



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

***ANALISIS DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS Y DE
POTENCIA DE LA CENTRAL CICLO
COMBINADO TULA***

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :
ALEJANDRO MENESES RUIZ**

DIRECTOR DE TESIS ING. BENJAMIN CONTRERAS SANTACRUZ

CUAUTITLAN, EDO. DE MEXICO 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

PREFACIO		X
CAPITULO I	INTRODUCCION	
1.1	Capacidad de generación en México	2
1.2	Plantes de ciclo combinado	3
1.3	Central Ciclo Combinado Dos Bocas	5
1.3.1	Sistema de control	6
1.3.2	Características del equipo principal	8
CAPITULO II	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA CICLO COMBI- NADO TULA	
2.1	Introducción	11
2.2	Equipo principal instalado	11
2.3	Secuencia de generación	14
2.3.1	Secuencia primaria	14
2.3.2	Secuencia secundaria	18
2.4	Localización	21
2.5	Distribución de la energía generada	21
CAPITULO III	ESTUDIO DEL EQUIPO ELECTRICO DE POTENCIA	
3.1	Introducción	26
3.2	Generador	27
3.2.1	Teoría y funcionamiento	28
3.2.2	Características de los generadores de la Central	30
3.2.3	Rotor	31
3.2.4	Estator	31
3.2.5	Diagramas fasoriales	34
3.2.5.1	Carga con factor de potencia en atraso	34
3.2.5.2	Carga con factor de potencia unitario	40
3.2.5.3	Carga con factor de potencia en adelanto	41
3.3	Sistema de excitación del generador	43
3.4	Transformadores	45
3.4.1	Transformadores de enlace	49
3.4.1.1	Características	49
3.4.1.2	Sistema de control para enfriamiento	53
3.4.1.3	Diagrama fasorial	56
3.4.2	Transformadores de auxiliares y de ser- vicios propios	59
3.5	Interruptores	69
3.5.1	Interruptor de máquina(52G)	70
3.5.1.1	Sistema de control	72
3.5.2	Interruptores del bus de 4.16 Kv.	74
3.5.2.1	Sistema de control	76

CAPITULO IV	SISTEMAS DE CONTROL	
4.1	Introducción	80
4.2	Flujo de potencia	81
4.3	Descripción del regulador de voltaje	83
4.3.1	Módulo de circuitos lógicos	84
4.3.1.1	Compensador de reactivos y detector de error de voltaje	87
4.3.1.2	Limitador de excitación	90
4.3.1.3	Sistema amortiguador	91
4.3.1.4	Limitador de máxima excitación	94
4.3.1.5	Mezclador de señales	95
4.3.2	Módulo de circuitos de encendido	96
4.3.2.1	Módulo transformador	98
4.3.2.2	Módulo de variación de fase	98
4.3.2.3	Ajustador de la señal base	99
4.3.2.4	Módulo de entrada	100
4.3.2.5	Módulo de los generadores de pulsos	101
4.3.3	Módulo del amplificador de potencia	105
4.4	Sistema de control de los motores pertenecientes a la unidad turbogas No.1	108
4.4.1	Sistema de control del motor utilizado por el ventilador de enfriamiento de la turbina	109
4.5	Control automático del proceso de sincronización del generador de la unidad turbogas No.1 con el Sistema de Carga	111
CAPITULO V	ESTUDIO DE LA SUBESTACION	
5.1	Introducción	115
5.2	Equipo de operación	117
5.3	Interruptores de hexafluoruro de azufre	120
5.3.1	Características	120
5.3.2	Secuencia de conexión	124
5.3.3	Secuencia de desconexión	125
5.4	Cuchillas	127
5.4.1	Características de las cuchillas tipo pantógrafo	127
5.4.1.1	Secuencia de cierre	129
5.4.1.2	Secuencia de apertura	130
5.4.2	Características de las cuchillas tipo horizontal de cierre vertical	132
5.4.2.1	Secuencia de cierre	134
5.4.2.2	Secuencia de apertura	136

CAPITULO VI	SISTEMA DE PROTECCION	
6.1	Introducción	139
6.2	Equipo de protección contra descargas atmosféricas	139
6.3	Coordinación del equipo de protección contra descargas atmosféricas	141
6.4	Sistema de protección por relevadores	143
6.5	Sistema de protección de los generadores	144
6.5.1	Protección diferencial(87G)	146
6.5.2	Protección de respaldo de fase(51V)	149
6.5.3	Protección contra fallas a tierra en el estator(64G)	152
6.5.4	Protecciones de apoyo	153
6.6	Sistema de protección de los transformadores	156
6.6.1	Sistema de protección del transformador de enlace	159
6.6.2	Sistema de protección del transformador de auxiliares	162
CAPITULO VII	CONCLUSIONES	164
BIBLIOGRAFIA		167

P R E F A C I O

Debido al creciente desarrollo industrial y demográfico del país la demanda de servicios públicos ha aumentado considerablemente por lo que el sector eléctrico ha tenido que afrontar muchos y variados problemas para suministrar energía eléctrica, adoptando entre otras soluciones la de comprar tecnología extranjera tendiente a aprovechar al máximo las fuentes de energía con que cuenta el país.

Sin embargo la mayor parte de la información a éste respecto está por lo regular circunscrita entre los diseñadores de dicha tecnología y el sector eléctrico, por lo que las innovaciones dentro del campo de los sistemas de potencia empleados en las centrales eléctricas no están al alcance inmediato de las instituciones avocadas a la enseñanza de éste tipo de sistemas. Esta circunstancia ha inspirado la presente disertación, en la cual realizaré el estudio de los sistemas eléctrico y de potencia que posee la Central Ciclo Combinado Tula, la que es considerada en su tipo como una de las más modernas del país debido a su sofisticado sistema de control por medio de computadores que hacen posible un control más preciso y rápido de los procesos que involucran la generación de energía eléctrica.

Pienso que el conocimiento de éste tipo de sistemas dentro de un medio académico sentará las bases para una actualización en cuanto a las innovaciones que se están efectuando en éste campo y para la realización en el futuro de estudios tendientes a desarrollar proyectos -- con tecnología propia que superen a los ya elaborados, evitándose con éste en la medida de lo posible la adquisición de tecnología extranjera.

Para la mejor comprensión del contexto he tratado de lograr un equilibrio entre los aspectos teórico y técnico de tal forma que el estudio de las características propias de cada sistema vaya respaldado con sus aspectos teórico y funcional, de ésta manera se tendrá una-

mejor comprensión de lo expuesto en cada capítulo.

Por medio de éste conducto agradezco la valiosa colaboración - del personal de operación de la Central Ciclo Combinado Tula para - la mejor realización de éste trabajo.

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

1.1. CAPACIDAD DE GENERACION EN MEXICO.

En la última cuarta parte del siglo pasado, la vida económica y social de los pueblos fué afectada sensiblemente por la generación de energía eléctrica para la obtención de fuerza motriz.

En México, al igual que en otros países, la industria eléctrica se inició con la instalación de pequeñas plantas en las minas y en las industrias textiles con el fin de obtener mayor productividad y menor costo en sus operaciones. Posteriormente éste servicio se amplió para suministrar alumbrado a los hogares de los empleados de las industrias y a las comunidades vecinas.

Este servicio permitió identificar la existencia de un mercado creciente que planteaba perspectivas de buenas utilidades mediante la inversión en la naciente industria eléctrica, con lo cual se inició la instalación de equipos de mayor capacidad.

La capacidad de generación en México tan sólo en 1972 era de aproximadamente 7000 Mw. y debido al gran crecimiento demográfico e industrial, la demanda de servicios ha ido creciendo continuamente por lo que Comisión Federal de Electricidad ha tenido que ir a la par de éste crecimiento desarrollando programas de expansión de los medios de generación, transmisión y distribución. En la tabla se puede apreciar como la capacidad instalada efectiva en 1982 se ha incremen-

TIPO DE PLANTA	MW	1976	%	MW	1982	%
HIDROELECTRICAS	4366.7		41.5	6300		37.5
TERMOELECTRICAS (Combustóleo, diesel y gas)	6051.2		57.5	9690		57.67
TERMOELECTRICAS (Carbón)	30		0.3	630		3.75
GEOTERMICAS	<u>75</u>		<u>0.7</u>	<u>180</u>		<u>1.08</u>
TOTAL	10522.9		100.0	16800		100.0

tado aproximadamente un 60% sobre la capacidad instalada en 1976, lo cual da una clara idea de la cantidad de nuevas unidades generadoras

que se han tenido que construir para satisfacer la demanda del servicio, en donde la abundancia actual y bajo costo de los hidrocarburos - entre otros factores, han permitido que las plantas termoeléctricas - generen la mayor parte de la energía eléctrica.

Debido a lo anterior se ha optado por incrementar la construcción de plantas termoeléctricas, entre las que destacan las plantas de ciclo combinado, las cuales representan un valioso apoyo para el Sistema de Generación Eléctrico Nacional dado que poseen las siguientes características principales sobre las convencionales plantas termoeléctricas de gran capacidad generadora :

- a).-Se construyen en relativamente corto tiempo.
- b).-Tienen un precio óptimo entre una planta turbogas y una planta de vapor.
- c).-Pueden manejar arranques diarios ó ciclos de operación relativamente cortos.
- d).-Poseen un sistema de control altamente automatizado que permite incorporarlas al Sistema en forma inmediata cuando se requiera, pudiéndose generar más de la mitad de la capacidad de generación total de la planta en unos cuantos minutos.

1.2. PLANTAS DE CICLO COMBINADO.

En la actualidad existen 4 plantas de ciclo combinado incorporadas al Sistema, con dos de éstas concluidas sólo en su primera etapa, ellas son :

PLANTA DE CICLO COMBINADO	CAPACIDAD EFECTIVA (MW)
DOS BOCAS	480
TULA (Primera etapa)	320
GOMEZ PALACIO	260
EL SAUZ (Primera etapa)	200

En el diagrama 1.2. se puede apreciar la distribución de la generación de las principales plantas de ciclo combinado, así como su localización geográfica.



FIG. 1.2. LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO

Cada planta de ciclo combinado está compuesta por paquetes ó módulos, los cuales están constituidos por dos ó más unidades turbogas- por una de vapor, donde la gran cantidad de energía que se envía generalmente a la atmósfera a través de los gases de escape de las unidades turbogas es aprovechada para suministrar energía calorífica a -- las calderas de las unidades de vapor, con lo cual se obtiene un sistema de generación de alta eficiencia.

En base a lo anteriormente mencionado se expondrá un panorama general de las características fundamentales que competen a una de las principales plantas de ciclo combinado, la cual ocupe un importante lugar dentro del Sistema de Generación Eléctrico Nacional.

1.3. CENTRAL CICLO COMBINADO DOS BOCAS.

La Central consta de dos paquetes de ciclo combinado (Brayton y Rankine regenerativo) de 240 Mw. de capacidad cada uno, localizados en la cercanía de un centro de carga de gran importancia como es la zona industrial de la ciudad de Veracruz, además de los consumidores urbanos de éste puerto y áreas circunvecinas.

La generación producida por los dos paquetes es enviada a través de dos líneas de 115 Kv. y una línea de 230 Kv. a la Subestación Veracruz II, de donde es distribuida a los consumidores industriales y urbanos de la zona, así como también por medio de dicha Subestación es enlazada al Sistema usando dos líneas adicionales de Veracruz II a Tmazcal II de 230 Kv. entroncando en Tmazcal II con la red de -- 400 Kv.

En el diagrama 1.2. se puede apreciar la localización geográfica de la Central, la cual queda situada aproximadamente a 16 Km. al sur del centro de la ciudad y puerto de Veracruz.

La Central consta de dos secciones ó paquetes independientes entre sí, marca Westinghouse. Cada uno de éstos paquetes consta de :

- a). -- Dos turbinas de gas de 65 Mw. cada una.

b).-Dos calderas recuperadoras de calor para aprovechar la energía de los gases de escape de las turbinas de gas, con quemadores adicionales para incrementar la producción de vapor cuando se tengan cargas elevadas.

c).-Una turbina de vapor monocilíndrica de 110 Mw.

Las unidades turbogas y quemadores adicionales de los recuperadores, pueden quemar indistintamente gas natural ó diesel y transferir si se requiere combustible estando en operación.

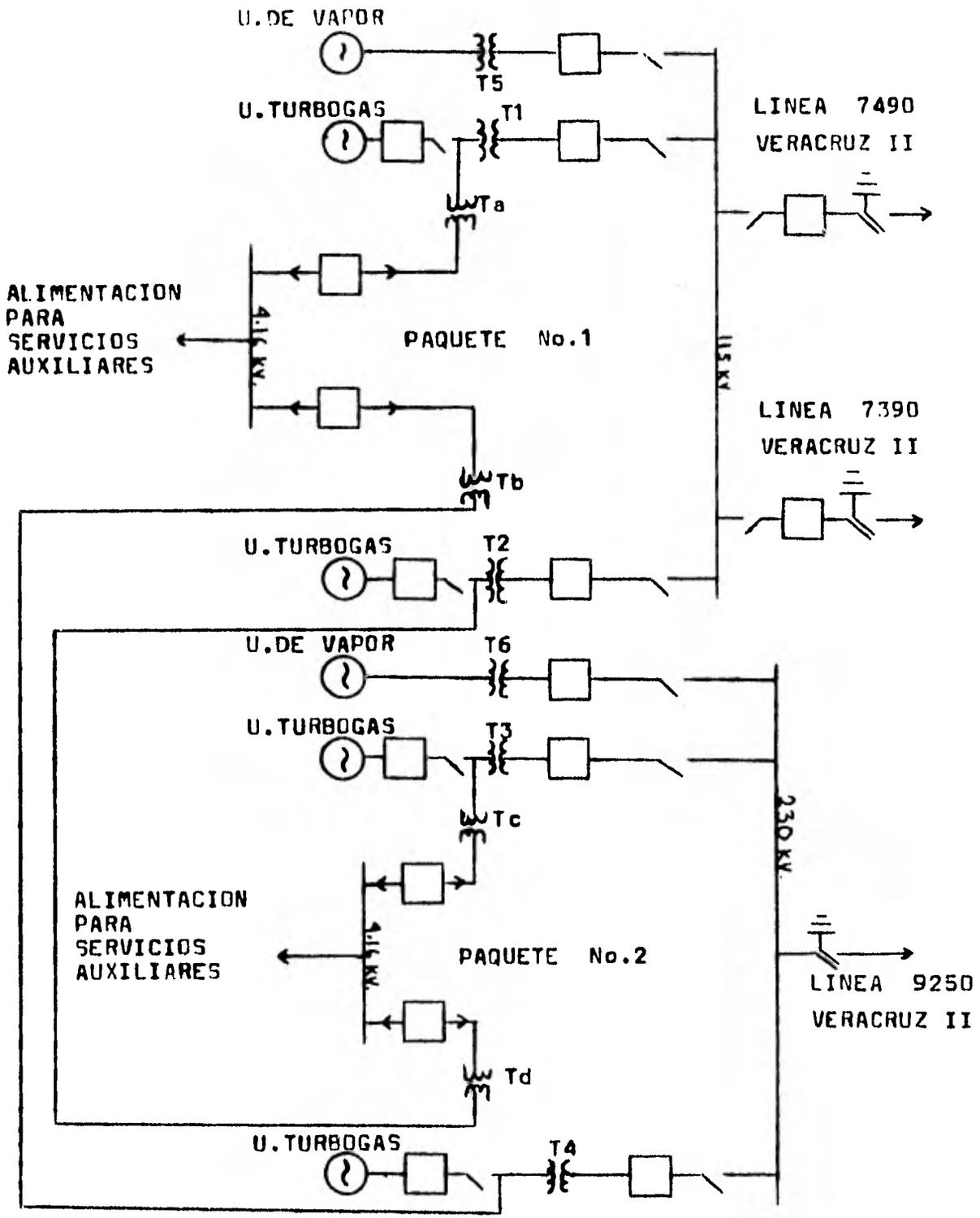
El consumo máximo de combustible con todas las unidades de la Central en operación, es decir las cuatro unidades turbogas más las dos de vapor es de aproximadamente 120 millones de pies cúbicos al día.

1.3.1. SISTEMA DE CONTROL.

En el cuarto de control se tienen diferentes niveles de operación de la Central, ejerciéndose principalmente un control de tipo automático por medio de una computadora digital y un control manual por medio de una computadora analógica, obteniéndose con ésto una elevada automatización del sistema.

La generación de la Central es manejada por Operación Sistema Oriental desde la Subestación Puebla II. En el diagrama 1.3. se muestra el diagrama unifilar de la planta, en el cual se pueden apreciar los dos paquetes de que está constituido su sistema de generación, en donde cada uno de ellos manda su potencia generada hacia la Subestación Veracruz II a través de las líneas 7490 y 7390 que conducen 115 Kv. y de la línea 9250 que conduce 230 Kv.

En el mismo diagrama T1, T2 y T5 del paquete No.1 y T3, T4 y T6 del paquete No.2 representan a los transformadores elevadores que se utilizan para enlazar la energía producida por la Central con el Sistema y tienen una relación de transformación de 13.8/115(Y)Kv. y 13.8/230(Y)Kv. respectivamente. Los transformadores de auxiliares Ta, Tb, Tc y Td tienen una relación de transformación de 13.8/4.16(Y)Kv.-



DIAG. 1.3. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL CICLO COMBINADO DOS BOCAS.

y se emplean para alimentar a los buses que suministran energía a -- los servicios internos de cada unidad, como por ejemplo : motores de arranque, motores de bombas de agua de alimentación a las calderas, motores de bombas de agua de circulación, alumbrado, sistemas eléctricos de control, protecciones, buses de los centros de control de motores, etc.

Los buses de 4.16 Kv. están enlazados entre sí para casos de -- emergencia, en donde si por alguna razón se pierde la alimentación en alguno de los buses, se puede suministrar energía por medio del otro bus en servicio, evitando con esto que se pierda la generación de la unidad a que corresponde el bus en conflicto.

1.3.2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO PRINCIPAL.

TURBINA DE GAS

Fabricante	Westinghouse.
Compresor	17 pasos, flujo axial.
Presión de descarga	8.8 Kg/cm ²
No. cámaras de combustión	16
Tipo de turbina	4 pasos de reacción.
Potencia base	60 Mw.
Velocidad	3600 r.p.m.
Tipo de combustible	Gas ó diesel.

TURBINA DE VAPOR

No. de rotores	1
Pasos de impulso	10
Pasos de reacción	3
Potencia	106,823 Kw.
Velocidad	3600 r.p.m.

GENERADORES

Fabricante	Westinghouse.
Potencia	85 Mw. (Turb. gas) 120 Mw. (Turb. vapor)
Factor de potencia	0.9
Voltaje	13800 Volte.
Fases	3
Frecuencia	60 Hz.
Enfriamiento	Hidrógeno.

RECUPERADOR DE CALOR

Fabricante Westinghouse.
Flujo máximo de vapor. 200 Tons./Hr. a 510°C y 88 Kg/cm².

CONDENSADOR

Fabricante Westinghouse.
Tipo Superficie.
Area efectiva 9095 m².
No. de pasos 2
Capacidad térmica 2 x 10⁸ Kcal/Hr.
Flujo de agua 4851 Lts./seg.

C A P I T U L O I I

C A R A C T E R I S T I C A S D E L S I S T E M A C I C L O C O M B I N A D O T U L A

2.1. INTRODUCCION.

Debido a la forma en que se ha concebido y proyectado la Central Ciclo Combinado Tula su construcción se ha dividido fundamentalmente en dos proyectos con el objeto de tener un avance rápido y eficiente en su desarrollo.

El Proyecto I consiste en la construcción de cuatro unidades -- turbogas con una potencia total efectiva de 320 Mw. quemando gas y 314 Mw. quemando diesel. La edificación de las cuatro unidades fué -- concluida el 22 de octubre de 1981 y se encuentran actualmente en -- operación comercial, siendo el promedio de eficiencia de cada unidad -- de aproximadamente 27%. La potencia generada por las unidades está re -- partida de la siguiente manera :

Unidad Turbogas 1	70 Mw.(Gas)	68 Mw.(Diesel)
Unidad Turbogas 2	70 Mw.(Gas)	68 Mw.(Diesel)
Unidad Turbogas 3	90 Mw.(Gas)	89 Mw.(Diesel)
Unidad Turbogas 4	90 Mw.(Gas)	89 Mw.(Diesel)

El Proyecto II consiste en la construcción de dos unidades generadoras a base de vapor con una potencia total nominal de 240 Mw. en donde se contempla la adición de recuperadores de calor conectados -- directamente a los escapes de las unidades turbogas con el objeto de -- aprovechar la energía calorífica de los gases de escape para generar -- vapor y de ésta manera lograr que la eficiencia total del sistema -- sea aproximadamente de 41%. Actualmente las dos unidades se encuen -- tran en su primera etapa de construcción y se espera que estén termi -- nadas a finales de 1983 para su operación comercial.

2.2. EQUIPO PRINCIPAL INSTALADO.

TURBINAS DE GAS

Fabricante

Westinghouse.

Tipo de compresor

19 pasos, axial centrífugo.

No. cámaras de combustión	16(U-1 y 2) y 14(U-3 y 4)
Tipo de turbina	4 pasos de reacción.
Potencia base	94.84Mw.(U-1 y 2), 99.3Mw.(U-3 y 4)
Tipo de combustible	Gas ó diesel.
Velocidad	3600 r.p.m.
Temp.nom.del empaletado.	560°C(U-1 y 2) y 621°C(U-3 y 4)

GENERADORES DE LAS UNIDADES TURBOGAS

Fabricante	Westinghouse.
Capacidad nominal	143.4 MVA.
Factor de potencia	0.9
Tensión	13800 Volts.
Fases	3
Frecuencia	60 Hz.
Tipo de enfriamiento	Hidrógeno.
Tipo de rotor	2 polos lisos.

EXCITADORES

Fabricante	Westinghouse.
Potencia	375 Kw.
Tensión nom.	250 Volts.
Corriente nom.	1500 Amp.
Velocidad	3600 r.p.m.

TRANSFORMADORES DE ENLACE

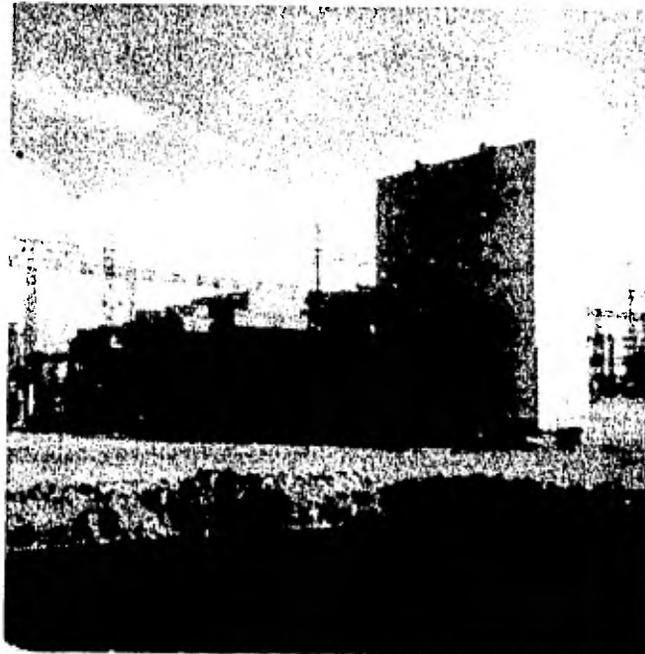
Fabricante	Westinghouse.
Capacidad	140 MVA.
Relación de transformación	230(Y)/13.8 Kv.
Conexión.	3ø, A.T.estrella-B.T.delta.
Tipo de enfriamiento	FOA.
Impedancia	17.3%.
Frecuencia	60 Hz.
Contenido de aceite	12270 galones.

MOTORES DE ARRANQUE

Fabricante	Westinghouse.
Potencia	1500 Hp.
Tensión nom.	4160 Volts.
Corriente nom.	176 Amp.
Fases	3
Velocidad	1789 r.p.m.
Tipo de aislamiento	F.
Temp. máx. ambiental	40°C.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE DIESEL

Capacidad	17,400000 Lts.
Diámetro	42.69 mts.
Altura	12 mts.



Vista parcial de la Central Ciclo Combinado Tula, en la que se muestra una de las unidades turbogas de 90 Mw, a cuya chimenea se acoplará uno de los recuperadores de calor de las unidades de vapor que se construirán para aprovechar la energía calorífica de sus gases de escape.

SUBESTACION DE GAS

Presión de suministro	34 Kg/cm ²
Presión de regulación	22 Kg/cm ²

2.3. SECUENCIA DE GENERACION.

La secuencia de generación de un sistema de ciclo combinado puede dividirse en dos partes fundamentales :

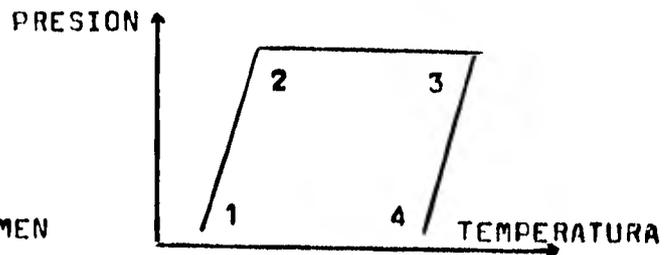
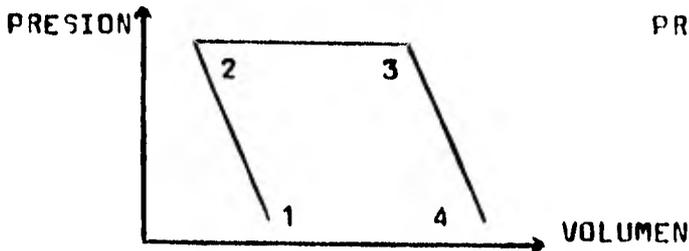
- a).-Secuencia primaria con unidades turbogas.
- b).-Secuencia secundaria con unidades turbogas y de vapor.

Cada paquete al arrancar empezará con una secuencia primaria, es decir con las unidades turbogas, para poder generar energía eléctrica para el Sistema y energía calorífica para las calderas de la unidad de vapor para después seguir con la secuencia secundaria que es propiamente el arranque de la unidad de vapor en base al calor de los gases de escape de las unidades turbogas.

2.3.1. SECUENCIA PRIMARIA.

En 1791 John Barber propuso y patentó la turbina de gas, sin embargo fué Brayton en el año de 1873 quien explicó los cuatro eventos principales de que consta el ciclo de una turbina de gas de la siguiente forma :

- a).-De 1 a 2 el aire atmosférico es succionado a través del compresor, aumentando por ésto la presión con la temperatura y disminuyendo el volúmen del aire.
- b).-De 2 a 3 el aire entra al combustor, se mezcla con el combus



tible y la combinación es encendida, por lo que se expanden los gases, manteniéndose la presión y aumentando la temperatura junto con el volumen del aire.

c).-De 3 a 4 se expande el aire en la turbina produciendo trabajo, por lo que la presión con la temperatura disminuyen y el volumen aumenta.

El corte de la turbina Westinghouse W-501D que se muestra en la figura 2.3.1. es el perteneciente a las unidades 1 y 2 y con ligeras modificaciones es semejante al de las unidades 3 y 4.

El aire es aspirado en una cámara(1) en donde la presión es ligeramente mayor a la atmosférica por lo cual el compresor axial centrífugo succiona el aire a una presión de aproximadamente 1 Kg/cm² y a una temperatura de 15°C (temperatura promedio durante el día). El aire succionado pasa a través de unas paletas guía llamadas IGV(2) cuya función es variar el ángulo con que el aire entra al primer paso del compresor.

El compresor(3) consta de 19 pasos, cada uno de ellos formado por un álabe fijo y uno móvil, los cuales manejan un flujo total de 355 - Kg/seg.

Cuando el flujo de aire pasa a través del compresor, la presión del aire se ha incrementado aproximadamente a 9.29 Kg/cm² y su temperatura se ha elevado a 250°C. El volumen se ha reducido(4).

El aire una vez comprimido pasa a través de un difusor(5) el cual reparte el aire convenientemente en la cámara de combustión, la cual tiene 16 canastas-quemadores(6) en el caso de las unidades 1 y 2 dispuestas alrededor del eje de la turbina. Las unidades 3 y 4 poseen solamente 14 canastas-quemadores.

El combustible ya sea gas natural ó diesel especial, es forzado dentro de los quemadores a través de una tobera de combustible localizada en el extremo inicial de cada quemador. Se mezcla con el aire comprimido fluyendo a través de las entradas de aire de cada quemador.

Los quemadores están perforados y diseñados para inducir una --

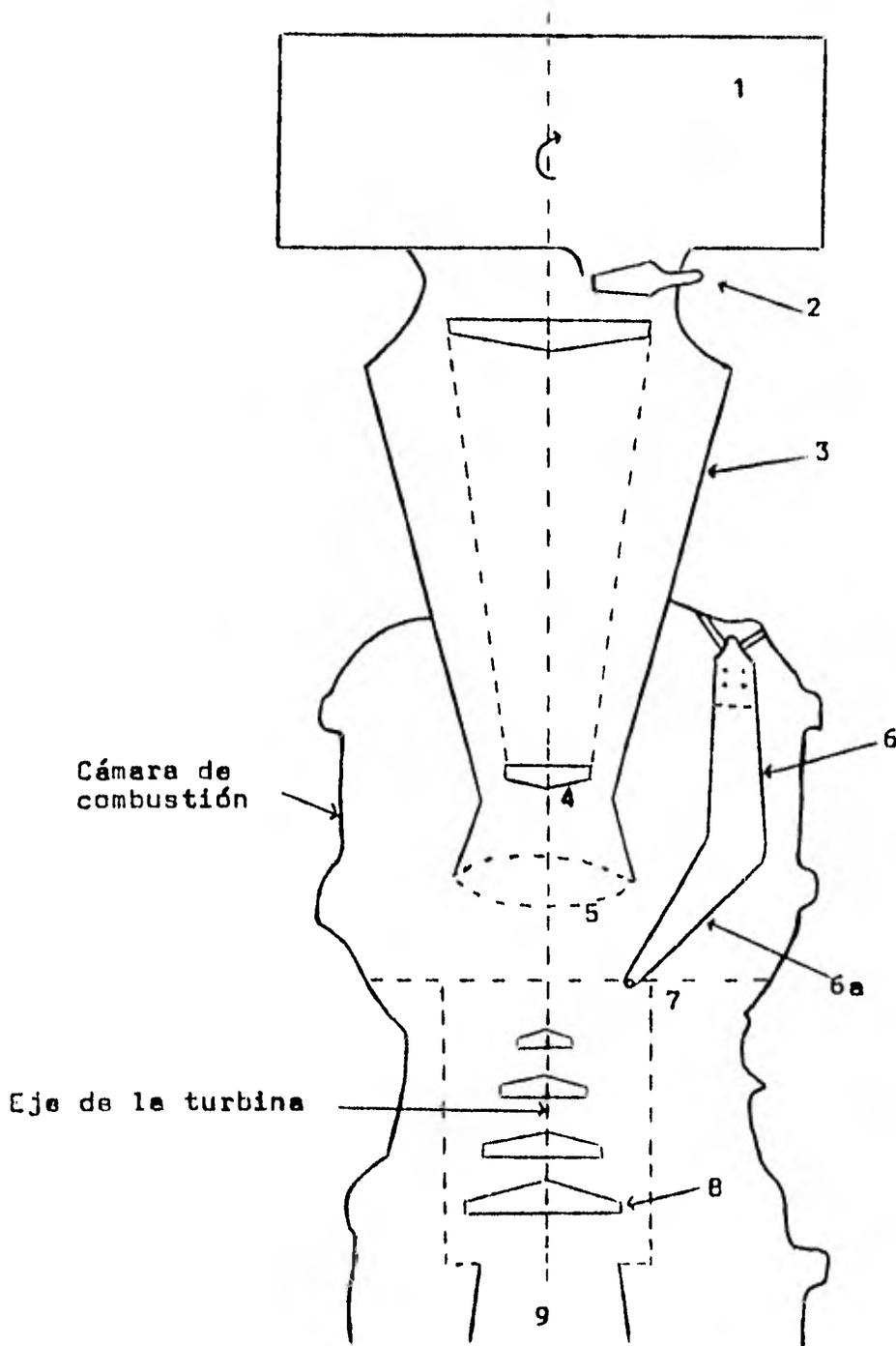


FIG. 2.3.1. CORTE DE LA TURBINA WESTINGHOUSE TIPO W-501D.

mezcla turbulenta de combustible y aire. Parte de ése aire es utilizado para enfriamiento de los propios quemadores.

El aire es calentado a aproximadamente 600°C . y se expande junto con los gases de escape a través de 16 toberas llamadas de transición en donde adquieren una elevada velocidad(6a). La velocidad impartida a la masa aire-gases de combustión por la tobera, abastece con suficiente energía cinética para mover los cuatro pasos de reacción de la turbina.

La temperatura de la mezcla a la entrada de la turbina es de -- aproximadamente 680°C .(7), disminuyendo conforme va aproximándose al cuarto paso, en donde baja su temperatura hasta cerca de 610°C . y con ello la presión(8).

Por lo anterior se puede observar que se ha realizado una transformación de energía ya que la energía térmica del combustible es -- transformada en energía cinética(de la mezcla)y ésta a su vez convertida en energía mecánica en la flecha de la turbina. Parte de ésta potencia mecánica producida es aprovechada para mover al compresor que al igual que el rotor del generador y el excitador se encuentran montados sobre la misma flecha de la turbina. Otra parte se convierte en energía eléctrica y lo demás son pérdidas de diferente índole. Existen diversas extracciones tanto del compresor como de la cámara de combustión para aire de instrumentos, aire de enfriamiento para el rotor de la turbina en el primer y segundo paso y para otros servicios generales.

Como última fase del ciclo de las unidades turbogas, los gases residuales pasan a través de un difusor de escape(9) hacia la chimenea y de ahí a la atmósfera.

En la forma en que se ha explicado el funcionamiento de las unidades turbogas así como de los elementos que las constituyen, se pueden observar diversas ventajas de éste tipo de unidades respecto a las convencionales unidades de vapor, las cuales se pueden resumir de

la siguiente manera :

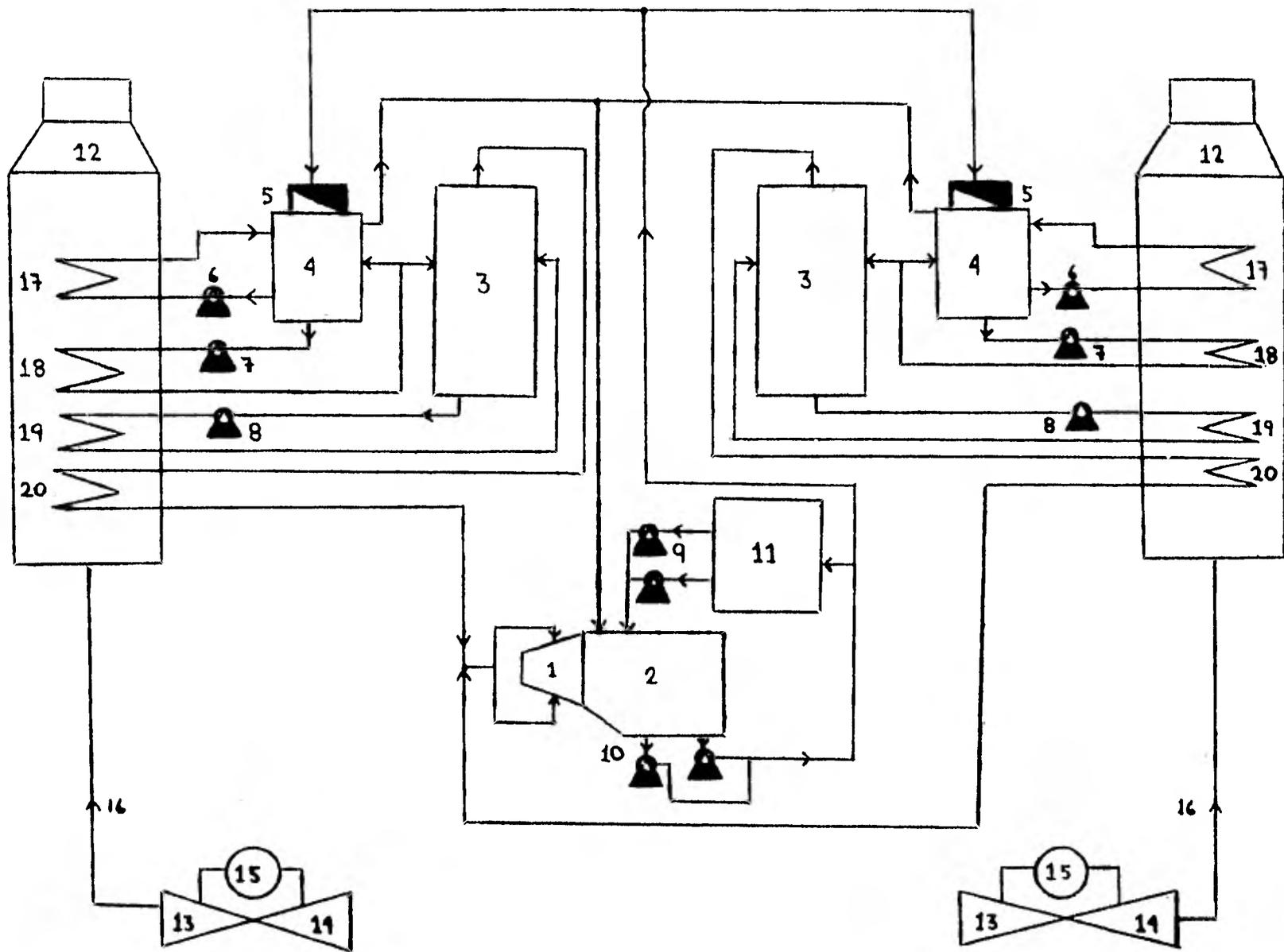
- a).-No necesitan condensador.
- b).-Escape más limpio.
- c).-Instalación más compacta.
- d).-Fácil control.
- e).-Menos equipo auxiliar.

2.3.2. SECUENCIA SECUNDARIA.

El calor de los gases de escape de la turbina de gas es aprovechado para generar vapor, para ello en cada paquete de la Central existirán recuperadores de calor conectados directamente a los escapes de las dos unidades turbogas, reforzados con quemadores adicionales, en donde se producirán cuando el Proyecto II esté concluido cerca de 880000 lbs/hr. de vapor para alimentar a una turbina de 120Mw.

