el pulsador "Sincronización Automática".

En el caso de que se hubiera seleccionado el tipo de operación manual mediante el pulsador de "Sincronización Manual", el operador deberá realizar todos los procedimientos previos al cierre del interruptor del generador.

Durante condiciones normales de arranque,cuando la unidad alcanza el 95% de la velocidad sincrónica,el interruptor de campo es cerrado por el computador y de esta manera se energiza el campo principal del generador y se obtiene el voltaje terminal generado de acuerdo al nivel base del regulador automático de voltaje.

Cuando la unidad ha alcanzado aproximadamente el 98% de velocidad,la lámpara indicadora de "Velocidad Sincrónica" se enciende.

Si no ha sido seleccionado el pulsador de "Detención N.5" el computador procede a determinar la presencia de tensión en el sistema.Si el sistema exterior tiene presencia de tensión,el sistema de control dasarrolla inmediatamente el chequeo de frecuencia.

Los circuitos sensores envían señales al computador para medir y comparar el voltaje y la frecuencia,permitiendo desarrollar programas para tomar acción correctiva de gran ajuste para subir o bajar el voltaje generado hasta el valor del voltaje de barra necesario para satisfacer los requerimientos de sincronización.

Cuando las condiciones de ajuste de amplio rango se reunen dentro de un tiempo aproximado de 15 a 30 segundos y si la estabilidad del sistema referencial se mantiene,el computador procede a concluir el ajuste fino mediante la lectura repetitiva de valores cada 0.1 segundo.

Cuando el computador ha realizado un ajuste fino de la velocidad se puede observar el desplazamiento del ángulo de fase entre 180° y 0°.En el momento que el medidor del ángulo de defasamiento se aproxima a un defasaje de un ciclo cada 10 segundos,el tiempo final al cual ocurrirá el ángulo de defasamiento cero es calculado por el computador.

Cuando el ángulo de fase del voltaje del generador está dentro de DIEZ grados de defasamiento de la señal del sistema,el computador alista el circuito de cierre del disyuntor del generador,lo cual permite al control cerrar el interruptordel generador en el momento que el ángulo de defasaje sea

de cero grados.

En el momento que se cierra el interruptor del generador (52G),el pulsador luminoso de "Interruptor del Generador 52G,Cerrado" se enciende.

Si luego de cerrar el disyuntor y si por cualquier razón se dispara el disyuntor del generador,el procedimiento de sincronización deberá seguirse nuevamente en la misma forma indicada desde su iniciación.

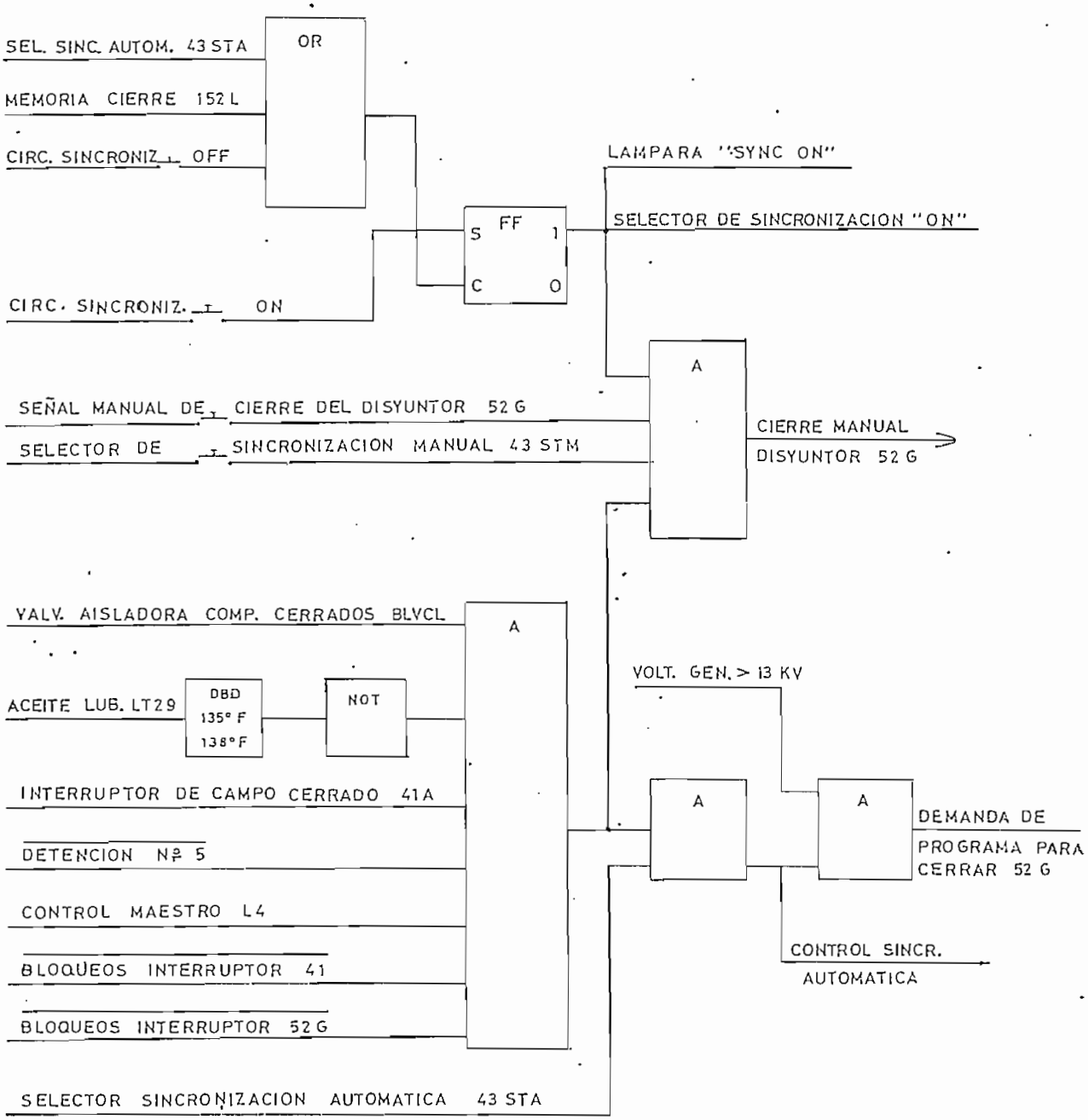
El procedimiento deberá ser iniciado presionando cualquiera de los selectores de rango :

-Carga Mínima,arranque normal

-Carga Base,arranque normal

-Carga Pico,arranque normal

3.2.2.-Control Lógico de Sincronización Manual y Automática.-



Las condiciones necesarias para sincronizar manualmente la unidad son:

1.- Sincronizador energizado
2.- Selector de sincronización en "manual" (43STM)
3.- Señal manual del cierre del interruptor
4.- Compresor aislado de la atmósfera (BLVCL)
5.- Aceite lubricante a 135°F de temperatura (LT29)
6.- Interruptor de campo cerrado (41A)
7.- No selección del pulsador "Detención Nº 5"
8.- Control maestro energizado (L4)
9.- Bloqueos del interruptor de campo, anulados (41)
10.- Bloqueos del interruptor del generador, anulados (52G)

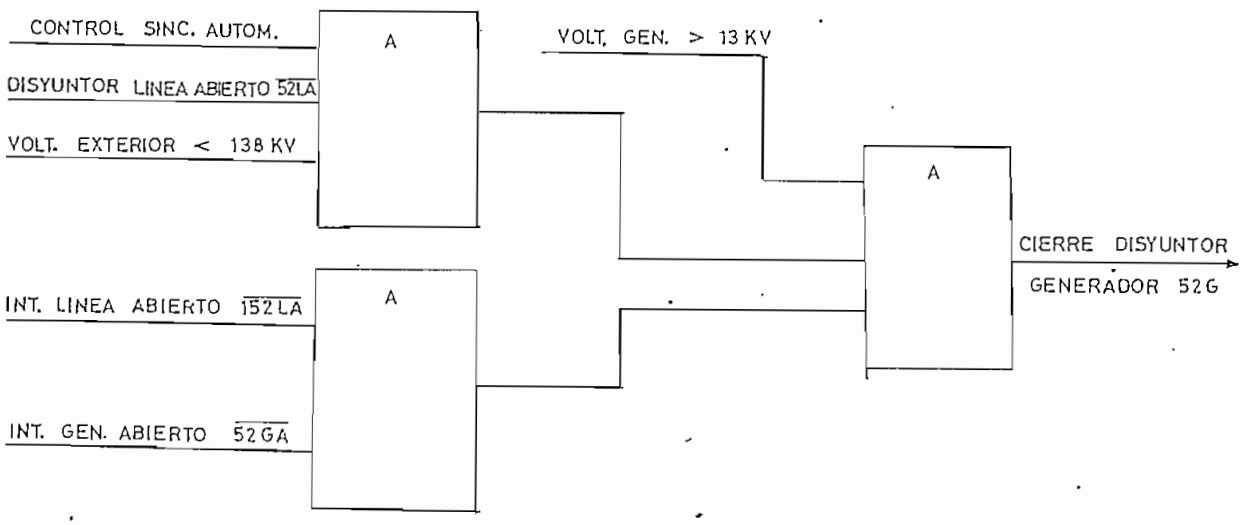
Las condiciones inhibidoras de la sincronización manual son:

1.- Selección de sincronización enposición "automática" (43STA)
2.- Selección de sincronización mediante interruptor de línea (SSL)
3.- Sincronizador desconectado (OFF)
4.- Todas las condiciones opuestas a la aceptación de sincronización

El sistema de programación presenta la posibilidad de energizar el sistema exterior de 138 KV mediante el generador operado con la turbina, en caso de un "apagón" o caída total del sistema y de esta manera enviar señal de tensión a las otras centrales de generación para lograr un inmediato

acoplamiento de las centrales de generación del sistema y la aceptación de carga de cada una de las subestaciones de distribución.

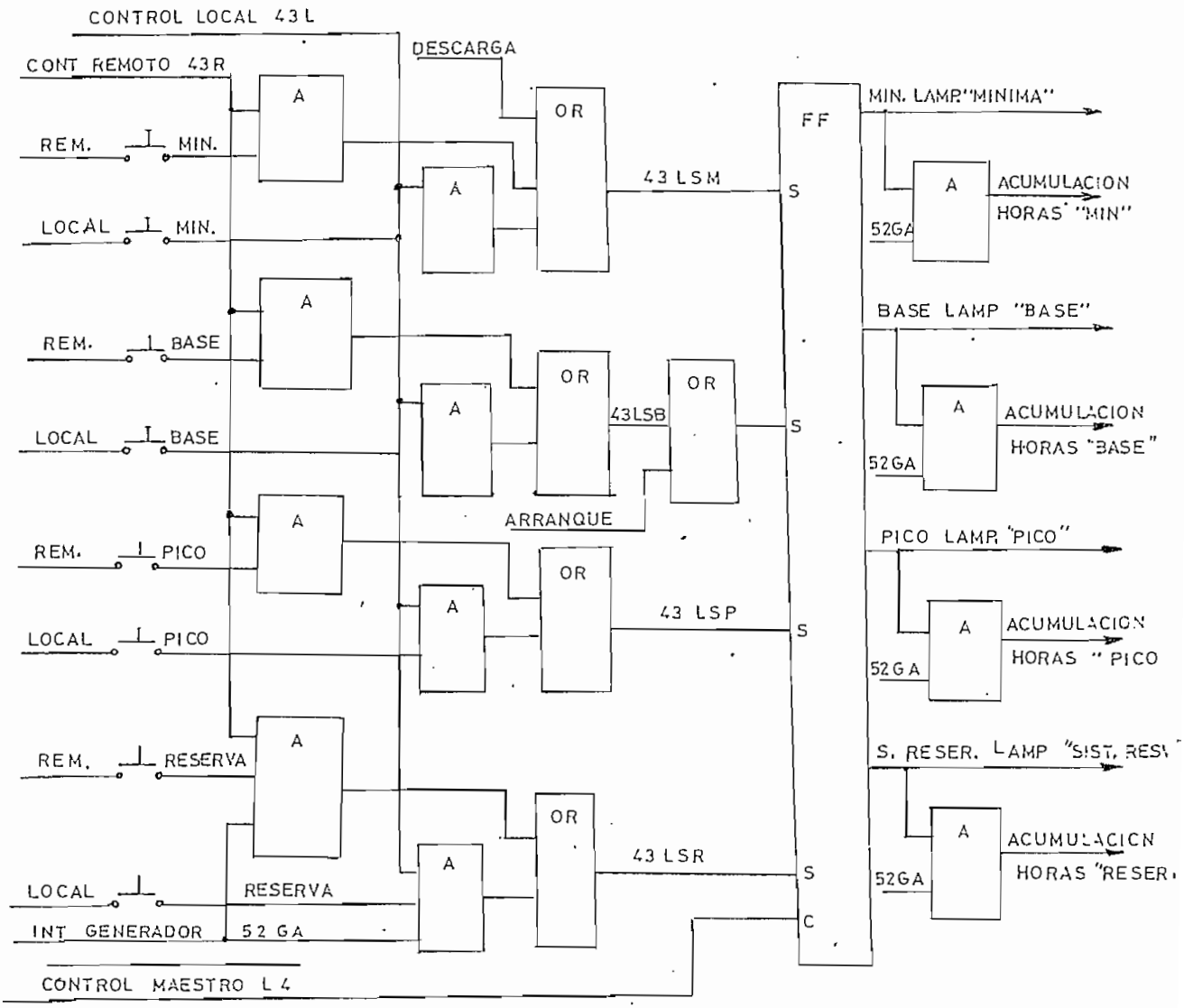
El sistema lógico de control para cierre del disyuntor del generador en este caso es el siguiente :



Mediante este sistema de control, al cerrar el interruptor del generador se envían tensión no solamente hasta el un lado del interruptor de línea (52L), si no que también se obtiene la auto alimentación del servicio de estación al energizar la barra 138KV. Posteriormente y en forma manual se procede a cerrar el disyuntor de línea en 138KV(52L), enviando tensión a todo el sistema de la Empresa.

3.2.3.- Selección Automática de Carga.-

a.- Control Lógico de Selección de Carga.-



De acuerdo a la estructura del bloque lógico de control las condiciones que permiten la selección del tipo de carga para la turbina son :

1.- Selección de control de operación en sistema local o en remoto (43L O 43R)

2.- Selección de cualquiera de los tipos de carga

Existe una sola condición inhibidora de aceptación para cualquiera de los tipos de carga en la unidad, esta es :

1.- La no aceptación de la estructura del control maestro (L4)

b.-Control de Carga Base, Pico, Reserva.-

El sistema automatico de control está diseñado para controlar, rastrear y mantener los niveles de carga seleccionados previamente.

El computador emplea dos sistemas para rastrear y mantener la carga seleccionada; estos son :

1.-El sistema referencial de carga, que comprende: referencia de temperatura de paletas, presión en la cámara combustora, temperatura de escape, relación de turbulencia entre temperaturas de aire de admisión y la presión en la cámara combustora. Todo este sistema referencial es alimentado a la memoria del computador mediante programación o "software".

2.-El sistema propio de control analógico-digital, mediante el cual el computador conoce y controla todo el desarrollo del proceso de carga.

Este sistema fue analizado y se lo ha definido con el nombre de "Sistema de Control de Entrada y Salida" (CCI,CCO).

El control de operación de la unidad se encuentra dividido en cuatro grandes maneras o modos que son :

1.- Modo "0" Pre-encendido

2.- Modo "1" Aceleración

Estos dos primeros modos de control fueron debidamente descritos en los acápites respectivos;los siguientes dos modos de operación que competen al sistema de control de carga serán decritos a continuación.

3.- Modo "3" Control de Carga a Megawats Fijos.-

Este tipo de control viene a efectuarse inmediatemente que el interruptor del generador se ha cerrado y si es que se ha seleccionado este tipo de control.En este caso,un límite de carga en Kw actúa como un limitador más de la señal de control de combustible (CSO).

En selección de carga mínima,el valor de Kws mínimos se mantiene hasta que cualquier acción posterior de incremento de carga sea tomada.

En selección de carga base,pico o reserva del sistema, la referencia de Kw será incrementada hasta un máximo, determinando que el límite de temperatura tome a cargo la regulación en base a la temperatura de escape.

Si los pulsadores de incremento o disminución de carga

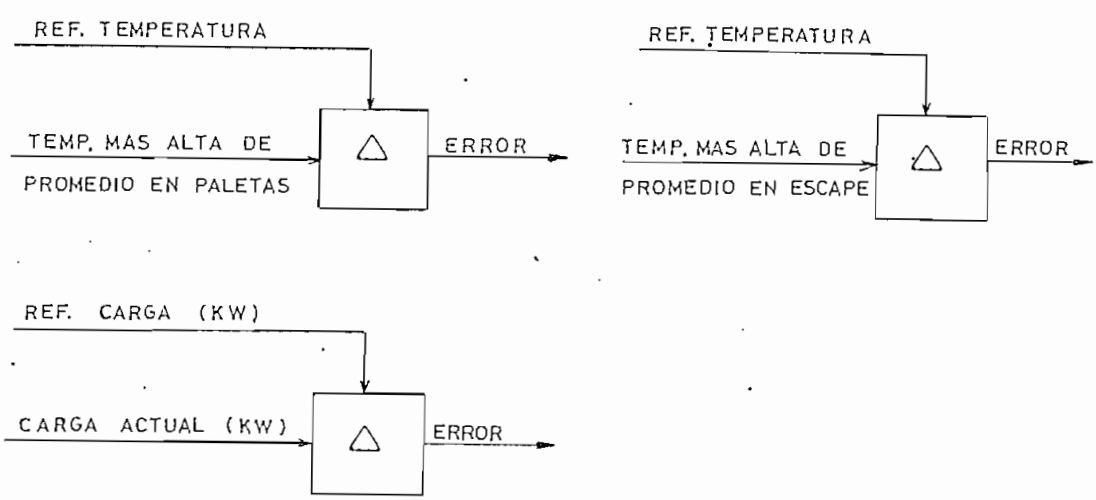
son seleccionados,estos son usados para subir o bajar la referencia de Kws.

4.-Modo "4" Control de Temperatura .-

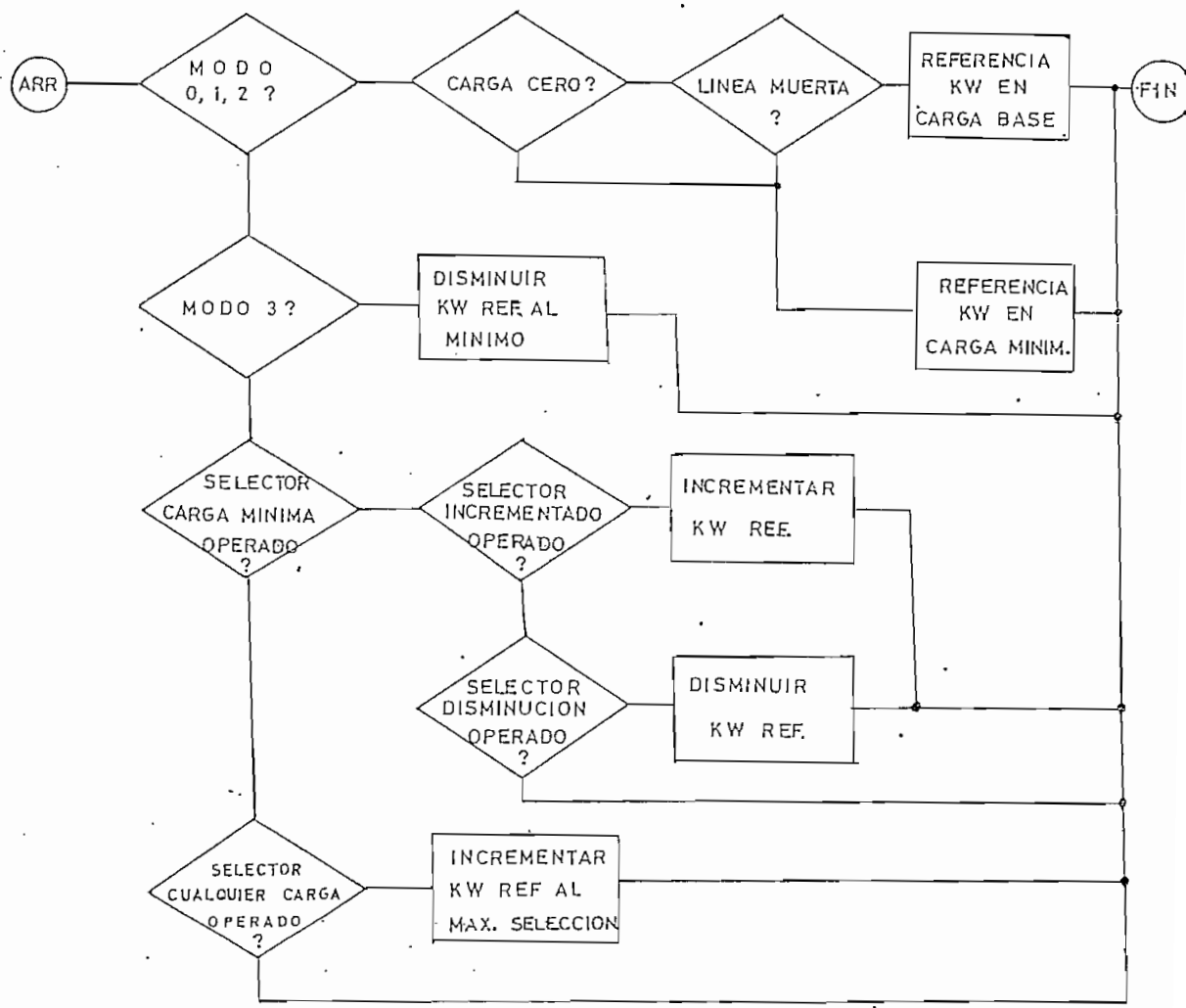
Este tipo de control entra en acción si el control me - diante carga fija no ha sido seleccionado.En este caso la variación de la referencia de carga mediante la opeción de los pulsadores de incremento o disminución de carga no tiene efecto.

Este sistema de control previene la posibilidad de sobrecarga debido a cambios en la frecuencia del sistema.

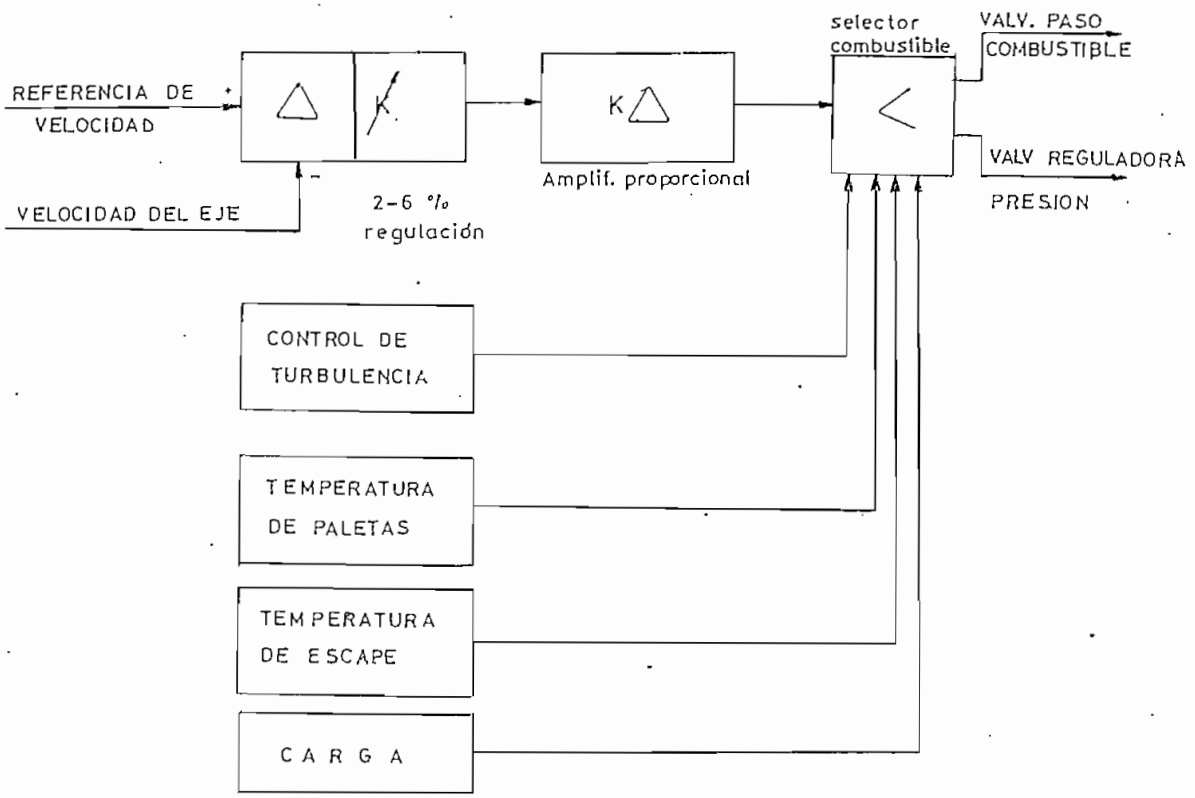
El computador para controlar la unidad se basa en la lectura de errores obtenidos de sistemas comparativos de los valores referenciales del programa y de los valores reales de operación en la siguiente forma :



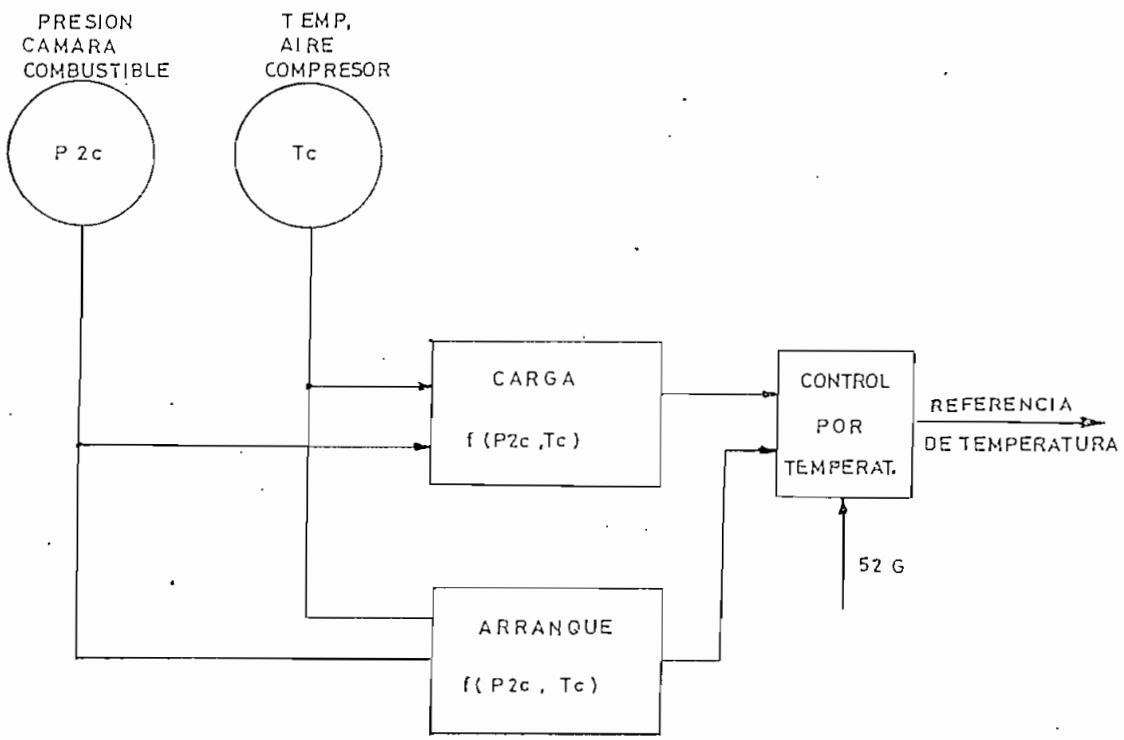
c.-Carta de Flujo para Control de Carga .



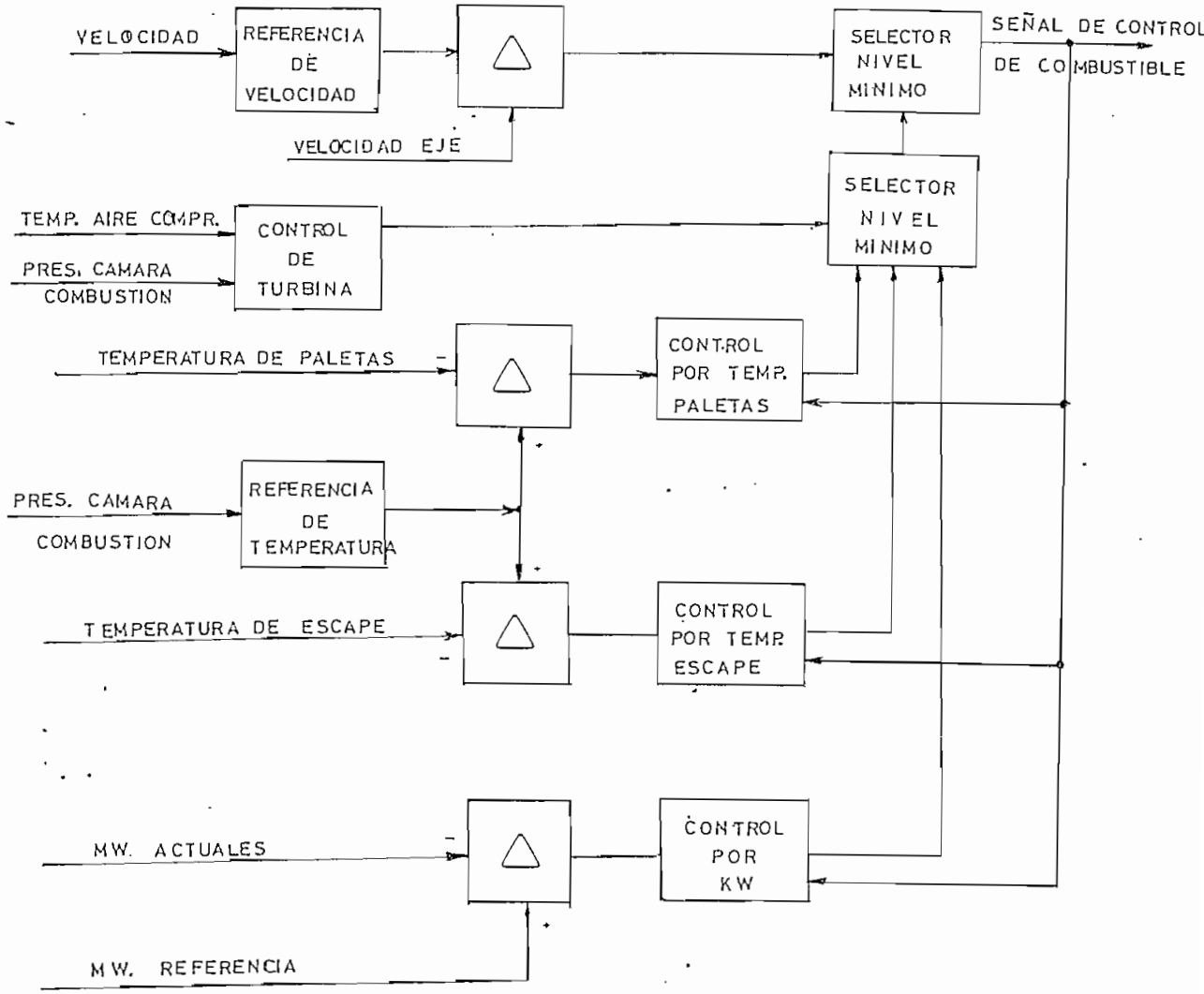
d.- Diagrama de bloques para control velocidad/carga.



e.- Diagrama bloque para control por temperatura en Arranque y Carga.



f.- Diagrama completo de control por temperatura y carga.



g.- Curvas Referenciales de Temperatura para Control de Carga.-

Los tres sistemas básicos de control para carga base, pico y reserva se basan en la referencia de temperatura que mediante programación se almacena en la memoria del computador.

Estas referencias de control por temperatura son curvas que se desarrollan en función de la presión en la cámara combustora y la temperatura de escape.

Para cada uno de los tipos de carga, el computador mediante su sistema de control de señales de entrada y salida CCI y CCO, controla y rastrea los parámetros de operación para seguir estas curvas en los procesos de carga de la unidad.

En el diagrama 2.1.2.1-2, los valores en el eje X son valores de presión en la cámara combustora (P2C) en por unidad; el valor de uno por unidad es igual a 160 lb/plg^2.

Los valores en el eje Y son de temperatura en el escape y se considera que el valor de uno por unidad es igual a 1.500°F.

De acuerdo con las curvas de referencia, el mayor esfuerzo térmico corresponde a la carga por "Reserva", razón por la cual este tipo de carga tiene prohibición absoluta de ser asimilada y solamente puede ser seleccionada mediante previa autorización y durante cortos períodos con el objeto de cubrir emergencias de generación en el sistema.

La carga normal de operación y mediante la cual se obtiene mejor rendimiento de la unidad con un promedio de veinte horas por arranque es la carga "Base".

3.3.- Secuencia de Parada de la Unidad.-

La unidad operada mediante turbina a gas al igual que toda unidad generadora posee dos posibilidades de parada que son :

a.-Parada Normal

b.-Parada Automática o de Protección

3.3.1.- Parada Normal.-

El procedimiento de parada puede ser iniciado desde cualquiera de los paneles de control,local o remoto.En el caso de la unidad en estudio no existe el panel de control remoto a pesar de que la programación de control está prevista para dicha aplicación.

La orden de parada normal se lo envía presionando el pulsador "Parada Normal de la Turbina",el cual se ilumina cuando ha sido acceptada la orden y empieza a operar el programa de paro.

El programa de paro reduce paulatinamente la cantidad de combustible a un valor pre-determinado correspondiente al 10% de la carga seleccionada a la cual se encontraba trabajando la unidad,base,pico o reserva del sistema.