En el diagrama 2.3.2. se puede observar uno de los dos paquetes de que está compuesta la Central, así como el equipo principal de que constará, el cual está descrito bajo la siguiente numeración:

- 1).-Turbina de vapor.
- 2).-Condensador.
- 3).-Domo.
- 4).-Tanque de baja presión.
- 5).-Deaerador.
- 6).-Bomba de baja presión.
- 7).-Bomba de agua de alimentación.
- 8).-Bomba de alta presión.
- 9).-Bombas de agua de repuesto.
- 10).-Bombas de agua de condensado.
- 11).-Tanque de agua de condensado.
- 12).-Recuperador de calor.
- 13).-Turbina de gas.
- 14).-Compresor.



DIAG. 2.3.2. SECUENCIA SECUNDARIA DE GENERACION CORRESPONDIENTE AL PAQUETE No.1 DE LA CENTRAL CICLO COMBINADO TULA.

- 15).-Cámara de combustión.
- 16).-Gases de escape.
- 17).-Evaporador de baja presión.
- 18).-Economizador.
- 19).-Evaporador de alta presión.
- 20).-Sobrecalentador.

Cada recuperador de calor alimentará con 440000 lbs./hr. de vapor sobrecalentado a una temperatura de 510°C y a una presión de 88-Kg/cm² a la turbina, en donde el vapor será descargado al condensador a una presión de 66 mm.Hg.; en la parte intermedia de la turbina se extrae parte del vapor para precalentar el agua de alimentación en los tanques de baja presión para aumentar la eficiencia del ciclo. El agua resultante de la condensación del vapor será conducida por las bombas de condensado hacia los tanques de baja presión y a los dea - readores, en donde los gases incondensables que lleva el agua serán arrojados hacia la atmósfera. El vapor residual que se emplea para ca - lentar el agua en los tanques de baja presión será enviado hacia el condensador.

En los recuperadores de calor se contará con economizadores y - evaporadores de baja y alta presión para elevar la temperatura del - agua que llega a los domos a cerca de 235°C. para hacer más eficien - te la operación de los recuperadores. El agua que se pierde durante - el ciclo se repondrá en el condensador con agua que será previamente desmineralizada proveniente de pozos cercanos a la Central, la cual - será almacenada en el tanque de agua de condensado; el agua de circu - lación para enfriamiento del vapor en el condensador será proporcio - nada por una planta de tratamiento de aguas negras y enfriada por - una torre de enfriamiento.

Las turbinas de gas calentarán con la temperatura de sus gases - de escape a el agua que circulará por los recuperadores de calor, los - cuales tendrán quemadores extras para aumentar la temperatura en ca - so de que se requiera aumentar la potencia de la turbina.

Cuando los dos proyectos estén funcionando conjuntamente, la Central producirá una potencia total de casi 560 Mw. es decir aproximadamente la potencia generada por dos unidades de 300 Mw. pertenecientes a las grandes plantas termoeléctricas, lo cual da una clara idea de la importancia de las plantas de ciclo combinado dentro del Sistema de Generación Eléctrico Nacional.

2.4. LOCALIZACION.

La Central se edifica sobre una superficie de 92000 m² y a 2160 metros de altura sobre el nivel del mar, estando localizada geográficamente en el Estado de Hidalgo, aproximadamente a 85 Km. al norte de la ciudad de México, sobre el Km. 27 1/2 de la carretera Jorobas-Tula. Se ubica a poca distancia de la Planta Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, por lo que la generación producida por la Central es enviada al exterior a través del bus de 230 Kv. de la Termoeléctrica hacia las Subestaciones de Querétaro, Apasco I, Apasco II y Atenco.

También se encuentra próxima la Refinería Miguel Hidalgo, la cual surte de diesel especial y gas licuado a la Central.

2.5. DISTRIBUCION DE LA ENERGIA GENERADA.

La energía eléctrica proveniente de los generadores es conducida hacia los transformadores principales ó de enlace, los cuales tienen una capacidad de 140 MVA. y una relación de transformación de 13.8/230(Y)Kv. (Ver diag. 2.5).

A través de las cuchillas verticales (94) se conducen 13.8 Kv. hacia los transformadores de auxiliares, los cuales tienen una relación de transformación de 13.8/4.16(Y)Kv. y una capacidad de 5 MVA.; se usan en el caso de las unidades turbogas para alimentar a los buses que abastezcan de energía al siguiente equipo :

e).- Dos motores de arranque de 1500 Hp. (Por paquete).

- b).-Dos transformadores de servicios propios con una capacidad de 1 MVA. y con una relación de voltaje de 4160/480(Y)V. -- (Por paquete).

Los transformadores de servicios propios se emplean para suministrar energía eléctrica a todos los servicios auxiliares de cada paquete que requieren funcionar con bajo voltaje, tal y como los motores de las bombas de aceite para lubricación, motores de los ventiladores utilizados para enfriamiento, instrumentos de control, protecciones, alumbrado y otros servicios generales que se estudiarán más adelante con mayor profundidad.

Existe un enlace entre los buses de 4.16 Kv. de las unidades -- turbogas 1 y 2 (Ver diag 2.5) a través del interruptor denominado "Tie Breacker" en la unidad 1 y la cuchilla llamada "Tie Dummy" en la unidad 2. El enlace se emplea para casos de emergencia cuando por alguna razón se pierda la alimentación para los servicios internos de cualquiera de las dos unidades.

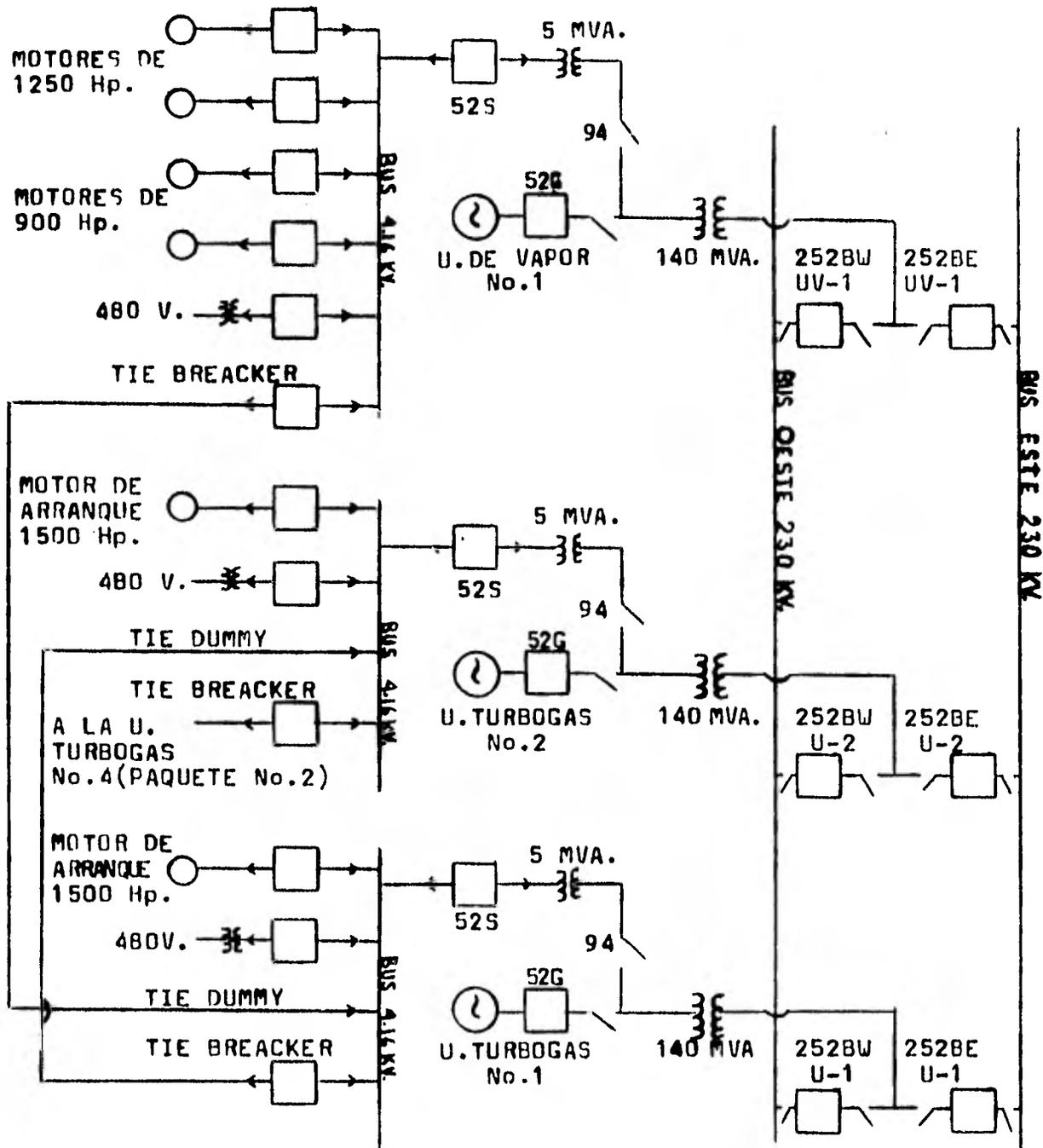
Si por alguna causa se perdiera la alimentación para los servicios internos de las dos unidades simultáneamente, se puede suministrar energía desde el otro paquete por medio del enlace entre la unidad turbogas 2 a través de su interruptor "Tie Breacker" y la cuchilla "Tie Dummy" de la unidad turbogas 4 perteneciente al paquete 2.

En el caso de las unidades de vapor, el bus de 4.16 Kv. abastece de energía eléctrica al siguiente equipo :

- a).-Dos motores de 1250 Hp. utilizados para las bombas de agua de alimentación a las calderas (Por paquete).
- b).-Dos motores de 900 Hp. utilizados para las bombas de agua de circulación (Por paquete).
- c).-Un transformador de servicios propios con una relación de transformación de 4160/480(Y)Kv. y una capacidad de 1 MVA. -- (Por paquete).

La unidad de vapor 1 (Ver diag 2.5) se enlaza con las dos unidades turbogas a través del interruptor "Tie Breacker" de la unidad de vapor y la cuchilla "Tie Dummy" de la unidad turbogas 1.

La energía generada por la Central es direccionada al Sistema -



DIAG. 2.5. DIAGRAMA UNIFILAR CORRESPONDIENTE AL PAQUETE No.1 DE LA CENTRAL CICLO COMBINADO TULA.

de Carga de 230 Kv. a través de su Subestación, la cual cuenta con un arreglo de doble bus con doble interruptor por línea(252BW y 252BE)- para poder desconectar o conectar a ambos Sistemas cuando se requiera.

La Central se encuentra dentro de la zona de generación denominada por Comisión Federal de Electricidad "Sistema Central" del cual forman también parte las Subestaciones de: Emiliano Zapata, Texcoco, Tula, Nopala, Querétaro, Valle de México y Apasco entre otras.

C A P I T U L O I I I

ESTUDIO DEL EQUIPO ELECTRICO DE POTENCIA

3.1. INTRODUCCION.

El equipo eléctrico de potencia principal de la Central Ciclo - Combinado Tula que interviene en el proceso de generación de energía eléctrica ya sea suministrando dicha energía ó protegiendo al equipo que la suministra, guarda una estrecha relación entre sí, por lo que - el análisis de sus características y funcionamiento trae como consecuencia el conocimiento de la forma en que están estructurados tanto el sistema de suministro de energía eléctrica antes de llegar a la - Subestación como el sistema de suministro de energía para el equipo - eléctrico auxiliar de menor capacidad, obteniéndose con ello un panorama más amplio de la forma en que se distribuye la energía eléctrica producida por la Central.

Se puede dividir el equipo principal para su mejor estudio fundamentalmente en tres grupos :

- 1).-Equipo de suministro principal.
- 2).-Equipo de apoyo ó auxiliar.
- 3).-Equipo para protección del sistema de generación.

El equipo de suministro principal está constituido por los generadores con sus sistemas de excitación y por los transformadores de enlace con una relación de transformación de 13.8/230(Y)Kv. es decir por el equipo que suministra directamente energía eléctrica al Sistema de Carga.

El equipo de apoyo está compuesto por los transformadores para servicios propios con una relación de transformación de 4160/480(Y)-volte y por los transformadores de auxiliares con una relación de -- transformación de 13.8/4.16(Y)Kv.; siendo la función primordial de -- éste equipo la de auxiliar a la Central en la generación de energía - eléctrica para el Sistema de Carga, suministrando energía principal - mente al siguiente equipo :

- a).-Motores de 1500 Hp. utilizados para arrancar las turbinas - de gas.

- b).-Motores de 1250 Hp. para las bombas de agua de alimentación a las calderas.
- c).-Motores de 900 Hp. para las bombas de agua de circulación.
- d).-Motores de diversa potencia utilizados en: bombas de aceite para lubricación de chumaceras, ventiladores para enfriamiento, compresores para aire de instrumentos, bombas de agua de condensado, bombas de combustible, etc.
- e).-Sistema de protección.
- f).-Sistema de control de la Subestación.
- g).-Sistema electrónico de control de todos los procesos que -- tienen lugar en la Central.

El equipo para protección del sistema de generación, es el constituido por los interruptores del tipo de gran volumen de aceite con una capacidad interruptiva de 1500 MVA. y por los interruptores magnéticos con una capacidad interruptiva de 250 MVA. colocados en los buses de 4.16 Kv.

La función principal de éstos interruptores es la de proveer de un medio eficaz para librar al sistema de alguna falla que se pudiere presentar en algún punto del circuito, evitándose con ello un serio daño al equipo de generación.

3.2. GENERADOR.

El generador es una máquina ó convertidor electromecánico capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, basado esto en la inducción de corriente y voltaje a un elemento conductor (pasivo) - si se logra variar sobre éste un flujo magnético (ϕ_m) producido ya sea por algún elemento activo que produzca su campo magnético al circular por él alguna corriente ó simplemente por algún elemento imantado.

Por supuesto que para lograr que el flujo magnético corte de manera perpendicular al conductor ó espira es necesario que exista ya sea el movimiento de éste flujo magnético a través del conductor ó -

visceversa para que se induzca en el conductor una fuerza electromotriz (Fem.). En el caso del generador el movimiento del flujo magnético lo produce el rotor ó inductor y el elemento inducido ó pasivo es el estator, el cual es fijo y se encuentra alrededor del rotor; el rotor es movido por la flecha de la turbina, la cual le trasmite potencia mecánica al rotor.

El estator es generalmente fijo, debido a que su devanado es más pesado y más complejo en su estructura, por lo que no soportaría llegar a velocidades del orden de 3600 r.p.m. además de que las protecciones, aislamiento y algunos accesorios extras lo harían incosteable.

De ésta manera el devanado del estator puede ser enfriado de mejor forma y el rotor puede ser construido para trabajar a altas velocidades, pudiéndose variar su voltaje de campo sin ningún problema.

3.2.1. TEORIA Y FUNCIONAMIENTO.

Para analizar en forma analítica como es que un generador puede producir una tensión en las espiras que componen el devanado del estator se debe de seguir la secuencia de transformación de energía mecánica a energía eléctrica con el objeto de explicar el fenómeno físico que es lo que en primera instancia se utiliza para analizar su funcionamiento así como sus características intrínsecas como regulación, comportamiento bajo diferentes condiciones de carga, etc.

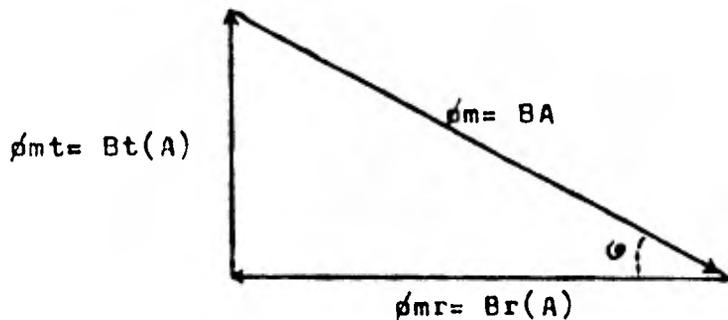
Primeramente partamos de la base de que todo conductor en el que circula corriente, se produce en él un campo magnético, el cual es constituido por polos magnéticos que por ser generados por corriente directa están estacionarios.

Si se forman espiras con muchos conductores y se enrollan alrededor de un núcleo sobre un eje se tendrá un rotor, que para inducir una Fem. en las espiras del estator necesita girar. Este giro lo proporcione la turbina, produciendo que se induzca en el generador un --

voltaje(e) que es directamente proporcional al incremento con respecto al tiempo del flujo magnético, es decir a la magnitud de la densidad del flujo magnético(B) que actúa sobre el incremento del área cubierta por el rotor en un determinado tiempo.

$$e = -B \frac{\Delta A}{\Delta t} = -\frac{d(\phi_m)}{dt} \quad \text{-----} \quad (1)$$

El signo menos indica que el voltaje inducido se opone a la causa que lo produce (Ley de Lenz).



Donde: ϕ_{mt} = flujo magnético tangencial.

ϕ_{mr} = flujo magnético relativo.

$$\phi_{mt} = (\phi_m) \text{sen} \theta \quad \text{-----} \quad (2)$$

El flujo magnético alcanza su mayor influencia sobre el conductor cuando es más perpendicular a éste, por lo que la magnitud del voltaje inducido estará en función del incremento de la componente tangencial del flujo magnético con respecto al tiempo.

Sustituyendo la ecuación (2) en (1) :

$$e = -\frac{d(\phi_{mt})}{dt} = -\frac{d(\phi_m \text{sen} \theta)}{dt} = -\phi_m \text{cos} \theta \frac{d\theta}{dt}$$

Lo cual implica que el voltaje inducido está atrasado 90° con respecto al flujo magnético tangencial.

El voltaje inducido también depende directamente del número de espiras (N) con que cuenta el devanado del estator, así como de la velocidad angular (ω) con que se mueve el campo magnético del rotor.

$$e = -N\omega\phi_m \text{cos} \theta \quad \text{-----} \quad (3)$$

En el caso del generador trifásico, el defasamiento del voltaje inducido entre cada fase es de 120° eléctricos, por lo que si tiene el devanado de su estator conectado en estrella la ecuación (3) se -- transforma en : $e_{3\phi} = \sqrt{3} K N \omega \phi \cos \omega t$

Donde : $e_{3\phi}$ = voltaje de línea inducido en vacío.

K = constante de pérdidas de voltaje debidas a la misma estructura ferromagnética de la máquina y a la distribución de su devanado.

La Central al igual que muchas otras plantas generadoras emplea generadoras denominados síncronos, los cuales pueden girar a una velocidad constante produciendo con ésto una frecuencia eléctrica también constante, la cual es necesaria para mantener a un valor fijo la Fem. inducida pues es directamente proporcional.

3.2.2. CARACTERISTICAS DE LOS GENERADORES DE LA CENTRAL.

Como parte del Proyecto I ya anteriormente explicado, están instalados y funcionando cuatro generadores con las siguientes características :

Marca	Westinghouse.
Tipo	Síncrono.
Capacidad nom.	143400 KVA.
Tensión.	13800 Volts.
Corriente nom.	6000 Amp.
Factor de potencia	0.9
Fases	3
Frecuencia	60 Hz.
Tipo de conexión	Estrella con neutro a tierra.
Impedancia por fase a 41°C .	$X=0.1938\text{ohms}; r=0.00066\text{ohms}$.
Velocidad	3600 r.p.m.
Tipo de rotor	2 polos lisos.
Tipo de enfriamiento	Hidrógeno a 41.3 PSIA.

Para el Proyecto II se espera contar con dos generadores con -- las siguientes características principales :

Marca	Westinghouse.
Potencia	120 Mw.
Tipo	Síncrono.
Tensión	13800 Volts.

Factor de potencia	0.9
Frecuencia	60 Hz.
Fases	3
Tipo de enfriamiento	Hidrógeno.

3.2.3. ROTOR.

Está constituido por un núcleo de una aleación de acero, el cual está maquinado con ranuras para recibir a las bobinas de campo y formar ductos de ventilación. Las bobinas de campo están formadas por un conjunto de conductores en forma de barras de cobre y plata, pues esta combinación es óptima debido principalmente a la fuerza centrífuga a que se somete el rotor y a la dilatación por altas temperaturas.

Las bobinas se alimentan con corriente directa proveniente del excitador principal, por medio de dos terminales acopladas directamente a la flecha del rotor, por lo tanto giran con éste evitando de esta manera el uso de anillos rozantes y escobillas.

3.2.4. ESTATOR.

El núcleo del estator está formado por laminaciones de una aleación de hierro-silicio aisladas con barniz, las cuales forman ranuras. La forma de construcción del núcleo permite reducir las pérdidas de potencia por corrientes parásitas.

Existen espacios localizados a intervalos en la periferia del estator para la circulación del flujo de gas de enfriamiento.

Las bobinas se encuentran alojadas en las ranuras del núcleo y están formadas por barras de cobre, las cuales están trenzadas y separadas por una pequeña película de aislante para evitar la distribución desigual de la corriente. El aislamiento de las ranuras está recubierto con un barniz semiconductor y las superficies están conectadas a tierra para evitar el efecto corona en los espacios entre las bobinas y el núcleo.

Los conductores en cada ranura están cubiertos por cuñas de un material especial, el cual ayuda a concentrar mejor el flujo magnético sobre los conductores debido a sus cualidades magnéticas, reduciéndose con ello el flujo de dispersión y la reluctancia del entrehierro.

Sobre cada extremo de la flecha del rotor se encuentran montados dos sopladores de flujo axial, los cuales hacen circular hidrógeno a través de los devanados del estator, así como en el entrehierro y entre las ranuras del rotor. El hidrógeno se utiliza en lugar de -- aire debido a las siguientes ventajas:

- a).-El efecto corona sobre los aislamientos disminuye.
- b).-Disminuye el nivel de ruido mecánico producido por el rotor al rozar con el medio ambiente.
- c).-Es fácil mantenerlo completamente seco, por lo que el humedecimiento de los aislamientos no se presenta.
- d).-Evita bolsas de aire en los aislamientos, las cuales los deterioran.
- e).-El peligro de incendio en los aislamientos desaparece ya -- que no puede existir combustión en un ambiente de hidrógeno.
- f).-Es más liviano que el aire por lo que las pérdidas de potencia por ventilación son mínimas.
- g).-Su coeficiente de transmisión de calor es mejor que el del -- aire, pudiendo ser incrementado aumentando la presión del -- gas.

El empleo del hidrógeno como gas refrigerante aumenta la eficiencia de los generadores, ya que dependiendo de su pureza puede hacer que las pérdidas de potencia en el rotor disminuyan hasta en un 35%. Sin embargo pese a su coeficiente de transmisión de calor, el calentamiento de los devanados y el núcleo producto de la alta tensión hacen que el hidrógeno eleve su temperatura, por lo que es necesario contar con disipadores de calor. Esto se hace colocando diversos conductos a lo largo del estator en los cuales circula agua con alcohol ó glycol para absorber el exceso de calor en el hidrógeno.

El agua una vez que ha absorbido el calor del hidrógeno es bom-

beada hasta unos tubos intercambiadores de calor, donde es enfriada - por dos ventiladores. Finalmente la bomba recircula el agua hasta el - generador, completándose con ésto el ciclo. La bomba es movida por un - motor con las siguientes características:

Marca	Westinghouse.
Potencia	60 Hp.
Tensión nom.	460 VCA.
Corriente nom.	68 Amp.
Velocidad	3555 r.p.m.
Fases	3
Clase de aislamiento	F.
Factor de servicio	1.15

La única desventaja de usar hidrógeno como refrigerante es que - requiere de una instalación que permita sellar las uniones del rotor - con la estructura del generador para evitar que escape el hidrógeno; - para ello se hace circular aceite por dichas uniones a una presión ma - yor que la del hidrógeno, lo cual implica el funcionamiento permanente de una bomba denominada de sellos, que funciona con un motor de co -- rriente directa con las siguientes características :

Marca	Reliance.
Potencia	1 Hp.
Tensión nom.	120 VCD.
Corriente nom.	8 Amp.
Velocidad	1720 r.p.m.

Como es evidente si la bomba está fuera de servicio el generador no deberá funcionar, ya que sería peligroso operarlo sin la presencia - del hidrógeno, por lo que siempre que la bomba sale fuera de servicio - por alguna razón el hidrógeno escapa a la atmósfera, debiéndose repo - ner antes de poner en funcionamiento el generador.

Generalmente en el estator se induce un voltaje de diferente mag - nitud cuando tiene conectado alguna carga que cuando funciona en va - cío. ésto se debe a la impedancia (Z) de su devanado, la cual está defini - da por la siguiente relación : $Z = \sqrt{X^2 + r^2}$; donde (X) es la reactan - cia del inducido y (r) la resistencia del mismo.

La reactancia del inducido es debida a que el flujo magnético -- que produce la corriente inducida, se opone a cualquier cambio de co -

riente y puesto que la corriente alterna cambia constantemente de magnitud, el inducido la restringe en todo momento, por lo que depende directamente de la frecuencia además de la característica que tenga el inducido para mantener la corriente, es decir a su autoinducción (L) . Por lo tanto : $X = 2\pi fL$.

La resistencia del inducido tiende a incrementarse debido a que como el flujo magnético cambia constantemente de magnitud se producen pérdidas de potencia en el núcleo por corrientes parásitas y por histéresis.

3.2.5. DIAGRAMAS FASORIALES.

El Sistema al cual los generadores suministran energía varía sus condiciones de carga, ya que algunas veces es inductivo, otras capacitivo y otras resistivo, por lo que el factor de potencia está cambiando constantemente y con ello el voltaje inducido puede ser mayor ó menor según el tipo de carga.

3.2.5.1. CARGA CON FACTOR DE POTENCIA EN ATRASO.

La potencia reactiva es la potencia que la carga emplea para formar el campo magnético de sus bobinas. Si el Sistema de Carga posee características inductivas, su voltaje tiende a ser menor con respecto al voltaje producido por los generadores, lo cual provoca que la potencia reactiva fluya de los generadores hacia el Sistema de Carga, ya que la potencia reactiva tiene la característica de fluir de mayor a menor potencial.

Cuando un generador suministra potencia reactiva al Sistema de Carga, el efecto es tal en el estator que empieza a desmagnetizarlo, lo cual provoca que el flujo magnético del inducido (ϕ_A) y el flujo magnético en el entrehierro (ϕ_E) disminuyan de magnitud al igual que el voltaje inducido.

Para evitar que siga disminuyendo el voltaje inducido es necesario hacer que aumente el flujo magnético de excitación del rotor (ϕ_R) proporcionalmente a la disminución de (ϕ_A) con el objeto de mantener el flujo magnético en el entrehierro esencialmente constante, ya que el voltaje inducido es directamente proporcional al aumento ó disminución de (ϕ_E).

$$\phi_E = \phi_R - \phi_A \text{ -----(6)}$$

Las curvas de capacidad ó de capacidad (Ver fig.3.2.5.a.) proporcionadas por el fabricante nos indican los límites tolerables dentro de los cuales debe de operarse un generador.

La zona marcada con el número 1 en las curvas de capacidad de uno de los generadores de las unidades turbogas de la Central, nos indica la zona dentro de la cual es tolerable aumentar la corriente de excitación en el rotor, es decir, la potencia reactiva con respecto a la potencia real, sin sobrecalentar sus devanados cuando se tiene una carga con un factor de potencia en atraso para diferentes temperaturas del hidrógeno.

Los diagramas fasoriales junto con las curvas de capacidad -- nos ayudan a visualizar mejor el comportamiento del generador, ya que se pueden analizar las condiciones en las que varía el voltaje inducido, las caídas de tensión por impedancia, los ángulos fasoriales, así como la magnitud y fase de los flujos magnéticos.

Debido a que el flujo magnético del inducido es proporcional para cualquier estado de carga, se puede mantener como parámetro para el cálculo de (ϕ_E) y de (ϕ_R), pudiéndose obtener a partir de las condiciones nominales del generador. Para ello se utilizarán las curvas de saturación y de cortocircuito de uno de los generadores de las -- unidades turbogas de la Central (Ver fig.3.2.5.b.).

La curva de cortocircuito se obtiene a partir de una prueba en la que las terminales del inducido se ponen en cortocircuito, produciendo que el voltaje en terminales se reduzca a cero. La corriente de excitación del rotor se incrementa hasta que se alcanza la co --

GENERADOR WESTINGHOUSE
143.4 MVA., 0.9 FP., 6KA., 3 ϕ , 60 Hz., 3600 R.P.M.
ENFRIAMIENTO POR HIDROGENO (44.7 PSIA).
CURVAS DE CAPABILIDAD.

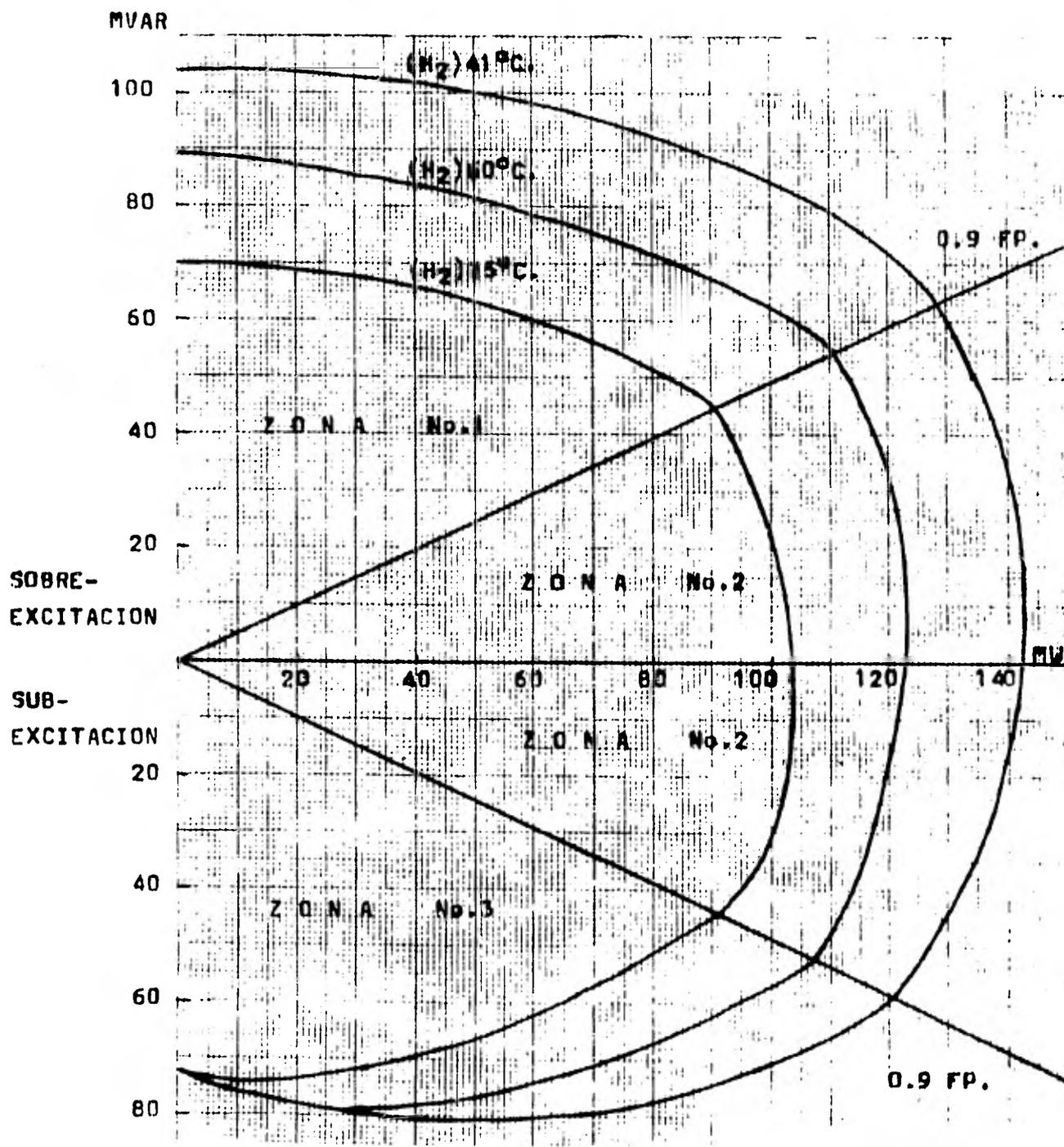


FIG. 3.2.5.e.

GENERADOR WESTINGHOUSE
143.4 MVA., 0.9 FP., 6KA., 3 ϕ , 60 Hz.
ENFRIAMIENTO POR HIDROGENO.
CURVAS CARACTERISTICAS.

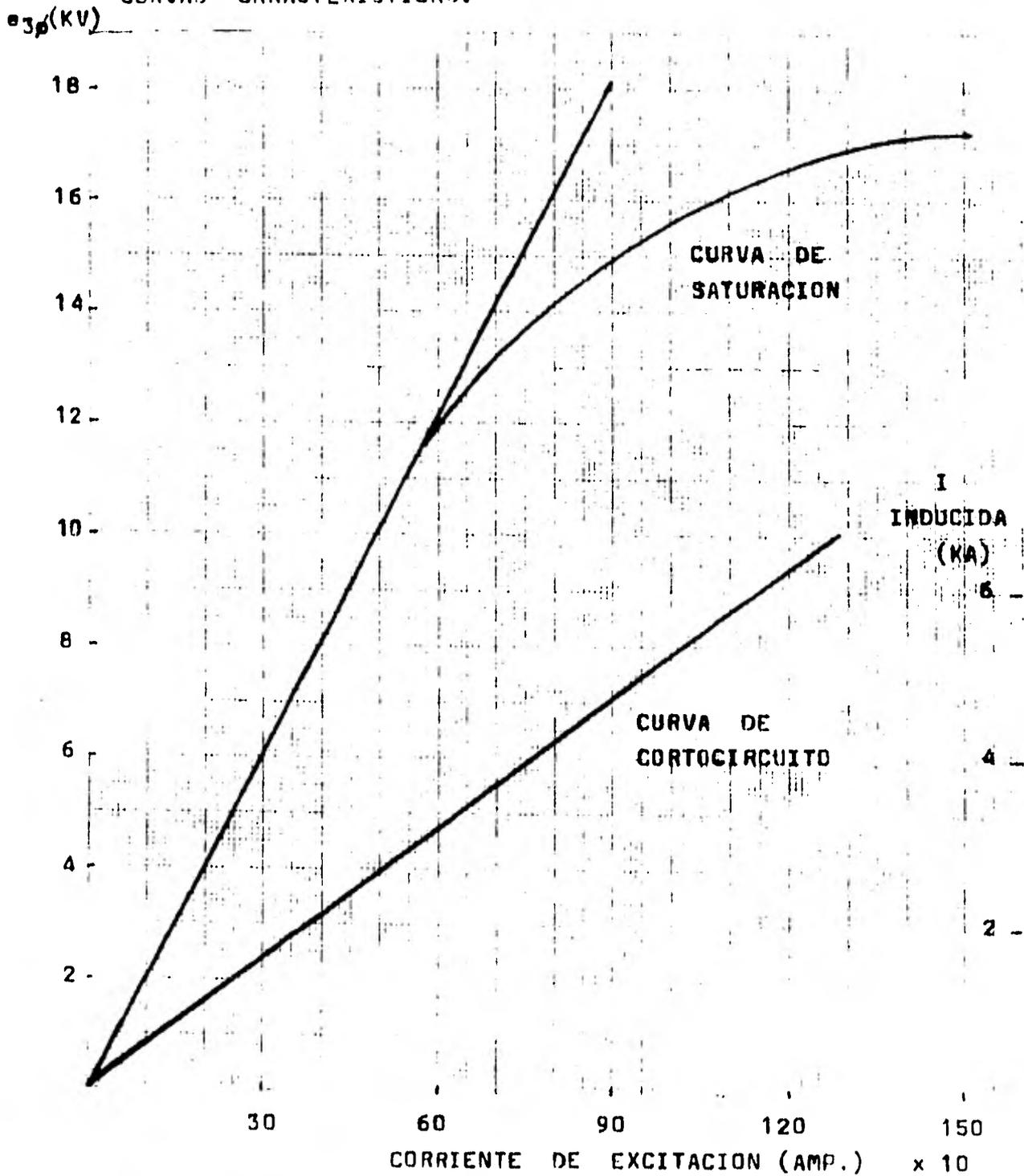


FIG. 3.2.5.b.

corriente de línea nominal del inducido, en donde (ϕ_A) será en todo momento directamente proporcional a (ϕ_R). Para simplificar los cálculos se supondrán iguales las reluctancias (M) de los circuitos magnéticos del rotor, del entrehierro y del inducido.

En la curva de cortocircuito del generador se puede apreciar que el valor de la corriente de excitación del rotor con que se alcanza la corriente nominal del inducido (6KA) es de 1150 Amp.; por lo tanto: $\phi_R = M(1150)$ Webers.

El voltaje de línea inducido es solamente el que se produce al circular la corriente inducida por la impedancia de los devanados; por lo tanto cuando la corriente inducida alcance su valor nominal se tendrá un voltaje nominal de línea de:

$$e_{3\phi} = \sqrt{3} \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} = \sqrt{3} \sqrt{(6000(0.00066))^2 + (6000(0.1938))^2} \\ = 2014.04 \text{ Volte.}$$

La curva de saturación ó de circuito abierto se obtiene a partir de una prueba en la cual se deja al generador funcionar en vacío con el objeto de hacer que el flujo magnético del inducido sea igual a cero, provocando con ello que (ϕ_E) = (ϕ_R). La corriente de excitación del rotor se eleva hasta que el voltaje en terminales llega a su valor nominal, pudiéndose notar en la curva que a partir de determinado valor de la corriente de excitación, el voltaje se hace cada vez menos proporcional debido a que el núcleo del estator empieza a saturarse. En la curva de saturación se puede observar que el valor de la corriente de excitación del rotor con que se alcanza el voltaje de línea inducido cuando se cortocircuitan las terminales del generador (2014.04V.) es de 100 Amp.; por lo tanto: $\phi_E = M(100)$ Webers.

Sustituyendo el valor de (ϕ_R) y de (ϕ_E) en la ecuación (6) se puede obtener el valor del flujo magnético en el inducido, el cual se tomará como referencia para cualquier estado de carga:

$$\phi_A = \phi_R - \phi_E = M(1150 - 100) = M(1050) \text{ Webers.}$$

Se empleará el estado de carga diario en promedio de uno de los generadores de las unidades turbogas de la Central para poder obtener

ner los diagramas fasoriales para diferentes estados de carga.