Cuando la unidad ha sido descargada hasta un valor del 10%

del seleccionado,el computador envía las señales de :

1.-Abertura del interruptor del generador (52G)

2.-Abertura del interruptor de campo (41)

3.-Cierre parcial de la válvula de paso de combustible

El sistema de programación del computador está elaborado de tal manera que al abrirse el interruptor del generador y el interruptor de campo,la unidad es llevada a un período de dos minutos de incremento de la velocidad nominal,con el objeto de acelerar el proceso de enfriamiento de manera que al parar la unidad no permanezca gran cantidad de calor acumulado en el interior,permitiendo grandes esfuerzos térmicos en el área caliente de la turbina.

Después de dos minutos de enfriamiento,el paso de combustible es cortado automáticamente,la velocidad de la turbina disminuye rápidamente debido a la resistencia dinámica del compresor.

Conforme disminuye la velocidad también disminuye la presión de aceite lubricante;caída de presión que energiza automáticamente la "bomba auxiliar de lubricación" con la respectiva indicación luminosa.

Aproximadamente al 50% de velocidad nominal el motor virador es energizado y se obtiene la señal luminosa de "motor virador conectado" a un valor de velocidad de 5 r.p.m.El embrague automático acopla el motor virador al eje de la turbina y mantiene girando al rotor a una velocidad de 3.5 r.p.m. evitando de esta manera deformaciones en el eje por deflexio

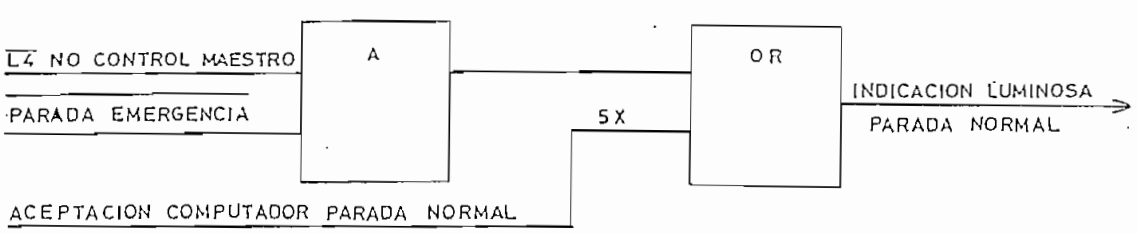
nes debido a calentamiento.Si la unidad no es arrancada nuevamente,el computador mantiene a la unidad girando mediante el virador por un tiempo de 72 horas hasta lograr el completo enfriamiento.

Si todos los sistemas de control se encuentran seleccionados en la posición correcta,se obtiene la correspondiente indicación luminosa de "Listo para arrancar" y la unidad puede ser arrancada nuevamente en cualquier momento.

Al final del período de 72 horas de operación mediante motor virador,la bomba auxiliar de lubricación se detiene, pero permanece la unidad lista para operar con la respectiva indicación de "listo para arrancar",al menos que alguna condición cambiara en la posición de los sistemas de control.

3.3.1.1.- Diagramas Lógicos de Control de Parada Normal.-

a.- Aceptación de orden y señal de parada.-

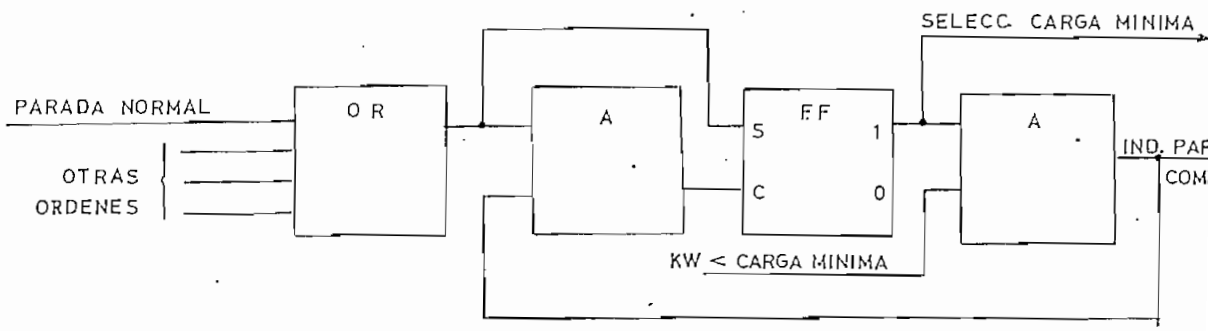


Las condiciones que permiten la realización de la parada normal son :

1.-Condición combinada de no aceptación del control maestro y no selección de parada de emergencia.

2.-Aceptación del computador de la orden de parada normal,(5X).

b.- Control de Descarga:-



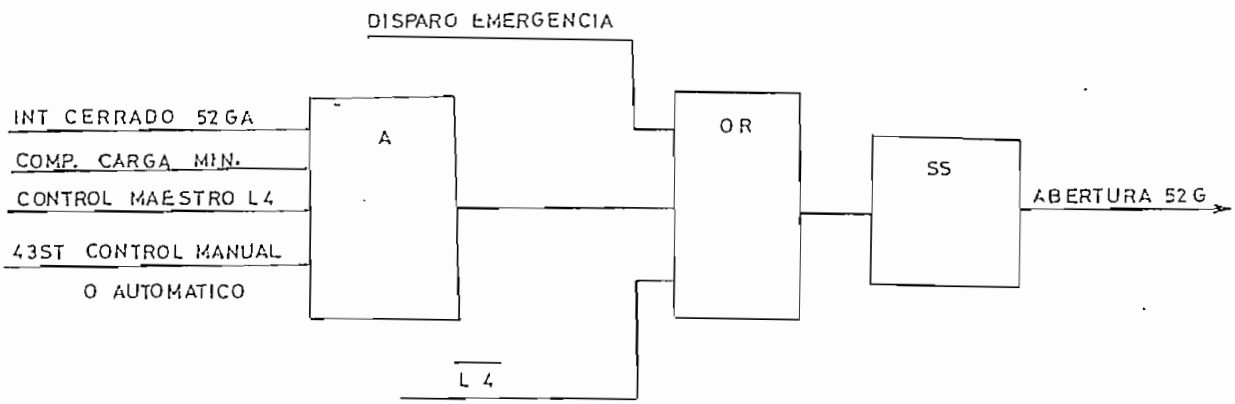
La condición de inicio de descarga es en este caso :

1.-Aceptación de la orden de parada normal

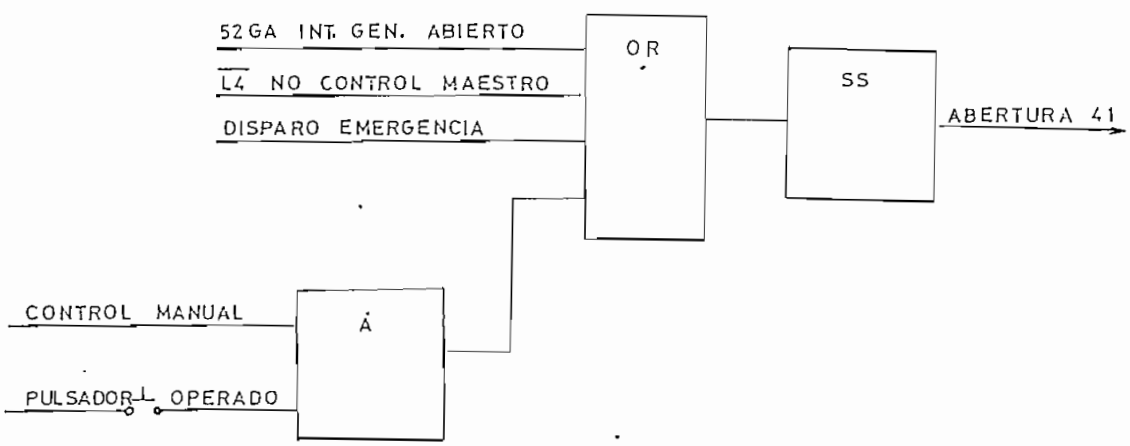
La condición inhibidora del proceso de descarga es :

1.-Carga de la unidad en este momento,igual o menor a la carga mínima.

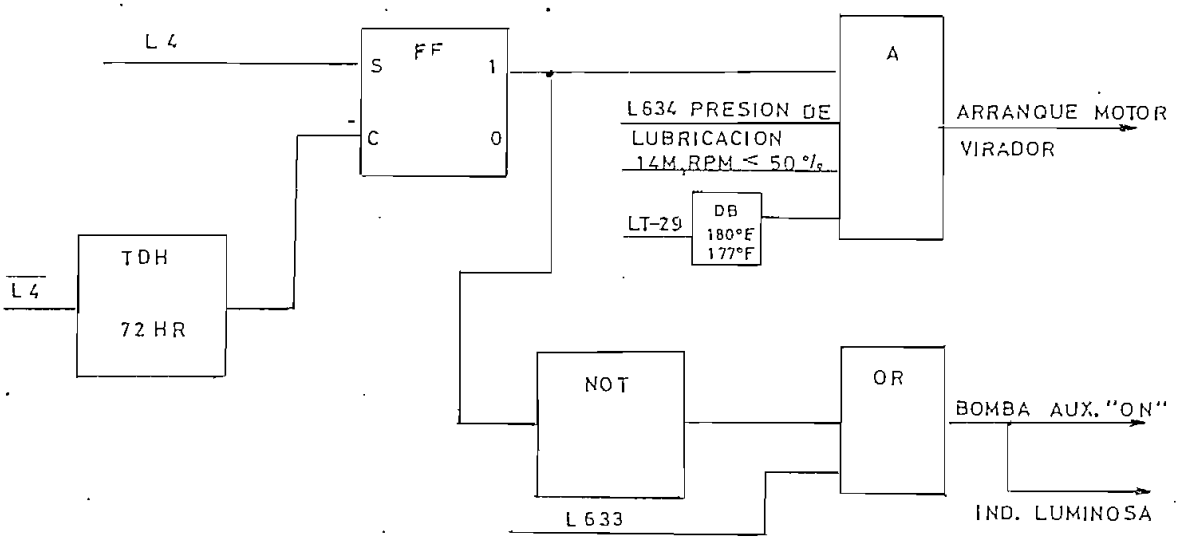
c.-Control de abertura de interruptor del generador para parada normal.-



d.-Control de abertura del interruptor de campo.-



e.-Control de bomba auxiliar de lubricación y motor virador durante la parada normal.-



Cuando la unidad se detiene se de-energiza el control maestro L4 produciendo la señal $\overline{L4}$ la cual energiza el temporizador TDH el cual después de 72 horas genera una señal de despeje del bloque FF que detiene el motor virador, aunque se mantiene en operación la bomba de aceite lubricante mediante el sistema NOT-OR y el relé de presión L633 .

3.3.2.- Parada de Emergencia.-

Esta condición de operación se puede obtener de dos maneras :

a.-Operación manual de los pulsadores respectivos

b.-Por la detención a través de los dispositivos de protección de cualquier mala condición de operación.

a.- Selección Manual de la "Parada de Emergencia".-
Una vez que el operador ha detectado cualquier mala operación de la unidad y si a pesar de que implicando esta un riesgo de operación no la han detectado los dispositivos de protección respectivos,el operador puede presionar los pulsadores para selección de orden de "Parada de Emergencia",los cuales se encuentran tanto en el panel principal de control como también en el gabinete de medidas de presión.

b.- Operación Automática de los dispositivos de protección
En este caso la selección de la protección se realiza mediante cualquiera de los dispositivos de protección sean estos de turbina,generador o determinados auxiliares.
En cualquiera de los dos casos la selección de la "Parada de Emergencia" desarrolla las siguientes funciones :

1.- Se abre el interruptor del generador (52G),con la respectiva indicación luminosa

2.-Se abre el interruptor de campo (41),conla respectiva

indicación luminosa.

3.-Se cierra completamente el paso de combustible

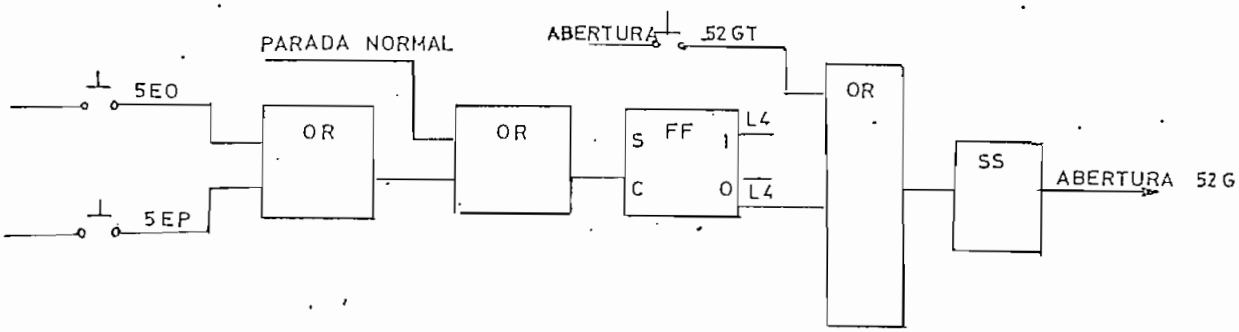
4.-Abertura de las válvulas de aislamiento del compresor

5.-La turbina es desacelerada inmediatamente

6.-La secuencia de operación del motor virador continúa

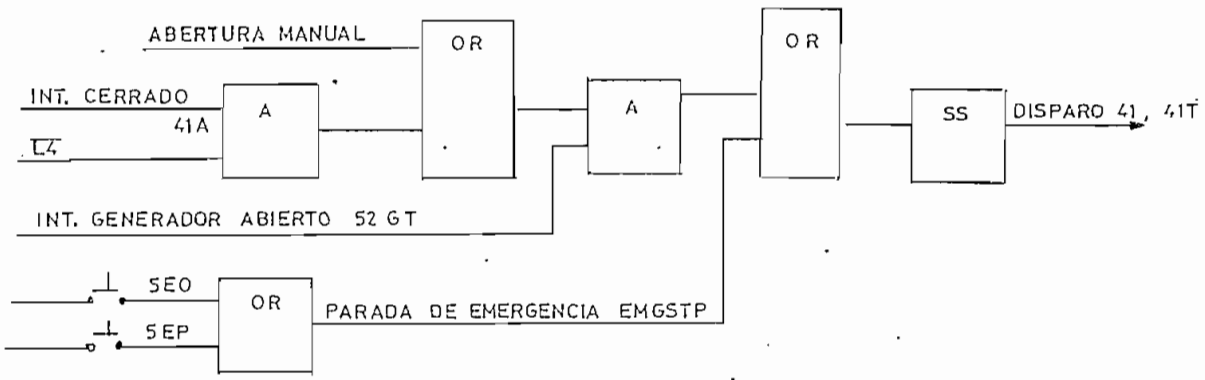
3.3.2.1.- Diagrama de Control durante la Parada de Emergencia.-

a.- Abertura del Interruptor del Generador (52G).-



La operación de cualquiera de los pulsadores de "Parada de Emergencia", en el panel principal de operación (5EO) o en el panel de presiones (5EP), al igual que la señal final de "Parada Normal", despejan el bloque FF que crea L4 obteniéndose la señal contraria $\overline{L4}$, la cual al igual que la orden directa de abertura del interruptor 52 (52GCT) envían la orden al bloque de disparo unitario SS, para abertura del disyuntor 52G.

b.- Abertura del Interruptor de Campo 41.-



Comparativamente con el sistema de disparo manual del interruptor de campo, el sistema automático posee dos alternativas de abertura del interruptor. La primera es con la señal del interruptor de campo cerrado (41A), el control maestro desconectado $\overline{L4}$ y la señal de abertura del interruptor del generador 52GT. La otra posibilidad es solamente con la pulsación directa de los selectores de parada de emergencia 5EO y 5EP.

c.-Corte de combustible y abertura de válvulas de aislamiento del compresor.-

La orden de corte de combustible y abertura de válvulas del compresor proviene directamente del computador el momento que se acepta la orden de parada y se tiene la señal de abertura del disyuntor del generador 52G.

3.4.- Comentarios.-

El análisis realizado en este capítulo,es el estudio más importante en el entendimiento de la operación de la unidad,ya que conociendo todos los procedimientos analizados se puede sacar importantes deducciones acerca de la solvencia y eficiencia de funcionamiento de los sistemas principales de control.

Mediante el conocimiento pleno de cada una de las funciones secuenciales en la colocación en servicio de la unidad,desde la preparación para el arranque,hasta los diferentes métodos de asimilación de carga,tanto el ingeniero de operación y mantenimiento,así como el personal de operadores podrán comprobar en forma rápida y eficiente la correcta operación de cada uno de los diferentes dispositivos de control y el cumplimiento de las funciones en cada bloque principal de supervisión.

En igual forma,en caso de falla e incumplimiento de la secuencia de control,se podrá fácilmente comprobar y determinar la mala operación de cualquier dispositivo o función que impiden que la continuación de los diferentes procedimientos de control puedan completarse,llegando de esta manera a realizar rápidas reparaciones que implican una gran disminución del tiempo de paro forzado,incrementando el factor de disponibilidad de la unidad.

Es necesario indicar que el conocimiento eficiente del funcionamiento de todos los bloques de control demanda el ple-

no conocimiento de los sistemas mecánicos y eléctricos de la unidad,así como también de la filosofía de control de este tipo de unidades,sus factores limitantes y su gran facilidad de operación.