Estado normal en promedio del generador de la unidad turbogas -
No.2 :

Potencia real entregada al Sistema de Carga= 70 Mw.

Potencia reactiva entregada al Sistema de Carga= 10 Mw.

Corriente de línea= 2960 Amp.

Voltaje de línea= 13800 V.

Factor de potencia(normal)= 0.99 en atraso.

Para calcular el voltaje inducido(e) cuando la carga tiene un --
factor de potencia en atraso se emplea la siguiente ecuación :

$$e = \sqrt{\frac{V \cos \phi + IR}{\sqrt{3}}^2 + \frac{(V \sin \phi + IX)^2}{\sqrt{3}}}$$

Donde: V= 13800 Volts.

I= 2960 Amp.

R= 0.00066 ohms.

X= 0.1938 ohms.

cos = F.P.= 0.99 en atraso.

sen = 0.141

Sustituyendo valores : e= 8.07 12.14°

El voltaje inducido de línea es : $e_{3\phi} = 3(8.07) = \underline{13.97 \text{ Kv.}}$

Con el valor de ($e_{3\phi}$) se busca en la curva de saturación el va -
lor de la corriente de excitación del rotor con que se alcanza éste -
valor de voltaje, el cual es de 780 Amp.; de ésta manera se puede de -
terminar el flujo magnético del rotor cuando el generador funciona -
en vacío, por lo tanto : $\phi_R = \phi_E = M(780) \text{ Webers.}$

Debido a que (ϕ_E) es el flujo resultante de la diferencia entre -
(ϕ_R) y (ϕ_A) se puede calcular el flujo magnético del rotor a partir -
de la suma vectorial de sus componentes :

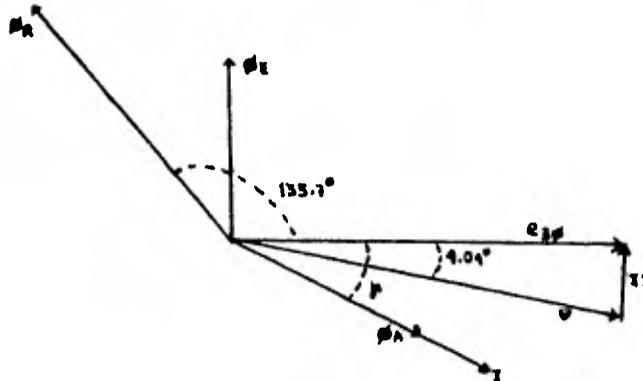
$$\phi_R = \sqrt{(\phi_A \cos \phi)^2 + (j\phi_E + j\phi_A \sin \phi)^2}$$

Donde: $\phi_A = M(1050) \text{ Webers.}$

$\phi_E = M(780) \text{ Webers.}$

$\phi = 12.14^\circ$

Sustituyendo valores : $\phi R = M(1433) \underline{135.7^\circ}$ Webers.
El diagrama fasorial completo queda :



3.2.5.2. CARGA CON FACTOR DE POTENCIA UNITARIO.

Cuando el Sistema de Carga es puramente resistivo, es decir, con un factor de potencia unitario, consume solamente la potencia real suministrada por los generadores, ya que la corriente está en fase con la tensión.

La zona marcada con el número 2 en las curvas de capacidad -- nos indica la zona dentro de la cual es tolerable suministrar potencia real sin que se produzca un excesivo calentamiento en los devanados del estator para diferentes temperaturas del hidrógeno. El voltaje inducido (e) se puede calcular mediante la siguiente ecuación :

$$e = \frac{\sqrt{(V + IR)^2 + (IX)^2}}{\sqrt{3}}$$

Donde: $V = 13800$ Volts.

$I = 2960$ Amp.

$R = 0.00066$ ohms

$X = 0.1938$ ohms.

Sustituyendo valores : $e = 7.99 \underline{4.12^\circ}$

El voltaje inducido de línea es : $e_{3\phi} = \underline{13.83}$ Kv.

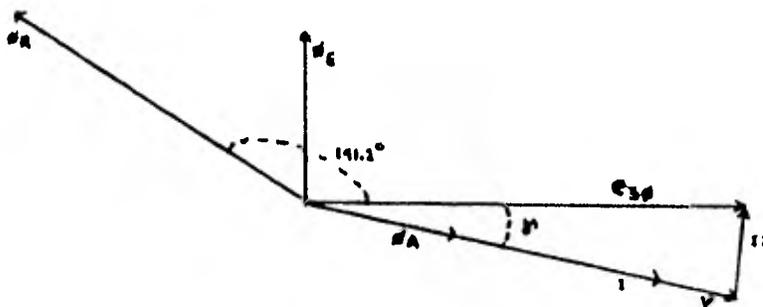
En la curva de saturación se puede apreciar que el valor de la corriente de excitación necesario para alcanzar el valor del voltaje inducido de línea es de: 765 Amp.; por lo tanto el valor del flujo magnético en el entrehierro es de: $\phi_E = M(765)$ Webers.

Sustituyendo en la ecuación empleada para obtener (ϕ_R) cuando se tiene un factor de potencia en atraso los valores obtenidos se tiene que: $\phi_A = M(1050)$ Webers.

$$\phi_E = M(765) \text{ Webers.}$$

$$\gamma = 4.12^\circ$$

$$\phi_R = \sqrt{(1050 \cos 4.12^\circ)^2 + (765 + 1050 \sin 4.12^\circ)^2} = M(1342) \underline{141.2^\circ} \text{ Wb}$$



3.2.5.3. CARGA CON FACTOR DE POTENCIA EN ADELANTO.

Si el Sistema de Carga posee características capacitivas, entonces tiene la capacidad de almacenar tensión. Cuando la tensión de la carga es mayor el voltaje en bornes del generador, la diferencia de potencial hace que la potencia reactiva fluya de la carga hacia el generador.

El flujo de potencia reactiva hacia el generador produce un efecto tal en el inducido, que empieza a sobremagnetizarlo, lo cual provoca que la intensidad del flujo magnético del inducido y el flujo magnético en el entrehierro se incrementen. El voltaje inducido es d

rectamente proporcional al aumento ó disminución de (ϕE), por lo tanto un aumento en la magnitud del voltaje inducido representará un incremento de (ϕA) y de (ϕE).

Para evitar que siga aumentando el voltaje en el inducido es necesario hacer que disminuya el flujo magnético de excitación del rotor proporcionalmente al aumento del flujo magnético del inducido -- con el objeto de mantener a (ϕE) constante.

La zona marcada con el número 3 en las curvas de capacidad -- nos señala la zona dentro de la cual es tolerable disminuir la potencia reactiva con respecto a la potencia real para diferentes temperaturas del hidrógeno, a fin de evitar la posible pérdida de control sobre el generador.

El voltaje inducido se puede calcular mediante la siguiente ecuación :

$$e = \frac{\sqrt{(V \cos \theta + IR)^2 + (V \sin \theta - IX)^2}}{\sqrt{3}}$$

Donde: $V = 13800$ Volts.

$I = 2960$ Amp.

$R = 0.00066$ ohms.

$X = 0.1938$ ohms.

$\cos \theta = 0.99$ en adelante.

$\sin \theta = 0.141$

Sustituyendo valores : $e = 7.9 \underline{3.98}^{\circ}$ Kv.

El voltaje inducido de línea es : $e_{3\phi} = \underline{13.68}$ Kv.

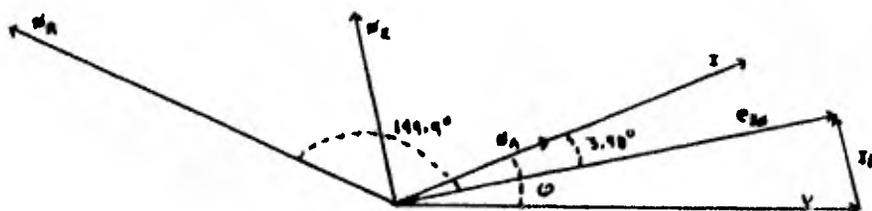
Como se puede apreciar en la curva de saturación, el valor de la corriente de excitación del rotor con el cual se alcanza la magnitud del voltaje inducido de línea es de: 750 Amp.; por lo tanto el valor del flujo magnético en el entrehierro es de: $\phi E = M(750)$ Webers.

Cuando existe una carga con factor de potencia en adelante, la corriente adelanta a la tensión y (ϕA) se opone al flujo magnético en el entrehierro, por lo que:

$$\phi R = \sqrt{(-\phi A \cos \theta)^2 + (j\phi E - j\phi A \sin \theta)^2}$$

Donde: $\phi A = M(1050)$ Wb.; $\phi E = M(750)$ Wb.; $\theta = 8.1^{\circ}$

Sustituyendo valores: $\phi_R = M(1201) 149.9^\circ \text{Wb}$.
El diagrama fasorial completo queda :



3.3. SISTEMA DE EXCITACION DEL GENERADOR.

El sistema de excitación de un generador es aquel que se utiliza para crear la corriente de excitación que produce el campo magnético necesario para poder inducir una fuerza electromotriz en el devanado del estator.

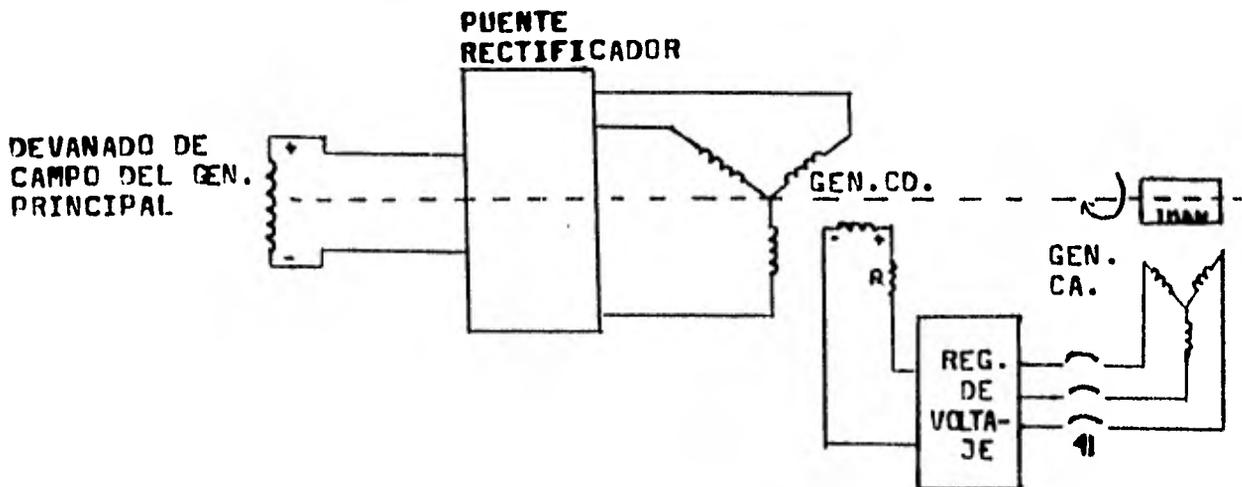
El sistema de excitación de los generadores de la Central y frecuentemente usado en los generadores de las plantas termoeléctricas es un sistema compuesto principalmente por: un generador de corriente alterna con excitación de imán permanente, un interruptor de campo (41), un generador de corriente directa con rectificación a base de diodos y un sistema de control de la corriente de excitación constituido por un regulador de voltaje (Ver diag. 3.3).

El diseño del sistema de excitación es tal que se aprovecha la misma energía mecánica que mueve al rotor del generador para mover al campo de excitación del generador de corriente alterna de imán permanente, el cual proporciona toda la energía necesaria para formar el campo magnético del rotor.

El generador de imán permanente posee un imán montado sobre la flecha del rotor, el cual gira con el movimiento del eje induciendo una fuerza electromotriz en el devanado de su estator. La corriente generada circula a través del interruptor de campo hacia el regulador de voltaje.

El interruptor de campo (41) provee de un medio eficaz y rápido para suministrar ó interrumpir la corriente de excitación al devanado de campo del generador principal, ya que a través de él se puede conectar ó desconectar en forma manual ó remota al generador de imán permanente con el regulador de voltaje.

En el regulador de voltaje la corriente alterna proveniente del generador de imán permanente es rectificada y controlada antes de ser suministrada al devanado de campo del generador de corriente directa, el cual posee un puente trifásico de diodos para rectificar la corriente alterna inducida. La corriente directa resultante es suministrada al devanado de campo del generador principal a través de 2-



DIAG 3.3. SISTEMA DE EXCITACION DE LOS GENERADORES DE LA CENTRAL

uniones directas para evitar el uso de anillos rozantes y escobillas que ocasionan gastos de mantenimiento por su rápido desgaste.

Las características principales de los excitadores con que cuentan los generadores de la Central son las siguientes :

GENERADOR C.A. DE IMAN PERMANENTE

Marca	Westinghouse.
Tensión	125 VCA.
Capacidad	10.5 KVA.
Corriente	48.5 Amp.
Fases	3
Frecuencia	420 Hz.
Factor de potencia	0.95
Velocidad	3600 r.p.m.

GENERADOR C.D.

Marca	Westinghouse.
Potencia nom.	375 Kw.
Tensión nom.	250 VCD.
Corriente nom.	1500 Amp.
Tipo de enfriamiento	Aire.
Temperatura máx.	60°C.
Velocidad	3600 r.p.m.
Diodos	24.

3.4. TRANSFORMADORES.

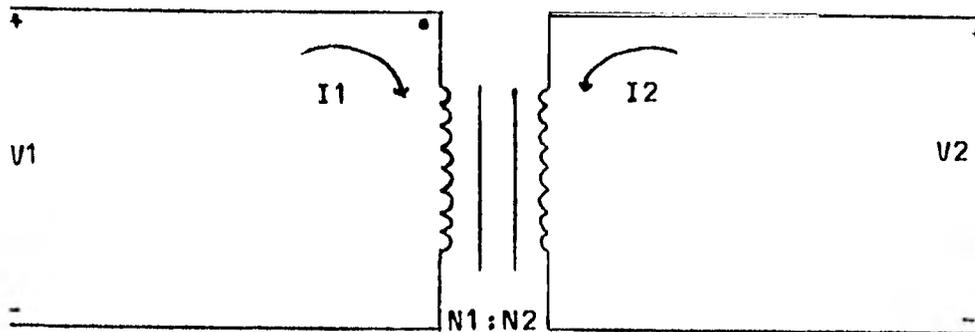
Dentro de todo el conglomerado de equipo de potencia se puede - clasificar a los transformadores como elementos estáticos ya que no poseen ninguna de sus piezas en movimiento, sólo se aprovecha la cualidad de poder inducir voltaje y corriente sobre una bobina denominada secundaria al variar sobre ésta un flujo magnético producido por otra bobina llamada primaria el circular por ésta una corriente alterna, lo cual se realiza a través de un núcleo de material ferromagnético. Con ello la energía eléctrica recibida por la bobina primaria es acoplada a la bobina secundaria mediante el campo magnético variable.

Esta propiedad de los transformadores es muy útil ya que según la relación que guarden el número de espiras del devanado primario -

con respecto a las del secundario se puede lograr que el voltaje inducido aumente en la misma proporción en que disminuye la corriente inducida, lo cual es muy ventajoso si se requiere mandar dicho voltaje a través de líneas largas de transmisión, por lo tanto si se coloca un transformador de potencia entre un generador y la línea de transmisión se puede hacer que la corriente se reduzca lo suficiente para evitar al máximo pérdidas de potencia en la línea, así como hacer que el voltaje aumente lo suficiente para poder sincronizar la energía producida por el generador con el Sistema de Carga.

De lo anterior se desprende que existe una relación directa entre el voltaje y el número de bobinas de cada devanado, pudiéndose expresar de la siguiente manera :

- $\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$; donde: N1= No. de bobinas del devanado primario.
N2= No. de bobinas del devanado secundario.
V1= Voltaje en terminales del lado primario.
V2= Voltaje en terminales del lado secundario.



TRANSFORMADOR IDEAL

Lo mismo se puede hacer con las corrientes e impedancias :

$\frac{V1}{V2} = \frac{-I2}{I1}$; $\left(\frac{V1}{V2}\right)^2 = \frac{Z1}{Z2}$; donde: I1= Corriente que circula por el devanado primario.

I2= Corriente que circula por el devanado secundario.

Z1= Impedancia del devanado primario.

Z2= Impedancia del devanado secundario.

Se usa en la mayoría de los transformadores de potencia el aceite como medio refrigerante y aislante debido a que es ideal por su alta rigidez dieléctrica, además de que al calentarse puede por sí solo circular dentro del tanque porque el calor producido por los devanados se trasmite al aceite por convección. De ésta manera se han diseñado dispositivos para enfriar dicho aceite permitiendo con ello que se diseñen transformadores de muy alta capacidad.

Las ventajas de usar un transformador de potencia trifásico en lugar de varios monofásicos interconectados ó de un autotransformador en las centrales eléctricas se pueden resumir de la siguiente forma :

- 1).-Menor intensidad de cortocircuito que un autotransformador.
- 2).-Menores esfuerzos en bobinas y laminaciones debido a que la intensidad de la corriente de cortocircuito es menor que en un autotransformador.
- 3).-Menor costo que 3 transformadores monofásicos.
- 4).-Utiliza un solo "Tap" para cambiar la tensión bajo carga en lugar de uno por cada transformador monofásico.
- 5).-Menor material aislante en las bobinas que en un autotransformador.

Las principales desventajas son :

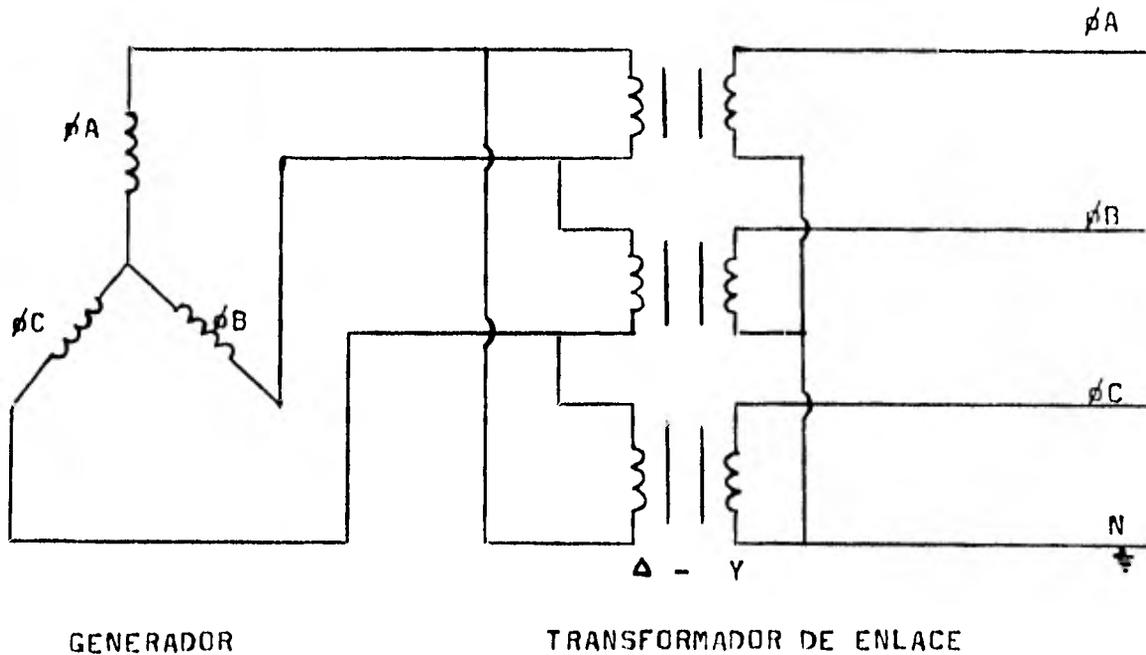
- 1).-Mayor regulación que un autotransformador.
- 2).-Mayor costo que un autotransformador.
- 3).-No se cuenta en la mayoría de los casos con una unidad inmediata de reserva en caso de daño, como es el caso de un banco de transformadores monofásicos.
- 4).-Dificultad de transporte debido a su peso y volúmen.

La conexión principal usada en los transformadores trifásicos de las centrales eléctricas es la conexión delta-estrella (Δ -Y) debido a dos situaciones:

- a).-Se puede tener del lado del devanado que se conecta en estrella dos niveles de voltaje según se requiera: volteje de línea y voltaje de fase.

b).-El generador produce una señal de voltaje senoidal deformada, la cual es la resultante de una señal senoidal pura de voltaje denominada fundamental y otras señales que poseen diferente magnitud y frecuencia llamadas armónicas, debido principalmente a que el flujo magnético que induce dicha tensión en el generador no es estrictamente uniforme, por lo que la conexión delta en los transformadores sirve a manera de filtro para las señales armónicas, las cuales ocasionan calentamiento en el equipo que recibe éste tipo de señal.

Se acostumbra conectar según se aprecia en el diagrama 3.4. las terminales del generador a la conexión delta del transformador de enlace y la línea de transmisión a las terminales del devanado conectado en estrella.



DIAG.3.4. ACOPLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR DE ENLACE CON UN GENERADOR

3.4.1. TRANSFORMADORES DE ENLACE.

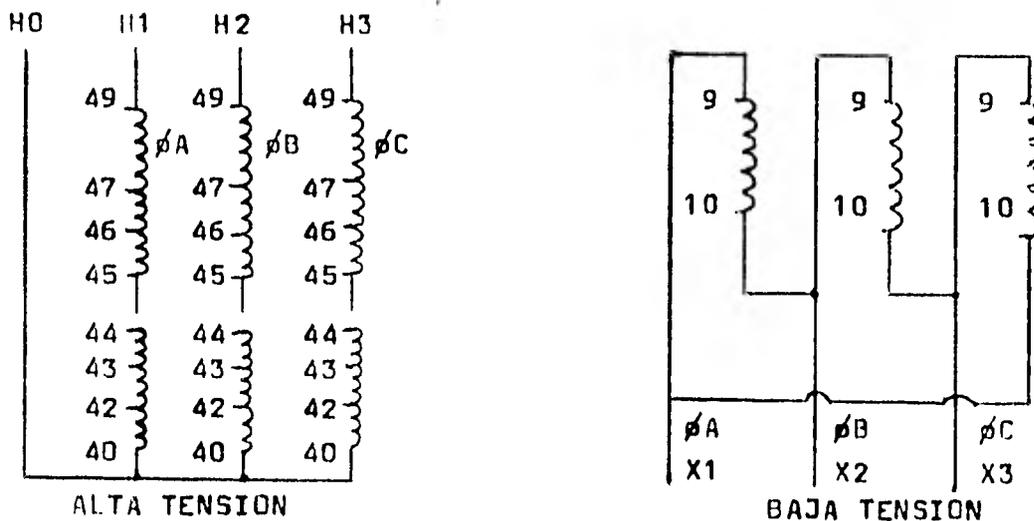
Entre los transformadores con que cuenta la Central en los que se pone mayor interés debido a su función y gran capacidad son los conocidos como transformadores principales ó de enlace, ya que son los que se encargan de elevar la tensión proveniente del generador para mandarla hacia el Sistema de Carga. Esto hace que éste tipo de transformadores cuenten con un sistema de protección bastante amplio así como un sistema de enfriamiento acorde con la magnitud de la corriente que circula por sus devanados.

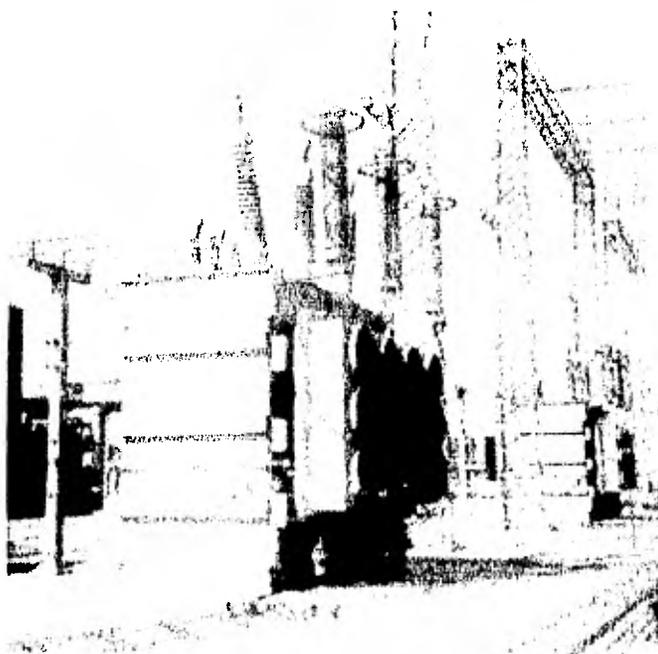
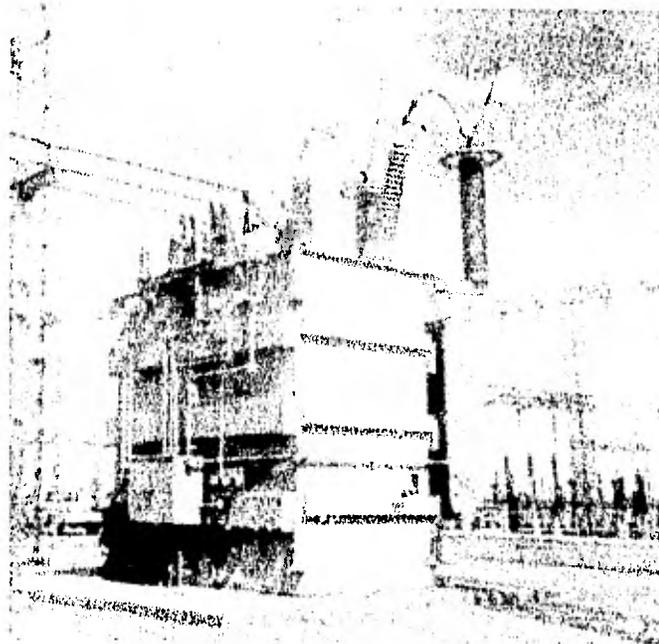
Funcionan también como reductores de voltaje cuando los generadores están fuera de servicio, recibiendo energía del Sistema para alimentar al equipo auxiliar.

3.4.1.1. CARACTERISTICAS.

Las características más importantes de éste tipo de transformadores trifásicos son las siguientes :

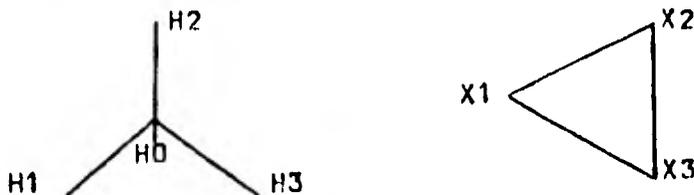
TIPO DE CONEXION





TRANSFORMADOR DE ENLACE PERTENECIENTE A LA UNIDAD TURBO-
GAS No.1 DE LA CENTRAL CICLO COMBINADO TULA.

FASORES



CONEXIONES

DEVANADO	VOLTS	AMPERS	CAMBIADOR DE TAPS	
			POS.	CONEXION
ALTA TENSION	241500	335	1	44 con 45
	235750	343	2	43 con 45
	230000	351	3	43 con 46
	242500	361	4	42 con 46
	218500	370	5	42 con 47
BAJA TENSION	13800	5857		

Marca	Westinghouse.
Capacidad	140 MVA.
Tensión	230Kv(Y); 13.8Kv(Δ)
Impedancia	17.3% (± 2%)
Nivel de impulso	750 Kv(A.T.); 150 Kv(B.T.).
Temperature máx.	65°C.
Frecuencia	60 Hz.
Tipo de enfriamiento	FOA.
Contenido de aceite	12270 galones.
Peso del núcleo y bobinas	165000 lbs.
Peso del tanque	51575 lbs.
Peso del aceite	92000 lbs.
Peso total	308575 lbs.

Esta clase de transformadores poseen un enfriamiento tipo FOA.- cuyas siglas significan Forced Oil Air, es decir circulación forzada de aire y aceite. La circulación forzada de aire se obtiene mediante 12 ventiladores con motores trifásicos de 480 VCA., los cuales obligan al aire a circular con mayor velocidad a través de los radiadores con el objeto de elevar la disipación del calor.

La circulación forzada de aceite se obtiene por medio de cuatro bombas centrífugas con motores trifásicos de 480 VCA. colocadas en la parte inferior del transformador para evitar tener que cebarlas; se succiona el aceite de la parte superior y se descarga en la parte inferior del tanque, haciéndolo circular de manera forzada para incrementar la disipación de calor.

Cuando ocurre un cortocircuito severo en los devanados de este tipo de transformadores la presión dentro de sus tanques se eleva -- bruscamente, por lo que se ha colocado en la parte superior de cada tanque una válvula de diafragma y se ha rellenado el espacio entre el aceite aislante y la parte superior del tanque con nitrógeno (el cual es un gas inerte) a una presión de 0.5 PSI.

La función de la válvula es la de liberar la presión dentro del tanque y la del nitrógeno es la de evitar que la humedad del medio ambiente se introduzca hacia el interior del tanque al abrir la válvula.

Existe una botella de nitrógeno con una presión de 2000 PSI, la cual a través de un sistema de válvulas reductoras suministra continuamente el gas a una presión de 0.5 PSI.

Si la presión del gas dentro del tanque disminuye (al liberarse parte del nitrógeno cuando abre la válvula) la botella de nitrógeno se encargará de restablecer la presión.

En el sistema de válvulas reductoras están colocados dos microswitch, los cuales accionan cuando la presión del nitrógeno dentro del tanque es baja ó alta. En el manómetro que registra la presión de la botella de nitrógeno se encuentra un contacto, el cual cierra cuando la botella está próxima a vaciarse.

Tanto los dos microswitch al accionar como el contacto al cerrar hacen que la computadora produzca una señal de alarma.

3.4.1.2. SISTEMA DE CONTROL PARA ENFRIAMIENTO.

El sistema de control para enfriamiento que posee cada transformador de enlace se encarga de controlar en forma automática el arranque y paro de los motores de las bombas de aceite y ventiladores.

Para ello, el sistema de control (Ver diag. 3.4.1.2) recibe continuamente información sobre el estado del transformador a través de diversos instrumentos como indicadores de flujo y termómetros de bulbo principalmente.

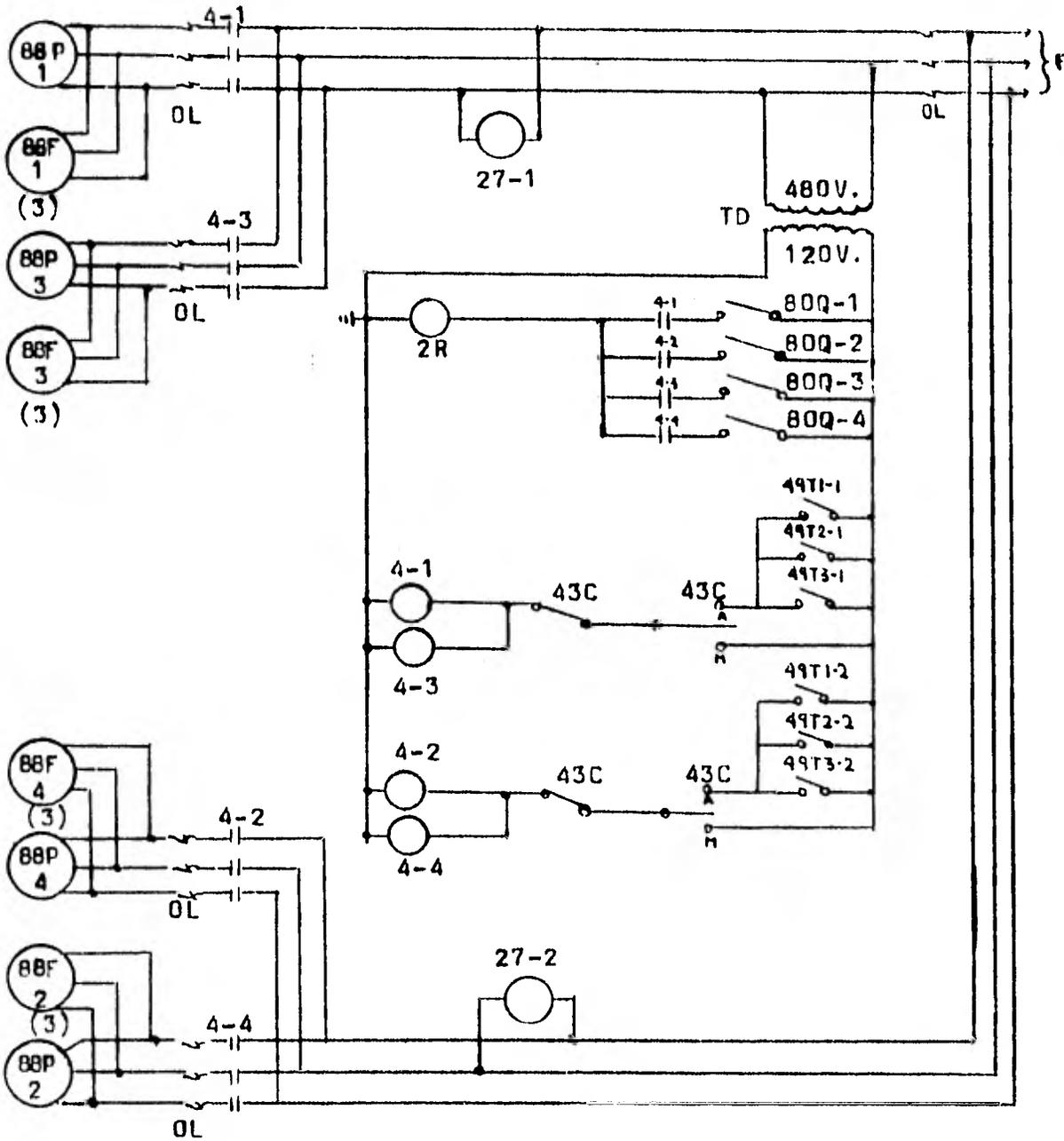
En el interior de cada transformador se encuentran colocados 3-termómetros de bulbo, los cuales se encargan de sensar la temperatura de los devanados de baja tensión. Los indicadores de temperatura de éstos termómetros poseen un elemento bimetalico que se deforma con el calor, produciendo que una aguja gire y en su movimiento cierre 3-contactos. En el diagrama 3.4.1.2 se muestran seis de los nueve contactos que poseen los tres indicadores de temperatura (uno por fase) - que tiene uno de los transformadores de enlace.

Suponiendo que el devanado de baja tensión perteneciente a la fase A alcanzara una temperatura de 70°C ., el contacto 49T1-1 cerrará para hacer que los relevadores 4-1 y 4-3 operen y cierran sus respectivos contactos, permitiendo con ello que arranquen los motores de dos bombas (88P1 y 88P3) y seis ventiladores (88F1 y 88F3).

El segundo contacto (49T1-2) cerrará cuando se tenga una temperatura en el devanado de 75°C . para hacer que operen los relevadores 4-4 y 4-2 y provocar con ello que entren en funcionamiento los motores de las bombas 88P4 y 88P2 y de los seis ventiladores restantes (88F4 y 88F2), por lo que a ésta temperatura se tendrá a todo el equipo de enfriamiento funcionando.

El tercer contacto (no ubicado en el diagrama) está conectado a la computadora para que ésta proporcione una señalización de alarma en caso de que la temperatura en el devanado llegue a 117°C .

En caso de que se detecte alta temperatura y no funcione alguna



DIAG. 3.4.1.2. SISTEMA DE CONTROL PARA ENFRIAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE ENLACE (VEASE HOJA DESCRIPTIVA).

NOMENCLATURA Y DESCRIPCION DEL DIAGRAMA 3.4.1.2.

- 27- Relevador de bajo voltaje.
- 43C-Switch de control.
- A- Automático
- M- Manual
- 80Q-Contacto del indicador de flujo de aceite, normalmente abierto cuando existe flujo.
- 88P-Motor de la bomba de aceite.
- 88F-Motor de ventilador.
- F- Fuente de alimentación de 480VCA, 60Hz, 52.1KVA, 3φ.
- CL- Protección contra sobrecargas.
- TD- Transformador de distribución, 60Hz, 3φ, con una relación de - transformación de 480/120V.
- 2R- Relevador de tiempo.
- 49T1-1, 49T2-1 y 49T3-1- Contactos colocados en los termómetros- de cada fase del devanado de baja tensión, normalmente cerrados cuando el devanado alcanza 70°C.
- 49T1-2, 49T2-2 y 49T3-2- Contactos colocados en los termómetros- de cada fase del devanado de baja tensión, normalmente cerrados cuando el devanado alcanza 75°C.
- 4-1, 4-2, 4-3 y 4-4 - Contactos normalmente cerrados cuando se registran temperaturas de 70°C. a 75°C. ó más en el devanado- de baja tensión.

bomba de aceite al ser energizada, entonces no existirá flujo de aceite y un contacto (80Q) asociado a ésta bomba (colocado en su indicador de flujo) cerrará para permitir que el relevador 2R sea energizado. El contacto de éste relevador al cerrar hará que la computadora produzca una señal de alarma.

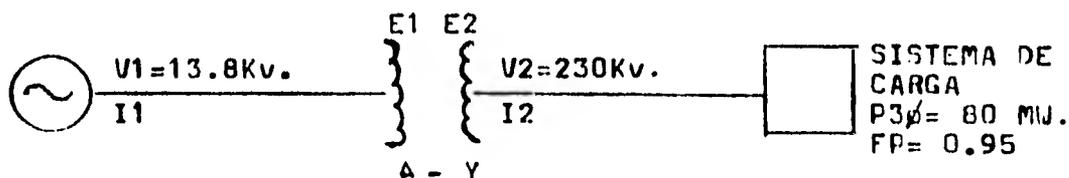
Cuando se detecta bajo voltaje en el circuito de control, los relevadores 27-1 y 27-2 accionarán para permitir que la computadora -- produzca una señal de alarma.