De acuerdo a la experiencia lograda en 8.000 horas de operación de la unidad,se ha determinado que el sistema de funciones lógicas ha demostrado gran eficiencia y confiabilidad,los elementos limitantes en el desarrollo y cumplimiento de los diferentes procesos como son secuencia de arranque,operación con determinada carga,protección de la turbina,etc.,han sido siempre los elementos electromecánicos y electrónicos de control que por su propia naturaleza y debido a las fallas propias del uso envían señales y parámetros equivocados que impiden la complementación adecuada de la realización de una función y la consiguiente imposibilidad de desarrollar un proceso de operación,entre los casos más frecuentes de falla de dispositivos de detección podemos citar : termocuplas abiertas,mala operación de relés de presión,detectores de vibración,transductores,botones pulsadores,reguladores,etc.

La preparación técnica del personal de operación en la cual se debe incluir la capacidad de analizar los diagramas lógicos desarrollados en este capítulo,permitirá determinar rápidamente el origen de fallas que impidan desarrollar algún procedimiento de operación,disminuyendo considerablemente el tiempo durante el cual la unidad no está disponible de ser operada.

CAPITULO 4.-

OPERACION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION DE LA UNIDAD.-

Una vez descritos los aspectos de operación y control de la unidad operada con turbina a gas,a continuación se analizará la parte correspondiente a protección en base al siguiente orden :

4.1.- Sistemas de detección,anunciación y alarma.
4.2.- Protección de la turbina y compresor.
4.3.- Protección del generador.
4.4.- Protección de la turbina en conjunto.

4.1.- Sistemas de Detección,Anunciación y Alarma.-

4.1.1.- Sistemas de Detección.-

Se entiende por sistemas de detección a todos los dispositivos y accesorios que colocados en los diferentes sistemas de operación envían al procesador central los datos de los procedimientos de operación en curso.
Los sistemas de detección pueden ser :
Relés de operación,detectores de temperatura ,termocupla, transductores,los posicionadores o indicadores de posición de válvulas y diferentes tipos de detectores.
Cada uno de los dispositivos de detección se encuentran clasificados en la tabla 1.7-1.

4.1.2.- Sistemas de Anunciación.-

Se denominan sistemas de anunciación o anunciadores a los indicadores; sean luminosos o sonoros que informan al operador que cualquiera de los elementos de protección tanto preventivos como de disparo de la unidad han sido accionados durante una operación anormal de los sistemas.
Todos los sistemas de anunciación se encuentran colocados en la consola principal de control, el tablero de control del LMC y toda la información de falla es transmitida al operador mediante la impresión escrita en el teletipo impresor.
Este sistema de indicación fue analizado en la descripción correspondiente de las consolas de operación y teletipo impresor.

4.1.3.- Alarmas.-

En los sistemas de control y protección, se entiende por alarma toda aquella indicación que no causa paro de la unidad en servicio.

a.- Niveles de Alarma y Disparo.-

a.1.- Vibración

VB1.- Compresor		Alarma	Disparo
	Velocidad 95%	5 mil	5 mil
	Velocidad 95%	3 mil	3 mil

VB2.- Turbina	Alarma	Disparo
Velocidad 95%	5 mil	5 mil
Velocidad 95%	3 mil	3 mil
VB3.- Generador Lado de Excitación.	Alarma	Disparo
Velocidad 95%	5 mil	5 mil
Velocidad 95%	3 mil	3 mil
VB4.- Generador Lado de Turbina.	Alarma	Disparo
Velocidad 95%	5 mil	5 mil
Velocidad 95%	3 mil	3 mil

a.2.- Cojinetes y Aceite Lubricante.-

LT-17, Drenaje, cojinete. Reductor del generador. Lado Turbina	Alarma 174°F	Disparo 180°F
LT-18 Drenaje, cojinete. Reductor del generador. Lado Turbina	Alarma 174°F	Disparo 180°F
LT-19 Drenaje, cojinete. Lado generador. Reductor de la Turbina	Alarma 174°F	Disparo 180°F

LT-20	Alarma	Disparo
Drenaje.Piñón reductor Turbina-Generador	194°F	200°F
LT-21	Alarma	Disparo
Drenaje,cojinete.Lado Turbina.Reductor de a Turbina.	174°F	180°F
LT-22	Alarma	Disparo
Magnolia del cojinete del Compresor	224°F	230°F
LT-23	Alarma	Disparo
Magnolia del cojinete de empuje del Compresor	224°F	230°F
LT-24	Alarma	Disparo
Magnolia de cojinete guía de la Turbina	224°F	230°F
LT-25	Alarma	Disparo
Drenaje.Cojinete del Generador.Lado de Turbina	164°F	170°F

LT-26	Alarma	Disparo
Drenaje.Cojinete del Generador.Lado de Excitación.	164°F	170°F

a.3.- Termocuplas en cavidades de discos de álabes estacionarios.-

DC 1-1	Alarma	Disparo
Mitad superior.Fila 1	>525°F(1T/C)	>525°F(2T/C)
DC 1-2	Alarma	Disparo
Mitad superior.Fila 2	>525°F(1T/C)	>525°F(2T/C)
DC 2-1	Alarma	Disparo
Mitad superior.Fila 2	>600°F(1T/C)	>600°F(2T/C)
DC 3-1	Alarma	Disparo
Mitad superior.Fila 3	>600°F(1T/C)	>600°F(2T/C)
DC 3-2	Alarma	Disparo
Mitad superior.Fila 3	>600°F(1T/C)	>600°F(2T/C)

a.4.- Etapa de Paletas LT-1 a LT-8

1.- Alarma y disparo, si el promedio de temperatura de etapa de álabes es mayor de 125°F sobre la temperatura de referencia — 1T/C > 100°F del promedio en modo 3 ó 4 ó 500°F en modo 0,1,2

2.- Alarma y disparo cuando la temperatura absoluta de cualquier álabe es mayor de 1350°F.

a.5.- Termocuplas de Escape LT-9 a LT-16

1.- Alarma y disparo, si el promedio de temperaturas de escape es mayor de 125°F sobre el valor de referencia. — 1T/C > 100°F del promedio en modo 3 ó 4 ó 500°F en modo 0,1,2.

2.- Alarma y disparo, excepto en modo 1, si la temperatura absoluta en el escape es mayor de 1070°F.

a.6.- Temperatura del cuarto de control.-

	Alarma	Disparo
LT-34	117°F	122°F

a.7.- Temperatura de combustible (Bomba de succión).-

	Alarma	Disparo
LT-35	150°F	150°F

a.8.- Temperatura del metal de soporte del piñón reductor.-

	Alarma	Disparo
LT-36	LT-36 > 65°F de LT-33	LT-36 > 65°F de LT-33

a.9.- Detectores de fuego.-

Alarma	Disparo
450°F	450°F

a.10.- Relé detector de voltaje contínuo de control.-

Alarma	Disparo
105 VDC	105 VDC

b.- Descripción de Alarmas.-

El sistema de control posee una capacidad de 84 alarmas las cuales se describen a continuación :

b.1.- Alarma 1,2,3,4,.-

Impresión : Llama 6 A Llama 7 A
Llama 6 B Llama 7 B

Descripción :

1.- Detección de llama si la velocidad de la turbina es menor del 10%.

2.- Prevención de arranque si se detecta llama en los combustores si la presión en la cámara combustora es menor a 22" de agua.

3.- Pérdida de llama después de 35 segundos del período de encendido.

b.2.- Alarma 5.-

Impresión : Corte de llama

Descripción : Alarma y disparo si los dos detectores de llama en cada combustor detecta pérdida de llama después de 35 segundos de período de encendido.

b.3.- Alarma 6.-

Impresión : Termocupla abierta

Descripción : Alarma si cualquier circuito de termocupla se detecta abierto excepto en las de escape LT-9 a LT-16 y de paletas LT-1 a LT-8

b.4.- Alarma 7.-

Impresión : Chequeo 3

Descripción : Alarma y disparo si en ausencia de "Detención 5",el tiempo entre el encendido y el alcance del 60% de velocidad es mayor de 420 segundos

b.5.- Alarma 8.-

Impresión : Chequeo 1

Descripción : Alarma y disparo si en ausencia de "Detención 1 y 2",el tiempo entre la iniciación del arranque y la velocidad de encendido es mayor de 200 segundos.

b.6.- Alarma 9.-

Impresión : Chequeo 4

Descripción : Alarma y disparo si en ausencia de "Detención 5", el tiempo entre el 50% y el 78% de velocidad es mayor de 240 segundos.

b.7.- Alarma 10.-

Impresión : Termocupla de escape

Descrición : Alarma si cualquier termocupla de paletas LT-1 a LT-8 o de escape LT-9 a LT-16 indica 100°F sobre el promedio.

b.8.- Alarma 11.-

Impresión : Termpcupla 28, baja

Descripción : Alarma y prevención de arranque si la temperatura del reservorio de aceite detectada por LT-28 es menor de 67°F.

b.9.- Alarma 12.-

Impresión :63-6 alta

Descripción : Alarma y prevención de arranque si el relé de presión 63-6 detecta la presión de descarga del compresor sobre 22 pulgadas de agua después de 15 minutos del disparo.

b.10- Alarma 13.-

Impresión : 69 SR PERM

Descripción : Alarma y prevención de arranque si el interruptor de seguridad se encuentra en posición incorrecta.

b.11.- Alarma 13.- Sin aplicación.

b.12.- Alarma 14.-

Impresión : Velocidad alta-baja

Descripción : Alarma y prevención de arranque, si la señal de demanda de combustible (CSO) es positiva y la velocidad está sobre el 25% o menos del 0% o si las medidas de velocidad del canal principal y secundario son diferentes en más del 5%.

b.13.- Alarma 15.-

Impresión : 43 MCCPM

Descripción : Alarma y prevención de arranque si cualquier interruptor del control de motores se encuentra en posición incorrecta.

b.14.- Alarma 16.-

Impresión : 43 PSGPM

Descripción : Alarma y prevención de arranque si cualquiera de los interruptores selectores en el gabinete de manómetros se encuentra en la posición incorrecta.

b.15.- Alarma 17.-

Impresión : 41 ACLO

Descripción : Alarma y prevención de arranque si el interruptor de campo del generador es detectado cerrado a velocidad menor al 70%.

b.16.- Alarma 18.-

Impresión : BL SPRED

Descripción : Alarma si la temperatura detectada entre los valores máximo y mínimo de una termocupla es mayor a 30°F, en la etapa de paletas.

b.17.- Alarma 19.-

Impresión : Disparo por vibración

Descripción : Alarma y disparo si cualquiera de los cuatro detectores, detecta valores de amplitud de vibración mayores de los establecidos.

b.18.- Alarma 20.-

Impresión : Falla 70 AP

Descripción : Alarma y prevención de arranque si el reóstato 70 del regulador de voltaje del generador no ha regresado a la posición pre-establecida, luego de un minuto de disparo.

b.19.- Alarma 21.- No tiene aplicación.

b.20.- Alarma 22.- No tiene aplicación.

b,21.- Alarma 23.-

Impresión : Válvula aislante 1 del compresor, abierta.

Descripción : Alarma si el relé de presión 63-31 detecta abierta la válvula aisladora N°1 del compresor.

b.22.- Alarma 24.-

Impresión : Válvula aislante del compresor, abierta.

Descripción : Alarma si el relé 63-82 detecta abierta la válvula aisladora N.2 del compresor.

b.23.- Alarma 25.- Nó tiene aplicación.

b.24.- Alarma 26.-

Impresión : Tierra en 48 voltios

Descripción : Alarma si se detecta conexión a tierra del sistema de control a 48 voltios.

b.25.- Alarma 27.-

Impresión : Temperatura de paletas,27

Descripción : Alarma y disparo si el promedio de temperatura de paletas es mayor de $80^{o}F$ del de referencia LT-1 a LT-8.

b.26.- Alarma 28.-

Impresión : Temperatura de escape,26

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura de escape es mayor de $125^{o}F$ sobre la temperatura de referencia.

b.27.- Alarma 29.-

Impresión : Lubricación 63-1

Descripción : Alarma y disparo si la presión de alimentación de aceite a cojinetes es detectada bajo 10 lb/plg^2 por el relé 63-1,luego de 30 segundos después de arranque.

b.28.- Alarma 30.-

Impresión : Sobre-velocidad 63-7

Descripción : Alarma y disparo si la presión de disparo por sobre-velocidad es menor de 57 lb/plg^2 después de 60 segundos de haberse operado las válvulas solenoides.

b.29.- Alarma 31.-

Impresión : 27D,bajo

Descripción : Alarma y disparo si la salida del cargador de baterías es detectada bajo 105 voltios por el relé 27D.

b.30.- Alarma 32.-

Impresión : Aire LT-27

Decsripción : Alta temperatura en el aire de enfriamiento de la turbina,detectada por LT-27.

b.31.- Alarma 33.-

Impresión : VB4 GNO

Descripción : Alarma si en el cojinete 4,en el generador se detecta una vibración de 5 mils., a velocidad menor de 95% y sobre 3 mils a alta velocidad.

b.32.- Alarma 34.-

Impresión : VB3 GNL

Descripción : Similar a la alarma 33 pero en el cojinete 3.

b.33.- Alarma 35.-

Impresión : Alarma Fuego

Descripción : Alarma y disparo si los termostatos FR-1 y FR-2 sensan temperatura sobre 450°F en el cubículo del cojinete de escape.

b.34.- Alarma 36.-

Impresión : 63-9LO

Descripción : Alarma y disparo en cualquier momento que la presión de succión de la bomba principal de combustible cae bajo 13 pulgadas de mercurio, después de 29 segundos de arranque.

b.35.- Alarma 37.-

Impresión : No virador

Descripción : Alarma y disparo si durante el arranque siendo la velocidad menor a 10% no está energizado el motor virador, en igual forma durante la parada hasta el final del período de 72 horas.

b.36.- Alarma 38.-

Impresión : Dispositivo de arranque

Descripción : Alarma y disparo si los auxiliares fallan o si se detiene el paquete de arranque y la velocidad es menor al 50%.

b.37.- Alarma 39.-

Impresión : 63-21.Bajo.

Descripción : Alarma si la alimentación de aire al gabinete de manómetros es menor de 95 lb/plg^2 detectado por el relé 63-21.

b.38.- Alarma 40.-

Impresión : 27DC.Bajo

Descripción : Alarma y disparo si la alimenta - ción de corriente contínua para la bomba auxiliar de aceite lubricante es detectado menor a 75 voltios por el relé 27 DC, antes del 95% de la velocidad.

b.39.- Alarma 41.-

Impresión : BL VL CL

Descripción : Alarma y disparo si cualquiera de las válvulas aisladoras del compresor son detectadas cerradas antes del 62% de velocidad.

b.40.- Alarma 42.-

Impresión : Falla de AI

Descripción : Falla en la calibración de las entradas analógicas.

b.41.- Alarma 43.-

Impresión : F OIL HI

Descripción : Alarma si el relé 63-FD detecta sobre presión en las toberas inyectoras de combustible.

b.42.- Alarma 44.-

Impresión : 63-9D LO

Descripción : Alarma y disparo durante el giro si la presión de combustible es detectada menor de 23 lb/pulg^2, mediante el relé 63-9D.

b.43.- Alarma 45.-

Impresión : VB 2 TURB

Descripción : Alarma y disparo si en el cojinete de escape la vibración es mayor de 5 mils a 95% de velocidad y sobre 3 mils a mayor velocidad.

b.44.- Alarma 46.-

Impresión : VB 1 COMP

Descripción : Alarma y disparo si en el cojinete del compresor la vibración es mayor de 5 mils a 95% de velocidad y sobre 3 mils a mayor velocidad

b.45.- Alarma 47.-

Impresión : 63-10 LO

Descripción : Alarma y disparo si la presión de aire de entrada al compresor es detectada menor a 5.0 pulgadas de agua de vacío mediante el relé 63-10.

b.46.- Alarma 48.-

Impresión : 711 LO

Descripción : Alarma y disparo si el nivel detec-

tado por el relé 71-1 es bajo en el reservorio de aceite.

b.47.- Alarma 49.-

Impresión : LT-29 HI

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura en el reservorio de aceite es mayor de 140°F detectada por la termocupla LT-29.

b.48.- Alarma 50.-

Impresión : 63 11 LO

Descripción : Alarma y disparo si la presión de aire de control es detectada menor de 55 lb/pulg^2, mediante el relé 63-11.

b.49.- Alarma 51.-

Impresión : DC 1 ALM.

Descripción : Alarma si la temperatura en las cavidades de etapa 1 de álabes fijos es detectada sobre 525°F por la termocupla DC-1 ó DC 1-2.

b.50.- Alarma 52.- Sin aplicación..

b.51.- Alarma 53.-

Impresión : DC 2 ALM.

Descripción : Alarma si la temperatura en las cavidades de etapa 2 de álabes es detectada sobre 600°F por las termocuplas DC2-1 ó DC2-2.

b.52.- Alarma 54.-

Impresión : BRG SHDN

Descripción : Alarma y disparo si las termocu - plas en cualquier cojinete es mayor de $6^{o}F$ sobre el punto de calibración.

b.53.- Alarma 55.-

Impresión : DC 3 ALM.