3.4.1.3. DIAGRAMA FASORIAL.

Por medio de un diagrama fasorial se puede observar mejor la relación que guardan las corrientes y tensiones en un transformador -- cuando tiene una carga con factor de potencia constante conectada -- del lado de alta tensión y un voltaje de línea constante en el lado de baja tensión. Para ello se utilizará la siguiente nomenclatura :

- R1= Resistencia real efectiva por fase del devanado de baja tensión.
- R2= Resistencia real efectiva por fase del devanado de alta tensión.
- X1= Reactancia real efectiva por fase del devanado de baja tensión.
- X2= Reactancia real efectiva por fase del devanado de alta tensión.
- E2= Voltaje de fase inducido en el devanado de alta tensión.
- E1= Voltaje de fase inducido en el devanado de baja tensión.
- I_{exc.}= Corriente de excitación.
- I_{ind.}= Corriente inducida en el devanado de baja tensión.
- I1= Corriente en el devanado de baja tensión.
- I2= Corriente en el devanado de alta tensión.
- V2= Voltaje en terminales del devanado de alta tensión.
- V1= Voltaje en terminales del devanado de baja tensión.

La resistencia real efectiva por fase (R_2) del devanado de alta tensión para este tipo de transformador trifásico de acuerdo a la magnitud de la corriente y tensión que manejan se puede considerar de aproximadamente 0.65 ohms al igual que su reactancia real efectiva por fase (X_2) se puede considerar de 32 ohms. Se tomará una carga del Sistema de 80 Mw. con un factor de potencia de 0.95 en atraso.



$$I_2 = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}(V_2)(FP)} = \frac{80000 \text{ Kw.}}{\sqrt{3}(230\text{Kv})(0.95)} = 211.38 \text{ Amp.}$$

$$I_2(X_2) = 211.38(32) = 6764.16 \text{ V.}$$

$$I_2(R_2) = 211.38(0.65) = 137.397 \text{ V.}$$

$$\cos\theta = 0.95$$

$$\text{sen}\theta = 0.31$$

$$E_2 = \frac{\sqrt{(\frac{V_2 \cos\theta + I_2 R_2}{\sqrt{3}})^2 + (\frac{V_2 \text{sen}\theta + I_2 X_2}{\sqrt{3}})^2}}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Sustituyendo valores: } E_2 = 139.18 \underline{17.26^\circ}$$

$$E_2(3\phi) = 139.18(\sqrt{3}) = 241\text{Kv } \underline{17.26^\circ} = F$$

La corriente en el lado de baja tensión está formada por dos componentes, una de las cuales pertenece a la corriente de inducción y otra a la corriente de excitación la cual sirve para producir el flujo magnético.

$$I_1 = I_{exc.} + I_{ind.}$$

$$I_{ind.} = \left| \frac{-N_2(I_2)}{N_1} \right| = \left| \frac{-230(211.38)}{13.8} \right| = 3523 \text{ Amp.}$$

Como el lado de baja tensión está conectado en delta, la corrien

te que circula por el devanado es la de fase, por lo tanto:

$$I_{ind.} = \frac{3523}{\sqrt{3}} = 2034 \text{ Amp.}$$

La corriente de excitación se puede considerar del orden de 0.5% de la corriente nominal.

$$I_{exc}(3\phi) = \frac{140000 \text{ Kva}(0.005)}{\sqrt{3}(13.8 \text{ Kv})} = 29.28 \text{ Amp.}$$

$$I_{exc.} = \frac{29.28}{\sqrt{3}} = 16.9 \text{ Amp.}$$

$$I_1 = \sqrt{(-I_{ind.} \cos T)^2 + j(I_{ind.} \sin T + I_{exc})^2}$$

$$\text{Donde: } T = F + \phi = 17.26^\circ + 18.19^\circ = 35.45^\circ$$

Sustituyendo valores:

$$I_1 = \sqrt{(-2034 \cos 35.45^\circ)^2 + j(2034 \sin 35.45^\circ + 16.9)^2} = 2043.84 - 35.83^\circ = 8$$

$$\text{Si: } \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \text{y} \quad \frac{X_1}{X_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$R_1 = R_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 0.65 \left(\frac{13.8}{230}\right)^2 = 0.00234 \text{ ohms.}$$

$$X_1 = X_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 32 \left(\frac{13.8}{230}\right)^2 = 0.1152 \text{ ohms.}$$

$$I_1(X_1) = 2043.84(0.1152) = 235.45 \text{ V.}$$

$$I_1(R_1) = 2043.84(0.00234) = 4.78 \text{ V.}$$

El generador se encarga de mantener el voltaje en terminales del lado primario del transformador constante por medio de su regulador - de voltaje, por lo tanto: $V_1 = 13.8 \text{ Kv.}$

$$V_1 = \sqrt{(E_1 + I R \cos B + I X \sin B)^2 + j(I X \cos B - I R \sin B)^2}$$

$$V_1^2 = (E_1 + I R \cos B + I X \sin B)^2 + j(I X \cos B - I R \sin B)^2$$

$$E_1^2 + E_1(2I_1 R_1 \cos B + 2I_1 X_1 \sin B) + (I_1 X_1)^2 + (I_1 R_1)^2 - V_1^2 = 0$$

Sustituyendo valores queda :

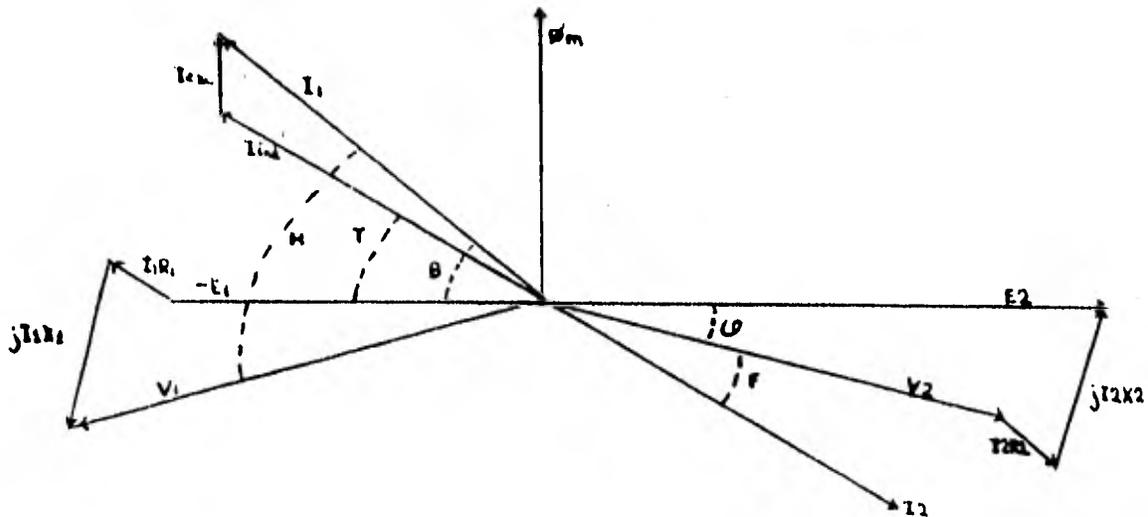
$$E1^2 + E1(283.4) - 1.9038 \times 10^6 = 0$$

Resolviendo la ecuación:

$$E1 = 13.657 \text{ Kv.}$$

Para calcular el defasamiento entre I_1 y V_1 :

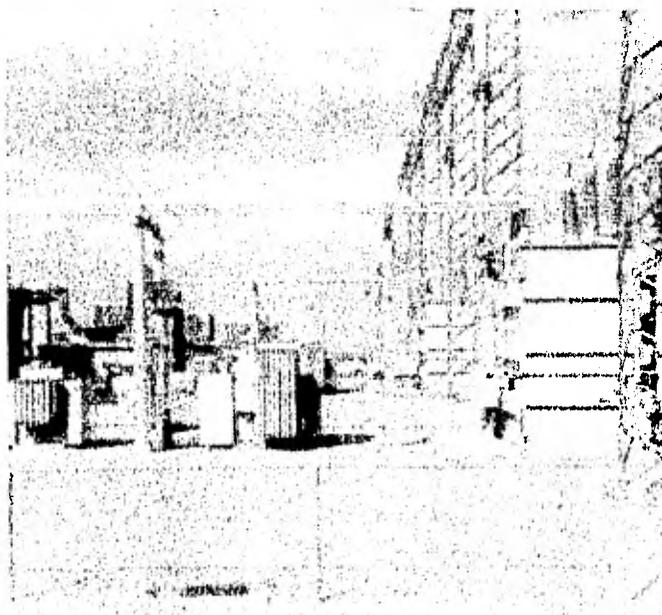
$$V1 = \sqrt{(E1 \cos \theta + IR)^2 + (E1 \sin \theta + IX)^2} = 13.8 \text{ Kv } \underline{36.61^\circ} = H$$



3.4.2. TRANSFORMADORES DE AUXILIARES Y DE SERVICIOS PROPIOS.

Las características de los transformadores trifásicos de auxiliares son las siguientes :

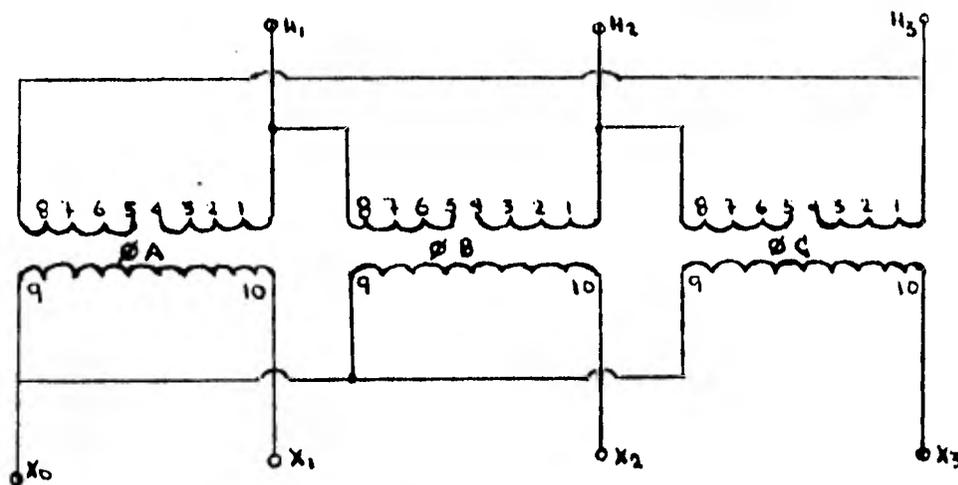
Marca	Westinghouse.
Capacidad	5 MVA(a 55°C); 5.6 MVA(a 65°C).
Tensión	13.8Kv.(Δ); 4.16Kv.(Y).
Impedancia	5.9% ($\pm 2\%$)
Nivel de impulso	110Kv.(A.T.); 75Kv.(B.T.).



Vista del transformador de auxiliares (al centro) de 5 MVA. y del transformador de servicios propios (a la izq.) de 1 MVA. - de una de las unidades de la Central. En el bus (3 ϕ) de 13.8 - Kv. (que conecta la tensión generada con el devanado de baja tensión del transformador de enlace de 140MVA. mostrado en la parte derecha) existe una derivación (3 ϕ) que a través de unas cuchillas verticales alimenta al devanado de alta tensión del transformador de auxiliares, el cual suministra -- energía eléctrica al bus (3 ϕ) de 4.16Kv. por medio de su devanado de baja tensión. El transformador de servicios propios -- está conectado al bus (3 ϕ) de 4.16Kv. y alimenta al equipo -- auxiliar a través de su devanado de baja tensión (480VCA, 3 ϕ).

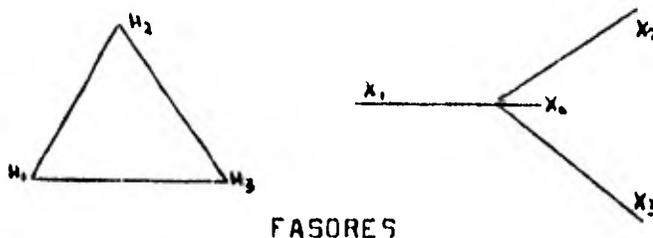
Temperatura máx.	65°C.
Tipo de enfriamiento	OA.
Contenido de aceite	680 galones.
Peso del núcleo y bobinas	11590 lbs.
Peso del tanque	4800 lbs.
Peso del aceite	5100 lbs.
Peso total	21490 lbs.
Frecuencia	60 Hz.

TIPO DE CONEXION



CONEXIONES

DEVANADO	VOLTS	AMPERS	CAMBIADOR DE TAPS	
			POS.	CONEXION
ALTA TENSION	14400	201	1	4 con 5
	14100	205	2	3 con 5
	13800	209	3	3 con 6
	13500	214	4	2 con 6
	13200	219	5	2 con 7
BAJA TENSION	4160	694		

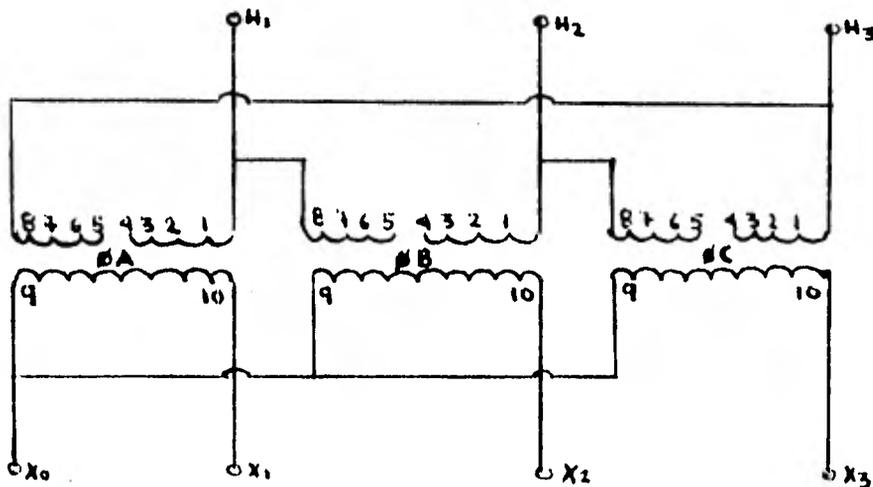


FASORES

Las características de los transformadores trifásicos de servicios propios son las siguientes :

Marca	Westinghouse.
Capacidad	1 MVA(a 55°C); 1.12 MVA(a 65°C)
Tensión nom.	4160 V.(Δ); 480 V.(Y).
Impedancia	7.9% (±5%)
Frecuencia	60 Hz.
Nivel de impulso	60Kv.(A.T.); 30Kv.(B.T.).
Tipo de enfriamiento	OA.
Contenido de aceite	208 galones.
Peso del núcleo y bobinas	2573 lbs.
Peso del tanque	1983 lbs.
Peso del aceite	1562 lbs.
Peso total	6118 lbs.

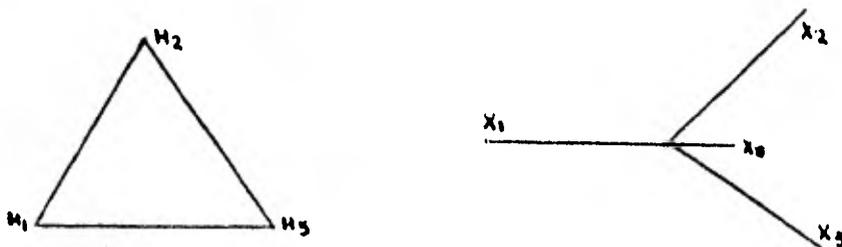
TIPO DE CONEXION



CONEXIONES

DEVANADO	VOLTS	AMPERS	CAMBIADOR DE TAPS	
			POS	CONEXION
ALTA TENSION	4365	132.3	1	4 con 5
	4260	135.5	2	3 con 5
	4160	138.8	3	3 con 6
	4055	142.4	4	2 con 6
	3950	146.2	5	2 con 7
BAJA TENSION	480	1203		

FASORES



El tipo de enfriamiento que emplean ambos transformadores es OA que significa Oil Air y quiere decir que se emplea el aire del medio ambiente para enfriar el aceite. A ambos lados de cada transformador se encuentran colocados radiadores que utilizan el aire que circula en el medio ambiente para enfriar el aceite que circula naturalmente por éstos.

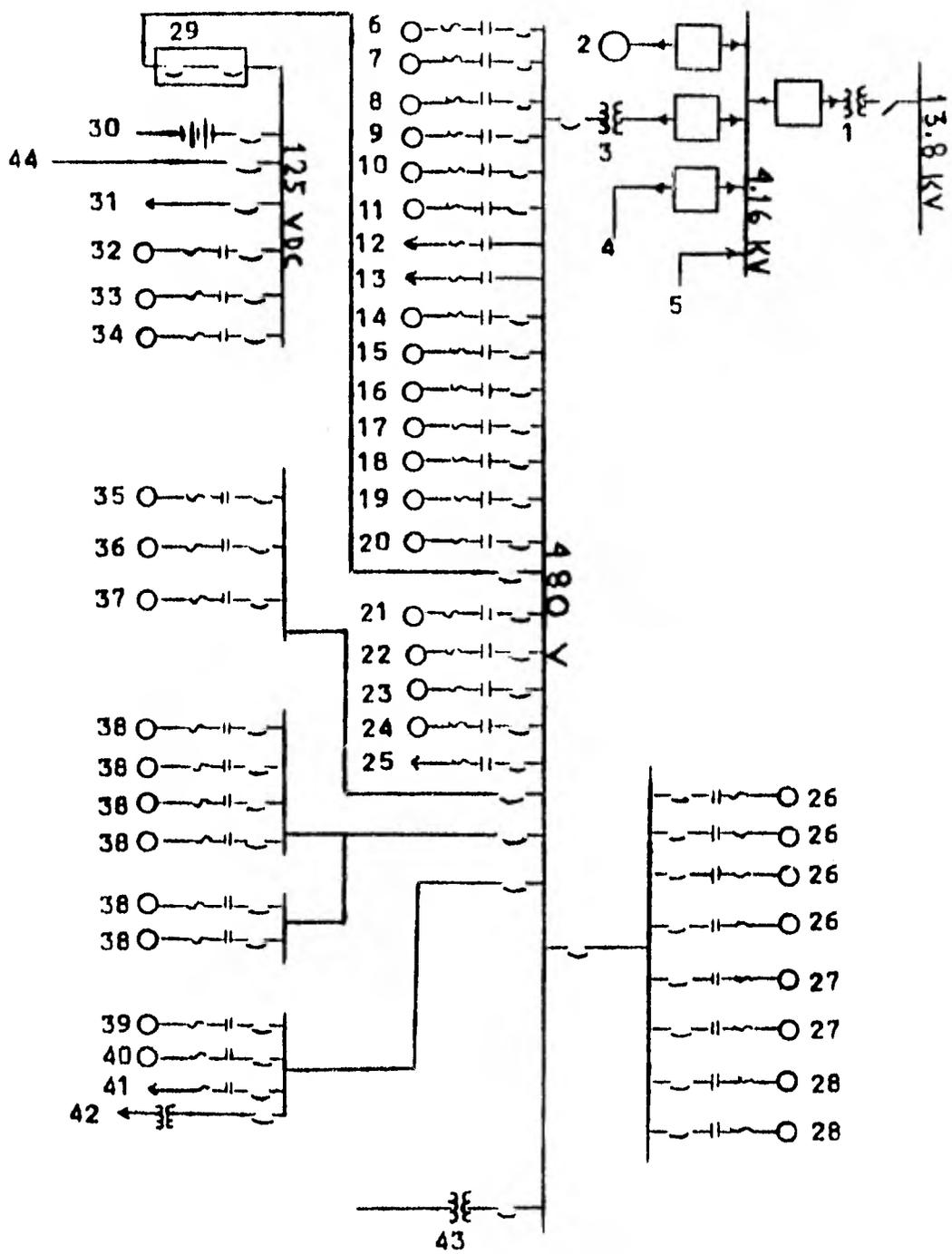
La circulación natural del aceite es debida a que éste cuando se calienta se vuelve más ligero y tiende a ascender dando lugar a que el aceite más frío que se encuentra en los radiadores por su mayor peso tienda a descender.

Ambos transformadores cuentan con indicadores de nivel, termómetros y manómetros semejantes a los que poseen los transformadores de enlace, sin embargo éstos instrumentos sólo señalan visualmente el estado de los transformadores ya que sus contactos de alarma no están conectados a ninguna señalización remota, ya que se estima que debido a la capacidad que poseen no es necesaria una vigilancia estricta de su comportamiento. No obstante si existe alguna situación anormal, los relevadores de protección actuarán abriendo los interruptores correspondientes para eliminar la falla.

Tomando como referencia a la unidad turbogas No.1, se describiré el equipo principal al cual suministran energía eléctrica los transformadores de auxiliares y de servicios propios (Ver diag 3.4.2.a.).

- 1).- Transformador de auxiliares, 3 ϕ , 5MVA, 13.8Kv/4.16(Y)Kv.
- 2).- Motor de arranque, 3 ϕ , 1500 Hp, 4.16Kv.
- 3).- Transformador de servicios propios, 3 ϕ , 1MVA, 4160/480(Y)V.

- 4).-Interruptor de enlace con la unidad turbogas No.2.
- 5).-Cuchilla de enlace con la unidad de vapor No.1.
- 6).-Motor de 30 Hp. para la bomba de combustible diesel residual.
- 7).-Motor de 200 Hp. para la bomba de combustible diesel.
- 8).-Motor de 0.5 Hp. del divisor de flujo de combustible diesel.
- 9).-Motor de 0.5 Hp. del soplador de hidrógeno para el medidor de su pureza.
- 10).-Motor de 20 Hp. del ventilador No.1 para enfriamiento del glycol.
- 11).-Motor de 60 Hp. para la bomba de glycol.
- 12).-Motor de 20 Hp. del ventilador No.2 para enfriamiento del glycol.
- 13).-Sistema de aire acondicionado No.1 del cuarto de control con una capacidad de 12 KVA.
- 14).-Sistema de aire acondicionado No.2 del cuarto de control con una capacidad de 12 KVA.
- 15).-Motor de 7.5 Hp. del ventilador para enfriamiento del segundo paso de la turbina.
- 16).-Motor de 5 Hp. del extractor de calor.
- 17).-Motor de 10 Hp. del compresor de aire de instrumentos.
- 18).-Motor de 60 Hp. para la bomba de lubricación principal.
- 19).-Motor de 0.5 Hp. del extractor de vapor del aceite de lubricación.
- 20).-Motor de 25 Hp. del ventilador No.1 para enfriamiento del aceite de lubricación.
- 21).-Motor de 7.5 Hp. del ventilador No.1 para enfriamiento de la turbina.
- 22).-Motor de 25 Hp. del ventilador No.2 para enfriamiento del aceite de lubricación.
- 23).-Motor de 7.5 Hp. del ventilador No.2 para enfriamiento de la turbina.
- 24).-Motor de 0.5 Hp. del extractor de vapor del aceite de sellos.
- 25).-Calentador de 40 Kw. del aceite de lubricación.
- 26).-Motor de 15 Hp. para la bomba de descarga de diesel hacia el tanque de almacenamiento.



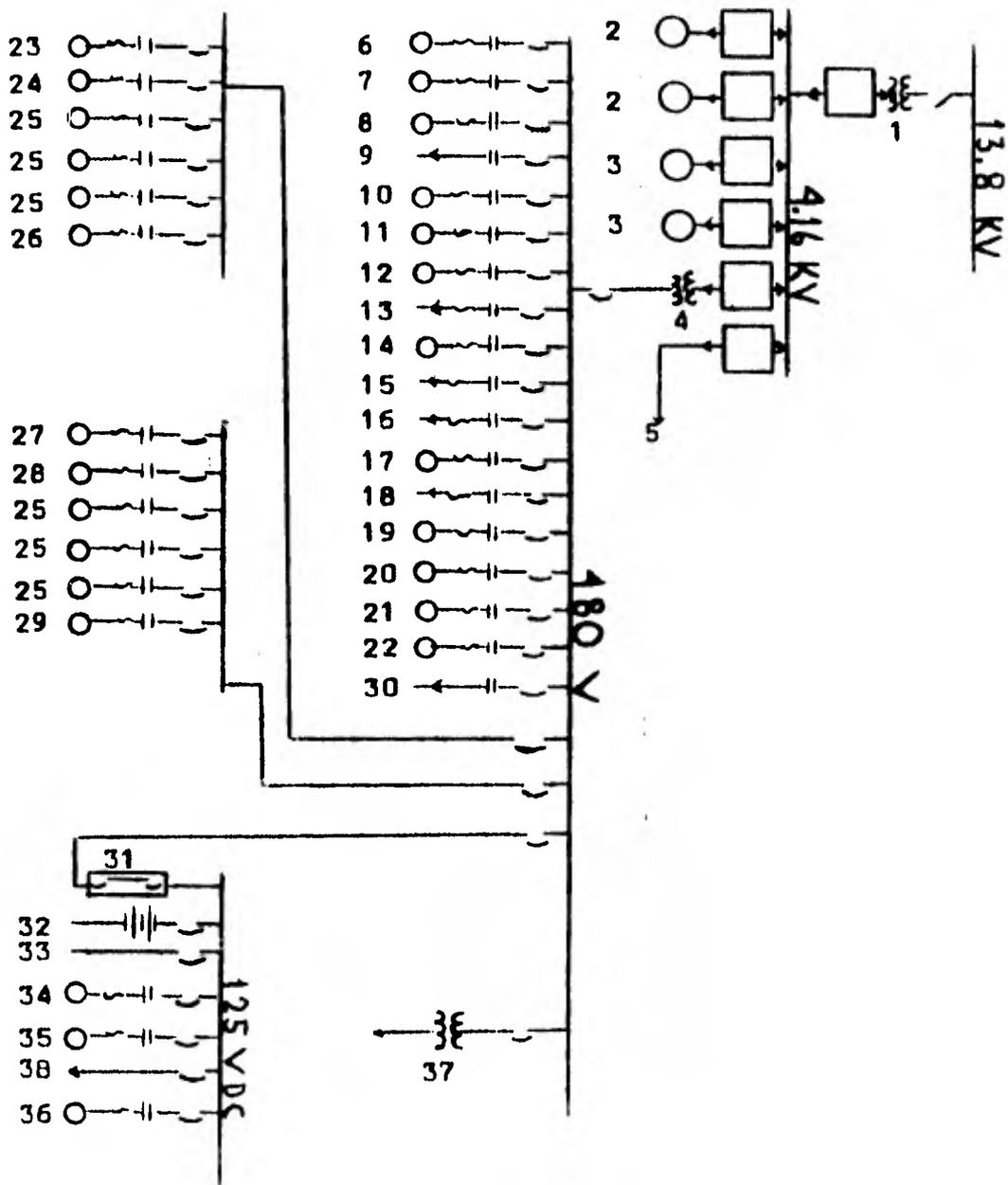
DIAG. 3.4.2.a. DIAGRAMA UNIFILAR DEL EQUIPO ELECTRICO EMPLEADO PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LA UNIDAD TURBOGAS No.1.

- 27).-Motor de 40 Hp. para la bomba de transporte de diesel del tanque de almacenamiento a la bomba de combustible.
- 28).-Motor de 20 Hp. para bomba de transporte de diesel del tanque de almacenamiento a la bomba de combustible.
- 29).-Cargador de baterías ó rectificador de 480VCA(3 ϕ)/125VCD.
- 30).-Baterías.
- 31).-Al inductor u ondulator de 125VCD/120VCA.
- 32).-Motor de 5 Hp. para la bomba del aceite de sellos.
- 33).-Motor de 5 Hp. para la bomba de emergencia del aceite de lubricación.
- 34).-Motor del mecanismo tornafleche(10Hp.).
- 35).-Motor de 1.5 Hp. para la bomba de circulación del combustible diesel residual hacia el divisor de flujo.
- 36).-Motor de 3 Hp. para la bomba de descarga del combustible -- diesel residual excedente hacia la bomba de diesel residual.
- 37).-Motor de 3 Hp. para el extractor de calor.
- 38).-Motor de 5 Hp. para el extractor de calor del cuarto de la turbina.
- 39).-Motor de 15 Hp. para la bomba de aceite del convertidor de par del motor de arranque.
- 40).-Motor de 7.5 Hp. del ventilador para enfriamiento del aceite del convertidor de par.
- 41).-Calentador de 9 Kw. del aceite del convertidor de par.
- 42).-Transformador monofásico para alumbrado y control de 2 KVA, 480/120V.
- 43).-Transformador monofásico para servicios generales de 15KVA, 480/120V.
- 44).-Conexión para el tablero de servicios generales que emplean corriente directa.

El equipo principal perteneciente al proyecto inicial de la unidad de vapor No.1 al cual suministran energía eléctrica los transformadores de auxiliares y de servicios propios es el siguiente(Ver diag. 3.4.2.b).

- 1).-Transformador de auxiliares de 5MVA, 3 ϕ , 13.8/4.16Kv.

- 2).-Motor de 1250 Hp. para la bomba de alimentación a la caldera ó recuperador de calor.
- 3).-Motor de 900 Hp. para la bomba de circulación de agua de enfriamiento.
- 4).-Transformador de servicios propios de 1MVA, 3ø, 4160/480V.
- 5).-Interruptor de enlace con la unidad turbogas No.1.
- 6).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.1 de agua de condensado.
- 7).-Motor de 30 Hp. del compresor de aire para instrumentos.
- 8).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.1 de agua sobrecalentada.
- 9).-Al purificador del aceite para lubricación.
- 10).-Motor de 40 Hp. para la bomba del aceite para lubricación.
- 11).-Motor de 0.5 Hp. del extractor de vapor del aceite para lubricación.
- 12).-Motor de 0.5 Hp. del extractor de vapor del aceite de sellos.
- 13).-Calentador de 12 Kw. de combustible diesel.
- 14).-Motor de 30 Hp. para la bomba principal de diesel.
- 15).-Calentador de 30 Kw. para vapor sobrecalentado.
- 16).-Calentador de 15 Kw. para vapor sobrecalentado.
- 17).-Motor de 30 Hp. para la bomba de respaldo de diesel.
- 18).-Calentador de 40 Kw. del aceite para lubricación.
- 19).-Motor de 1 Hp. de la válvula de extracción de vapor de la turbina.
- 20).-Motor de 40 Hp. para la bomba de respaldo del aceite para lubricación.
- 21).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.2 de agua sobrecalentada.
- 22).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.2 del agua de condensado.
- 23).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.1 del agua de condensado de repuesto.
- 24).-Motor de 25 Hp. para la bomba auxiliar No.1 de agua.
- 25).-Motor de 20 Hp. para la bomba auxiliar del sistema de diesel.
- 26).-Motor de 150Hp. para la bomba de recirculación No.1 del agua de enfriamiento.
- 27).-Motor de 75 Hp. para la bomba No.2 del agua de condensado de repuesto.



DIAG. 3.4.2.b. DIAGRAMA UNIFILAR DEL EQUIPO ELECTRICO EMPLEADO PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LA UNIDAD DE VAPOR No.1.

- 28).-Motor de 25 Hp. para la bomba auxiliar No.2 de agua.
- 29).-Motor de 150 Hp. para la bomba de recirculación No.2 del -
agua de enfriamiento.
- 30).-Al sistema de aire acondicionado del cuarto de control.
- 31).-Cargador de baterías ó rectificador de 480VCA/125VCD.
- 32).-Baterías.
- 33).-Al inversor u ondulator de 125VCD/120VCA.
- 34).-Motor de 5 Hp. para la bomba de aceite de sellos.
- 35).-Motor de 5 Hp. para la bomba de emergencia del aceite para
lubricación.
- 36).-Motor del mecanismo tornaflecha(10Hp).
- 37).-Transformador monofásico para servicios generales de 15KVA
y una relación de transformación de 480/120V.
- 38).-Conexión para el tablero de servicios generales que em ---
plean corriente directa.

3.5. INTERRUPTORES.

Los interruptores de potencia son dispositivos diseñados para -
interconectar dos circuitos eléctricos ó desconectarlos en forma rá-
pida para evitarle daños tanto a los circuitos como al propio inte -
rruptor.

Los interruptores de potencia están compuestos principalmente -
por un sistema mecánico de apertura y cierre de los contactos, un sis-
tema eléctrico de control y un medio para la extinción del arco eléc-
trico producido cuando se desconectan los contactos del interruptor.

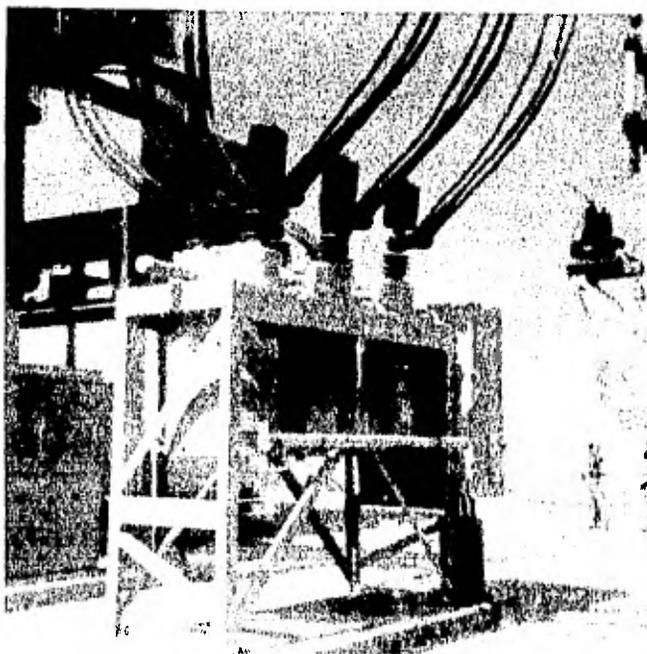
Los interruptores de potencia más ampliamente usados en las cen-
trales eléctricas son los siguientes :

- 1).-Interruptor de hexafluoruro de azufre(SF6).
- 2).-Interruptor de soplo magnético.
- 3).-Interruptor de soplo neumático.
- 4).-Interruptor de gran volúmen de aceite.
- 5).-Interruptor de pequeño volúmen de aceite.

3.5.1. INTERRUPTOR DE MAQUINA (52G).

El interruptor de máquina juega un papel de suma importancia dentro de las protecciones con que cuenta la Central ya que es el que en un momento dado protege directamente al generador, transformador de enlace y bus(3 ϕ) de 13.8Kv. en el caso de algún cortocircuito ya sea en el sistema de distribución ó en el de trasmisión, además de que provee de una forma de aislar al generador del resto del sistema.

De lo anterior se desprende que éste tipo de interruptor debe de tener una gran capacidad interruptiva y características especiales ya que la mayoría de los relevadores para protección de la Central operan sobre éste interruptor.



INTERRUPTOR DE MAQUINA(52G) TIPO GRAN VOLUMEN DE ACEITE.

Los interruptores de máquina de la Central poseen las siguientes -

tes características :

Marca	Westinghouse.
Tipo	Gran volúmen de aceite.
Tensión nom.	14400 V.
Corriente nom.	6000 Amp.
Capacidad de interrupción a voltaje nom.	1500 MVA.
Frecuencia	60 Hz.
Tensión de impulso	110 Kv.
Máximo voltaje de diseño para operación continua	15.5 Kv.
Peso total	11200 lbs.

En la figura(3.5.1) se pueden apreciar las partes principales -- del interruptor de máquina correspondiente a una de las fases. Dentro de cada tanque hay principalmente aceite aislante, por lo que al abrir ó cerrar el interruptor, el arco eléctrico que se produce entre sus contactos gasifica un cierto volúmen de aceite en hidrógeno el cual se emplea para apagar ó soplar el arco, además de que por su ligereza sube a la parte superior del tanque dejando el espacio libre para que sea ocupado por el aceite más frío, provocando que el arco se apague más rápidamente.

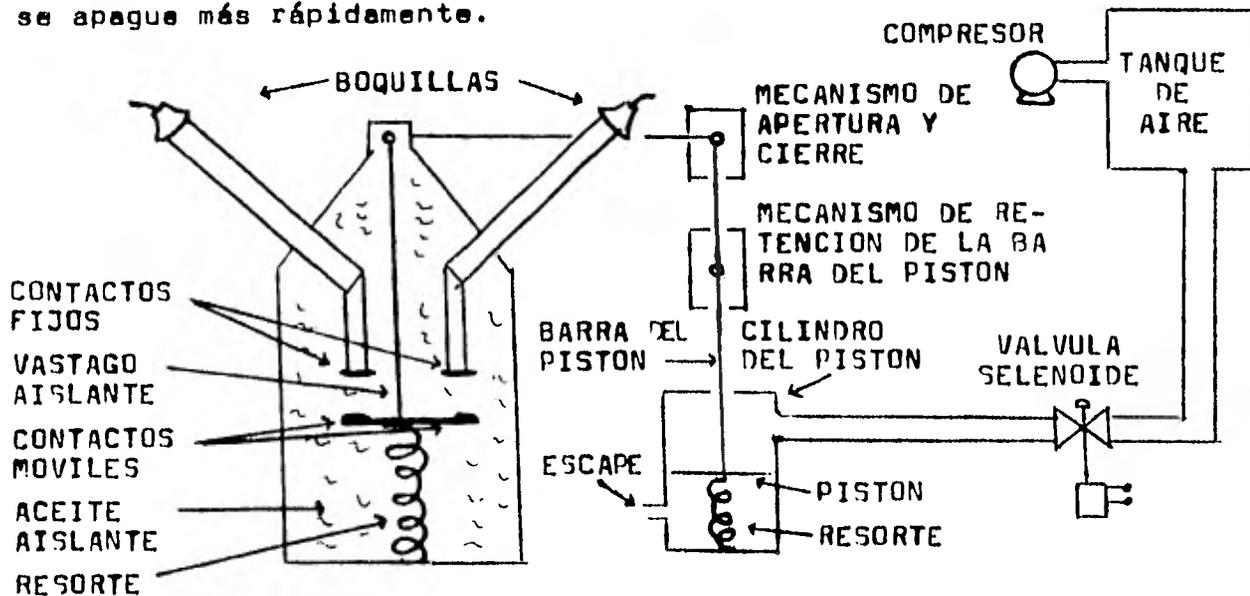


FIG. 3.5.1. INTERRUPTOR DE MAQUINA

3.5.1.1. SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control del cierre del interruptor de máquina es a base de un circuito de control (Ver diag. 3.5.1.1) el cual opera el sistema neumático para mover el pistón hacia abajo y provocar que los contactos móviles suban y se unan a los contactos fijos.

Cuando cierra el contacto (101C) localizado en el panel de control de la computadora, ya sea manual ó automáticamente se energiza la bobina (152X) si los contactos (LPC), (152b) y (LCH) se encuentran cerrados. Los contactos (152b) y (LCH) están colocados en el mecanismo de apertura de tal forma que se encuentran normalmente cerrados cuando el interruptor está abierto.

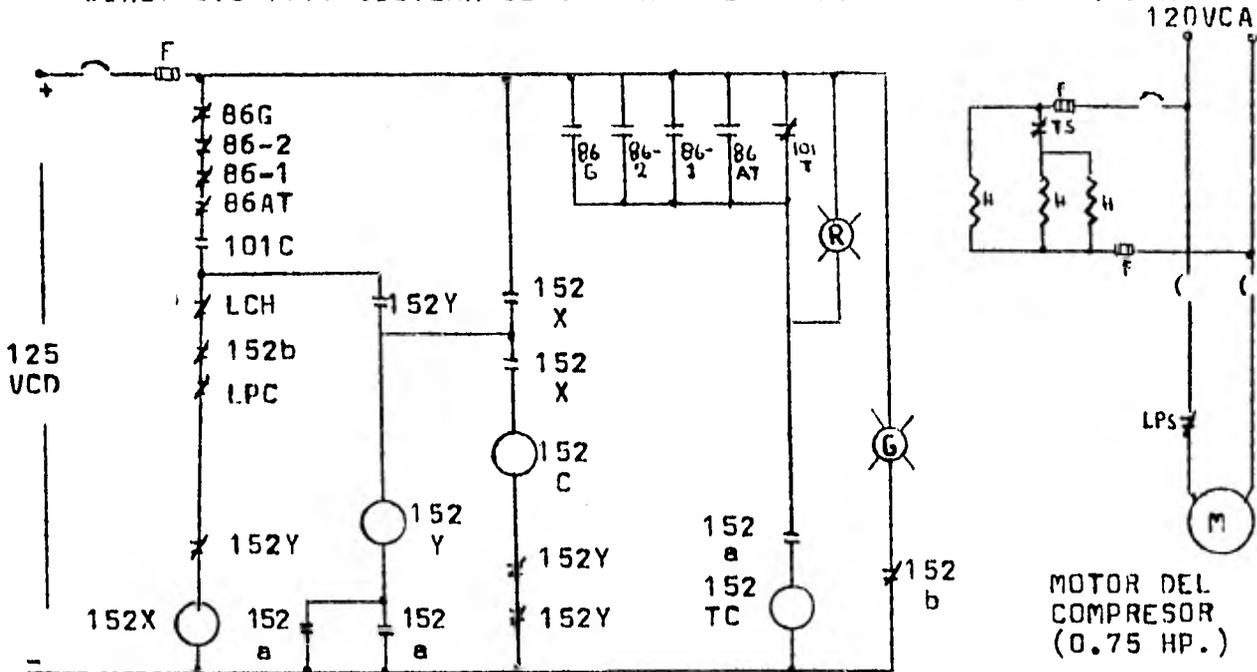
El contacto (LPC) está colocado en la línea de aire y abre cuando la presión dentro del tanque de aire es baja; por lo tanto para cerrar el interruptor se debe cumplir que la presión dentro del tanque sea elevada y que el interruptor se encuentre abierto.

Cuando se cumplen las anteriores condiciones los contactos (152X) cierran, permitiendo que se energice la bobina (152C) de la válvula selenoide, la cual abre para que el aire a presión depositado dentro del tanque circule hacia el cilindro del pistón. Cuando la presión es suficientemente alta en el cilindro, el pistón baja y es detenido en esa posición por el mecanismo de retención una vez que la presión dentro del cilindro cesa.

Si el interruptor está perfectamente cerrado, el contacto (152a) colocado en el mecanismo de retención cierra, ocasionando que quede el circuito de apertura en posición de disparo y que la bobina (152Y) se energice para desenergizar a la bobina (152X) y a la bobina (152C) de la válvula selenoide, con lo cual el flujo de aire hacia el cilindro del pistón cesa al cerrar la válvula. En la línea de aire existe un contacto (LPS) el cual está normalmente cerrado cuando la presión dentro del tanque es baja; éste contacto al cerrar energiza al motor de 0.75 Hp. del compresor de aire, el cual vuelve a llenar el tanque des

pués de cada operación de cierre.

DIAG. 3.5.1.1. SISTEMA DE CONTROL DEL INTERRUPTOR DE MAQUINA



F - Fusible.

H - Calentador de 350Watts, utilizado para evitar el humedecimiento de los circuitos de control.

TS- Termostato.

R - Señalización visual remota, normalmente encendida cuando el interruptor se encuentra cerrado.

G - Señalización visual remota, normalmente encendida cuando el interruptor se encuentra abierto.

El sistema de apertura del interruptor opera cuando se cierra el contacto (101T) ó por la operación de alguno de los relevadores de protección (86G, 86-1, 86-2 y 86AT).

Partiendo de la base de que el interruptor está cerrado, se tiene que el símbolo incrementado la energía potencial del resorte, por

lo tanto el empuje hacia arriba de la barra del pistón es detenido por el mecanismo de retención. Como el contacto (152a) está cerrado, -- cuando se cierre el contacto (101T) ó cualquiera de los contactos de los relevadores de protección. la bobina de disparo (152TC) situada en el mecanismo de retención se energizará ocasionando que el mecanismo libere la barra del pistón, la cual con el impulso del resorte y con el peso del vástago aislado subirá para que el contacto móvil dentro del interruptor baje, interrumpiéndose de ésta manera el circuito.

Los relevadores de protección son de bloqueo sostenido, por lo que tienen contactos conectados en serie con el circuito de cierre del interruptor para evitar que sea cerrado sin antes haber averiguado y corregido la causa del disparo. Generalmente se abre el contacto (101C) antes de cerrar los contactos de los relevadores de protección que operaron, para evitar que el interruptor cierre equivocadamente, -- dado que (101C) se mantiene cerrado cuando el contacto de disparo 101T permanece abierto.

3.5.2. INTERRUPTORES DEL BUS DE 4.16 KV.

Cada unidad de la Central cuenta con un bus de 4.16Kv. el cual posee interruptores que lo conectan ó aíslan del transformador de -- auxiliares de 5 MVA., del equipo auxiliar al que suministra energía eléctrica y de otros buses de 4.16Kv.

Los interruptores son del tipo de soplo magnético, ya que utilizan como medio extintor del arco eléctrico que se forme al abrirse -- sus contactos, una bobina por la que circula la corriente del arco, la cual producirá un campo magnético que soplará ó repelerá el arco con -- tra las paredes refractarias que el interruptor posee en la parte su -- perior para tal efecto, donde el arco se fracciona, enfría y extingue.

En la figura 3.5.2. se pueden apreciar los principales componen -- tes del interruptor de soplo magnético. El fuelle se emplea para lan -- zar una corriente de aire en el momento que se abren los contactos --

del interruptor para ayudar a extinguir el arco y evitar el excesivo calentamiento de los contactos.

El interruptor posee un sistema mecánico de apertura y cierre - accionado por resortes, los cuales se localizan en el sistema de retención.

El sistema de retención posee resortes de cierre y resortes de apertura cuyo accionamiento es controlado por bobinas. Para cargar ó comprimir el resorte de cierre se utiliza un motor de corriente directa y para comprimir al resorte de apertura se emplea un mecanismo que funciona con parte de la energía suministrada por el resorte de cierre al mecanismo de cierre, de ésta manera al mismo tiempo que cierra el interruptor se deja preparado para su apertura.

El contacto de la bobina de soplo se mantiene cerrado cuando el contacto fijo está unido al contacto móvil y abierto cuando dichos contactos están separados. Si se abre el interruptor se producirá un-

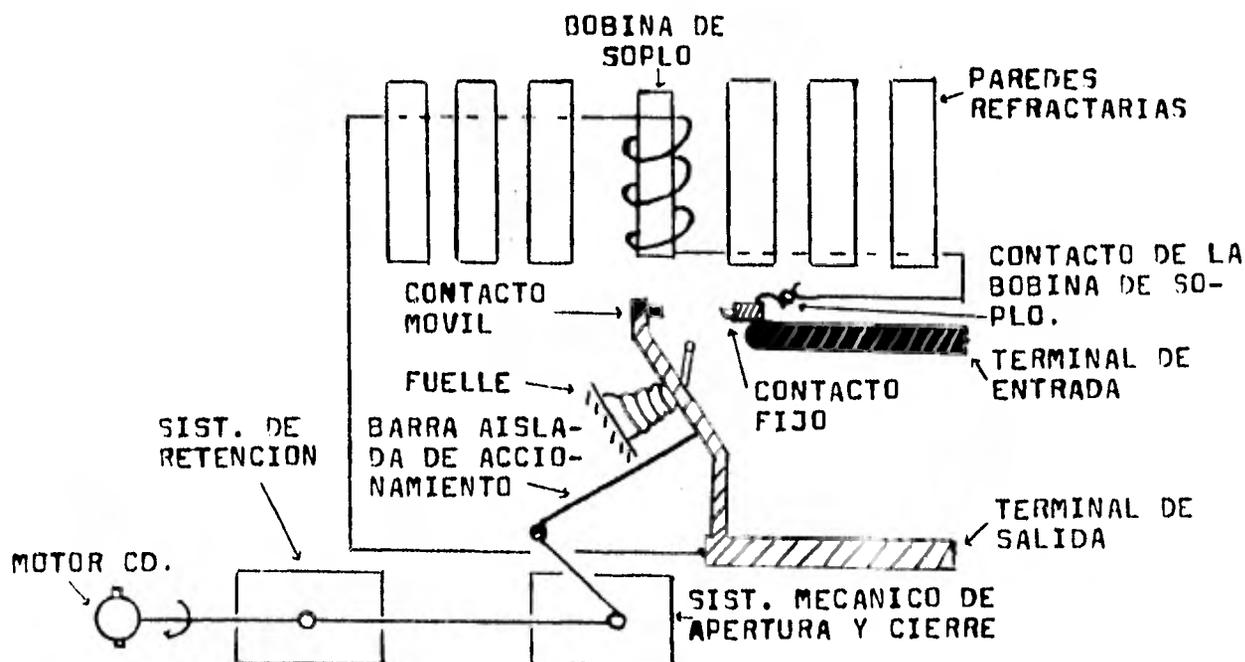


FIG. 3.5.2. INTERRUPTOR DEL BUS DE 4.16KV. TIPO SOPLO MAGNETICO.

arco eléctrico entre las terminales del contacto de la bobina de soplo, por lo que circulará parte de la corriente del arco por la bobina, produciéndose un intenso campo magnético a su alrededor con una polaridad tal que repele el arco formado entre el contacto fijo y el móvil hacia las paredes refractarias donde se fracciona y extingue.

Cuando el arco cesa, el contacto de la bobina de soplo queda abierto, interrumpiéndose de ésta manera todo flujo de corriente. Las características principales de los interruptores de 4.16 Kv. que se emplean en la Central son las siguientes :

Marca	Westinghouse.
Tipo	Soplo magnético
Tensión nom.	4.16 Kv.
Tensión máx de operación	4.76 Kv.
Capacidad interruptiva a tensión nom.	250 MVA.
Corriente nom.	1200 Amp.
Frecuencia	60 Hz.
Tensión de impulso	60 Kv.
Tiempo de interrupción nom.	5 ciclos.

3.5.2.1. SISTEMA DE CONTROL.

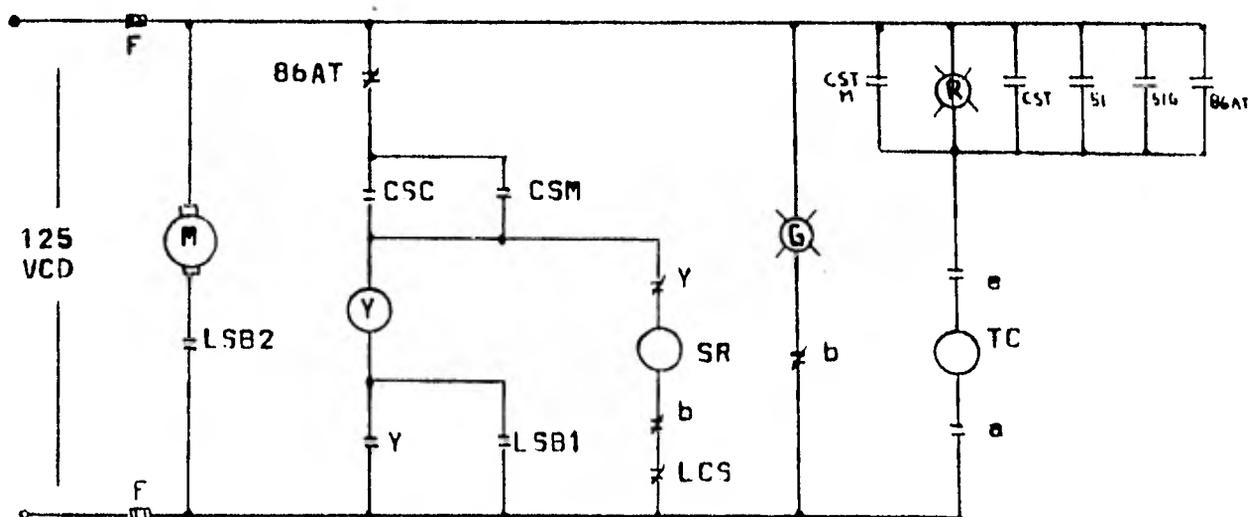
Si se requiere cerrar el interruptor (Ver diag. 3.5.2.1) primeramente se cierra el contacto (CSC) en caso que se quiera cerrar en forma remota ó el contacto (CSM) si se quiere cerrar en forma manual, con lo cual la bobina de cierre (SR) se energizará provocando que se libere el resorte de cierre localizado en el sistema de retención. Esta situación hará que el sistema mecánico de cierre una al contacto fijo con el móvil.

Al momento de cerrar el interruptor, abren los contactos (b) y -- (LCS) localizados en el sistema mecánico de cierre y cierran los contactos (a) localizados en el sistema de retención del resorte de apertura, predisponiendo con ello al interruptor para que sea abierto -- cuando se requiera.

Cuando el resorte de cierre ha sido disparado cierran los con -

tactos (LSB1) y (LSB2), uno de los cuales se utiliza para energizar - al motor de corriente directa que hará que se vuelva a comprimir dicho resorte para dejarlo listo para otra operación de cierre. El otro contacto se emplea para energizar a la bobina (Y) de control, la cual - desenergiza permanentemente a la bobina de cierre (SR) con el fin de - que si alguno de los contactos auxiliares (b) ó (LCS) no abrieron la - bobina no quede energizada, ya que de lo contrario el resorte de cierre no podrá ser retenido. Por último, si el resorte ya fue comprimido los contactos (LSB1) y (LSB2) abren, completándose con esto la secuencia de cierre del interruptor.

DIAG. 3.5.2.1. SISTEMA DE CONTROL DEL INTERRUPTOR DE 4.16 KV.



F - Fusible.

R - Señalización visual remota, normalmente encendida cuando el interruptor se encuentra cerrado.

G - Señalización visual remota, normalmente encendida cuando el interruptor se encuentra abierto.

M - Motor de corriente directa (125VCD).

Para la operación de apertura del interruptor se requiere que-

los contactos (a) estén cerrados y que opere algún relevador de protección (51, 51G y 86AT) ó que cierre ya sea el contacto de apertura local (CSTM) ó el contacto de apertura remota (CST). Si se cumplen éstas condiciones la bobina de disparo (TC) localizada en el sistema de retención quedará energizada, por lo que el resorte de apertura se liberará, operando con ello al mecanismo de apertura, el cual hará que se separe el contacto móvil del fijo.

Los contactos (b) y (LCS) cierran al mismo tiempo que los contactos (a) abren, para dejar al circuito de cierre del interruptor en posición de operar cuando se requiera.

El relevador de protección (86AT) es de bloqueo sostenido para evitar que el circuito de cierre sea accionado sin antes haber investigado y corregido la causa del disparo.

C A P I T U L O I V

S I S T E M A S D E C O N T R O L

4.1. INTRODUCCION.

Para poder tener un sistema de generación perfectamente estructurado, se requiere que existan elementos de control que puedan coordinar y facilitar eficientemente la operación del sistema generador-turbina. Para ello cada unidad de la Central emplea elementos de control que le permiten efectuar adecuadamente sus procesos de arranque, sincronización y generación.

El equipo de control principal con que cuenta cada unidad es el formado por el regulador de voltaje y el sistema central de control automático.

El regulador de voltaje se encarga de mantener el voltaje suministrado por el generador estrictamente constante, ya que las variaciones de potencia reactiva y real del Sistema de Carga repercuten directamente en el voltaje generado.

La acción del regulador de voltaje evita que el Sistema de Carga reciba un voltaje de magnitud nominal variable que pudiera ocasionarle daños ó mal funcionamiento, por lo que el estudio que se hará en este capítulo de los principales elementos de que consta ayudará a comprender mejor como está constituido su estructura general y como se lleve a cabo su lógica de funcionamiento.

El sistema central de control automático (SCCA) de cada unidad -- coordina y vigila a todo su equipo electromecánico. El sistema interviene en todos los procesos que tienen lugar en la unidad ya sea actuando directamente ó solamente dando una señal de alarma en caso de que se presente alguna situación anormal en el equipo sobre el que no posee control.

Las unidades turbogas 1 y 2 de la Central poseen un (SCCA) a base de una computadora analógica-digital desarrollada por el fabricante (Westinghouse) para éste tipo de procesos que involucran equipo electromecánico denominada PRODAC-50. Las unidades turbogas 3 y 4 poseen un (SCCA) a base de un microprocesador tipo Z-80, el cual ha sido progra

mado y adaptado de acuerdo al tipo de procesos que tienen lugar en las unidades.

Se espera que las dos unidades de vapor que se construirán de acuerdo con el Proyecto II cuenten también para el control de su equipo electromecánico con microprocesadores del mismo tipo que los de las unidades turbogas 3 y 4.

En éste tipo de sistema de generación a base de un ciclo combinado, cada unidad ya sea turbogas ó de vapor es controlada independientemente de las variables que se controlen en otras unidades (temperaturas, vibraciones, presiones, potencia, velocidad, etc.) por lo que el sistema central de control automático de una unidad no tiene injerencia sobre el de otra.

Se describirá en éste capítulo el esquema general de como el sistema central de control automático de la unidad turbogas No.1 de la Central interviene para efectuar la sincronización de su generador con el Sistema de Carga y el control de los motores de corriente alterna empleados por su equipo auxiliar (bombas, ventiladores, compresor, etc.).

4.2. FLUJO DE POTENCIA.

Entre un generador y el Sistema de Carga existe un flujo de potencia denominado aparente, el cual está formado por dos componentes que son: potencia real ó útil y potencia reactiva ó de pérdida. La potencia real es la que el Sistema de Carga transforma en trabajo y la potencia reactiva es la que dicho Sistema emplea para generar los campos magnéticos de sus elementos inductivos.

Cuando el Sistema de Carga es puramente resistivo, el generador suministra únicamente potencia real, por lo que toda la potencia entregada es convertida en potencia útil, sin embargo si el Sistema de Carga se vuelve más inductivo la corriente atrasará en fase al volta

je, lo cual causará que el flujo magnético en el estator del generador se oponga en todo momento al flujo magnético producido en su rotor, -- produciendo con ello una disminución del voltaje generado. Este disminución se compensa sobreexcitando el rotor para producir el flujo necesario en el entrehierro para mantener el voltaje en terminales constante. El efecto hará que se incremente la corriente producida por el generador, es decir, se producirá un flujo de potencia reactiva del generador hacia el Sistema de Carga.

Cuando el Sistema de Carga se hace más capacitivo, la corriente -- adelantará en fase al voltaje, produciendo que el flujo magnético en -- el estator del generador se suma en todo momento al flujo magnético -- producido en su rotor. Esto hace que el flujo resultante aumente el -- voltaje en terminales del generador.

El aumento de voltaje deberá reducirse subexcitando al rotor para disminuir el flujo y con ello disminuir la corriente producida por el generador, lo cual puede interpretarse como que el generador absorbe potencia reactiva ó que existe un flujo de potencia reactiva del -- Sistema de Carga hacia el generador.

De lo anterior se desprende que el flujo de potencia real irá -- siempre del generador hacia el Sistema de Carga y el flujo de potencia reactiva podrá ir en cualquier dirección según si el Sistema se -- hace más capacitivo ó inductivo.

Los principales productores de potencia reactiva son :

- a).-Generadores sobreexcitados.
- b).-Motores síncronos sobreexcitados.
- c).-Capacitores estáticos.
- d).-Líneas de transmisión(cuando la carga del Sistema disminuye).

Los principales consumidores de potencia reactiva son :

- a).-Generadores subexcitados.
- b).-Motores síncronos subexcitados.
- c).-Motores de inducción.
- d).-Transformadores.

e).-Reactores conectados en paralelo.

4.3. DESCRIPCION DEL REGULADOR DE VOLTAJE.

En cualquier Sistema la suma del flujo de potencia reactiva y del flujo de potencia real que entra y sale de algún bus debe ser -- igual a cero, sin embargo continuamente el bus tiende a disminuir ó -- aumentar su voltaje debido a que la carga constantemente varía en -- magnitud y comportamiento, de ahí que el generador tenga que enfren -- tarse continuamente a dichos cambios a fin de mantener el voltaje -- del bus constante.

Por medio de un regulador de voltaje se puede mantener el vol^{ta}je generado constante, controlando para ello la corriente de excita -- ción en el rotor, de ésta manera se puede suministrar potencia reactiva al Sistema de Carga ó absorberla del mismo según se requiera.

Los generadores de la Central poseen reguladores de voltaje marca Westinghouse del tipo PRX-300, los cuales están constituidos básicamente por un sistema electrónico para el control de la corriente de excitación. Sus tres elementos ó módulos base son :

- 1).-Módulo de circuitos lógicos.
- 2).-Módulo de circuitos de encendido.
- 3).-Módulo del amplificador de potencia.

También cuenta con módulos auxiliares para protección y para el suministro de voltaje para polarización ($\pm 15\text{VCD}$. y $\pm 24\text{VCD}$) de sus circuitos.

El módulo de circuitos lógicos posee un transductor aislado de corriente alterna, el cual transforma un voltaje trifásico de 120VCA. proporcional al voltaje en terminales del generador (proveniente de 3 transformadores de potencial (TP's) colocados en las terminales de salida del estator) y una señal de corriente proporcional a la corriente suministrada por el generador (proveniente de un transformador de-

de corriente(TC)de 5000/5Amp. colocado en la fase B del estator)en -- voltajes de 60Vrms. y 40Vrms.;mediante éstas magnitudes equivalentes- el módulo puede conocer continuamente el comportamiento del genera -- dor.

El módulo de circuitos lógicos también obtiene a través de un -- transductor aislado de corriente directa una señal de voltaje(C.D.) - proporcional a la corriente que circula por el devanado de campo del- generador de corriente directa.

El módulo de circuitos de encendido y el módulo del amplificador de potencia son alimentados con el voltaje trifásico(120VCA.)suminis- trado por el generador de imán permanente.

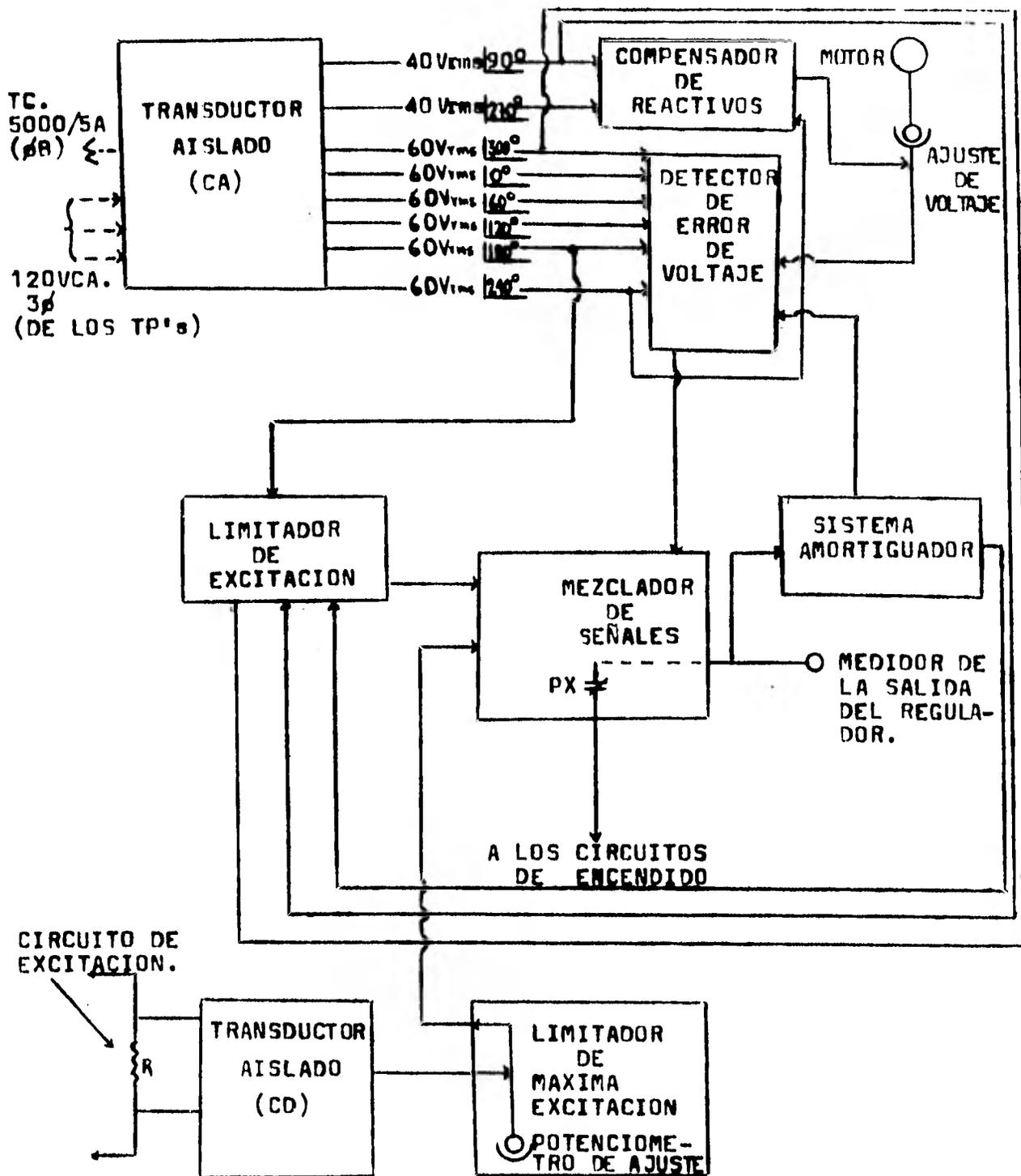
Si el voltaje en terminales del generador disminuye ó aumenta,el módulo de circuitos lógicos producirá una señal de error,la cual hará que el módulo de circuitos de encendido actúe sobre el módulo del am- plificador de potencia para que éste disminuya ó aumente la cantidad- de corriente suministrada por el generador de imán permanente al gene- rador de corriente directa.De ésta manera la corriente de excitación- suministrada al rotor del generador es controlada para permitir que - se mantenga constante su voltaje en terminales.

A continuación se analizará en base a la secuencia de regulación la lógica de funcionamiento de los 3 módulos base que intervienen di- rectamente en la regulación del voltaje en terminales del generador.

4.3.1. MODULO DE CIRCUITOS LOGICOS.

En el diagrama 4.3.1 se puede apreciar el sistema lógico de fun- cionamiento del módulo de circuitos lógicos,el cual está compuesto bá- sicamente por 6 submódulos que son :

- a).-Compensador de reactivos.
- b).-Detector de error de voltaje.
- c).-Sistema amortiguador.
- d).-Limitador de excitación.



DIAG. 4.3.1. MODULO DE CIRCUITOS LOGICOS DEL REGULADOR DE VOLTAJE.

- e).-Limitador de máxima excitación.
- f).-Mezclador de señales.

El transformador de corriente conectado en la fase B del estator del generador manda una señal de corriente (proporcional a la corriente suministrada por el generador) hacia el transductor aislado de corriente alterna, en donde la corriente es convertida a una señal de voltaje de 4VCA, la cual es elevada a través de un transformador - cuyo devanado secundario es bifásico, a dos señales de voltaje de 40Vrms 90° y 40Vrms 270° las que sirven para alimentar al compensador de reactivos y al limitador de excitación.

Los transformadores de potencial alimentan con un voltaje trifásico de 120VCA al transductor aislado de corriente alterna, en donde es reducido a través de un transformador cuyo devanado secundario es hexafásico, a 6 señales de voltaje de: 60Vrms 0° , 60Vrms 60° , 60Vrms 120° , 60Vrms 180° , 60Vrms 240° y 60Vrms 300° . Las 6 señales sirven para alimentar al detector de error de voltaje, las señales de 60Vrms 300° y 60Vrms 180° sirven para alimentar al submódulo limitador de excitación - y la señal de 60Vrms 240° alimenta al submódulo compensador de reactivos.

En la línea que alimenta al campo de excitación del generador de corriente directa se encuentra conectado un transductor aislado de corriente directa a través de una resistencia. El transductor proporciona una señal de voltaje (C.D.) directamente proporcional a la corriente de excitación del generador de corriente directa, para lo cual primeramente transforma la señal de entrada de corriente directa a una señal de alta frecuencia proporcional, para después acoplarla al devanado de un transformador donde la señal de voltaje es reducida. El voltaje resultante es posteriormente rectificado y filtrado - obteniéndose un voltaje (C.D.) de 0V. a 15V. que corresponden respectivamente a la corriente mínima y máxima de excitación. La señal de voltaje se utiliza para alimentar al limitador de máxima excitación.

Tanto el transductor de corriente alterna como el de directa, evitan que la señal que llega a los diferentes submódulos tenga alguna alteración por voltajes inducidos debidos al campo magnético del generador y al campo magnético del mismo regulador de voltaje.

4.3.1.1. COMPENSADOR DE REACTIVOS Y DETECTOR DE ERROR DE VOLTAJE.

El compensador de reactivos (Ver diag. 4.3.1.a) recibe 3 señales de voltaje proveniente del transductor aislado (C.A.), en donde una de ellas es proporcional al voltaje generado y las otras dos señales son proporcionales a la corriente reactiva suministrada ó absorbida por el generador. Las 3 señales son sumadas en forma vectorial de tal forma que se mantendrá un voltaje nulo en la salida del compensador, mientras la magnitud del voltaje en terminales del generador no varíe.

El voltaje resultante es primeramente rectificado, filtrado y después amplificado e invertido en el circuito amplificador cuyo voltaje de salida será entre 0 y -10VCD.

El voltaje obtenido en el circuito amplificador se divide en dos señales (a) y (b), las cuales se introducen a un circuito de balance ó equilibrio para mantener una adecuada compensación entre las 2 señales de tal forma que el voltaje en la salida del compensador será nulo, mientras el voltaje resultante de la suma vectorial no varíe. Si la magnitud del voltaje varía por algún cambio en el factor de potencia del Sistema de Carga, la diferencia de voltaje hará que el circuito sumador aumente ó disminuya su voltaje, produciéndose en la salida del compensador un voltaje positivo ó negativo (-4VCD a 4VCD) el cual se sumará al voltaje de referencia del detector de error de voltaje.

El compensador posee un retardo de tiempo con respecto al tiempo de respuesta del regulador, ajustado de tal forma que esperará a que el regulador corrija la anomalía. Si el error de voltaje persiste al transcurrir el tiempo ajustado, entonces el compensador producirá una señal de voltaje negativo si el generador se mantiene subexcitado y -

una señal de voltaje positivo si el generador se encuentra sobreexcitado.

El compensador asegura que el voltaje en terminales del generador se mantenga constante aunque existan anomalías en el ajuste de el voltaje de referencia ó en la respuesta del regulador, ya que utiliza para ajustar su voltaje de referencia un voltaje proporcional al flujo de corriente reactiva que circula entre el generador y el Sistema de Carga, el cual representa un parámetro independiente de los ajustes de referencia que pueda tener el regulador. El compensador actuará cuando detecte una variación del voltaje generado mayor al $\pm 0.5\%$ del voltaje nominal.

El detector de error de voltaje (Ver diag. 4.3.1.a) acepta 6 señales de voltaje defasadas entre sí 60° , cuyo valor es proporcional al voltaje en terminales del generador. El promedio de las 6 señales es rectificadas, filtrado y sumado a un voltaje de referencia (ajustado entre 0V. y -15VCD. con el potenciómetro de ajuste de voltaje y con el voltaje de salida del compensador de reactivos), dando como resultado un voltaje nulo cuando el voltaje generado se mantiene constante. Si el voltaje en terminales del generador disminuye al disminuir el factor de potencia del Sistema de Carga, la suma del voltaje filtrado con el de referencia será un voltaje negativo, el cual se traducirá en la salida del detector como una señal positiva (0V. a 10VCD) para hacer que se incremente la corriente de excitación. Si el voltaje generado tiende a aumentar, entonces la suma del voltaje filtrado con el de referencia será un voltaje positivo el cual en la salida del detector se convertirá en una señal negativa (-10VCD a 0V.).

Una señal del sistema amortiguador provee de una señal ya sea positiva ó negativa al detector, la cual se suma a la señal resultante de la suma del voltaje filtrado y el de referencia, con el fin de balancear la salida del detector lo más rápidamente posible, para evitar que oscile el sistema debido al tiempo de retardo entre la respuesta del detector y la respuesta del generador.

El circuito del detector está diseñado de tal forma que sólo -- funcionará cuando registre un error en el voltaje en terminales del generador mayor a $\pm 0.5\%$ del voltaje nominal, para evitar que el regulador esté funcionando continuamente por pequeñas fluctuaciones de voltaje.

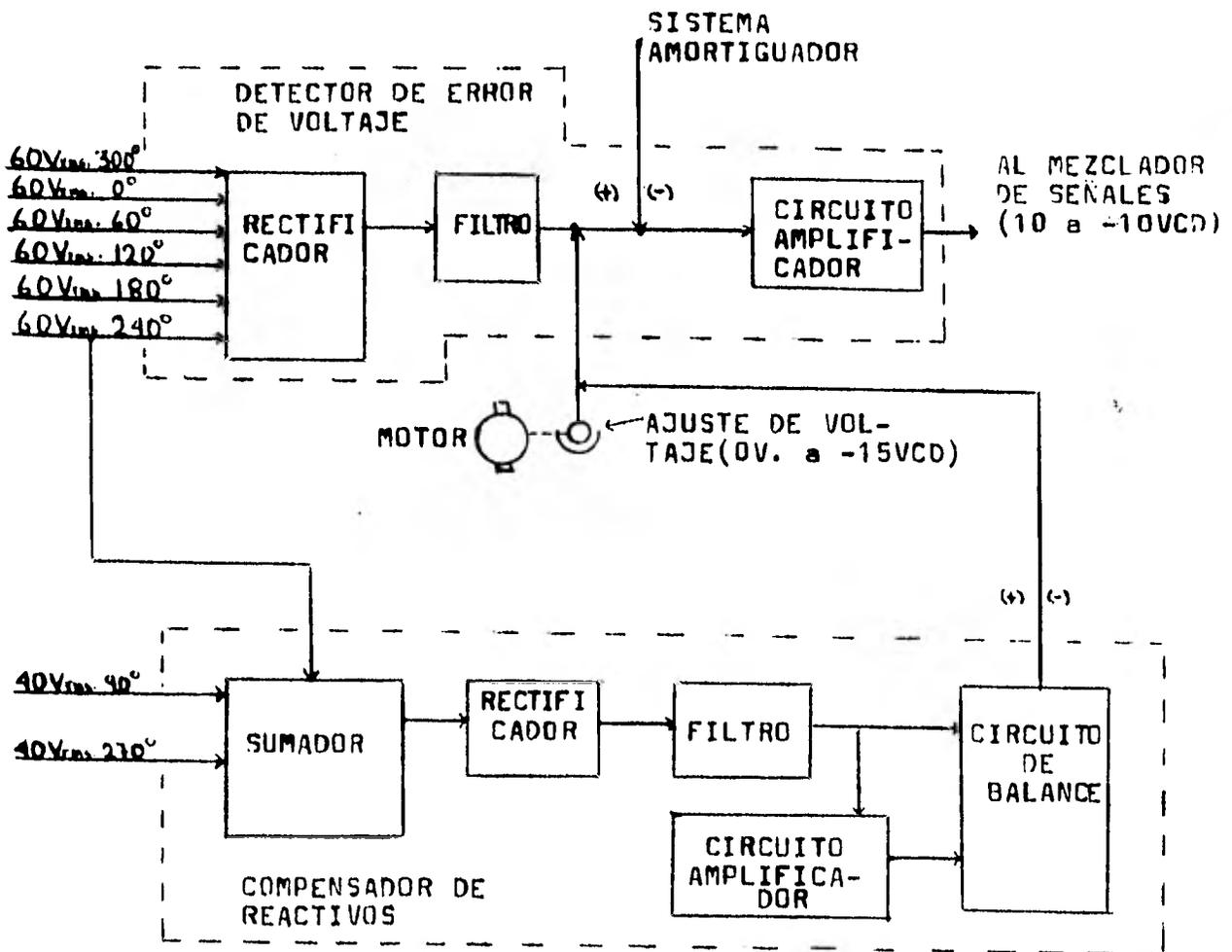


DIAGRAMA 4.3.1.a.