Descripción : Alarma si la temperatura en las cavidades de la etapa 3 de álabes estacionarios es mayor de $600^{o}F$ y disparo si la temperatura detectada en ambas termocuplas es mayor de $750^{o}F$ en termocuplas DC 3-1 ó DC 3-2.

b.54.- Alarma 56.-

Impresión : GEN RTD

Descripción : Alarma si cualquiera de los detectores de temperatura del estator del generador sensa $120^{o}C$ ó más.

b.55.- Alarma 57.-

Impresión : RC 1 ALM.

Descripción : Alarma si una de las termocuplas RC1 ó RC2 del tubo-torque indica sobretemperatura Disparo si ambos indican sobretemperatura.

b.56.- Alarma 58.-

Impresión : LT 34 HI

Descripción : Alarma si la temperatura en el gabinete de control está sobre 122°F.

b.57.- Alarma 59.-

Impresión : XMR G1

Descripción : Alarma y disparo del generador por elevación de presión de aire, alta temperatura de aceite, bajo nivel de caeite y otros dispositivos de protección del transformador.

b.58.- Alarma 60.-

Impresión : F PMP XR

Descripción : Alarma si la bomba de combustible a corriente contínua es accionada debido a baja presión detectada por el relé 63-9 DT.

b.59.- Alarma 61.- Sin aplicación.

b.60.- Alarma 62.-

Impresión : INV ALM.

Descripción : Alarma si la alimentación al invertidor es transferida a la fuente alterna debido a que la salida de baterías es menor a 105 voltios.

b.61.- Alarma 63.- Sin aplicación.

b.62.- Alarma 64.-

Impresión : REG TRIP

Descripción : Alarma y disparo del regulador de tensión si el relé 60 de balance de fases opera por el disparo de uno de los fusibles de los transformadores de tensión.

b.63.- Alarma 65.-

Impresión : LT 36-33

Descripción : Alarma si la temperatura del metal soporte del piñón reductor detectada por la ter - mocupla LT-36 es mayor de 65°F sobre la entrada de aire al compresor.

b.64.- Alarma 66.-

Impresión : 81B-27B-GN

Descripción : Alarma y disparo del generador si la frecuencia del sistema es detectada bajo 59.5- cic/seg.,por el relé 81B,o si el voltaje del siste ma es detectado menor de 55 voltios por el relé 27B,o si se detecta conexión a tierra de la barra de 13.8 Kv por el relé 64B.

b.65.- Alarma 67.- Sin aplicación.

b.66.- Alarma 68.-

Impresión : GEN GR 2

Descripción : Alarma y disparo del generador debi

do a las siguientes fallas :

1.- Secuencia negativa

2.- Sobre-corriente del generador

3.- Tierra en el campo de la excitación

b.67.- Alarma 69.-

Impresión : GEN GR 1

Descripción : Alarma y disparo del generador por cualquiera de las siguientes fallas :

1.- Tierra en el generador

2.- Operación relé diferencial del generador

3.- Pérdida de campo

4.- Potencia inversa

b.68.- Alarma 70.-

Impresión GEN LOK

Descripción : Alarma y disparo del generador causada por cualquier falla de las indicadas anteriormente.

b.69.- Alarma 71.-

Impresión : LT-35 HIGH

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura del combustible en el lado de succión es detectada sobre 150°F por la termocupla LT-35.

b.70.- Alarma 72.-

Impresión : 27 A LO

Descripción : Alarma si se detecta pérdida de corriente alterna al cargador de baterías por el relé 27 A.

b.71.- Alarma 73.-

Impresión : 26 EA TMP

Descripción : Alarma y disparo excepto en el arranque, si la temperatura de escape se detecta sobre 1010°F.

b.72.- Alarma 74.-

Impresión : 26 BA TMP

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura en álabes de turbina es detectada sobre 1350°F.

b.73.- Alarma 75.-

Impresión : LT-26 HI

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura del aceite de drenaje en el cojinete del generador es mayor de 164°F, detectada por LT-26.

b.74.- Alarma 76.-

Impresión : LT-25 HI

Descripción : Alarma y disparo si la temperatura del aceite de drenaje en el cojinete del generador lado de turbina, es mayor de 164°F, detectada por LT-25.

b.75.- Alarma 77.-

Impresión : LT-24 HI

Descripción : Alarma si la temperatura en el cuerpo del cojinete de escape es detectada sobre 224°F por LT-24.

b.76.- Alarma 78.-

Impresión : LT-23 HI

Descripción : Alarma si la temperatura en el cuerpo del cojinete de empuje es mayor de 224°F, detectada por LT-23.

b.77.- Alarma 79.-

Impresión : LT-22 HI

Descripción : Alarma si la temperatura en el cuerpo del cojinete guía del compresor es mayor a 224°F, detectada por LT-22.

b.78.- Alarma 80.-

Impresión : LT-21 HI

Descripción : Alarma si la temperatura de drenaje en el piñón es mayor de 174°F, detectada por LT-21.

b.79.- Alarma 81.-

Impresión : LT-20 HI

Descripción : Alarma si la temperatura de drenaje en el reductor principal es mayor de 194°F, detectada por LT-20.

b.80.- Alarma 82.-

Impresión : LT-19 HI

Descripción : Alarma si la temperatura de drenaje del cojinete del reductor, lado generador, es mayor de 174°F detectada por LT-19

b.81.- Alarma 83.-

Impresión : LT-18 HI

Descripción : Alarma si la temperatura del drenaje del cojinete del reductor, lado turbina es mayor de 174°F detectada por LT -18.

b.82.- Alarma 84.-

Impresión : LT-17 HI

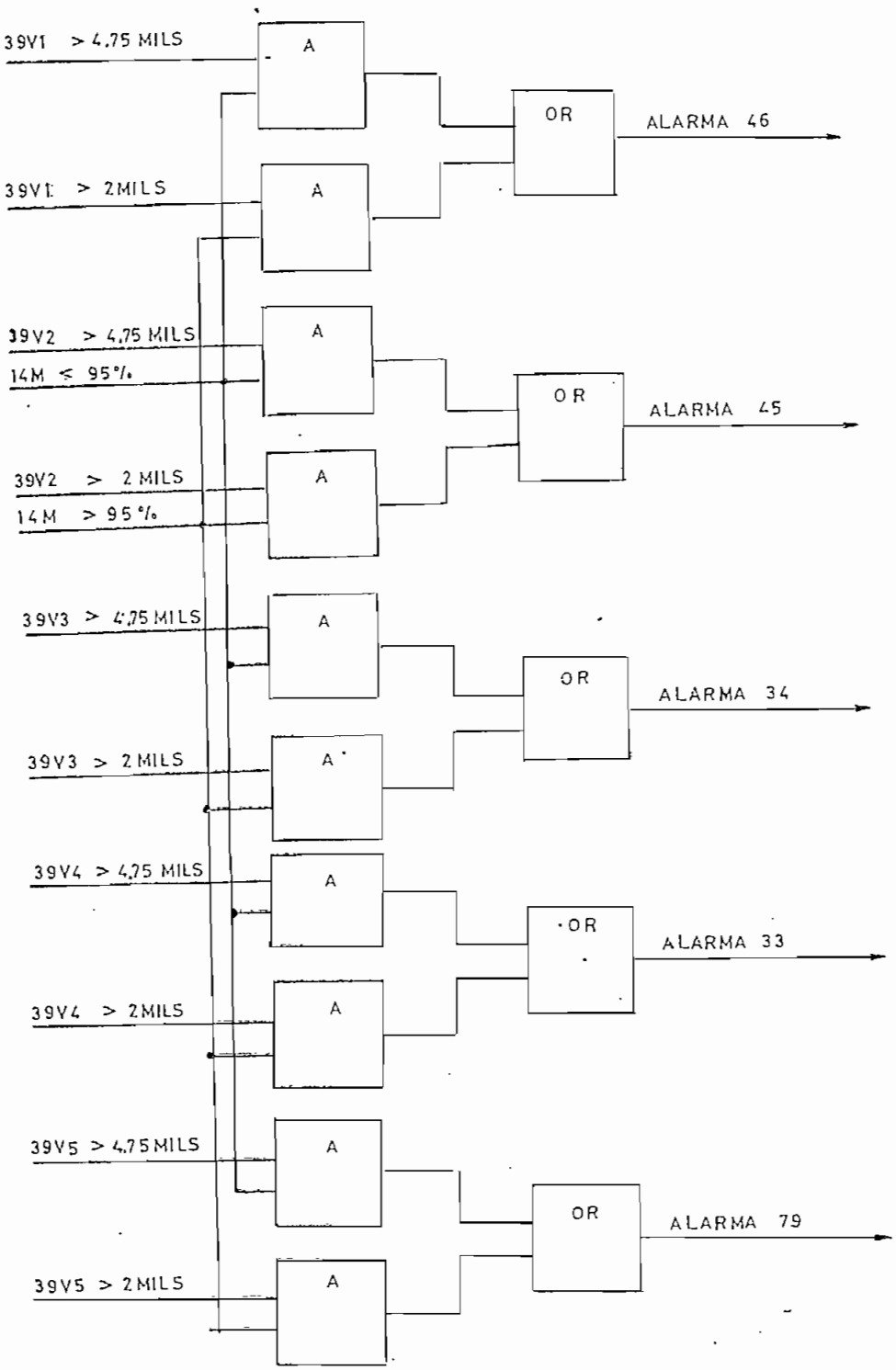
Descripción : Alarma si la temperatura de drenaje del cojinete del reductor de la turbina, lado generador es mayor de 174°F, detectada por LT-17

4.2.- Protección de la Turbina.- Diagramas Lógicos de Operación.-

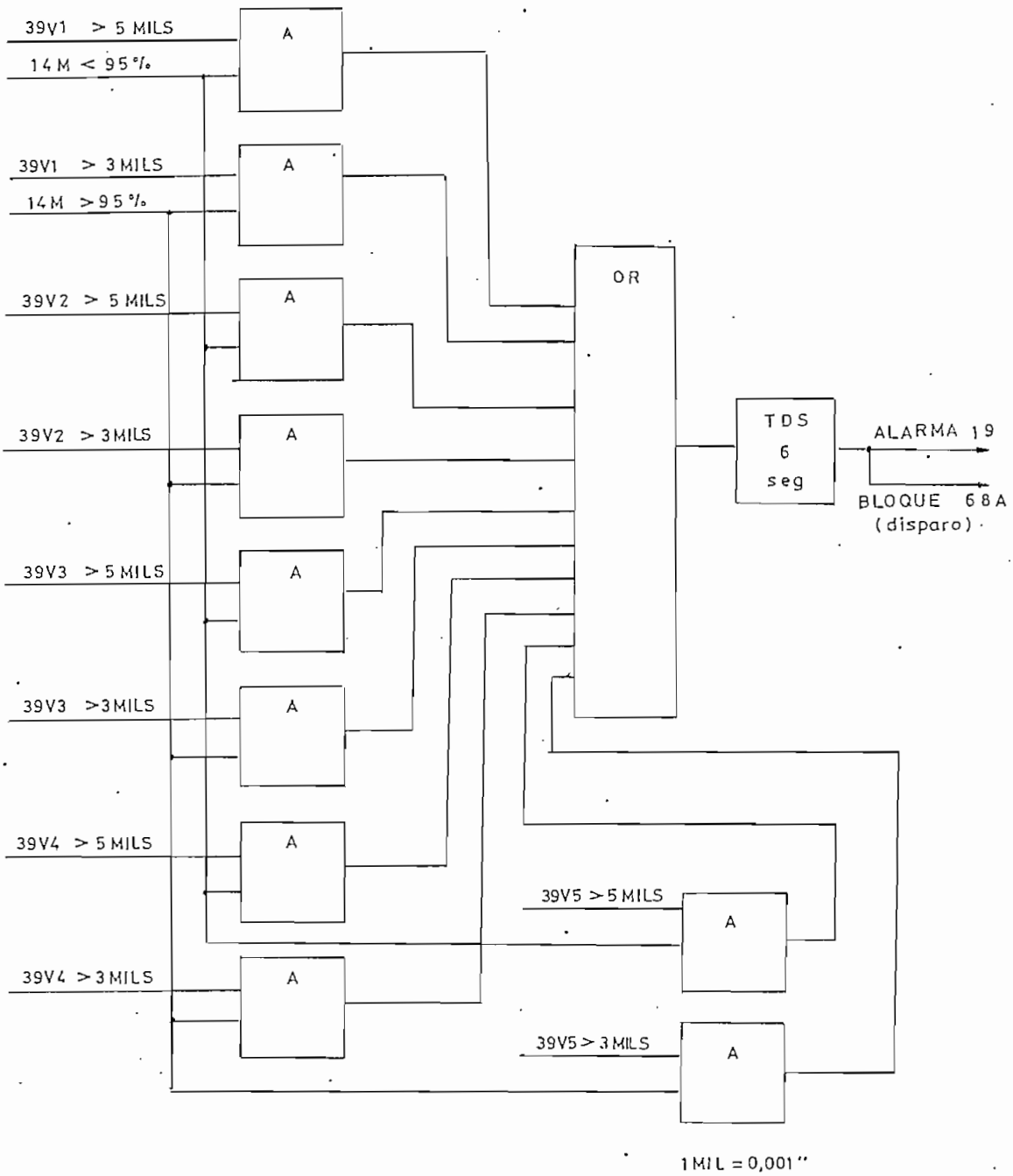
Una vez que se han descrito los sistemas de detección calibración, niveles dealarma y disparo de las protecciones de la turbina, a continuación se desarrollarán los diagramas de secuencia lógica de operación de las protecciones de la turbina considerada independientemente.

4.2.1.- Vibración:-

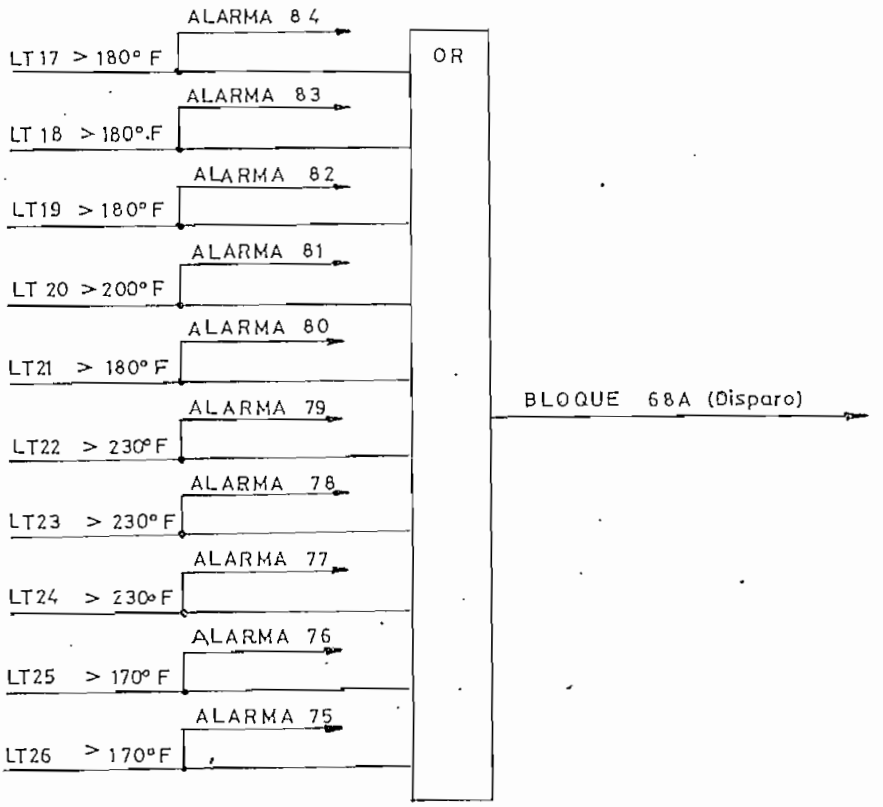
a.- Secuencia de alarma.-



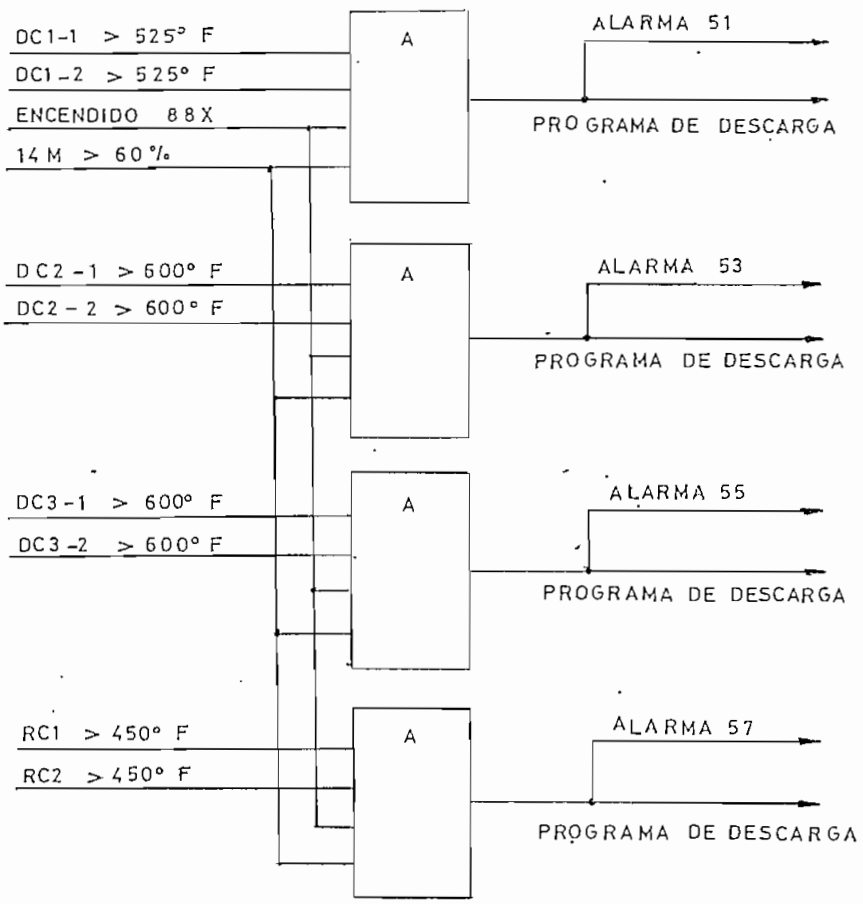
b.- Secuencia de disparo.-



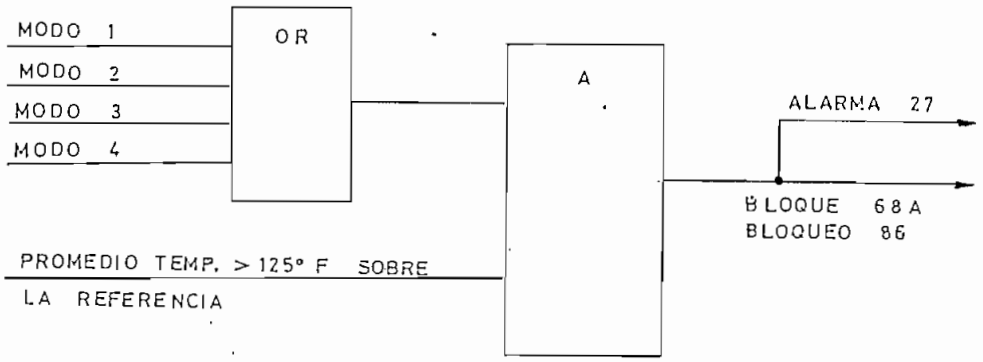
4.2.2.- Temperatura de cojinetes y aceite lubricante.-

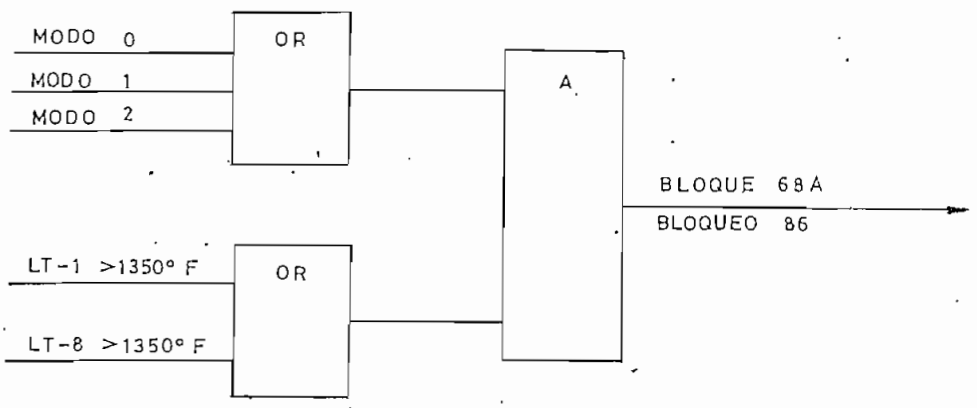


4.2.3.- Temperatura en cavidades de álabes estacionarios y aire de enfriamiento en el rotor.

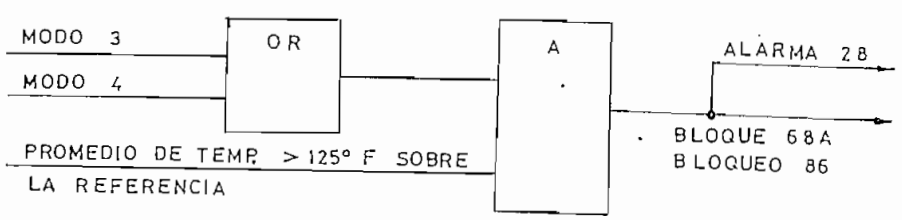


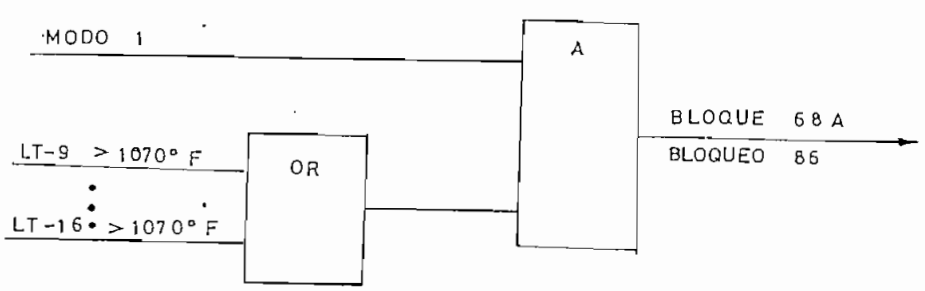
4.2.4.- Temperatura de álabes (LT-1 a LT-8).



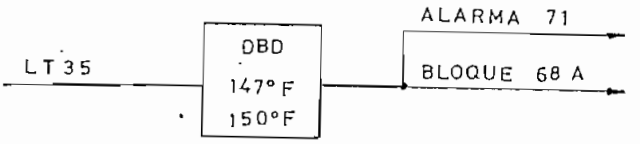


4.2.5.- Temperatura de Escape (LT-9 a LT-16)

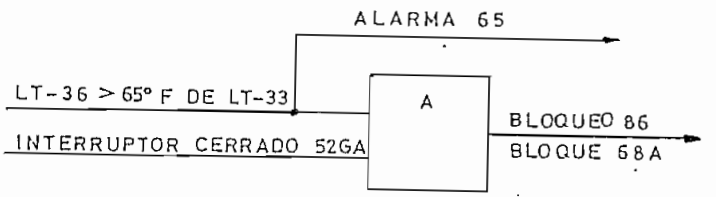




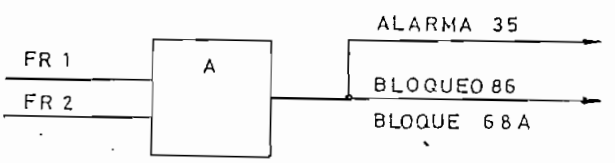
4.2.6.- Temperatura del combustible, bomba de succión.-



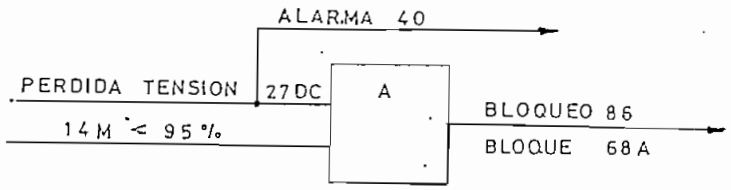
4.2.7.- Temperatura del metal soporte del piñón reductor.-



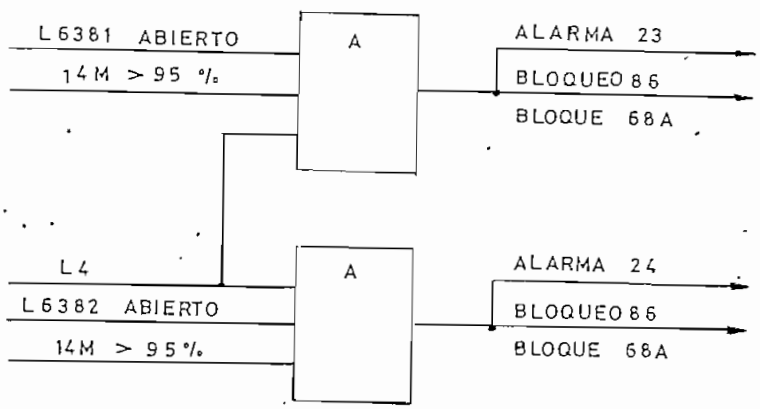
4.2.8.- Detección de fuego.-



4.2.9.- Control de bajo voltaje de tensión contínua.-



4.2.10.- Válvulas aisladoras del compresor.-



4.2.11.- Programa de Descarga.-

El sistema de programación para protección de la turbina presenta la opción de disminuir la carga de la unidad en el momento que la temperatura en el interior o cavidades de los álabes estacionarios sobrepasan los valores límites establecidos. (Item 4.2.3.)

Durante esta condición la unidad es descargada automáticamente por el computador sin que el operador pueda impedir el procedimiento.Cuando la unidad ha llegado al valor de carga mínima aproximadamente el 10% del valor de carga base,existen dos opciones de control posterior :

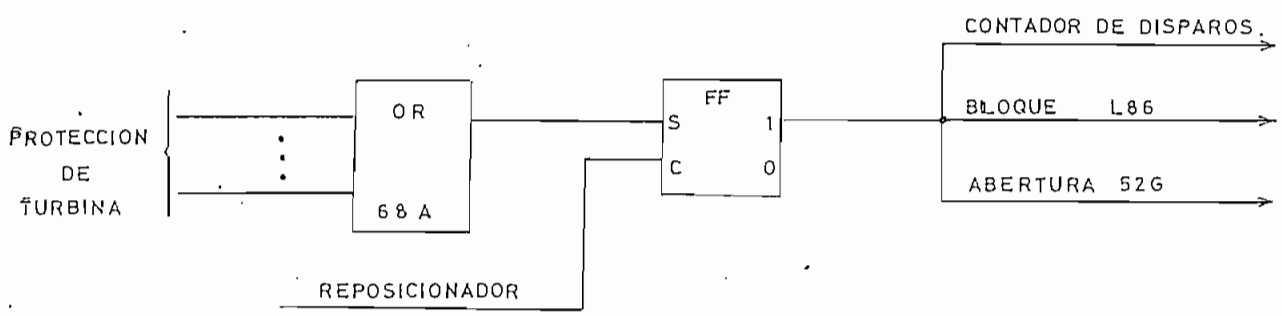
a.- Si la selección de carga se encuentra en "Carga Base" el controlador luego de permanecer un tiempo prudencial en carga mínima con el objeto de lograr una mayor refrigeración,incrementará nuevamente el valor de la carga hasta el valor seleccionado de carga base.

b.- Si el selector de carga se encuentra en "Carga Mínima",el controlador mantiene a la unidad operando en carga mínima,hasta que el operador incremente gradualmente la carga de la unidad.

De acuerdo con el tipo de operación del sistema de la Empresa Eléctrica "Quito",que no permite variaciones bruscas de grandes cargas,el procedimiento más apropiado en estos casos es seleccionar durante la descarga el pulsador de "Car

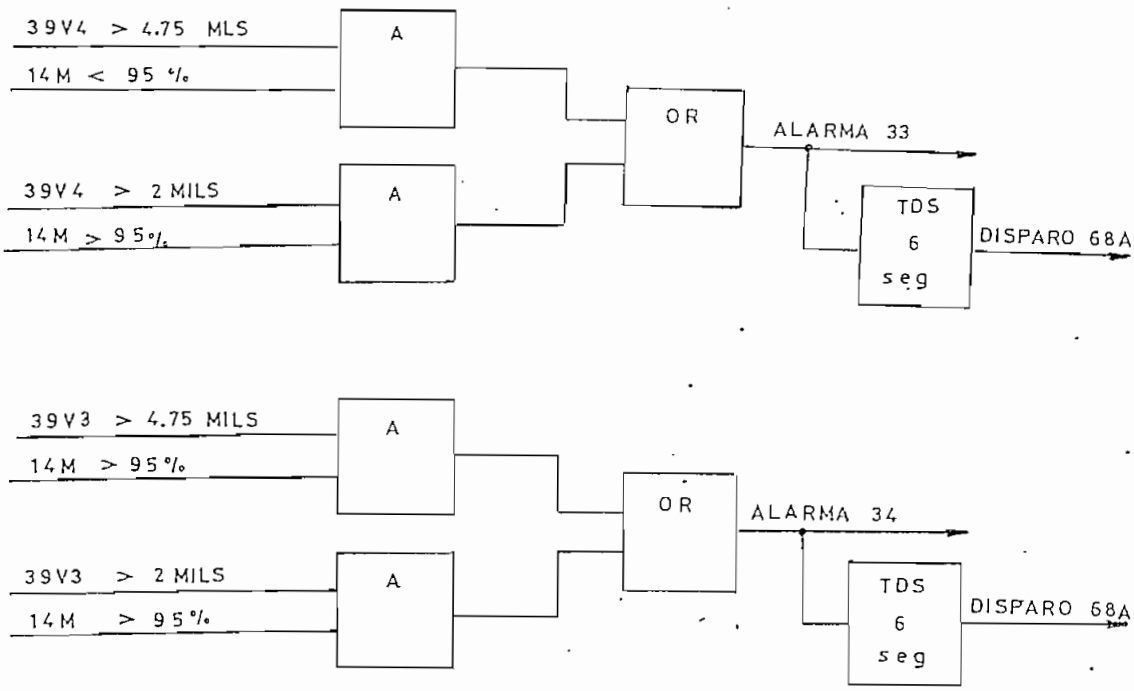
ga Mímina" y luego cuando se ha logrado una temperatura apropiada incrementar gradualmente la carga de la unidad , permitiendo controlar los niveles de temperatura que va alcanzando la unidad y al mismo tiempo dar mayor operabilidad al sistema en la transferencia de carga desde las otras centrales de generación.

4.2.12.- Disparo y bloqueos de la unidad.-



4.3.- Protección del Generador.-

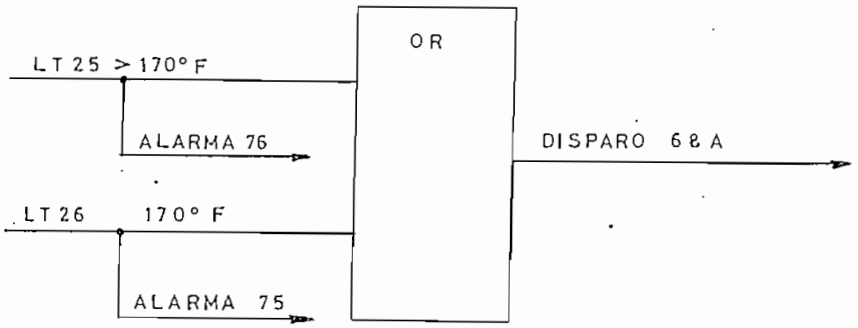
4.3.1.- Vibración. Cojinetes del Generador.-



39V3 = Sistema detector de vibración en cojinete del generador, lado de excitación.

39V4 = Sistema detector de vibración en cojinete del generador, lado turbina.

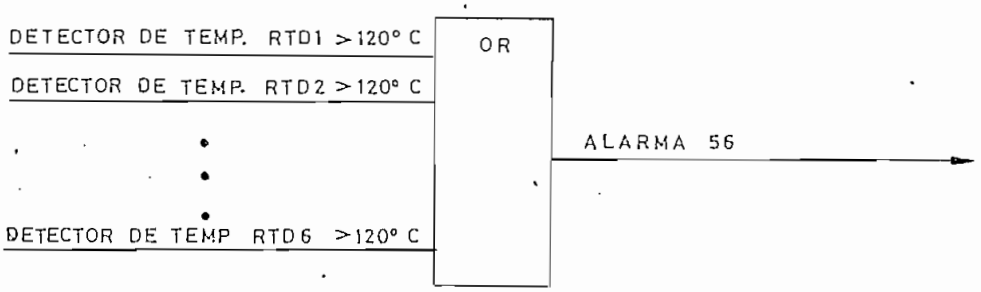
4.3.2.- Temperatura de aceite lubricante en cojinete del Generador.-



LT 25 = Termocupla en el drenaje de aceite del cojinete del generador, lado de turbina.

LT 26 = Termocupla en el drenaje de aceite del cojinete del generador, lado de excitación.

4.3.3.- Temperatura en el Estator.-



RTD1 a RTD6 = Detectores de temperatura tipo resistencia, colocados en el estator.

4.3.4.- Sistemas de Enfriamiento del Generador .-

Presión diferencial de filtros de aire, 63GFD

Alarma 67

4.3.5.- Relés de Protección.-

Además de las protecciones indicadas anteriormente el generador posee sus protecciones con el objeto de detectar y anular cualquier condición anormal presentada en cualquiera de los parámetros eléctricos de operación. Estos relés son los siguientes :

1.- Bajo voltaje de barras (27B)
2.- Pérdida de excitación (40)
3.- Secuencia negativa (46)
4.- Sobre-corriente con voltaje controlado (51VA-51VB-51VC)
5.- Desbalance de voltaje (60)
6.- Falla a tierra del generador (64G)
7.- Potencia inversa (67)
8.- Diferencial del generador (87G)
9.- Falla a tierra de las barras a 13.8 KV.(64B)
10.- Baja frecuencia.