4.3.1.2. LIMITADOR DE EXCITACION.

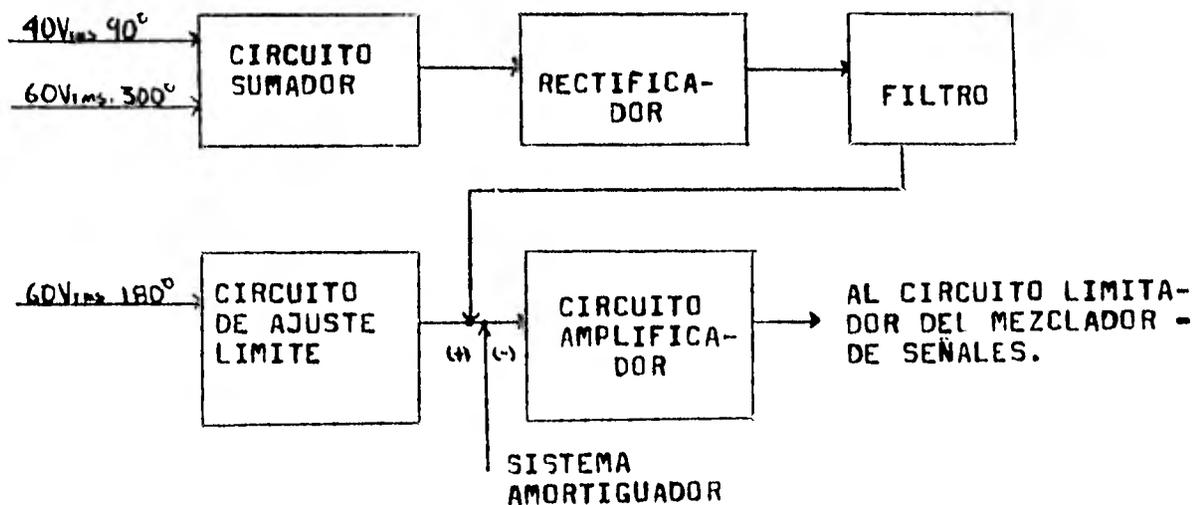
El submódulo limitador de excitación (Ver diag. 4.3.1.b) se utiliza para mantener al generador dentro de ciertas características pre-determinadas y así impedir que la máquina alcance valores de corriente excesivos fuera de su capacidad que harían que al devanado del estator se calentara en exceso. Para ello el limitador acepta una señal de 60Vrms 300° proporcional al voltaje generado y una señal de 40V rms 90° proporcional a la corriente suministrada por el generador. Ambas señales son sumadas vectorialmente de tal forma que la suma de voltaje representará la capacidad ó potencia aparente (MVA) del generador en ése momento, por lo que tomará en cuenta la componente de corriente reactiva y la componente de la corriente consumida por la carga resistiva. El voltaje resultante es rectificado, filtrado y sumado a un voltaje de referencia.

El voltaje de referencia ó voltaje limitante es ajustado de acuerdo a la capacidad en MVA. sobre la que se requiera limitar, dentro de la cual se considera seguro manejar al generador.

El circuito de ajuste límite acepta una señal de 60Vrms 180° la cual es rectificada, filtrada y ajustada de acuerdo a la potencia real y al factor de potencia límites que se requieran (0V. a -40VCD). Generalmente los generadores de la Central están ajustados de acuerdo a la capacidad efectiva máxima que pueden resistir continuamente sin sufrir daños.

La suma de la señal de voltaje, resultante de la suma vectorial con el voltaje de referencia dará una señal negativa, la cual por medio de un amplificador será convertida en una señal positiva con un valor máximo inicial de 10VCD cuando el generador empieza a suministrar corriente al Sistema de Carga. A medida que empiezan a variar las características del Sistema de Carga el generador suministrará mayor potencia al Sistema ya sea reactiva ó real, lo cual provocará que cuando el voltaje resultante de la suma vectorial sobrepase el -

da referencia, se tendrá un voltaje en la salida del limitador negativo, el cual será suministrado al circuito limitador del mezclador de señales para que éste mantenga un nivel de señal sobre el módulo de circuitos de encendido que impida el incremento de la corriente de excitación. Una señal proveniente del sistema amortiguador, ya sea positiva ó negativa es suministrada continuamente al limitador para -- que éste actúe rápidamente sobre el mezclador de señales.



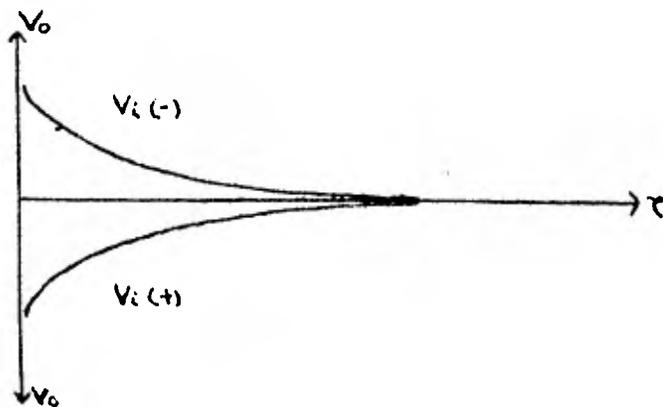
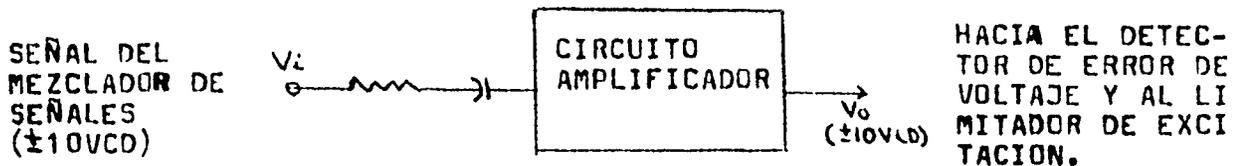
DIAG. 4.3.1.b. LIMITADOR DE EXCITACION

4.3.1.3. SISTEMA AMORTIGUADOR.

La estabilidad de cualquier sistema regulado de lazo cerrado es función de la ganancia y del tiempo de retardo de los componentes -- del sistema. En un sistema de alta ganancia, el inherente tiempo de re -- tardo principalmente del generador y de los campos de excitación au -- mentan la inestabilidad del sistema, pudiendo ésto acarrear oscila --

ción ó una completa pérdida del control de la salida. Para ello el módulo de circuitos lógicos posee un sistema amortiguador para estabilizar el control del sistema de excitación del generador a base de un circuito derivador (Ver diag. 4.3.1.c).

Si la señal de voltaje proveniente del mezclador de señales es estable, el voltaje de salida del sistema amortiguador será nulo. Un cambio en la entrada origina que la salida momentáneamente cambie y entonces regrese a cero en forma exponencial por lo que la señal de salida (V_o) será proporcional a la derivada de la señal de entrada (V_i).



DIAG. 4.3.1.c. SISTEMA AMORTIGUADOR

El tiempo de respuesta del circuito se ajusta de tal forma que en el caso del detector de error de voltaje la señal de salida del amortiguador anulará momentáneamente la señal de error para evitar que siga aumentando ó disminuyendo la corriente de excitación, con el

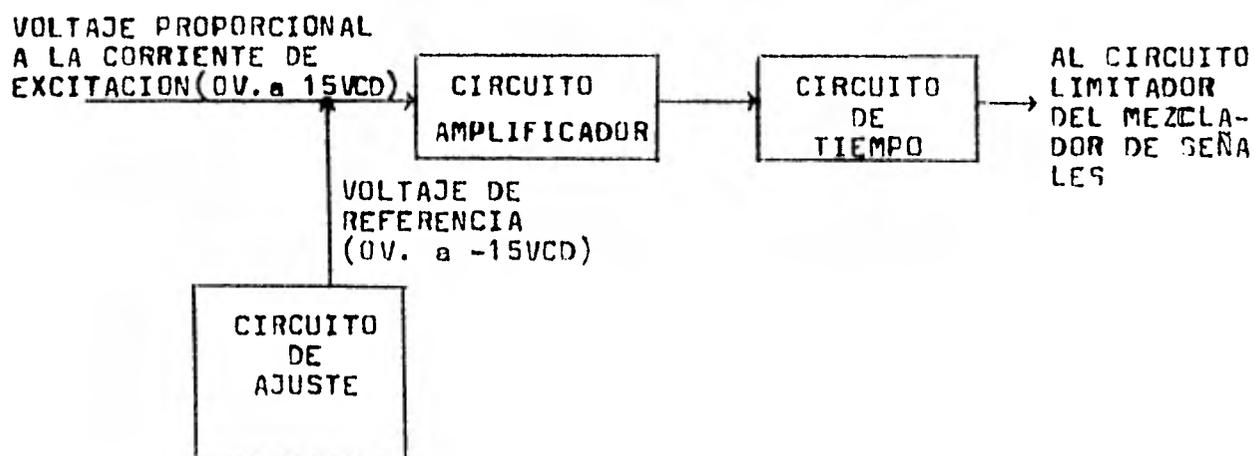
fin de esperar a que el generador suba ó disminuya su voltaje hasta llegar a su valor nominal(13.8Kv). Cuando el generador empieza a nivelar su voltaje nominal, el amortiguador comenzará a regresar a su valor de estabilidad(0 volts), con lo cual un aumento ó disminución del voltaje generado se compensará con un aumento ó disminución del sistema amortiguador, por lo que la señal de error en el detector irá -- amortiguándose en el tiempo ajustado.

En el caso del limitador de excitación, el tiempo de respuesta - del sistema de amortiguamiento está ajustado para reducir el tiempo de respuesta de su circuito sumador. Si disminuye el voltaje en terminales del generador y éste se encuentra en el límite de su capacidad el amortiguador mandará una señal de voltaje positiva momentánea (debido a la variación de la magnitud de la señal que se produce en la salida del mezclador de señales cuando ocurre una disminución del -- voltaje en terminales del generador) la cual hará que el limitador inmediatamente responda suministrando una señal negativa limitante al mezclador para que éste conserve su salida en cero volts, impidiendo con ello que la corriente de excitación aumente. Cuando el amortiguador empieza a regresar a su estado estable(0 volts) el circuito sumador debido a su tiempo de retardo empezará a suministrar el incremento de voltaje producto de la suma de las dos señales de voltaje de -- que se alimenta (las cuales son manejadas de tal forma en el circuito sumador que cuando disminuye el voltaje en terminales del generador -- ó aumenta la corriente suministrada al Sistema de Carga se producirá un incremento de voltaje en la salida del sumador que será igual al valor del voltaje suministrado temporalmente por el sistema amorti -- guador) para de ésta manera compensar la caída de voltaje y con ello mantener un voltaje nulo en la salida del mezclador mientras el factor de potencia de la carga no aumente ó la corriente consumida por la carga resistiva no disminuya.

4.3.1.4. LIMITADOR DE MAXIMA EXCITACION.

El submódulo limitador de máxima excitación (Ver diag. 4.3.1.d) limita la corriente de excitación del generador cuando ésta se incrementa y sostiene en un determinado valor, el cual puede provocar altas temperaturas en el devanado del rotor.

La señal de entrada al submódulo es un voltaje proporcional a la corriente de excitación (0V. a 15VCD), el cual es sumado con un voltaje de referencia ajustado entre 0V. y -15VCD.; cuando el voltaje proporcional a la corriente de excitación rebasa el voltaje de referencia la suma será un voltaje positivo, el cual en la salida del circuito amplificador se convertirá en un voltaje negativo (0V. a -10 VCD) limitante. El voltaje resultante es suministrado al circuito limitador del mezclador de señales para evitar que siga incrementándose la corriente de excitación.



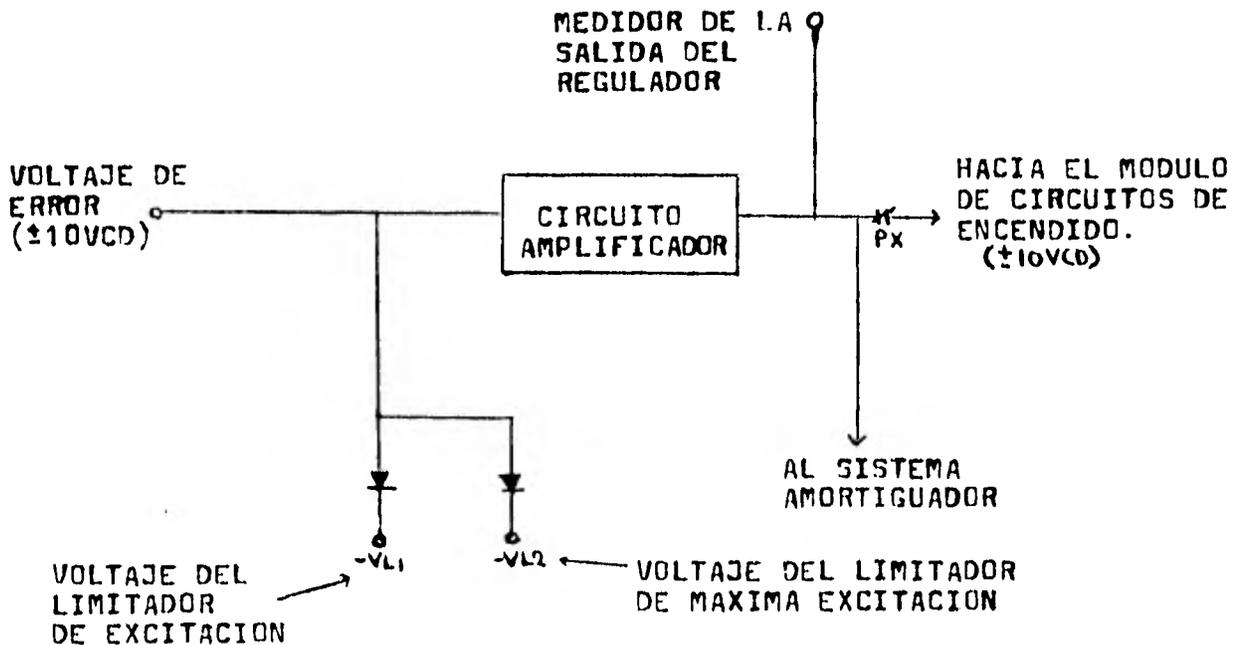
DIAG. 4.3.1.d. LIMITADOR DE MAXIMA EXCITACION.

La señal de voltaje limitante antes de llegar al mezclador de señales pasa a través de un circuito de tiempo, el cual se encarga de retrasar la señal hasta por dos minutos, con el propósito de dar sufi

ciente tiempo al Sistema de Carga de que aumente su factor de potencia. El tiempo ajustado es aproximadamente tres veces menor al tiempo que puede soportar el devanado del rotor una corriente de excitación máxima.

4.3.1.5. MEZCLADOR DE SEÑALES.

El submódulo mezclador (Ver diag. 4.3.1.e) acepta señales del detector de error de voltaje y de los limitadores, las mezcla y produce una señal de voltaje de $\pm 10\text{VCD}$. para el control de los circuitos de encendido. La operación involucra la reducción de la salida cuando una señal excede un valor preajustado.



DIAG. 4.3.1.e. MEZCLADOR DE SEÑALES

Cuando el detector de error manda una señal negativa ó positiva al mezclador, éste la suma a la señal proveniente de su circuito limitador y el resultado es una señal de voltaje con una polaridad contraria al voltaje de entrada. Si es negativa la señal de salida del mezclador (0V. a -10VCD) el circuito de encendido hará que se incremente la corriente de excitación, si es positiva (0V. a 10VCD) disminuirá la corriente de excitación. El circuito limitador podrá reducir la salida del mezclador cuando cualquiera de las señales de limitación ya sea del limitador de excitación ó del limitador de máxima excitación sea negativa con respecto a tierra.

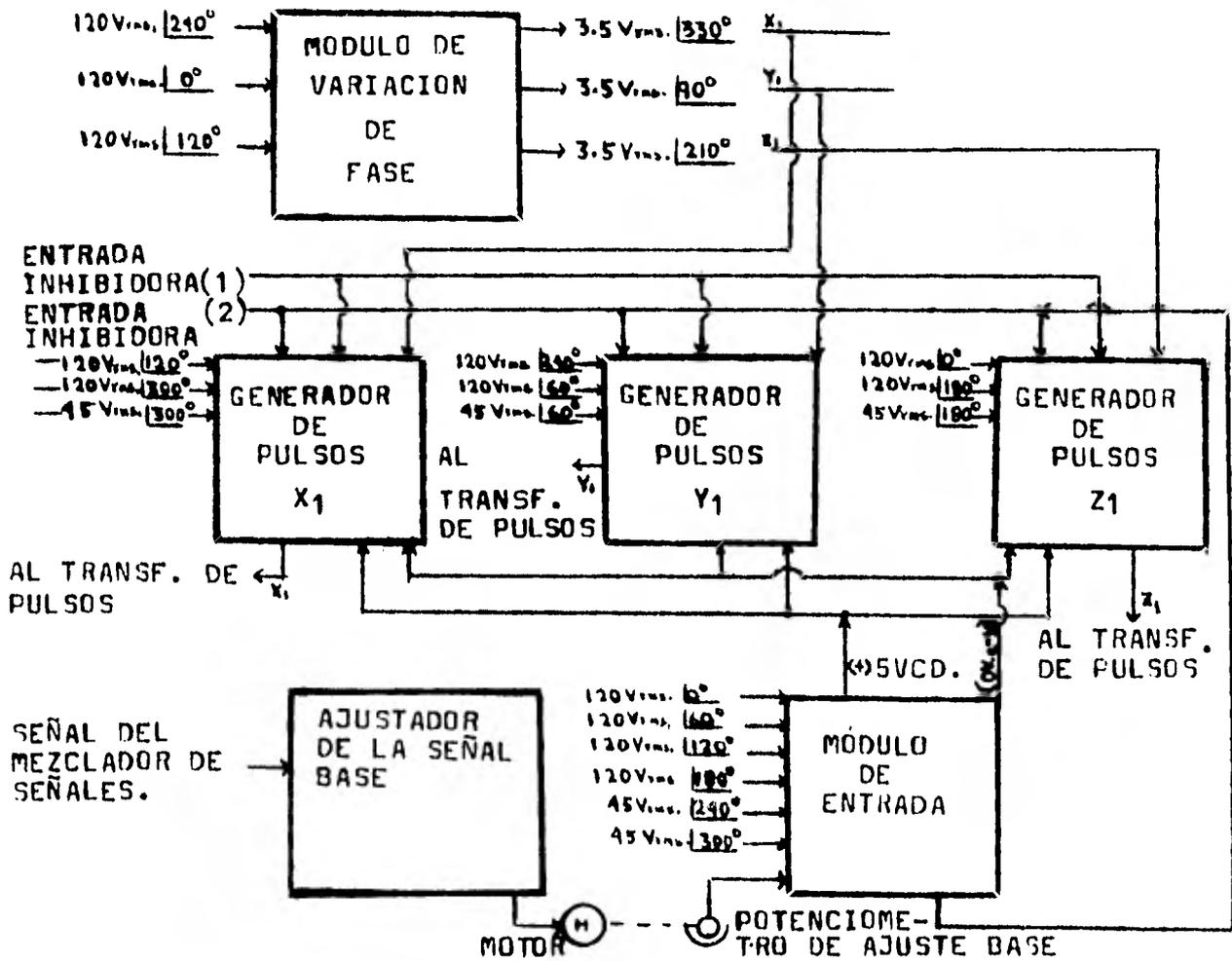
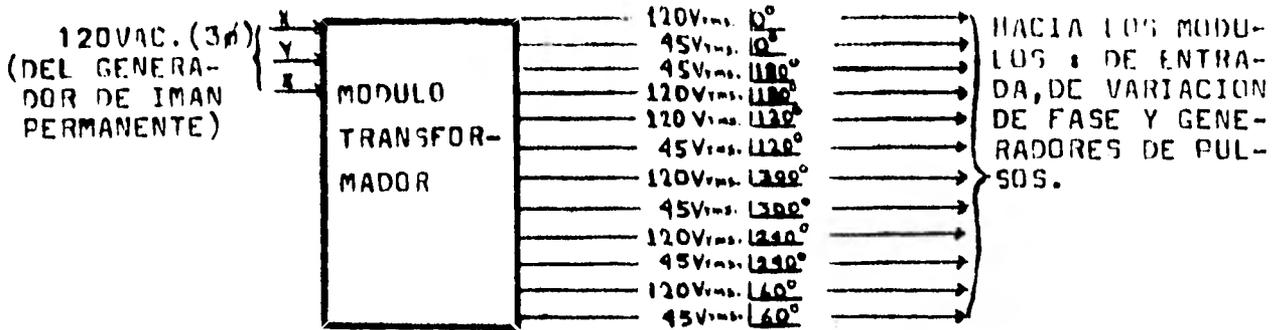
El contacto (PX) se encuentra normalmente cerrado cuando el control de la corriente de excitación se hace en forma automática y estará abierto cuando se requiera ejercer el control de la excitación en forma manual. El medidor de la salida del regulador ayuda a medir el grado de error del voltaje generado cuando el control se hace en forma manual ya que indicará si el generador debe absorber ó producir potencia reactiva.

4.3.2. MODULO DE CIRCUITOS DE ENCENDIDO.

El módulo de circuitos de encendido acepta una señal proveniente del mezclador de señales (cuando funciona en forma automática), la cual predispone ó ajusta de tal forma que pueda ser controlado el ángulo de encendido de los thyristores del amplificador de potencia, para de ésta manera poder manejar la magnitud de la corriente de excitación según la polaridad y magnitud de la señal de error proveniente del módulo de circuitos lógicos.

En el diagrama 4.3.2 se puede observar el sistema lógico de funcionamiento del módulo, el cual está compuesto básicamente por 5 submódulos que son :

- a).-Módulo transformador.
- b).-Módulo de variación de fase.



DIAG. 4.3.2. MODULO DE CIRCUITOS DE ENCENDIDO DEL REGULADOR DE VOLTAJE

- c).-Ajustador de la señal base.
- d).-Módulo de entrada.
- e).-Módulo de los generadores de pulsos.

4.3.2.1. MODULO TRANSFORMADOR.

El módulo transformador alimenta a los circuitos de encendido. Un voltaje trifásico de 120VCA(x,y,z) desde el generador de imán permanente es aplicado al módulo transformador, el cual deberá estar en fase con el voltaje aplicado al amplificador de potencia para asegurar que los pulsos sean dados en el lugar apropiado.

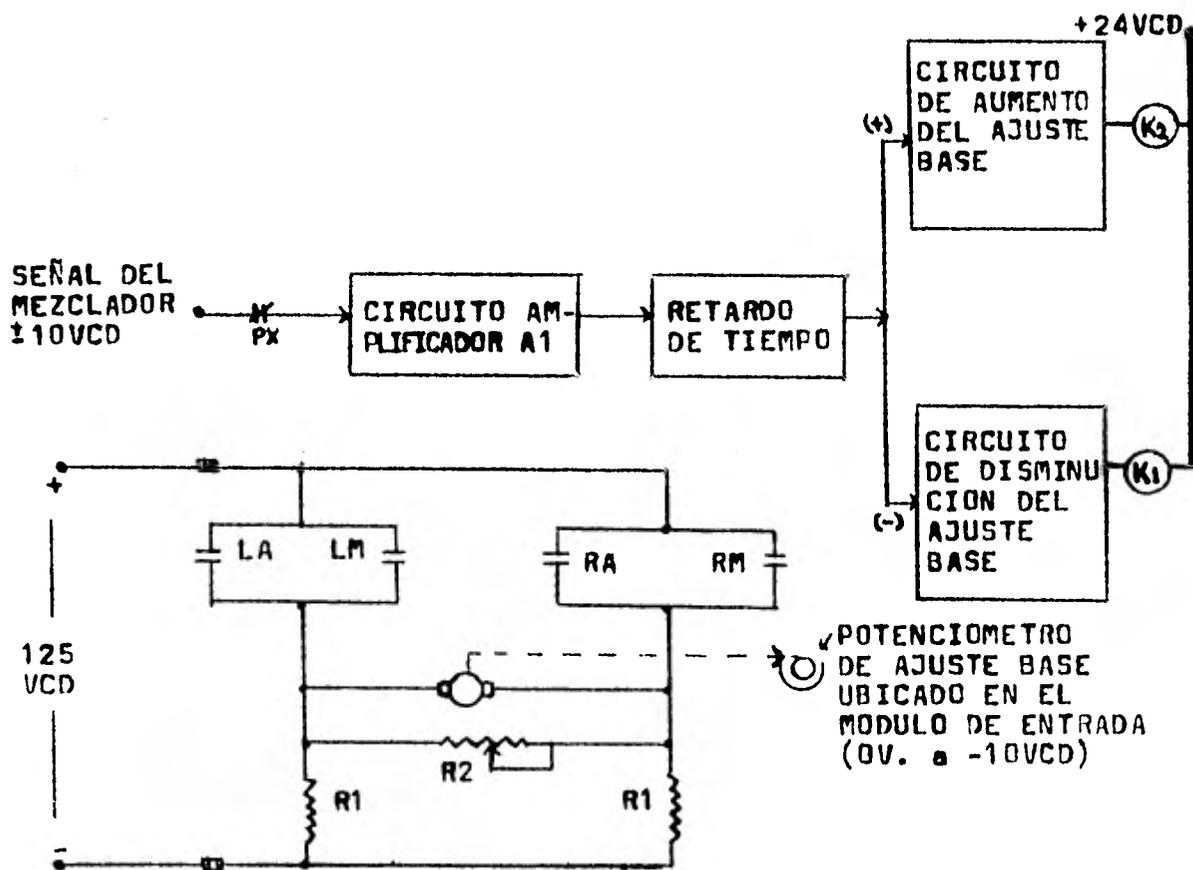
El transformador está conectado de tal forma que efectúa la transformación de 3 a 6 fases, en donde el primario está conectado en delta(3 ϕ) y el secundario en estrella(6 ϕ). Están disponibles dos niveles de voltaje en la salida del módulo de: 120Vrms. y 45Vrms.; con un defasamiento entre sí de 60°, por lo que el módulo tendrá 12 señales de salida que serán empleadas para sincronización de los circuitos de cada generador de pulsos y por los circuitos de los módulos de entrada y de variación de fase.

4.3.2.2. MODULO DE VARIACION DE FASE.

El módulo de variación de fase conecta de un transformador reductor trifásico con reactores conectados a cada fase del devanado primario y filtros RC conectados a cada fase del devanado secundario con el fin de que las tres señales que entran al módulo (Ver diag. 4.3.2) sean primeramente defasadas 90°, después reducidas a un voltaje cosenooidal de 10Vpp. (3.5Vrms) y por último filtradas para obtener de esta manera tres señales en la salida del módulo, las cuales serán empleadas para alimentar adecuadamente a cada generador de pulsos para que éstos puedan suministrar la secuencia correcta de encendido de los thyristores del amplificador de potencia.

4.3.2.3. AJUSTADOR DE LA SEÑAL BASE.

El circuito ajustador de la señal base (Ver diag. 4.3.2.a) acepta una señal proveniente del mezclador de señales ya sea positiva ó negativa (cuando el control es en forma automática).



DIAG. 4.3.2.a. CIRCUITO AJUSTADOR DE LA SEÑAL BASE.

Si la señal de error es negativa (-10VCD. a 0V.) el amplificador (A1) la invertirá convirtiéndola en una señal positiva, mediante la --

cual sólo el circuito de aumento del ajuste base switcheará, produciendo que el relevador(K2) se energice para cerrar el contacto(RA) - colocado en el circuito de operación del motor de ajuste, para de esta manera energizar al motor de ajuste y hacer que gire en una dirección tal que produzca que el potenciómetro de ajuste varíe su resistencia. En estas circunstancias el voltaje de salida del módulo de entrada se hará menos negativo(-10VCD a 0V).

En el caso de que la señal proveniente del mezclador sea positiva, el circuito de disminución del ajuste base switcheará, energizando se el relevador(K1) para ocasionar que cierre el contacto(LA) colocado en el circuito de operación del motor de ajuste, para de esta manera energizar al motor de ajuste y hacer que gire en una dirección tal que produzca que el potenciómetro de ajuste varíe su resistencia. En estas condiciones el voltaje de salida del módulo de entrada se hará más negativo(0V. a -10VCD).

El circuito ajustador funcionará mientras se mantenga la señal de error proveniente del mezclador. Cuando se requiera controlar la excitación en forma manual, se abren los contactos(PX) localizados en la salida del mezclador y en la entrada del circuito ajustador para permitir que la dirección del giro del motor sea controlada por los contactos(LM) para bajar excitación y (RM) para aumentar la corriente de excitación. El circuito posee un retardo de tiempo para evitar que el motor funcione continuamente por señales de error momentáneas.

4.3.2.4. MODULO DE ENTRADA.

El módulo de entrada maneja las funciones auxiliares del circuito de encendido, incluyendo una limitación por sobrevoltaje. Las 6 señales en la entrada del módulo(Ver diag.4.3.2) son rectificadas y el voltaje promedio primeramente es ajustado vía un potenciómetro a una señal de 5VCD., la cual es usada para polarizar el circuito de los generadores de pulsos. La señal rectificada se emplea también para sumi

nistrar un voltaje variable (0V. a -10VCD.) denominado de base, al circuito de los generadores de pulsos a través de un circuito inversor y de un potenciómetro llamado de ajuste base controlado en forma remota por medio de un motor el cual es controlado desde el circuito - ajustador de la señal base.

Para mantener la estabilidad del circuito cuando se opera al regulador de voltaje en forma manual, la señal de polarización del módulo de entrada seguirá en todo momento a la señal de voltaje proveniente del generador de imán permanente vía el módulo transformador; de ésta manera un aumento ó disminución del voltaje producido por dicho generador hará que aumente ó disminuya la señal de polarización recibida por los circuitos de los generadores de pulsos.

Si el generador de imán permanente aumenta el voltaje suministrado al módulo transformador, el circuito de sobrevoltaje ubicado en el módulo de entrada producirá una señal de protección a través del circuito de entradas inhibidoras para impedir el funcionamiento de los generadores de pulsos y evitar con ello que el módulo de circuitos de encendido funcione hasta en tanto no se regularice el voltaje (120VCA) suministrado por el generador de imán permanente. Esto evita que el nivel de la corriente de excitación suministrada al rotor del generador principal varíe en forma errónea.

4.3.2.5. MODULO DE LOS GENERADORES DE PULSOS.

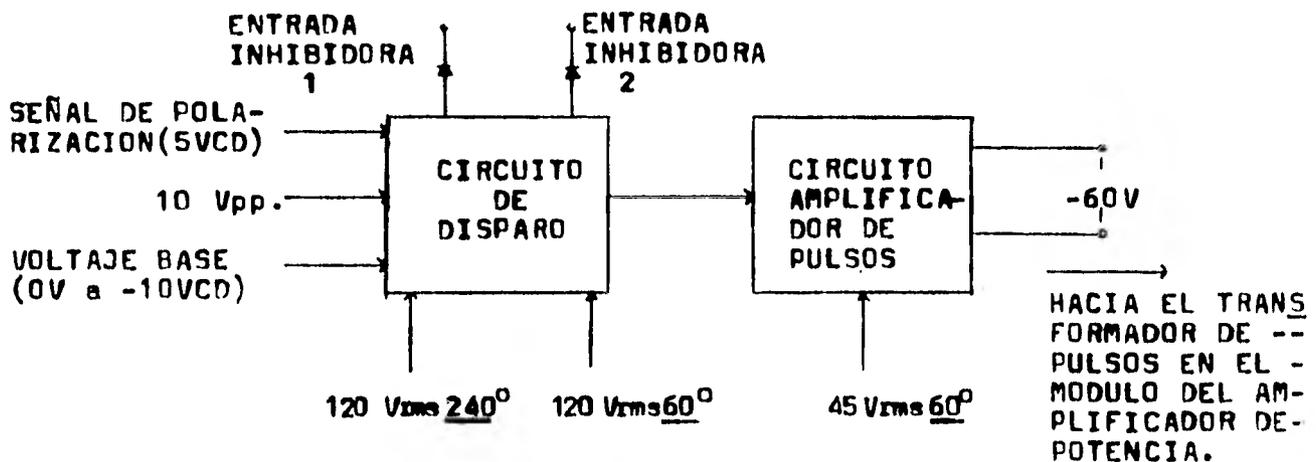
El módulo de los generadores de pulsos consta de 3 generadores de pulsos (X1, Y1 y Z1) los cuales sirven para encender a los tres thyristores del módulo amplificador de potencia con una separación de 120° .

Los generadores de pulsos aceptan una señal de 5VCD. para polarización y una señal variable de 0V. a -10VCD., ambas provenientes -- del módulo de entrada, además de una señal cosenoidal con un valor de 10Vpp. proveniente del módulo de variación de fase. Para explicar me-

por el funcionamiento del módulo el análisis se centrará en el generador de pulsos Y1 mostrado en el diagrama 4.3.2.b.

Si se requiere por ejemplo suministrar al módulo del amplificador de potencia un pulso con 90° en atraso con respecto a cero volts de V_{xy} (voltaje proveniente del generador de imán permanente que se empleará como señal de referencia para el análisis) primeramente se ajusta el voltaje base a $-5V_{CD}$. por medio del potenciómetro de ajuste base (en forma automática ó manual) y se mezcla ésta señal con las dos señales de $10V_{pp}$. y $5V_{CD}$. en el circuito de disparo.

La señal resultante es manejada junto con las dos señales de control provenientes del módulo transformador ($120V_{rms}$. 60° y $120V_{rms}$. 240°) de tal forma que se producirá un pulso en la salida del circuito, el cual será suministrado al circuito amplificador de pulsos (alimentado con una señal de $45V_{rms}$. 60° proveniente del módulo transformador) para que ésta a su vez produzca un pulso de voltaje en su salida con una magnitud de $-60V$. y una duración de 120° (Ver fig. 4.3.2.c)



DIAG. 4.3.2.b. GENERADOR DE PULSOS Y1

el que será utilizado posteriormente en el módulo del amplificador de potencia.

El circuito amplificador de pulsos está habilitado para funcionar sólo cuando recibe el pulso del circuito de disparo, por lo que dicho pulso tendrá la duración necesaria para permitir que el voltaje de salida del circuito amplificador de pulsos varíe de -60V. a 0V., - después de cuyo lapso se mantendrá un voltaje nulo en su salida hasta que reciba nuevamente un pulso del circuito de disparo.

Si se concatena el momento en que se produce el pulso en la salida del circuito amplificador de pulsos con el voltaje de referencia - (Ver fig.4.3.2.d) se podrá observar que el pulso se da exactamente - cuando el voltaje de referencia lleva recorridos 90° . Los otros generadores de pulsos (X1 y Z1) también enviarán pulsos a 90° con respecto a sus dos señales de referencia (Vyz y Vzx) defasadas entre sí 120° ya -- que al igual que el generador de pulsos Y1 tienen ajustado su voltaje base a -5VCD.

La señal de referencia suministrada al circuito de excitación -- del generador es controlada por el módulo del amplificador de potencia, el cual posee thyristores que al ser encendidos mediante los pulsos suministrados por el circuito amplificador de pulsos hacen posible la conducción de la parte positiva de la señal de referencia hacia el circuito de excitación del generador a partir de el ángulo en que sean encendidos (de 10° a 170°).

Si se requiere variar el ángulo del pulso suministrado al módulo del amplificador de potencia con respecto al voltaje de referencia, se tendrá que variar el valor del voltaje base por medio del potenciómetro de ajuste base, tal que para hacer que el pulso se produzca cuando el voltaje de referencia lleve recorridos 170° se tendrá que variar - a cero volts el valor de la señal base para que el pulso en la salida del circuito de disparo se produzca con un retraso máximo que permita al circuito amplificador de pulsos mandar un pulso de -60V. justo en el momento en que el voltaje de referencia ha recorrido 170° ; ésto pro

vocará como se verá más adelante que la corriente de excitación al -
cance su valor mínimo. Si se requiere obtener la máxima corriente de
excitación se deberá de ajustar el valor de la señal base a -10VCD . -
para hacer que se produzca un pulso en la salida del circuito de dis
paro con un retraso mínimo que permite al circuito amplificador de -
pulsos mandar el pulso de -60V . cuando el voltaje de referencia lle
ve recorridos 10° .

FIGURA 4.3.2.c.
SEÑAL DE SALIDA
DEL CIRCUITO AM-
PLIFICADOR DE
PULSOS

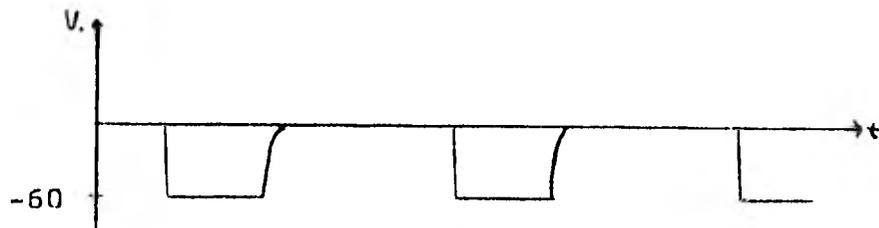
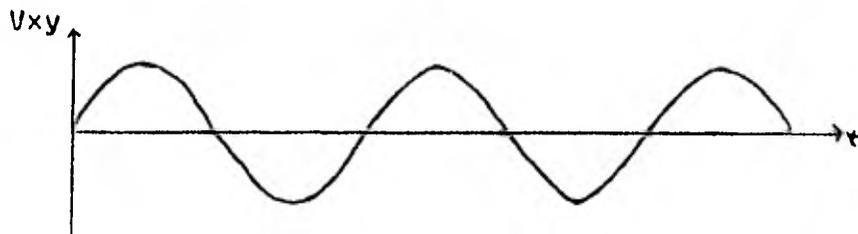


FIGURA 4.3.2.d.
VOLTAJE DE
REFERENCIA



Si se conecta cualquiera de las entradas inhibitorias a tierra -
no se producirá ningún pulso hacia los thyristores del módulo del am
plificador de potencia, con lo cual la corriente de excitación del ge
nerador se reducirá a cero. Estas entradas están conectadas a algunos
circuitos de protección que posee el regulador, los cuales tienen re
levadores cuyo accionamiento está condicionado por circuitos semejan
tes a los limitadores de excitación y de máxima excitación pero con
un tiempo de operación mayor para esperar a que los limitadores del
módulo de circuitos lógicos actúen.

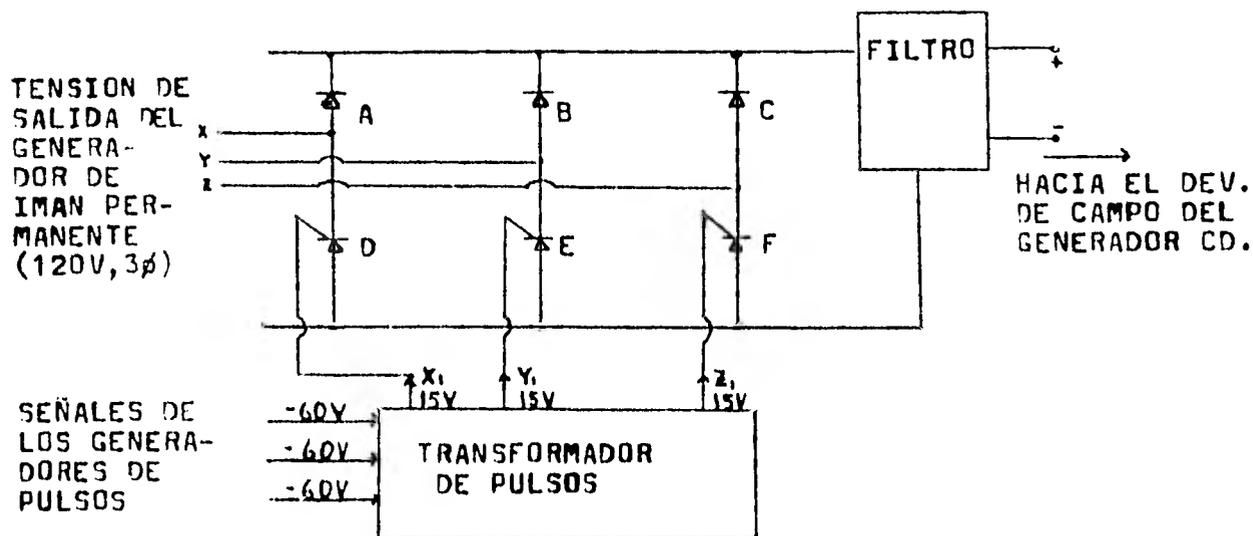
4.3.3. MODULO DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.