En el sistema de programación lógica de las protecciones del generador, también se incluirán las protecciones del transformador principal de elevación por tanto las consi-

deramos a continuación.

11.- Diferencial del transformador (87T-A,

Además de los relés de protección se cuenta electromecánicos de bloqueo, los cuales deben ser repues... manualmente en la posición normal antes de iniciar la operación y tienen como única función evitar que se reinicie la operación de la unidad sin que hayan sido anulados todas las condiciones de disparo en los dispositivos de protección; estos son :

Relés electromecánicos de bloqueo.

a.- 86G : Relé electromecánico de bloqueo del interruptor del generador.

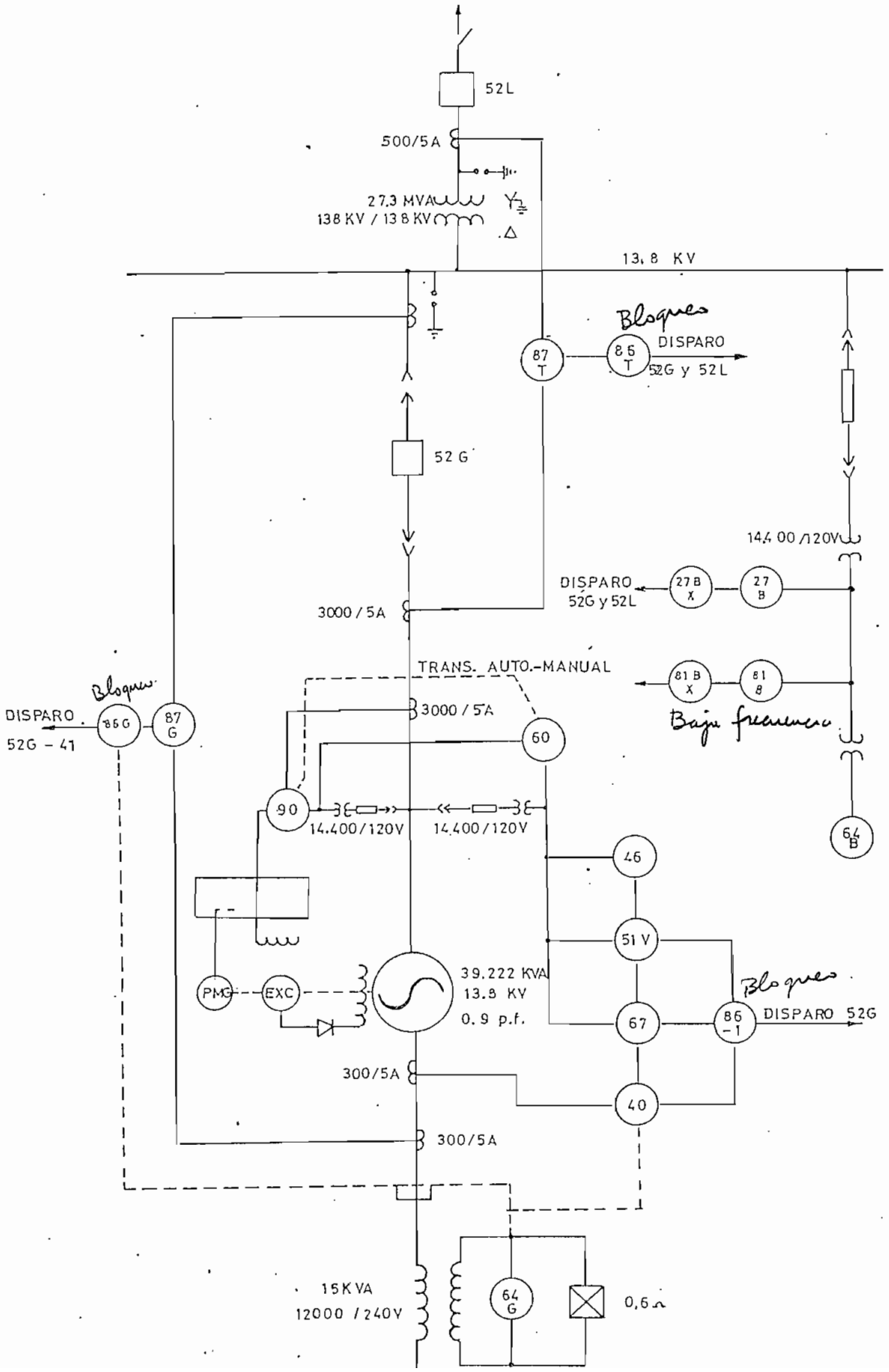
b.- 86-1: Relé electromecánico de bloqueo del interruptor del generador.

c.- 86-T: Relé electromecánico de bloqueo del interruptor de línea y transformador de elevación.

De acuerdo a un análisis comparativo de los registros de operación de protecciones de la turbina a gas con los de las demás centrales generadoras del sistema de la Empresa Eléctrica "Quito", así como de los requerimientos típicos mínimos de protección para turbo-generadores de este tipo, las protecciones que posee la unidad en estudio satisfacen los requerimientos de protección.

Cuál análisis comparativo ?

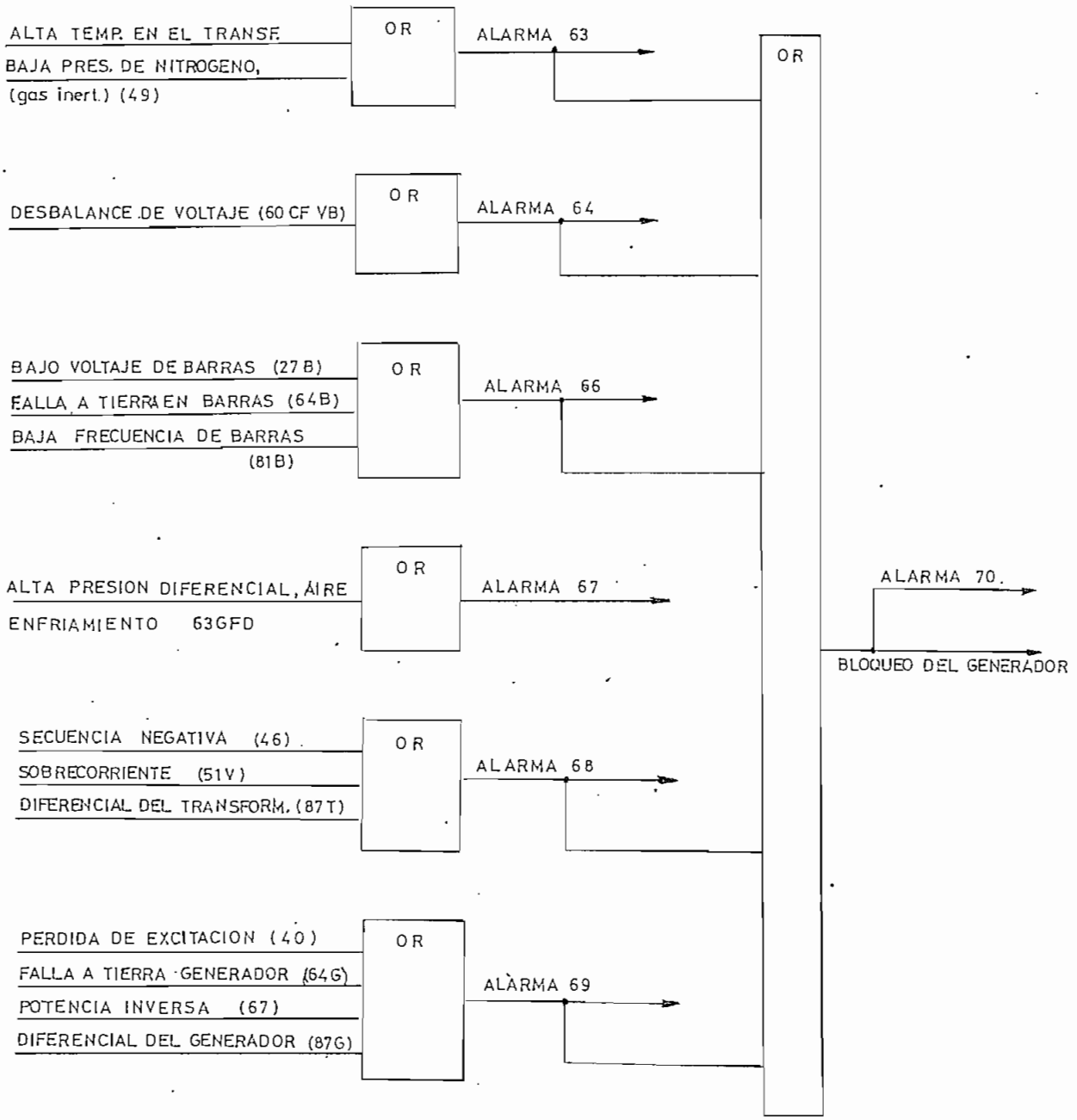
4.3.6.- Diagrama unifilar de los sistemas de protección.-



4.3.7.- Carta de operación de los dispositivos de protección del generador.-

PRES. DIFERENCIAL AIRE ENFRIAMIENTO			63 GFD	67	63 GFD	X								
BLOQUEO DEL GENERADOR				70	GEN LOKOT	X	X	X		X			X	X
DIFERENCIAL DEL GENERADOR		87 G		69	G E N GR 1	X	X	X	X	X		X	X	X
POTENCIA INVERSA		67					X	X	X	X				
FALLA A TIERRA DEL GENERADOR		64 G					X	X	X	X				
PERDIDA DE EXCITACION		40					X	X	X	X				
DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR		87 T		68	G E N GR 2	X	X				X	X	X	X
SOBRECORRIENTE		51 V					X							
SECUENCIA NEGATIVA		46					X				X			X
BAJA FRECUENCIA EN BARRAS		81 B	27 BX 81 BX	66	81B - 27B GN	X		X						
FALLA A TIERRA EN LAS BARRAS		64 B					X							
BAJO VOLTAJE DE BARRAS		27 B												X
DESBALANCE DE VOLTAJE		60	60X	64	REG TRIP	X			X					
BAJA PRESION DE NITROGENO		49		63	XMR FAIL	X								
ALTA TEMP. EN EL TRANSFORMADOR														
	DISPOSITIVO Nº		DISPOSITIVO AUXILIAR	NUMERO DE ALARMA	IMPRESION TELETIPO	ALARMA LUMINOSA	DISPARA 52 G	DISPARA 41	DISPARA 52 L	DISPARA A.V.R. (manual)	OPERA 86-G	OPERA 86-1	OPERA 86-T	PARADA DE LA UNIDAD

4.3.8.- Bloques lógicos de operación de protecciones.-



4.4.- Protección de la unidad turbina-generador en conjunto.-

En los acápites anteriores del análisis de las protecciones se han considerado independientemente los sistemas de turbina propulsora y generador eléctrico, a pesar de que muchas condiciones anormales de operación en la turbina pueden originarse en la alteración de las condiciones normales de los parámetros eléctricos de generación y viceversa.

Si se considera a la unidad como grupo generador sincronizado al sistema se encuentra una condición de operación que resumiría muchas alteraciones de los sistemas eléctricos de generación que tienen influencia directa no solamente en la estabilidad de la unidad con respecto al sistema, sino también en lo que respecta a la vida útil de los principales elementos mecánicos de operación, esta condición es la operación de la unidad a baja frecuencia.

4.4.1.- Análisis de las condiciones de operación de la unidad a frecuencias menores a 60 ciclos/segundo.-

A continuación se hará una corta descripción de los principales problemas asociados con la operación de unidades operadas con la turbina a gas tipo industrial, en la turbina, compresor y generador:

a.- Paletas de la Turbina.-

Uno de los principales criterios considerados en el diseño dinámico y principios de operación de los álabes de una turbina es la eliminación de resonancias que se pueden presentar al operar a la velocidad de diseño.
Por tal razón el diseño se ajusta a las condiciones de resonancia que pueden presentar solamente al operar a velocidades ligeramente superiores o inferiores de la nominal; de esta manera los esfuerzos mecánicos por vibración al operar a frecuencia nominal pueden ser reducidos en forma muy notoria.
Este tipo de turbinas pueden ser operadas durante períodos relativamente largos en un rango de baja frecuencia de 60 cic/seg., a 58,5 cic/seg.
Bajo 58,5 cic/seg., la resonancia es muy probable de presentarse y los esfuerzos por vibración pueden iniciar fisuras por fatiga del material.
La iniciación y la propagación de las fisuras requiere tiempo, el cual depende de la proximidad a la resonancia, magnitud y naturaleza de las fisuras existentes, las variaciones del sistema y las propiedades de fatiga del material.
Es muy difícil determinar los niveles de frecuencia a los cuales se inician los procesos de fisura por fatiga del material ante la resonancia ya que el procedimiento me-

cánico,así como el procedimiento térmico afectan al material;en igual forma,los esfuerzos dependen de los depósitos de material,daños en los sellos y variaciones en el ángulo de inyección de combustible en cada una de las toberas,por tanto es muy difícil indicar los niveles críticos exactos de origen de vibración y es preferible evitar el operar a niveles bajos de frecuencia.

Debe considerarse además que los resultados de esfuerzos de fatigas del material son acumulativos de cada una de las operaciones a baja velocidad,por tanto de acuerdo a la experiencia ,una inspección detallada de todos los álabes debe realizarse luego de una operación acumulada de diez minutos a baja frecuencia y se hace obligatorio inspeccionar la unidad cada vez que la unidad ha operado bajo 58.5 cic/seg.

b.- Turbulencia en el Compresor.-

Durante operaciones a baja frecuencia con la unidad operando a carga constante,puede suceder que el compresor entre en turbulencia.Un compresor en turbulencia será aerodinámicamente acoplado y perderá flujo de aire con un eventual disparo de la unidad por sobretemperatura en las paletas de la turbina.

Si consideramos que el criterio básico de eficiencia con el cual se diseña el compresor es : Alta eficiencia a la

velocidad sincrónica de los álabes de las últimas etapas y alta eficiencia a baja velocidad de los álabes en el lado de admisión, el punto crítico de eficiencia del compresor en conjunto entre la función de admisión y compresión es exactamente a 60 ciclos/segundo ± 0.5 ciclos/segundo.

Al trabajar el compresor a bajas frecuencias críticas, la relación de eficiencia entre el lado de admisión y el lado de compresión, se encuentra fuera de límites, produciéndose el fenómeno llamado de "turbulencia" o "colapso del compresor".

La programación de control de operación de la unidad posee las características de descargar automáticamente la unidad por reducción de la cantidad de combustible para evitar turbulencias en el compresor y sobretemperaturas en los álabes de la turbina.

Adicionalmente el sistema de control reduce la carga de la unidad, mediante la operación de control de turoulencia del compresor cuyos parámetros son la presión en la cámara combustora (P_2C) y la temperatura de aire de admisión al compresor.

c.- Generador y Sistema de Excitación.-

En el aspecto de generación, la operación del generador y excitación a frecuencias menores que 60 cic/seg., no es un factor limitante de la capacidad en sí del generador

y excitador, sin embargo es de interés y será a
vemente a continuación.

En general el generador y excitación están d
capacidad para soportar corrientes más altas que la no
Para estos períodos de tiempo, la relación de esfuerzo tér -
mico y mecánico está asociado ~~asociado~~ directamente al tipo
de material y su aislamiento.

De acuerdo a las normas ANSI C50.13-1965, las corrientes en
el estator pueden ser 13% de la nominal durante un minuto ó
116% del valor nominal por dos minutos. Una limitación simi-
lar para devanados de la excitación es de 125% de la co -
rriente nominal durante un minuto y 112% durante dos minu-
tos; estas limitaciones de tiempo para las corrientes de so-
brecarga permiten mantener al material dentro de los rangos
límites de temperatura, a pesar de la sobrecarga producida
por la operación a baja frecuencia.

En el caso de la unidad en estudio los rangos de seguridad
son mayores debido a que tanto generador como excitatriz po
seen refrigeración mediante aire forzado.

En el caso de este tipo de generadores refrigerados por ai-
re, pueden ser operados dentro de los rangos de seguridad si
la potencia aparente de salida (KVA) es reducida de acuerdo
a la frecuencia. Esta relación de reducción de la potencia
de salida es aproximadamente igual a 1.5 veces la reducción
de frecuencia en porcentaje, por ejemplo si la frecuencia
disminuye a 57 cic/seg., que la equivalente al 95% de la fre

cuencia nominal,se tiene que la reducción de la frecuencia en porcentaje es del 5%,por tanto la disminución de la potencia de salida será 7.5% o sea 92.5% de la potencia disponible a esa frecuencia.

d.- Características del relé de baja frecuencia empleado (81).-

La unidad se encuentra protegida contra operaciones a baja frecuencia mediante un relé Westinhouse,tipo KF de alta velocidad de operación.

El relé posee un sistema temporizador ajustable de 6 a 30 ciclos y niveles de operación por baja frecuencia entre 55,0 y 59,5 ciclos /segundo.

El nivel nominal de voltaje de operación es del 70% al 110% del voltaje nominal que es 120 voltios.

De acuerdo a los registros de falla,el relé ha demostrado poseer un alto nivel de confiabilidad.

Actualmente y de acuerdo a los requerimientos del sistema nacional interconectado,el relé ha sido calibrado para operar a un nivel de 59 ciclos/segundo a baja frecuencia.

4.5.- Comentarios .-

El sistema completo de protección de la unidad,posee un alto grado de complejidad,ya que involucra no solamente el sistema protector en sí ,sino también al sistema de detección en sí el cual también es empleado en el control de la operación de la unidad.

En igual forma que el sistema de detección impone determinadas limitaciones a la eficiencia en el control del funcionamiento de la unidad, este sistema también impone un determinado grado de ineficiencia en la operación de las protecciones.

Con el objeto de evitar que el caso de que un elemento de detección al no operar impida el funcionamiento correcto de una determinada protección con el consiguiente riesgo para la unidad,el programa de protección de la unidad al no obtener la adecuada señal de uno o de varios de los elementos de detección,la unidad es colocada en situación de emergencia y es automáticamente sacada de operación impidiendo el que se produzcan daños irreparables en la unidad. Ejemplo de estas condiciones son : falla en los detectores de encendido dentro de la cámara combustora,daño en la termocupla en el sistema principal de aceite lubricante,etc. Si se hace una comparación cuantitativa del número de protecciones que posee la unidad con otras de igual capacidad y características,podemos deducir que posee una cantidad

más elevada de dispositivos y sistemas de protección. Este elevado número de dispositivos de protección, en niugún momento representan un exceso, redundancia o sobredimensionamiento ya que si consideramos que los sistemas de control están diseñados para mantener en operación a la unidad con mínima supervisión de parte del personal de operación, casi la totalidad de las funciones de supervisión han sido delegados al control automático de operación, obligando a ampliar en esta forma el número de elementos de detección y protección de retaguardia.

Este acelerado número de los dispositivos de protección ha obligado a mantener una permanente revisión y actualización de conocimientos por parte del personal de operación así como también el mejorar, implementar y readecuar los programas de mantenimiento en los sistemas de control, con la consiguiente ampliación del nivel técnico del personal de mantenimiento, pues dada la diversidad de tipos de elementos sensores existentes : eléctricos, electrónicos, electromecánicos, los sistemas de ajuste, calibración, mantenimiento y reparación exigen procedimientos depurados de gran técnica y precisión.

De acuerdo a la experiencia lograda en la operación de la unidad, todos los sistemas de protección han demostrado un alto grado de eficiencia y confiabilidad y en ninguna oportunidad la unidad se ha considerado en peligro por falla de alguno de los principales sistemas de protección.

Con el objeto de lograr esta alta eficiencia se
acortar los intervalos entre cada uno de los tra
mantenimiento,así como se han mejorado las técnicas y
rramientas de trabajo.

Es importante anotar que muchos de los problemas y sus soluciones han estado fuera del pleno conocimiento técnico del presonal de la Empresa Eléctrica,pero en todo momento se ha contado con asesoría del fabricante y cada una de las soluciones logradas ha incrementado la experiencia y sol - vencia del personal de operación y mantenimiento de la Empresa Eléctrica,lo cual se ha demostrado en miles de horas de trabajo productivo de la unidad que ha operado en muchas ocasiones como base del Sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" y aún del Sistema Nacional Interconectado.

CAPITULO 5.-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

5.1.- Conclusiones.-

1.- El análisis de todos y cada uno de los sistemas de control y procedimientos de operación, demuestra gran capacidad y versatilidad en el funcionamiento; especialmente en lo que se refiere a rapidez de respuesta, así como a la amplitud para abarcar gran cantidad de parámetros de operación que permiten al sistema automático tomar decisiones de operación con un alto grado de eficiencia y seguridad.

2.- Si consideramos que todas las funciones de control de operación, protección y registro de las condiciones normales y anormales de todos los sistemas, han sido por entero entregadas al computador como elemento principal de control, se pueden concluir los siguientes criterios :

a.- El personal de operación, del tipo clásico que normalmente se recluta para operar centrales térmicas, parte de él puede encontrarse desubicado en su preparación al ser colocado frente de la operación de una unidad generadora de este tipo. Personas que por lo general son Mecánicos de Motores Diesel o Electricistas, no cumplen en ningún momento los requerimientos mínimos para supervisar el normal funcionamiento de los sistemas autó

máticos de control.

Esta inicial deficiencia del personal se la ha corregido mediante cursos básicos de control e instrumentación.

Estos cursos deberán repetirse a un nivel especializado con el objeto de lograr mayor eficiencia del personal tanto a nivel de jefatura como a nivel de personal de operación.

Por otro lado,un medio eficaz de consulta y familiarización con los sistemas de control y que en parte viene a llenar de conocimientos,constituirá el presente trabajo de esta Tesis de Grado.

b.- Una consecuencia en la falta de especialización del personal,se ha hecho muy notoria en la dificultad de tomar decisiones en los momentos críticos de operación de la unidad,elevándose injustificadamente el número de paros forzados de la máquina y también los períodos de mantenimiento programado y no programado.
Se debe tomar en cuenta que las salidas con carga de la unidad afectan a su vida útil y a la frecuencia del mantenimiento.

c.- El personal de operación en muchos casos se limita a comparar los datos de producción con los requerimientos ordenados por el Despacho de Carga,incrementándose de esta forma un alejamiento de las responsabilidades de operación.

d.- Una ventaja innegable en la supervisión de operación por intermedio del computador es la rapidez y precisión con que se aplican las medidas correctivas en situaciones críticas y riesgosas tanto para la unidad como para el sistema al cual alimenta.

e.- Al ubicar al computador como elemento único y crítico en el proceso de recibir mensajes y emitir órdenes, se condiciona a la perfección de la operación a un solo elemento, razón por la cual al producirse una falla en este elemento o en uno de sus sistema auxiliares principales, todo el control principal sale de servicio sometiendo a la unidad a transferencias súbitas del control del LMC o en muchos casos a salidas bruscas de operación con los consiguientes inconvenientes para la unidad y para el sistemá.

3.- Se consideraría objetable y discutible el haber colocado una unidad controlada mediante un sistema tan sofisticado de control en un sistema como el de la Empresa Eléctrica "Quito", por las siguientes razones :

a.- Una unidad de esta capacidad, que inicialmente fuera prevista para operar como carga pico del sistema y que ha sido operada como carga base, especialmente en los meses de sequía, ha transformado al sistema de la Empresa Eléctrica en un sistema muy inestable en disponibilidad de capacidad instalada y en eficiencia de

servicio,debido a salidas intempestivas de operación de la unidad.Esto se debe a que luego de los generadores de Pisayambo pertenecientes a Inecel,la turbina a gas es la unidad más grande del sistema de la Empresa Eléctrica "Quito";de allí que su salida o entrada afecta a la operación del mismo.

b.- Este grado de inestabilidad del sistema se ha incrementado aún más con la operación de la turbina debido a la poca o ninguna coordinación de protecciones que posee la Empresa entre sus sistemas de generación, transmisión y distribución;especialmente en operaciones a baja frecuencia,ya que debido a las limitaciones tanto en los sistemas de control como en los sistemas mecánicos para operaciones a baja frecuencia,la unidad ha salido de servicio aún antes de que fuera posible el corte escalonado de carga.Esta débil coordinación de protecciones,recién ha sido parcialmente solucionado por la Empresa al colocar relés de baja frecuencia en dos subestaciones de distribución.

4.- La capacidad de operación de la unidad y por ende de todos sus sistemas de control,se encuentra representada en los siguientes datos totales de producción completados hasta el momento que la unidad fue parada para ser sometida a mantenimiento mayor programado ocurrido el 18 de Marzo de 1978 :

Horas totales de operación	:	7413
Horas en carga base	:	7345
Horas en carga pico	:	68
Arranques totales	:	1413
Arranques normales	:	1045
Arranques fallidos	:	368
Kwh totales	:	159'633.000,00
Rendimiento	:	9.48 Kwh/gal.

Del análisis de estos datos de operación se puede concluir lo siguiente :

a.- El valor de 368 arranques fallidos representa el 26% de todos los arranques realizados en la unidad.

Si consideramos que en este porcentaje se encuentran involucrados tres tipos de fallas que son : arranques de puesta en servicio o pruebas, fallas del personal y fallas del sistema de control.

Si asignamos un valor igual a cada uno de los parámetros, el valor de arranques fallidos por falla en el sistema de control será del 8.6%, valor que también representa el porcentaje del valor total de arranques en que la unidad ha sido requerida para generar por el Despacho de Carga y que tuvo algún impedimento por falla en el sistema de control.

Este valor de arranques fallidos por causa del sistema de control, representa la pérdida de 650 horas de producción, lo cual es muy significativo para esta unidad

y para el sistema de la Empresa Eléctrica "Quito" S.A.

b.- Los restantes valores de producción de la unidad son valores aceptables y representan un notable apoyo en el sistema de generación de la Empresa Eléctrica "Quito" y el Sistema Nacional Interconectado, ya que en momentos como en los actuales que la Central de Pisayambo no puede aportar un (Feb-Jun) 1979 valor de carga base para el Sistema de la Empresa, la Turbina a Gas lo está realizando, evitando las situaciones emergentes por falta de energía.

5.- Esta condición de alta disponibilidad que debe mantener la unidad ha obligado a revisar y mejorar todos los procedimientos de operación, inspecciones y mantenimientos de todos los sistemas de control de acuerdo a las necesidades del sistema, lográndose una mayor eficiencia y grado de disponibilidad de la unidad, evitándose las situaciones emergentes del sistema.

Desde hace 3.000 horas de operación se ha logrado un promedio de funcionamiento de 20 horas diarias por arranque lo cual representa un alto grado de solvencia en la operación de los sistemas de control; además con esta mejora en la operación se aprovecha en forma más eficiente la unidad al trabajar con cargas altas durante tiempos prolongados en los puntos más óptimos de la curva de consumo combustible-carga.

6.- Del análisis de los sistemas de transferencia de control desde el computador (P-50) al sistema secundario (LMC) se deduce que gran parte de la confiabilidad de la unidad depende de la correcta operación de los sistemas de transferencia y normal funcionamiento del sistema auxiliar de control o LMC.

A pesar de que el control auxiliar posee una menor capacidad de supervisión; en muchas ocasiones y de acuerdo a la experiencia adquirida; éste ha reemplazado completamente al computador durante períodos de operación sin ninguna condición riesgosa para la unidad. Estas experiencias han sido inclusive asimiladas por el fabricante y en el futuro es posible que este tipo de unidades en lugar de un computador como control principal de la operación, posean un controlador auxiliar o LMC, mejorado con mayor capacidad de supervisión y control.

7.- Realizando una comparación del número de arranques fallidos operando con el computador y con el control auxiliar, así como también del número de salidas intempestivas de la unidad por falla de estos elementos, se concluye que la operación mediante el control local o auxiliar se traduce en una mayor confiabilidad y disponibilidad de la unidad.

Finalmente se concluirá que el computador como elemento de control en nuestro sistema se lo consideraría como un sobredimensionamiento del equipo.

5.2.- Recomendaciones.-

1.- Si consideramos que a pesar de que la eficiencia de las unidades operadas con este tipo de turbina, aumenta conforme se incrementa el número de horas de operación por cada arranque, en igual forma cuando se trabaja con cargas altas durante largos períodos, el desgaste en el equipo es mucho mayor y más rápido; por tanto se debe reconsiderar la manera de operarlas solamente como plantas de pico o emergencia y únicamente en casos críticos deben ser usadas como plantas de base.

2.- El operar eficientemente una unidad equipada con este tipo de control que aglomera muchos sistemas auxiliares implica mantener un stock completo de repuestos, con un sistema efectivo de codificación, un lugar apropiado de almacenamiento y el personal que administre estos repuestos.

Es necesario indicar que debido a lo sofisticado y altamente especializado del equipo, la revisión periódica que debe realizarse para mantener este stock de repuestos es relativamente alta.

3.- La eficiente operación del equipo debe solventarse mediante una adecuada preparación del personal de operación y de mantenimiento, evitándose situaciones emergentes de operación por falta de conocimiento de los procedimientos adecuados a seguirse en condiciones normales y críticas.

4.- La tecnología empleada en la construcción de este tipo de turbinas y sus sistemas,es revisada y mejorada día a día,por tanto los procedimientos de mantenimiento,diagnóstico de fallas y anulación de las mismas cambian aceleradamente y es imperiosa la necesidad de mantener una comunicación permenente con el fabricante,con el objeto de actualizar los conocimientos del personal de operación y mantenimiento e introducir en la unidad las mejoras técnicas que se vayan aprobando.

5.- La versatilidad del equipo que compone la turbina Westinghouse 251 B-2,debe ser un elemento decisivo para definir y separar las funciones entre el personal de operación y el de mantenimiento de sistemas eléctricos y de control,formándose un grupo de trabajo encargado exclusivo para supervisar la operación del computador y el control local o auxiliar.

El personal de operación tendrá capacidad de detecciones iniciales de fallas y la variación de determinados límites de los parámetros de operación,de acuerdo a los criterios de diseño del equipo,manteniendo la adecuada coordinación con Mantenimiento,División de Generación y Gerencia de Operación.

6.- La forma compacta del equipo así como el alto grado de automatización del mismo,lo hacen ideal para una operación mediante control remoto,posibilidad ya incluída en el sistema de control y que representa una pequeña

inversión en la duplicación del panel y la cablería de conexionado.

Por otro lado este tipo de construcción puede en determinados casos dar dificultad para realizar algunos trabajos específicos de mantenimiento en lo tocante a facilidad de acceso y comodidad para las labores del personal.

7.- La delicada tecnología empleada en la fabricación de las"partes calientes de la turbina",hace más imperiosa la necesidad de contar con un tipo de combustible altamente purificado no solamente mediante centrifugación sino también con procesos de lavado con costos talvés altos de inversión,justificados plenamente por la seguridad de operación y el notable incremento de vida útil de los elementos de la turbina propulsora como son especialmente los álabes fijos,móviles y sellos.

Comprobación de esta necesidad de purificar el combustible se la ha detectado de los análisis de algunas muestras que indican que el combustible producido en la refinería de Esmeraldas posee niveles peligrosos de azufre , vanádio,sodio,etc.,que acortan considerablemente la vida útil de los álabes de la turbina.Se suma a este problema contaminaciones que con seguridad se presentan en el trayecto de transporte desde Esmeraldas.

Este problema se obviará parcialmente con la operación del Poliducto Esmeraldas-Quito.Convendría en ese caso el ubicar una planta de tratamiento de diesel y bunker de

adecuada capacidad junto a los tanques de almacenamiento en El Beaterio,al sur de la ciudad, para abastecer con combustibles limpios a las Empresas Eléctricas del Cen - tro-Norte y a Inecel.Cualquier inversión que al respecto se haga es más que justificada.

La forma más conveniente para operar este tipo de unidades es con gas natural.Experiencias muy favorables al respecto se tienen en la operación de turbinas con gas natural en el Oriente del país,en Colombia y en las zonas petrolíferas del Lejano Oriente.

5.3.- Bibliografía.-

- Gas Turbine Manual-Prime Mover and Large Tonnage, American Gas Association,Inc.(The Industrial Press, New York).
- Gas Turbine Systems Primer-Westinghouse Electric Corporation (Gas Turbine Systems Division,Pennsylvania)
- Fundamentos de Termodinámica-Gordon J.Van Wylen y Sonntag (Limusa-Wiley).
- Programa de Mantenimiento para Unidades Turbogeneradoras Instaladas en el Sistema de la Compañía de la Luz y Fuerza del Centro S.A.-Carlos Spinola Velázquez (Instituto Politécnico Nacional,México,D.F.)
- Energy Econimics Environment-Gas Turbine Congress, Dubrovnik-1976 (Thomassen Holland B.V).
- Operation and Maintenance,Gas Turbine,Generator/Exciter and Control System,Volume I,Book I-Westinghouse Electric Corporation,Steam Turbine Division (Lester Branch Philadelphia,Penn).
- P-50 Maintenance Training Manual-Computer Systems Division. (Westinghouse Electric Corporation).
- P-50 Automation and Control for W-251 Gas Turbines-Hagan Computer Division (Westinghouse Electric Corporation).
- Gas Turbine Computer,Local Maintenance Controller,Volume III,Book B-Hagan Computer Division (Westinghouse Electric Corporation).

- Gas Turbine Computer,P-50 Computer,Volume III,Book A-Hagan Computer Division (Westinghouse Electric Corporation)
- Customer's Equipment Familiarization Program-Power Generation Service Divison (Westinghouse Electric Corporation).
- Operation and Maintenance Electric Equipment ,Volume II,Book I-Gas Turbine Systems Division (Westinghouse Electric Corporation)
- 251/501 Turbine System Information-P-50 Training Course (Westinghouse Electric Corporation-Industry Systems Division)
- Curso de Entrenamiento en Control Automático-Honeywell
- Curso de Entrenamiento en Control Eléctrico-Honeywell.
- Operation and Maintenance Instructions for Cumbayá Power Plant-Tipton and Kalmbach,Inc.Denver,Colorado.
- Gas Turbines and Its Applications-Masamichi Wada (Gas Turbine Dept.Thermal/Power Enginnering Div,Hitachi Ltd).
- Informes y Registros de Operación.Turbina a Gas de Guangopolo-Empresa Eléctrica "Quito" S.A.(División de Generación).

Fernando Jaramillo H.