El módulo amplificador de potencia (Ver diag. 4.3.3) controla por medio de un circuito a base de thyristores y diodos la magnitud del voltaje trifásico proveniente del generador de imán permanente, de tal forma que se puede controlar la corriente de excitación del generador variando el ángulo de encendido de los thyristores desde los generadores de pulsos.

El módulo cuenta con un transformador de pulsos, el cual transforma las 3 señales de voltaje de -60V. provenientes de los generadores de pulsos (X1, Y1 y Z1) a 3 señales de 15V. para que puedan ser encendidos adecuadamente los thyristores.

Cuando los thyristores (D, E y F) y los diodos (A, B y C) están conduciendo, el circuito funciona como un rectificador de onda completa, cuya señal resultante es filtrada antes de ser enviada al circuito de excitación del generador.

Los thyristores son encendidos por los generadores de pulsos en-



DIAG. 4.3.3. MODULO DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.

el siguiente orden : E-F-D-E-F....., en donde la separación con que se envían los pulsos es de 120° y la duración de cada pulso es de 120° .

La disposición del puente rectificador es tal que podrá generarse una señal de voltaje en su salida cuando esté conduciendo un thyristor y un diodo a la vez.

Al combinar el encendido de los 3 thyristores con la polarización en directa de los 3 diodos se producirá la siguiente secuencia de señales de voltaje defasadas entre sí 60° :

VOLTAJE APLICADO	DIODOS QUE TRABAJAN	THYRISTORES QUE TRABAJAN
Vzy	C	E
Vxy	A	E
Vxz	A	F
Vyz	B	F
Vyx	B	D
Vzx	C	D
Vzy	C	E
⋮	⋮	⋮

Debido a que los generadores de pulsos están ajustados sólo para enviar pulsos dentro de un rango de 10° a 170° , el voltaje máximo en la salida del módulo será cuando sus thyristores sean encendidos a 10° y el mínimo cuando sean encendidos a 170° . En la figura 4.3.3.a se muestra el comportamiento de la señal de salida del circuito rectificador antes de ser filtrada cuando los pulsos de encendido son producidos a 90° , en donde las líneas punteadas representan las señales de voltaje suministradas por el generador de imán permanente y las líneas continuas la porción de esas señales que es conducida a la salida del circuito rectificador.

La secuencia de funcionamiento del módulo amplificador para producir las señales mostradas en la figura 4.3.3.a es la siguiente :

El generador de pulsos (Y1) manda un pulso con 90° en atraso con-

respecto a V_{xy} para encender al thyristor E. Debido a que el voltaje V_{xy} en ése momento es mayor a V_{zy} , el diodo C estará polarizado en inversa y el diodo A en directa produciendo que en la salida del circuito circule solamente la señal V_{xy} , la cual se interrumpirá cuando el diodo A quede polarizado en inversa.

Cuando transcurran 120° a partir de el momento en que se produjo el pulso del generador (Y1), el generador de pulsos (Z1) mandará un pulso a 90° en atraso con respecto a la señal V_{yz} para encender al thyristor F. En ése momento pueden conducir los diodos A y B, sin embargo como el voltaje V_{yz} es mayor en ése momento al voltaje V_{xz} , que dará solamente polarizado en directa el diodo B produciendo que en la salida del circuito circule únicamente la señal V_{yz} , la cual se interrumpirá cuando el diodo B quede polarizado en inversa.

Por último, el generador de pulsos (X1) mandará un pulso a 90° en atraso con respecto a la señal V_{zx} para encender al thyristor D 120° después que se produjo el pulso del generador (Z1). En ése momento el diodo C está polarizado en directa por lo que en la salida del circuito circulará solamente la señal V_{zx} , la cual se interrumpirá cuando el diodo C quede polarizado en inversa.

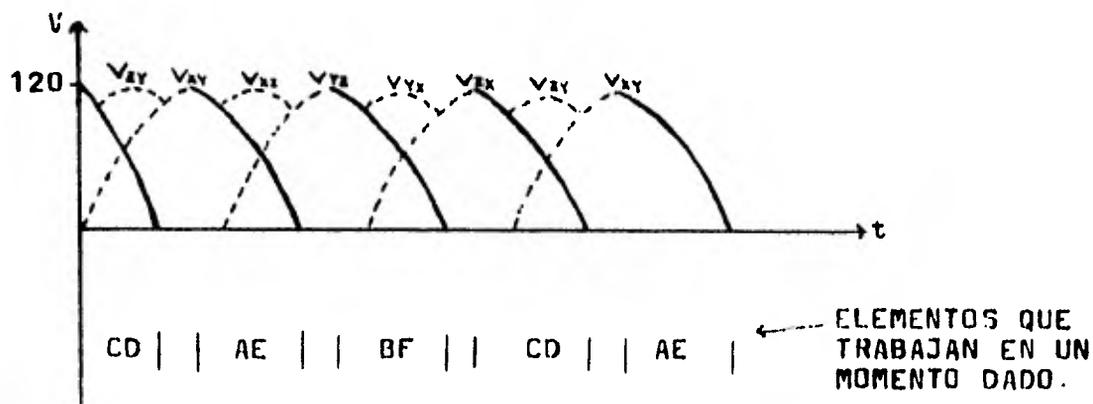


FIG. 4.3.3.a. ENCENDIDO DE LOS THYRISTORES A 90° .

El valor del voltaje suministrado por el módulo amplificador al devanado de campo del generador de corriente directa será el promedio del voltaje en la salida del circuito rectificador.

4.4. SISTEMA DE CONTROL DE LOS MOTORES PERTENECIENTES A LA UNIDAD TURBOGAS No.1.

Dentro del equipo de operación más importante sobre el que actúa la computadora que posee la unidad turbogas No.1 se encuentran los circuitos de arranque de los motores de corriente alterna y directa, ya que intervienen en los principales procesos que maneja la computadora como son: arranque, sincronización y generación.

Los circuitos de control de cada motor se agrupan alrededor de los buses de 480VCA., 3 ϕ , 60Hz. y del bus de 125VCD. a los que se les denomina centros de control de motores.

Desde cada circuito se puede controlar ya sea automática ó manualmente a cualquier motor en forma remota ya sea para arrancarlo ó para sacarlo fuera de servicio según su función dentro del proceso que se esté efectuando.

La mayoría de los circuitos de control de los motores poseen conectado a su circuito un contacto localizado en la computadora, mediante el cual ésta puede intervenir sobre el circuito cuando las necesidades del proceso así lo requieran. De ésta manera se puede efectuar el control directo sobre ventiladores, bombas, compresor y en general sobre la mayoría del equipo auxiliar que utiliza la unidad.

Para ejemplificar lo anterior se explicará el funcionamiento de el sistema de control de motores que generalmente es empleado por la mayoría de los motores de corriente alterna de la unidad turbogas No.1. Para ello se utilizará como modelo el sistema de control del motor de corriente alterna del ventilador para enfriamiento del aire empleado para disminuir la temperatura de los álabes del rotor de la turbina.

4.4.1. SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOR UTILIZADO POR EL VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DE LA TURBINA.

La computadora rastrea continuamente la temperatura en los álabes del rotor de la turbina para verificar que dicha temperatura se mantenga dentro de un determinado rango para evitar su deterioro.

Cada vez que se incrementa la potencia de la turbina se producirá una elevación en la temperatura de los álabes, por lo que la unidad turbogase No.1 cuenta con tres ventiladores, cada uno de dos velocidades a fin de controlar adecuadamente la temperatura desde carga mínima (4Mw.) hasta carga base (70Mw.). En el diagrama 4.4.1 se muestra el circuito de control de uno de éstos ventiladores, el cual funciona de la siguiente forma:

Si la temperatura de los álabes aumenta fuera del rango de valores de referencia que posee la computadora, entonces ésta accionará su relevador (88A) para cerrar su respectivo contacto. Esto hará que se energice la bobina (83L), la cual a su vez cerrará su respectivo contacto para permitir que el motor trifásico de inducción jaula de ardilla (480VCA, 7 1/2Hp.) se energice a baja velocidad al cerrar los contactos (42L).

En el tablero del centro de control de motores se indica con una señalización visual (ON) que el motor está funcionando.

Si la temperatura aún no se normaliza, entonces la computadora accionará su relevador (88B) para cerrar su respectivo contacto para permitir que se energice la bobina (83H). Esto hará que la bobina (83L) quede desenergizada y que por consiguiente se interrumpa la alimentación hacia el devanado de baja velocidad del motor al abrirse los contactos (42L).

Al energizarse la bobina (83H) la bobina (42H) accionará, permitiendo con ello que sea energizado el devanado de alta velocidad del motor al cerrar los contactos (42H).

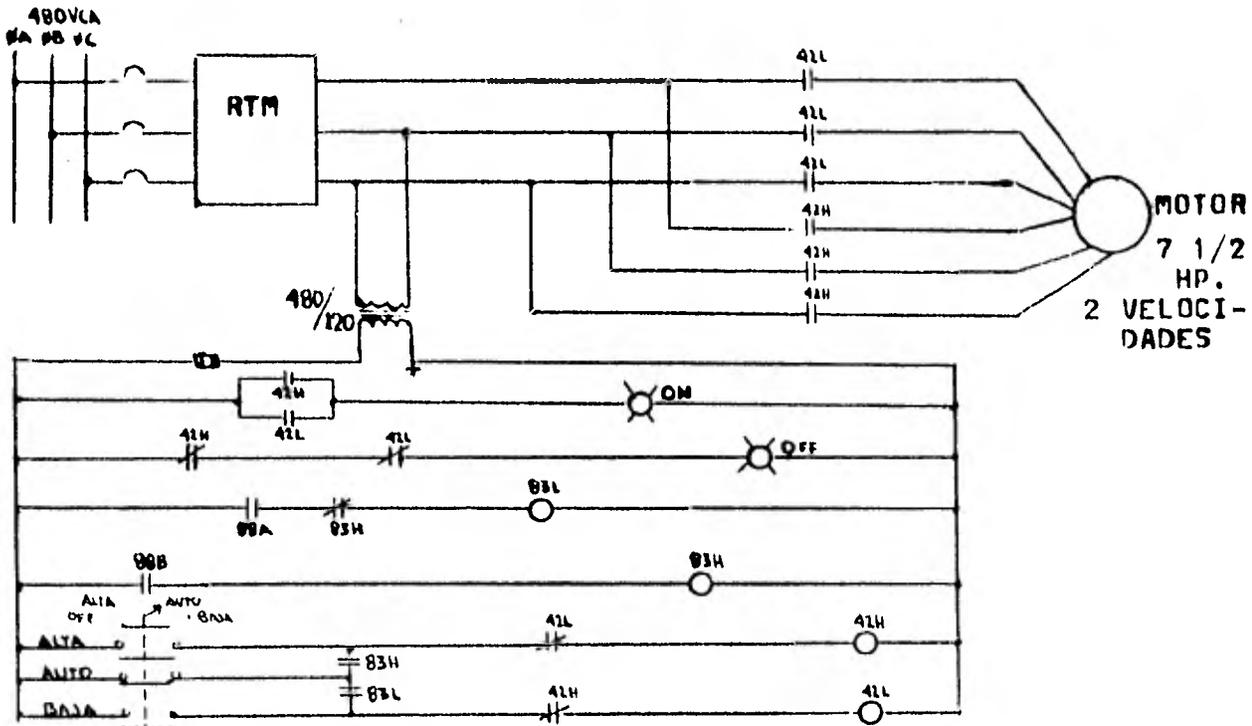
Si sigue aumentando la temperatura por requerimientos de mayor-

potencia en la turbina, la computadora energizará escalonadamente los circuitos de control pertenecientes a los otros dos ventiladores.

Cuando la temperatura disminuya al bajar al nivel de potencia de la turbina, la computadora irá haciendo fuera de servicio paulatinamente a los motores de los ventiladores por medio de sus relevadores (88A) y (88B).

En el tablero del centro de control de motores se indica con -- una señalización visual (OFF) que el motor está fuera de servicio.

Si por alguna razón los relevadores de la computadora no operaran y se detecta una elevada temperatura en los álabes de la turbina entonces se puede arrancar directamente al motor a baja ó alta velocidad cerrando manualmente los contactos "BAJA" ó "ALTA" localizados en el tablero del centro de control de motores.



DIAG. 4.4.1. SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOR UTILIZADO POR EL VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO DE LA TURBINA

La protección termomagnética (RTM) conectada en la línea de alimentación constituye el medio de protección del motor contra sobrecargas y cortocircuitos.

4.5. CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO DE SINCRONIZACIÓN DEL GENERADOR DE LA UNIDAD TURBOGAS No.1 CON EL SISTEMA DE CARGA.

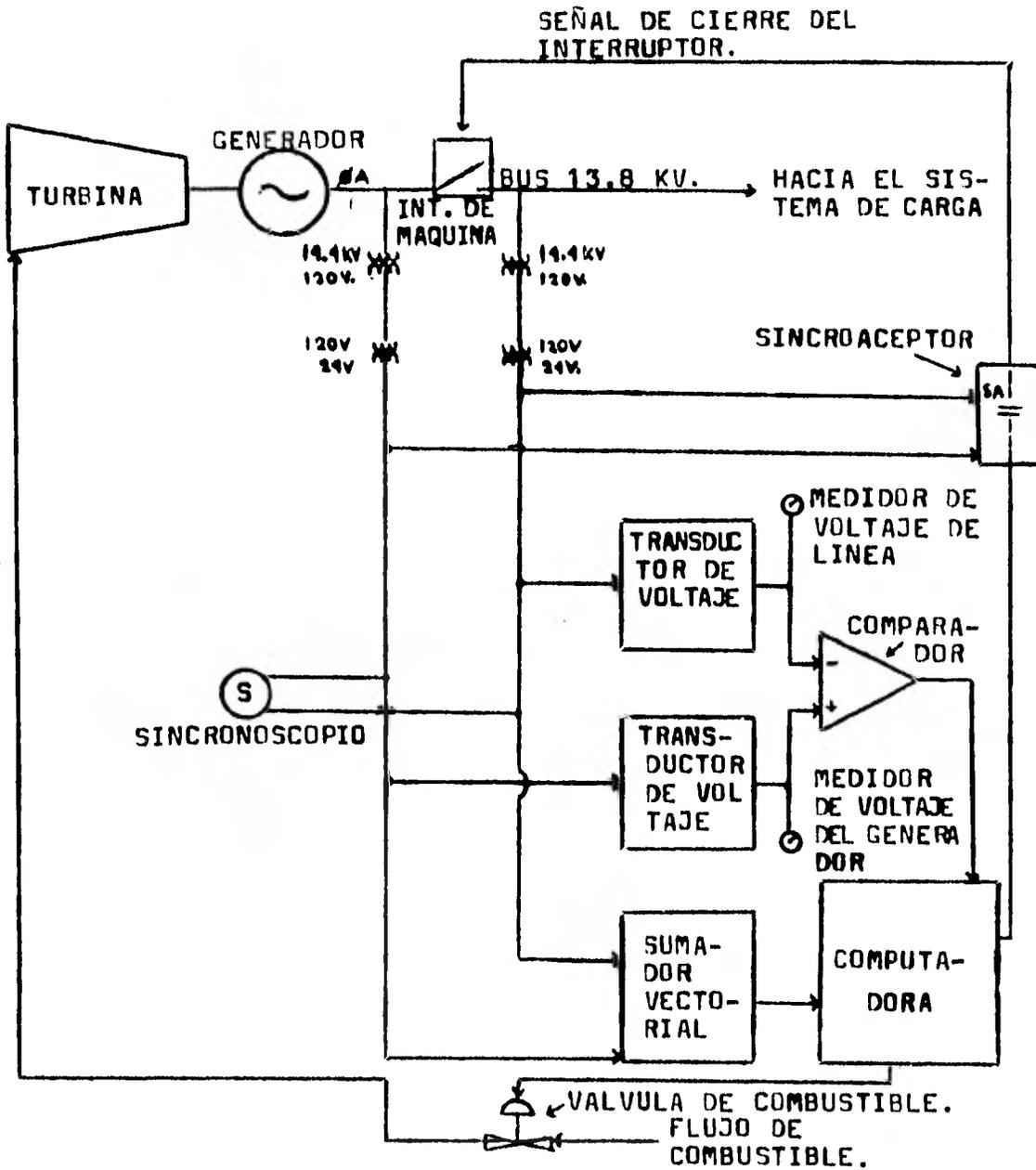
Para sincronizar un generador con el Sistema de Carga se deben de cumplir tres condiciones fundamentales:

- 1).-La secuencia de fases (A, B y C) del generador debe ser la misma que la del Sistema.
- 2).-El voltaje en vacío del generador debe ser el mismo que el voltaje del Sistema.
- 3).-El ángulo entre los fasores del generador y los del Sistema debe ser igual a cero en el momento de cerrar el interruptor de máquina.

Cuando se desea realizar la sincronización del generador perteneciente a la unidad turbogas No.1 con el Sistema en forma precisa y automática se utiliza su computadora, ya que puede manejar perfecta y rápidamente la información proveniente tanto del generador como del Sistema de Carga (a través del bus de 13.8Kv.) para realizar la sincronización sin causar el menor daño al equipo mecánico (turbina, chumaceras, etc.) el cual resiente esfuerzos excesivos cuando se efectúa una mala sincronización.

La computadora recibe una señal de voltaje proveniente de un comparador, el cual es alimentado por dos transductores de voltaje (Ver diag. 4.5.).

Uno de los transductores de voltaje reduce y rectifica la señal de voltaje de corriente alterna proveniente del transformador de potencial conectado a la fase (A) del generador. El otro transductor reduce y rectifica en la misma proporción que el otro transductor el voltaje proveniente del transformador de potencial conectado en la fase



DIAG. 4.5. SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA SINCRONIZACION.

(A) del bus de 13.8Kv.; ambas señales de voltaje (C.D.) son comparadas y la diferencia en magnitud es rastreada por la computadora para emplearse en su programa de sincronización.

Otra señal de voltaje es rastreada por la computadora proveniente de un sumador vectorial. Dicho sumador establece una relación fasorial entre las señales provenientes del generador y del bus de 13.8Kv. de tal forma que aunque tengan la misma magnitud, si existe un desfase, existirá una señal de voltaje (C.D.) en su salida. Si no existe desfase, la señal de salida será de cero volts.

La computadora comparará las dos señales así obtenidas con sus valores de referencia y si no coinciden ya sea el valor de magnitud ó el de fase, ejecutará el programa apropiado para incrementar ó disminuir la velocidad de la turbina, actuando para ello directamente sobre la válvula de combustible.

Cuando las condiciones de sincronización han sido cumplidas, la computadora mandará cerrar el contacto de accionamiento del mecanismo de cierre del interruptor de máquina, completándose con ésto el proceso de sincronización.

Entre la computadora y el interruptor de máquina existe un circuito denominado sincroceptor, el cual recibe una señal de voltaje tanto del generador como del bus de 13.8Kv. a través de los transformadores de potencial. El sincroceptor mantiene bloqueado el funcionamiento de la computadora sobre el mecanismo de cierre del interruptor de máquina a través de su contacto (SA) mientras no se cumplan las condiciones de sincronización, con lo cual se evita que pudiera haber alguna orden de cierre del interruptor de máquina equivocada por parte de la computadora que podría causarle un serio daño al equipo mecánico de potencia.

El sincronoscopio y los medidores de voltaje de la salida del generador y del bus de 13.8Kv. sirven para realizar la sincronización manualmente cuando por alguna razón se encuentre fuera de servicio la computadora.

C A P I T U L O V

ESTUDIO DE LA SUBESTACION

5.1. INTRODUCCION.

La subestación de toda central de generación eléctrica es el direccionador de la energía producida por los generadores hacia los centros de consumo, además de que provee de los medios para poder aislar al sistema de generación con el Sistema de Carga en caso de algún disturbio en alguno de los dos sistemas ó simplemente para efectos de mantenimiento ó revisión.

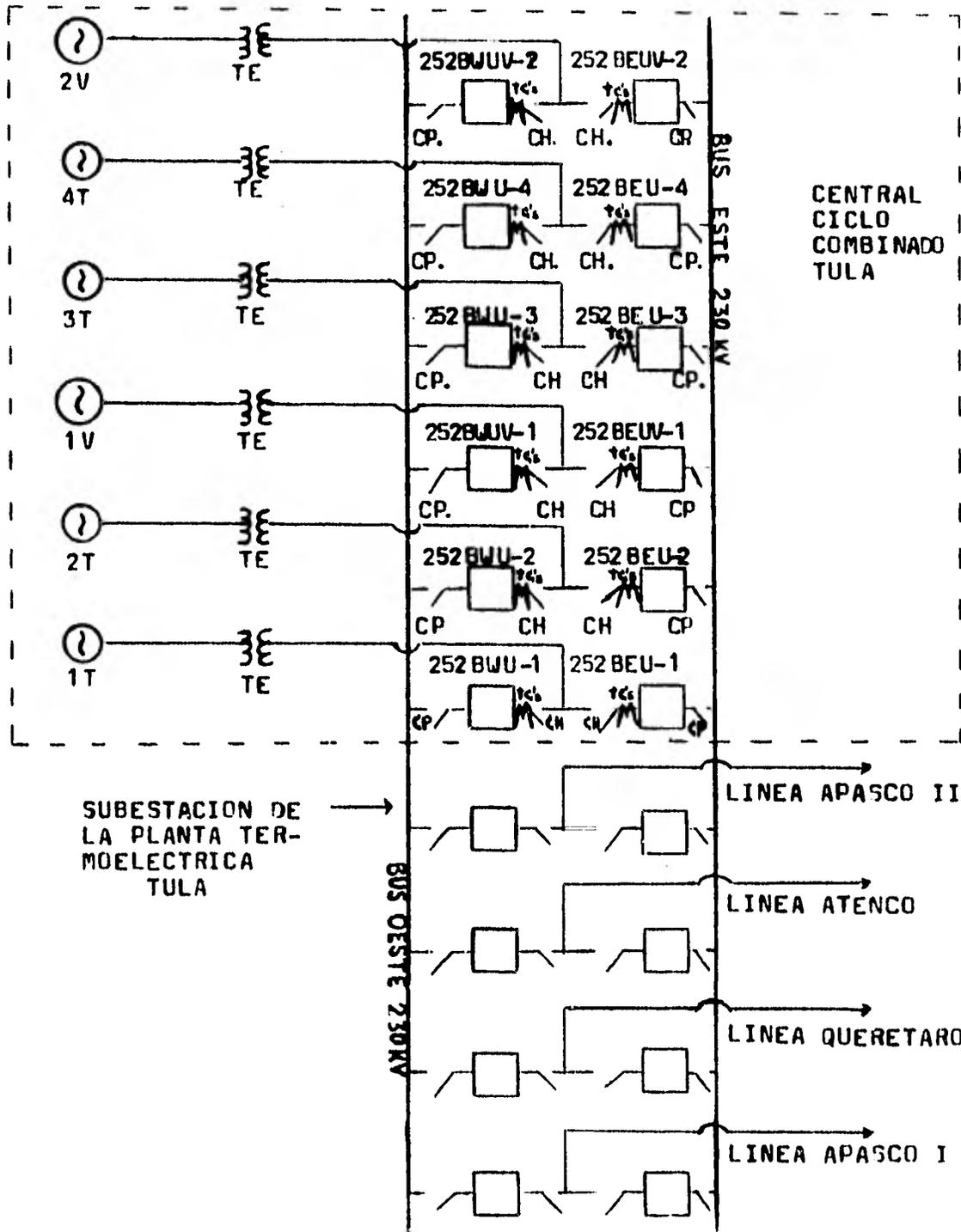
La subestación de la Central está acondicionada para suministrar a través de la subestación de la Planta Termoeléctrica Tula la energía producida por sus generadores hacia las Subestaciones: Apasco I, Apasco II, Atenco y Querétaro.

En el diagrama 5.1 se muestra el arreglo de la subestación de la Central así como la forma en que se realiza el direccionamiento de la energía generada; la nomenclatura del equipo descrito es la siguiente:

- 252BW-Interruptor de hexafluoruro de azufre del bus oeste, 230Kv.
- 252BE-Interruptor de hexafluoruro de azufre del bus este, 230Kv.
- CH-Cuchillas tipo horizontal de cierre vertical, 230Kv. (3)
- CP-Cuchillas tipo pentógrafo, 230Kv. (3).
- 1T, 2T, 3T y 4T-Generadores de las unidades turbogas.
- 1V y 2V-Generadores de las unidades de vapor.
- TE-Transformador de enlace de 140MVA. (13.8/230Kv. (Y)).
- TC's-Transformadores de corriente (3).

El arreglo del equipo con que cuenta la subestación de la Central permite mantener el suministro de energía eléctrica en caso de que alguna de las unidades salga fuera de servicio ya que posee doble interruptor por línea y doble bus, para permitir con esto cierta flexibilidad en su manejo y asegurar la continuidad del servicio.

En el cuarto de control de la subestación se efectúan las maniobras necesarias para operar al equipo en forma remota y sincronizada.



DIAG. 5.1. ARREGLO DE LA SUBESTACION DE LA CENTRAL Y FORMA EN QUE SE DIRECCIONA LA POTENCIA GENERADA HACIA EL SISTEMA DE CARGA.

para evitarle daños al equipo (principalmente a las cuchillas) producto de una mala coordinación del mismo ya sea en el momento de efectuarse la operación de conexión ó en la operación de desconexión.

En éste capítulo se estudiarán las características y funcionamiento del equipo de operación principal con que cuenta la subestación, así como de la forma en que se efectúan las maniobras para coordinar el funcionamiento de dicho equipo.

5.2. EQUIPO DE OPERACION.

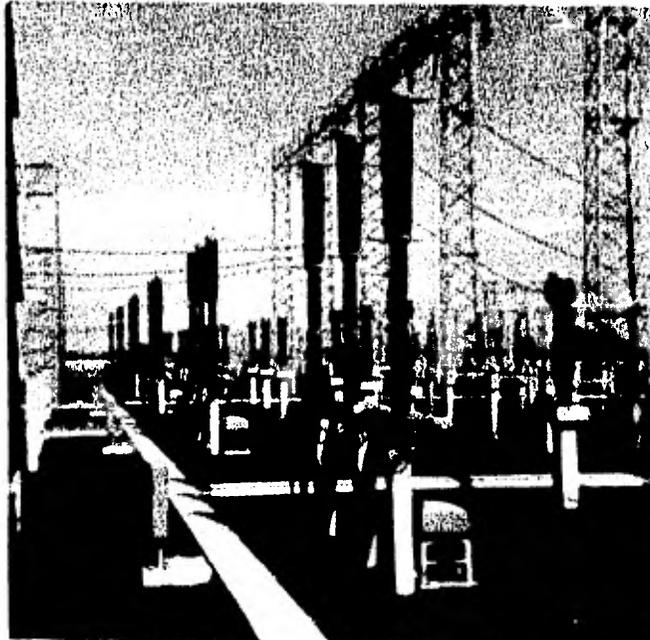
Las características del equipo de potencia con que cuenta la subestación de la Central son:

12 INTERRUPTORES DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE

Marca	AEG-TELEFUNKEN.
Tipo	SI-245.
Tensión nom.	245 Kv.
Tensión máx. sostenida (1 min)	460 Kv.
Tensión máx. de impulso	1200 Kv.
Frecuencia	60Hz.
Corriente nom.	2000 Amp.
Corriente interruptiva simétrica	31.5 KA.
Corriente interruptiva asimétrica	34.6 KA.
Tiempo de cierre	0.09 seg.
Tiempo de apertura	0.06 seg.
Columnas aislantes	3
Cámaras de extinción	3
Elemento extintor	Hexafluoruro de azufre
Motor del compresor: Marca	ASEA
Velocidad	1420-1700 r.p.m.
Potencia	2.4/2.8 Kw.
Fases	3
Frecuencia	60Hz.
Tensión nom.	220/440VCA.
Corriente nom.	10.5/5.5 Amp.

36 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Marca	BALTEAU.
Tipo	QDR-245.
Aislamiento	230 Kv.



INTERRUPTOR DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE(230KV)



TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Tensión máx. sostenida(1min)	460Kv.
Tensión máx. de impulso	1050Kv.
Relación de transformación	800/1600/5-5-5 Amp.
Frecuencia	60Hz.
Peso del aceite	92Kg.
Peso total	710Kg.
CC. térmico	37.5 KA.
CC. dinámico	77 KA.
Norma	ANSI
Precisión	S1-S2-0.3
	S3-S4-2.5 x 800
	S5-S6-2.5 x 800
Carga	B4(100VA)

36 CUCHILLAS TIPO PANTOGRAFO

Marca	SPRECHER & SCHUH.
Tipo	TPF-415.
Tensión nom.	245Kv.
Tensión máx. de impulso	1050Kv.
Corriente nom.	4000 Amp.
Capacidad interruptiva(2seg)	50 KA.
Motor de accionamiento del mecanismo:	Fases 3
	Frecuencia 60Hz.
	Tensión 250/440VCA.

36 CUCHILLAS TIPO HORIZONTAL DE CIERRE VERTICAL

Marca	PORTER COMPANY.
Tipo	MK-40-A.
Tensión nom.	230Kv.
Tensión máx. sostenida(1min)	242Kv.
Tensión máx. de impulso	1050Kv.
Corriente nom.	2000 Amp.
Capacidad interruptiva(2seg)	100 KA.
Motor de accionamiento del mecanismo:	Fases 3
	Velocidad 1140 r.p.m.
	Potencia 1.5Hp.
	Frecuencia 60Hz.
	Corriente 5.2/2.6Amp.
	Tensión nom. 220/440VCA.

5.3. INTERRUPTORES DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE.

Los interruptores de hexafluoruro de azufre empleados en la subestación de la Central se encargan de aislar ó conectar a los transformadores de enlace con los buses de 230Kv.; utilizan como elemento-extintor del arco eléctrico el gas hexafluoruro de azufre(SF₆) debido a sus múltiples cualidades, entre las que destacan:

- 1).-Es un gas con excelente rigidez dieléctrica.
- 2).-No es un gas tóxico.
- 3).-Es un gas inerte.
- 4).-Absorbe los electrones libres generados durante la ionización que provoca el arco, con lo cual se evita el reencendido del arco.
- 5).-Tiene una gran capacidad de enfriamiento del arco debido a que tiene un alto coeficiente de transmisión de calor.

Los interruptores se conectan y desconectan en forma neumática por lo que cada interruptor cuenta con un depósito de aire comprimido común a sus tres columnas aisladores ó fases.

La apertura y cierre de los interruptores se efectúa desde el cuarto de control de la subestación.

5.3.1. CARACTERISTICAS.

En la figura 5.3.1.a. se pueden apreciar las principales partes de que consta una de las tres columnas aisladoras ó fases que posee el tipo de interruptor de hexafluoruro de azufre de 230Kv. empleado en la subestación.

En la parte superior se puede apreciar el filtro de absorción (1) el cual procura un secado suficiente del recinto de gas, fijando para ello los productos gaseosos de descomposición que se originan por efecto del arco eléctrico.

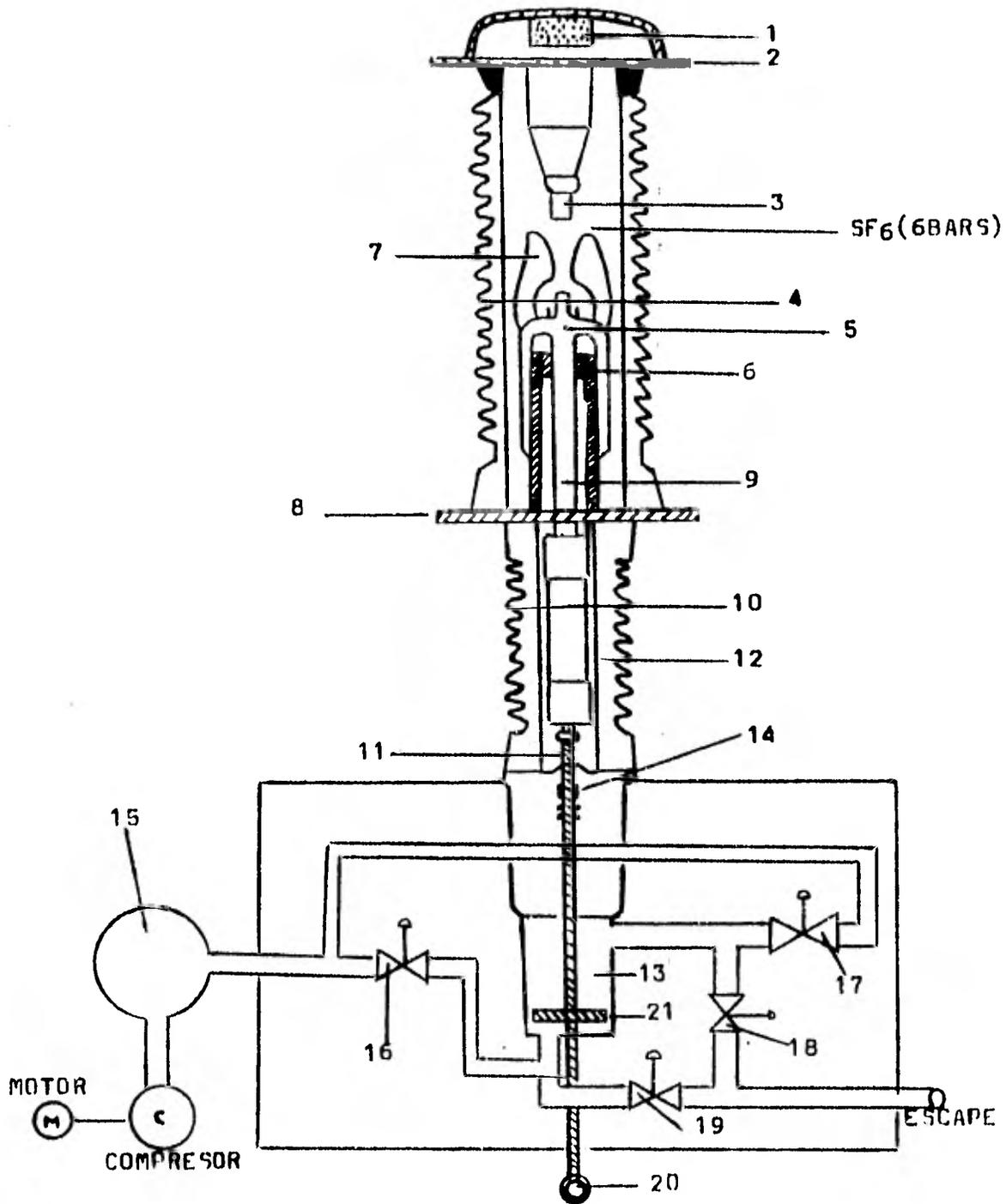


FIG. 5.3.1.a. CORTE DE UNA DE LAS FASES DEL INTERRUPTOR DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE DE 230 KV.

La terminal de entrada(2)va conectada(a través de una cuchilla) a uno de los transformadores de enlace.En la cámara de corte se puede observar al contacto fijo(3) y al contacto móvil(4)el cual se encuentra unido al cilindro(5).

El émbolo fijo(6)sirve para que el gas(SF6)contenido en el cilindro aumente de presión cuando el contacto fijo se mueva hacia abajo(al separarse del contacto móvil durante la operación de desconexión del interruptor),con el objeto de hacer que dicho gas tienda a escapar a presión a través de la tobera aislada(7)y permitir con esto que se extingue rápidamente el arco eléctrico formado entre los contactos.El émbolo fijo se encuentra unido a la terminal de salida(8)la cual va conectada(a través de una cuchilla)a una de las fases, ya sea del bus oeste(230Kv) ó del bus este(230Kv).

Tanto el contacto móvil como el cilindro van fijos sobre el vástago de accionamiento(9)el cual es impulsado hacia arriba ó hacia abajo mediante la varilla de accionamiento(11)a través de la varilla aislante(10)situada dentro del aislador de apoyo(12).El sello(14)se emplea para mantener aislado al gas(SF6)contenido en el aislador de apoyo del aire alojado en el cilindro de accionamiento(13).

La varilla de accionamiento está unida al émbolo móvil(21)dentro del cilindro de accionamiento.

El depósito de aire comprimido(15)alimenta a los mecanismos de accionamiento de las tres fases del interruptor.

Las válvulas neumáticas de alta presión(16,17,18 y 19)que posee cada fase del interruptor son operadas por medio de dos mecanismos electroneumáticos,cada uno de ellos controlado a través de un circuito de control desde el cuarto de control de la subestación.Cada mecanismo electroneumático se alimenta del depósito de aire comprimido a través de un reductor de presión,tal que el flujo de aire a baja presión es controlado por una válvula solenoide,cuya bobina al ser energizada desde el cuarto de control de la subestación,permitirá que circule ó no el flujo de aire hacia dos de las válvulas neumáticas -

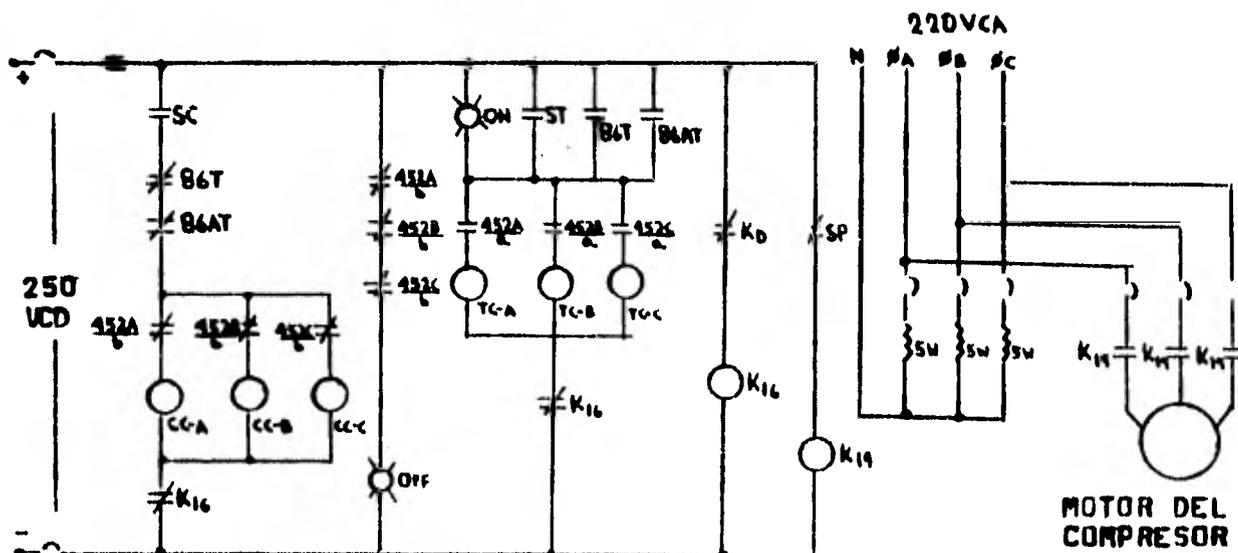
de alta presión, para controlar de ésta manera su apertura ó cierre.

Las válvulas 16 y 18 son operadas simultáneamente por uno de -- los mecanismos electroneumáticos denominado de conexión, el cual es -- energizado cuando se requiere mover ascendentemente el émbolo móvil.

Las válvulas 17 y 19 son operadas simultáneamente por uno de -- los mecanismos electroneumáticos denominado de desconexión, el cual -- es energizado cuando se requiere mover descendentemente al émbolo móvil.

Cada interruptor de la subestación posee un circuito eléctrico de control (Ver diag. 5.3.1.b) mediante el cual se puede accionar a los mecanismos electroneumáticos de conexión y desconexión de sus tres -- fases.

Existen dos contactos auxiliares por fase (20) los cuales son accionados por el movimiento de la varilla conectada al émbolo móvil, -- tal que uno de ellos denominado (452/a) estará cerrado cuando el otro-



DIAG. 5.3.1.b. CIRCUITO ELECTRICO DE CONTROL DEL INTERRUPTOR DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE (230 KV).

contacto llamado(452/b)se encuentre abierto y viceversa.

El análisis de la forma en que se efectúan las maniobras de conexión y desconexión de los interruptores de la subestación se hará en base a lo anteriormente descrito y al diagrama de control 3.5.1.b.

5.3.2. SECUENCIA DE CONEXION.

Para conectar a un interruptor de la subestación primeramente se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- a).-Los contactos(en el circuito de cierre del interruptor)de los relevadores de protección(86T y 86AT)de bloqueo sostenido deberán estar cerrados.
- b).-Los contactos auxiliares(452A/b,452B/b y 452C/b)deberán estar cerrados.
- c).-El gas(SF6)deberá tener una presión en cada columna mayor a 4.5 bara(contacto de presión(KD)cerrado).

Si se cumplan las anteriores condiciones se puede cerrar el interruptor desde el cuarto de control de la subestación, cerrando manualmente el contacto(SC).

Al cerrar el contacto(SC)se energizarán las tres bobinas(CC-A,- CC-B y CC-C)localizadas en los tres mecanismos electroneumáticos de conexión del interruptor, para permitir que abran las válvulas neumáticas 16 y 18 que posee cada fase. Esta acción hará que circule aire a alta presión desde el depósito de aire hasta los tres cilindros de accionamiento, para impulsar simultáneamente los émbolos móviles hacia arriba.

Las válvulas neumáticas 18 abren al mismo tiempo que las válvulas neumáticas 16 para permitir que el aire que se encuentra en la parte superior de los tres émbolos móviles sea desalojado en el momento en que éstos son impulsados hacia arriba.

Cuando los émbolos móviles ya han ascendido totalmente, los contactos auxiliares(452A/b,452B/b y 452C/b)abrirán con el fin de que -

las bobinas de los mecanismos electro neumáticos de conexión queden desenergizados para que el suministro de aire sea interrumpido. Al mismo tiempo los contactos auxiliares (452A/a, 452B/a y 452C/a) quedarán cerrados para permitir que el circuito de control de la apertura del interruptor quede predispuesto a ser accionado.

Al subir el émbolo móvil de cada fase, los contactos móviles se unirán a los contactos fijos, para de ésta manera quedar conectadas simultáneamente las tres fases del interruptor, las que se mantendrán en esa posición mientras la presión del aire en la parte inferior de sus émbolos móviles no disminuya.

El contacto de presión (SP) abrirá para permitir que los contactos (K-19) cierren, con el objeto de que el compresor a través de su motor vuelva a restablecer la presión dentro del depósito de aire.

En el cuarto de control de la subestación se encenderá la señalización visual (ON) para indicar que el interruptor ha cerrado adecuadamente.

5.3.3. SECUENCIA DE DESCONEXION.

Para desconectar a un interruptor de la subestación se deben de cumplir primeramente las siguientes condiciones:

- a). - Los contactos auxiliares (452A/a, 452B/a y 452C/a) deberán estar cerrados.
- b). - La presión del gas (SF₆) dentro de cada columna deberá ser mayor a 4.5 bars (contacto de presión (KD) cerrado).

Si se cumplen las anteriores condiciones se puede abrir el interruptor, cerrando manualmente al contacto (ST) desde el cuarto de control de la subestación. Cuando opera alguno de los relevadores de protección (86AT y 86T) la apertura del interruptor será en forma automática.

Al cerrarse los contactos de apertura por cualquiera de las anteriores situaciones, entonces se energizarán las tres bobinas (TC-A, -

TC-B y TC-C) localizadas en los tres mecanismos electroneumáticos de desconexión del interruptor para permitir que abran las válvulas neumáticas 17 y 19 que posee cada fase. Esto hará que circule aire a alta presión desde el depósito de aire hasta los tres cilindros de accionamiento, para impulsar simultáneamente los émbolos móviles hacia abajo.

Las válvulas neumáticas 19 abren al mismo tiempo que las válvulas neumáticas 17 para permitir que el aire que se encuentra en la parte inferior de los tres émbolos móviles sea desalojado en el momento en que éstos son impulsados hacia abajo.

Cuando los émbolos móviles han descendido totalmente, los contactos auxiliares (452A/a, 452B/a y 452C/a) abrirán con el fin de que las bobinas de los mecanismos electroneumáticos de desconexión queden desenergizados para que el suministro de aire sea interrumpido. Al mismo tiempo los contactos auxiliares (452A/b, 452B/b y 452C/b) quedarán cerrados para permitir que el circuito de cierre del interruptor quede predispuesto a ser accionado.

Al bajar el émbolo móvil de cada fase, los contactos móviles se separarán de los contactos fijos, para de ésta manera quedar desconectadas simultáneamente las tres fases del interruptor.

El motor del compresor arrancará cuando abra el contacto de presión (SP) al detectar baja presión en el depósito de aire (contactos K-19 cerrados) con lo cual el compresor aumentará la presión del aire en el depósito para que el interruptor quede listo para la operación de conexión.

Los calentadores de 5 watta se emplean para evitar que los circuitos de control del interruptor se humedescan y deterioren.

5.4. CUCHILLAS.

Las cuchillas que posee la subestación son de dos tipos: pantógrafo y horizontales de cierre vertical. Se emplean para aislar a los interruptores de hexafluoruro de azufre y para desconectar ó conectar a los transformadores de enlace con los buses de 230Kv. (a través de los interruptores de hexafluoruro de azufre).

La capacidad interruptiva de éstas cuchillas es reducida, por lo que son conectadas y desconectadas sin carga para evitar que se destruyan.

5.4.1. CARACTERISTICAS DE LAS CUCHILLAS TIPO PANTOGRAFO.

En la figura 5.4.1.a. se pueden apreciar las partes principales de que consta una de las cuchillas tipo pantógrafo de la subestación.

En la caja de control (1) se encuentra un motor (3 ϕ , 480VCA, 60Hz) - con sus respectivos circuitos de control, el cual al ser accionado ya sea para conectar ó desconectar a la cuchilla, girará en una determinada dirección.

La caja de control posee acoplados al mecanismo de giro dos contactos auxiliares, los cuales cerrarán ó abrirán según la posición de la cuchilla. También contiene un sistema de calefacción de 50 watts - (para evitar que la humedad perjudique a los circuitos de control y al mecanismo) y elementos térmicos (OL) para proteger contra sobrecarga al motor y al sistema de calefacción.

El giro del motor es transmitido por medio de un mecanismo hacia el aislador giratorio (2), cuyo movimiento será modificado por el mecanismo actuador (3), con el fin de que las varillas conductoras se eleven (4) ó bajen (5). Esto hará que el contacto fijo (6) (colocado en una de las fases ya sea del bus oeste (230Kv) ó del bus este (230Kv)) se una ó desacople de las varillas conductoras.

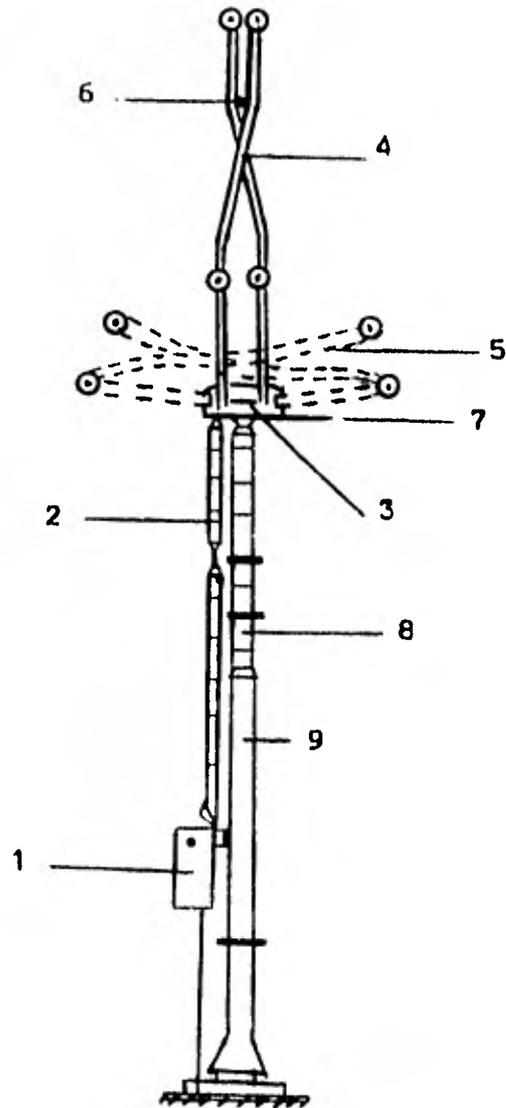


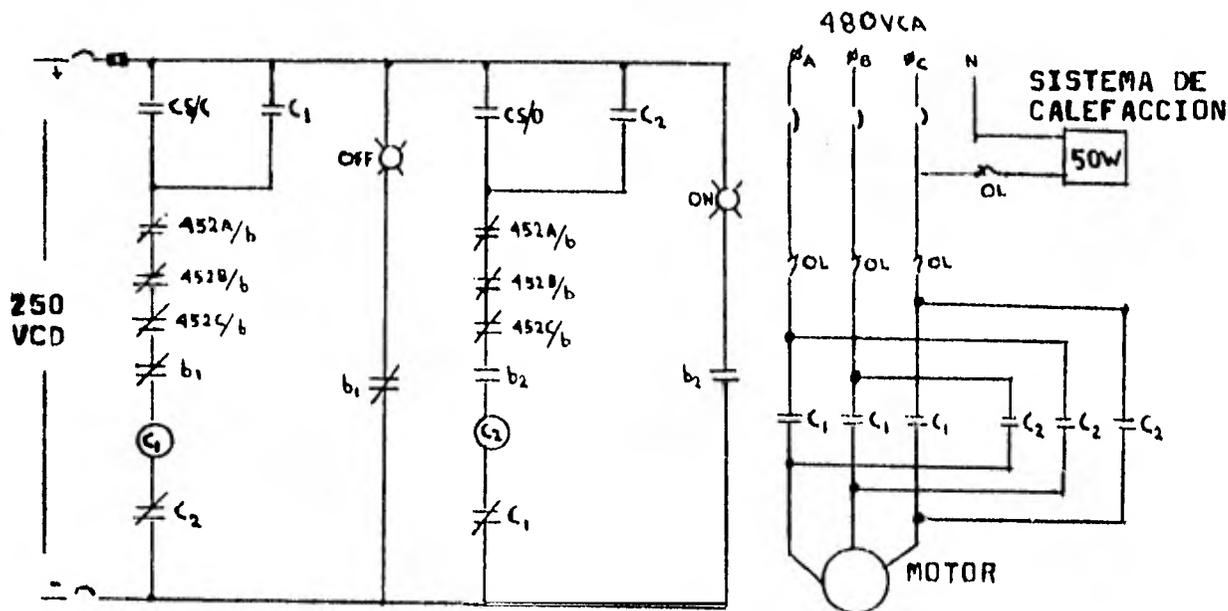
FIG. 5.4.1.a. CUCHILLA TIPO PANTOGRAFO (230 KV.)

En la parte media de la cuchilla se localiza la terminal de entrada(7), la cual va conectada a uno de los transformadores de enlace (a través de un interruptor de hexafluoruro de azufre y de una cuchilla tipo horizontal de cierre vertical). El aislador fijo(8) une y aisla a la cuchilla de la base de soporte(9).

Cada cuchilla tipo pantógrafo de la subestación posee un circuito eléctrico de control (Ver diag. 5.4.1.b) mediante el cual se puede accionar a su motor, ya sea en la dirección de cierre ó en la de apertura.

5.4.1.1. SECUENCIA DE CIERRE.

Para efectuar la maniobra de cierre de una cuchilla tipo pantó-



DIAG. 5.4.1.b. CIRCUITO ELECTRICO DE CONTROL DE UNA CUCHILLA TIPO PANTOGRAFO (230 KV).

grafo se deben de cumplir las siguientes condiciones(Ver diagrama -- 5.4.1.b):

- a).-Deberá estar desconectado el interruptor de hexafluoruro de azufre que se encuentre conectado a la cuchilla(452A/b, -- 452B/b y 452C/b cerrados).
- b).-El contacto auxiliar(b1)colocado en el mecanismo de operación deberá estar cerrado.
- c).-La bobina(C2)deberá estar desenergizada.

Si se cumplen las anteriores condiciones se puede cerrar la cuchilla,cerrando manualmente el contacto(CS/C)colocado en el cuarto de control de la subestación.

Al cerrar el contacto(CS/C)se energizará la bobina(C1),lo cual hará que sus contactos(C1)cierren para que el motor gire en la dirección de cierre.Uno de los contactos(C1)al cerrar mantendrá la energía sobre la bobina,mientras que otro al abrir bloqueará al circuito de apertura.

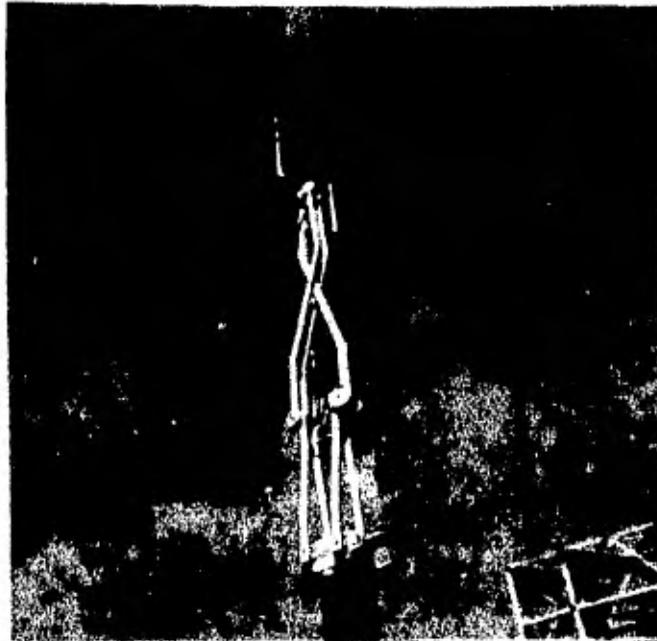
Cuando la cuchilla ha sido completamente cerrada,el contacto -- auxiliar(b1)abrirá para desenergizar a la bobina de cierre(C1)y permitir con ello que el motor deje de funcionar.Al mismo tiempo cerrará el contacto auxiliar(b2)para dejar al circuito de apertura en condiciones de ser accionado.

Una señalización visual(ON)indicará en el cuarto de control de la subestación que la cuchilla ha cerrado.

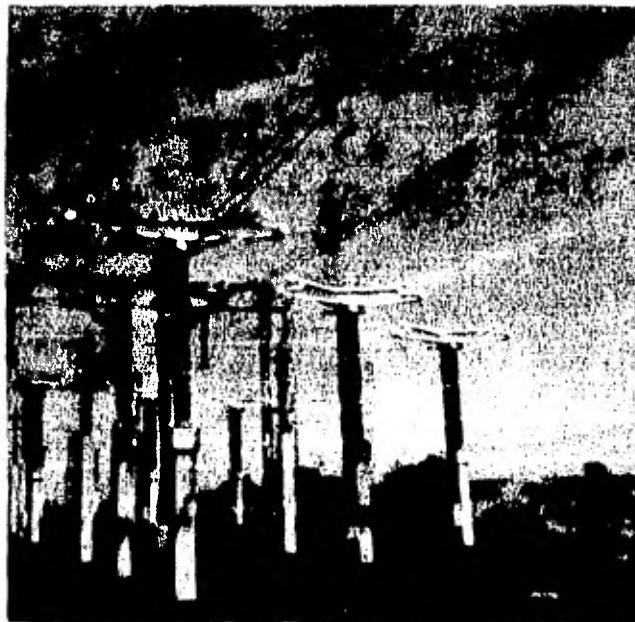
5.4.1.2. SECUENCIA DE APERTURA.

Para efectuar la maniobra de apertura de una cuchilla tipo pantógrafo se deben de cumplir las siguientes condiciones(Ver diagrama- 5.4.1.b):

- a).-Deberá estar desconectado el interruptor de hexafluoruro de azufre que se encuentre conectado a la cuchilla(452A/b, -- 452B/b y 452C/b cerrados).
- b).-La bobina(C1)deberá estar desenergizada.



CUCHILLA TIPO PANTOGRAFO(230KV)EN LA POSICION DE CONEXION



CUCHILLAS TIPO PANTOGRAFO(230KV)EN LA POSICION DE DESCONECION

c).-El contacto auxiliar(b2)colocado en el mecanismo de operación deberá estar cerrado.

Si se cumplen las anteriores condiciones se puede abrir la cuchilla, cerrando manualmente el contacto(CS/O)colocado en el cuarto de control de la subestación.

Al cerrar el contacto(CS/O)se energizará la bobina(C2), lo cual hará que sus contactos(C2)cierran para que el motor gire en la dirección de apertura.Uno de los contactos(C2)al cerrar mantendrá la energización sobre la bobina,mientras que otro al abrir bloqueará al circuito de cierre.

Cuando la cuchilla ha sido completamente abierta,el contacto auxiliar(b2)abrirá para desenergizar a la bobina de apertura(C2)y permitir con ello que el motor deje de funcionar.Al mismo tiempo cerrará el contacto auxiliar(b1)para dejar al circuito de cierre en condiciones de ser accionado.

Una señalización visual(OFF)en el cuarto de control de la subestación indicará que la cuchilla ha abierto.

5.4.2. CARACTERISTICAS DE LAS CUCHILLAS TIPO HORIZONTAL DE CIERRE VERTICAL.

En la figura 5.4.2.a. se pueden observar los principales elementos de que consta una de las cuchillas tipo horizontal de cierre vertical de la subestación.

La caja de control(1)posee principalmente los siguientes elementos:un motor(480VCA,3 ϕ ,60Hz),un circuito de control para apertura y cierre de la cuchilla,un sistema de calefacción de 50 watts(para evitar que la humedad dañe a los circuitos),contactos auxiliares y fusibles para protección del motor y del sistema de calefacción.

Cuando el motor es accionado transmitirá su movimiento a la varilla de acoplamiento(2),la cual hará que la barra de accionamiento(3)

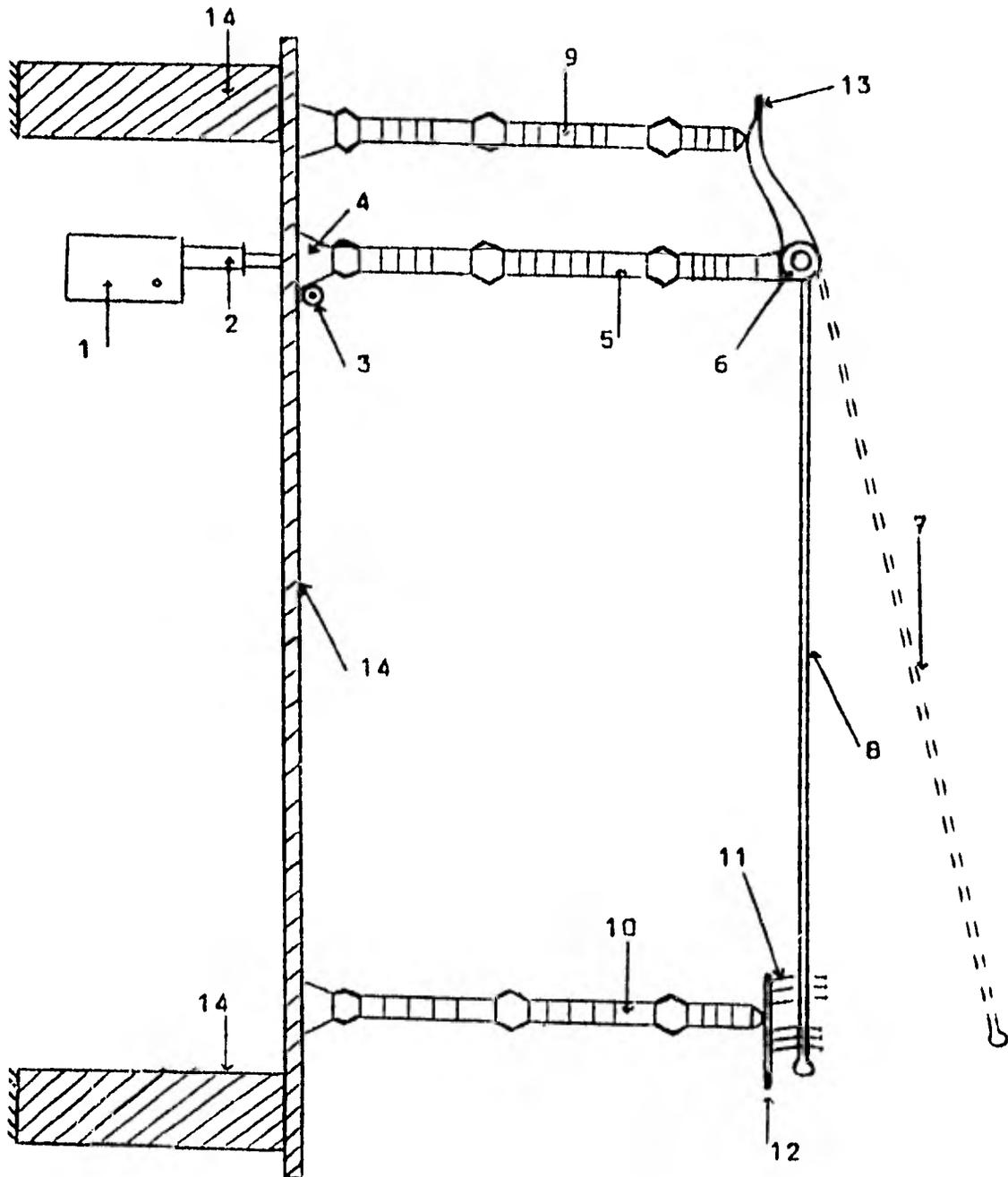


FIG. 5.4.2.e. CUCHILLA TIPO HORIZONTAL DE CIERRE VERTICAL (230 KV.)

se mueva (con respecto al observador) hacia adentro ó hacia afuera.

El movimiento de la barra provocará que el mecanismo de giro (4) haga que la columna aislada rotatoria (5) gire para permitir con ello que el mecanismo actuador (6) convierta el movimiento giratorio en un movimiento ascendente ó descendente. Dicho movimiento es transmitido a la varilla conductora ya sea para abrir (7) ó para cerrar (8).

La columna aislante fija (9) sirve como punto de apoyo para que el mecanismo actuador pueda ejercer la fuerza necesaria para mover la varilla conductora tanto ascendente como descendente. La columna aislante fija (10) sostiene en su parte superior al contacto fijo (11).

La terminal de entrada (12) va conectada a uno de los transformadores de enlace y la terminal de salida (13) va conectada a una de las fases ya sea del bus oeste (230Kv) ó del bus este (230Kv) (a través de un interruptor de hexafluoruro de azufre y de una cuchilla tipo pantógrafo).

Los soportes (14) sostienen la estructura de la cuchilla.

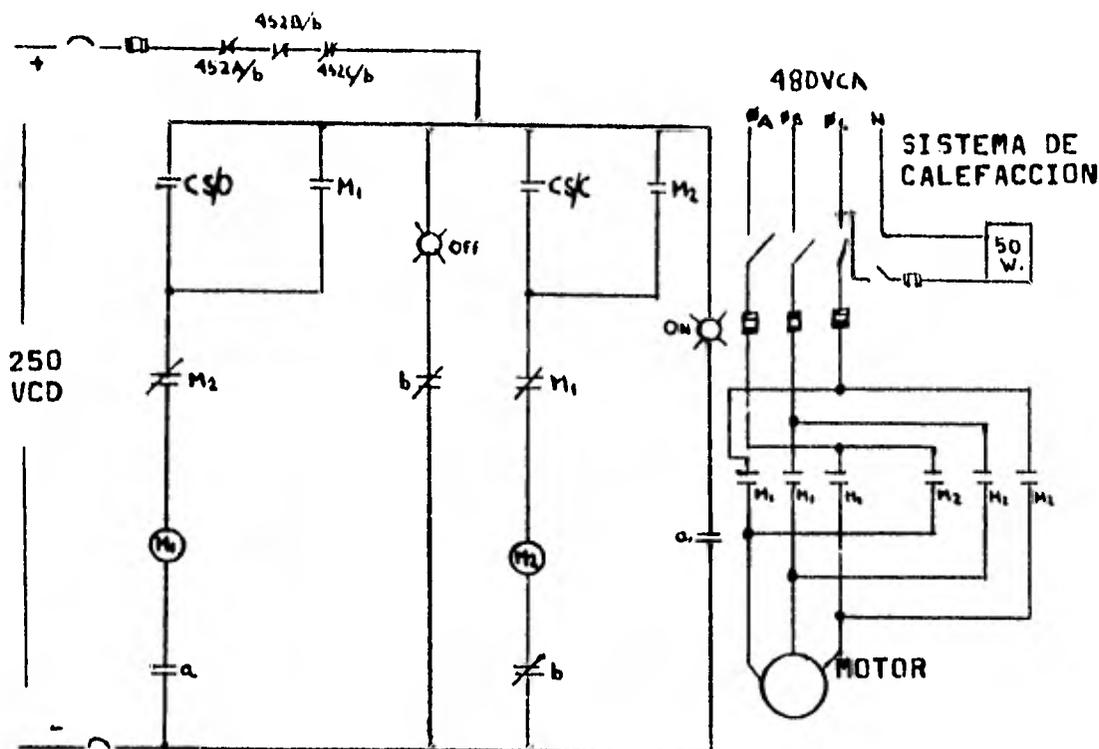
Cada grupo de tres cuchillas tipo horizontal de cierre vertical (una por fase) de la subestación, es accionado por el movimiento de una barra de accionamiento (3), tal que se requiere de un sólo motor para abrir ó cerrar a un grupo de éste tipo de cuchillas.

En el diagrama 5.4.2.b. se puede apreciar el circuito eléctrico de control de un grupo de cuchillas tipo horizontal de cierre vertical.

5.4.2.1. SECUENCIA DE CIERRE.

Para efectuar la maniobra de cierre de un grupo de cuchillas tipo horizontal de cierre vertical se deben de cumplir las siguientes condiciones (Ver diag. 5.4.2.b):

- a).-- Deberá estar desconectado el interruptor de hexafluoruro de azufre que se encuentre conectado al grupo de cuchillas -- (452A/b, 452B/b y 452C/b cerrados).



DIAG. 5.4.2.b. CIRCUITO ELECTRICO DE CONTROL DE UN GRUPO DE CUCHILLAS TIPO HORIZONTAL DE CIERRE VERTICAL (230KV)

- b).-El contacto auxiliar(b)colocado en el mecanismo de operación deberá estar cerrado.
- c).-La bobina(M1)deberá estar desenergizada.

Si se cumplen las anteriores condiciones se puede cerrar al grupo de cuchillas, cerrando manualmente el contacto(CS/C)colocado en el cuarto de control de la subestación.

Al cerrar el contacto(CS/C)se energizará la bobina(M2), lo cual hará que sus contactos(M2)cierren para que el motor gire en la dirección de cierre.Uno de los contactos(M2)al cerrar mantendrá la energización sobre la bobina,mientras que otro al abrir bloqueará al cir--

cuito de apertura.

Cuando el grupo de cuchillas ha sido completamente cerrado, el -- contacto auxiliar(b) abrirá para desenergizar a la bobina de cierre -- (M2) y permitir con ello que el motor deje de funcionar. Al mismo tiempo cerrará el contacto auxiliar(a) para dejar al circuito de apertura en condiciones de ser accionado.

Una señalización visual(ON) indicará en el cuarto de control de la subestación que el grupo de cuchillas ha cerrado.

5.4.2.2. SECUENCIA DE APERTURA.

Para efectuar la maniobra de apertura de un grupo de cuchillas - tipo horizontal de cierre vertical se deben de cumplir las siguientes condiciones(Ver diag.5.4.2.b):

- a).-Deberá estar desconectado el interruptor de hexafluoruro de azufre que se encuentre conectado al grupo de cuchillas -- (452A/b, 452B/b y 452C/b cerrados).
- b).-El contacto auxiliar(a) colocado en el mecanismo de operación deberá estar cerrado.
- c).-La bobina(M2) deberá estar desenergizada.

Si se cumplen las anteriores condiciones se puede abrir al grupo de cuchillas, cerrando manualmente el contacto(CS/O) colocado en el -- cuarto de control de la subestación.

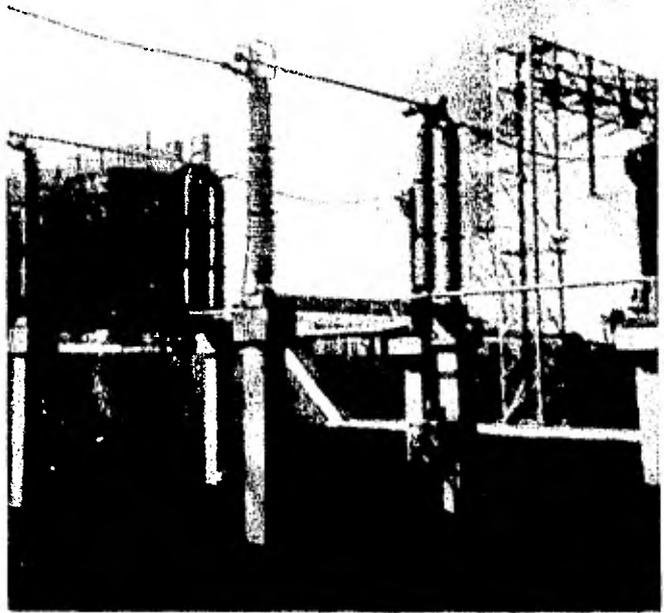
Al cerrar el contacto(CS/O) se energizará la bobina(M1), lo cual - hará que sus contactos(M1) cierren para que el motor gire en la dirección de apertura. Uno de los contactos(M1) al cerrar mantendrá la energización sobre la bobina, mientras que otro al abrir bloqueará al circuito de cierre.

Cuando el grupo de cuchillas ha sido completamente abierto, el -- contacto auxiliar(a) abrirá para desenergizar a la bobina de apertura - (M1) y permitir con ello que el motor deje de funcionar. Al mismo tiempo cerrará el contacto auxiliar(b) para dejar al circuito de cierre en

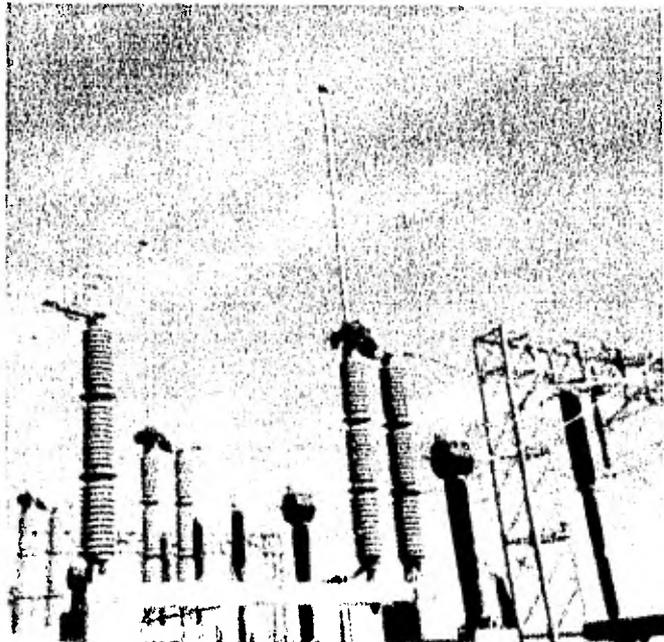
condiciones de ser accionado.

Una señalización visual(OFF) indicará en el cuarto de control de la subestación que el grupo de cuchillas ha abierto.

CUCHILLA TIPO HORIZONTAL DE
CIERRE VERTICAL(230 KV) EN
LA POSICION DE CONEXION.



CUCHILLA TIPO HORIZONTAL DE
CIERRE VERTICAL(230 KV) EN
LA POSICION DE DESCONEXION



C A P I T U L O V I

SISTEMA DE PROTECCION

6.1. INTRODUCCION.

El equipo de la Central al igual que el de cualquier planta termoeléctrica debido a su alto costo cuenta con un coordinado y eficiente sistema de protección contra cualquier fenómeno eléctrico que pueda afectar su correcto funcionamiento ó causarle algún daño.

Las descargas atmosféricas producen impulsos de voltaje de elevada magnitud y corta duración (microsegundos) en el equipo eléctrico expuesto a éste tipo de fenómeno, por lo que es necesario proveer a dicho equipo de un equipo de protección adecuado. En éste capítulo se describirán las características generales y coordinación de las protecciones que posee el equipo de la Central contra descargas atmosféricas.

Para complementar el estudio del sistema de protección de la Central, se efectuará el análisis de las protecciones que posee su equipo principal contra cortocircuitos y condiciones anormales de funcionamiento, para lo cual se empleará como ejemplo el sistema de protección de la unidad turbogas No.1.

6.2. EQUIPO DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

La Central cuenta dentro de su sistema de protección contra descargas atmosféricas principalmente con el siguiente equipo por unidad :

3 APARTARRAYOS PARA EL SISTEMA DE 13.8 KV.

Marca	Westinghouse.
Tipo	5556A60A15.
Tensión nom.(rms.)	15 Kv.
Frecuencia	60 Hz.

3 APARTARRAYOS PARA EL SISTEMA DE 230 KV.

Marca	Westinghouse
Tipo	CPL.
Tensión nom.(rms.)	192 Kv.
Frecuencia	60 Hz.

1 BUS DE FASE AISLADA

Marca	Westinghouse
Tensión nom.	15 Kv.
Corriente nom.	5700 Amp.
Fases	3
BIL	110 Kv.
Tipo	ZWME-12017.

Dentro del equipo de protección también se cuenta con hilos de guarda para protección de un tramo de las líneas de conducción de -- 230 Kv. y una red de tierras para proveer a los apartarrayos, hilos de guarda, estructuras y neutros del equipo eléctrico de un medio e - fectivo de conexión a tierra.

Los apartarrayos se comportan como circuitos abiertos para el - voltaje nominal de línea a tierra del sistema al que están conecta - dos y como circuitos cerrados para voltajes iguales ó mayores a su - voltaje nominal de operación(ó voltaje de cebado).

Los apartarrayos de 15Kv. se encuentran dentro de los buses de fase aislada y están conectados entre tierra y cada terminal de salida del devanado de los generadores. Los apartarrayos de 192Kv. se encuentran conectados entre tierra y cada terminal de salida del devanado de alta tensión de los transformadores de enlace.

Ambos tipos de apartarrayos constituyen el principal medio de - protección contra descargas atmosféricas con que cuenta el equipo -- eléctrico al que están conectados, ya que reducen la magnitud del im - pulso de voltaje a un valor por debajo del nivel de aislamiento al - impulso(BIL)de dicho equipo.

Los buses de fase aislada conectan directamente a las termina - les de salida del devanado de los generadores con las terminales de entrada de los interruptores de máquina. Están constituidos por con - ductores de aluminio con una cubierta de un material aislante a base de resinas epóxicas especiales y una envoltura metálica conectada a - tierra.

6.3. COORDINACION DEL EQUIPO DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

La adecuada coordinación del sistema de protección contra descargas atmosféricas permite proveer el equipo de la Central expuesto a éste tipo de fenómeno de un efectivo blindaje, el cual evitará que sea dañado el equipo y con ello que se vea afectada la continuidad del servicio.

Para la mejor comprensión de la coordinación del equipo empleado para protección contra descargas atmosféricas se dividirá su estudio en dos zonas: zona de bajo aislamiento y zona de alto aislamiento.

La zona de bajo aislamiento comprende un nivel de aislamiento - el impulso de 110Kv. para los interruptores de máquina, buses de fase aislada y devanado de alta tensión de los transformadores de auxiliares y un nivel de aislamiento al impulso de 150Kv. para el devanado de baja tensión de los transformadores de enlace.

El equipo comprendido dentro de la zona de bajo aislamiento está conectado entre sí a través de los buses de 13.8Kv. y de las terminales de los interruptores de máquina, por lo que cualquier descarga atmosférica sobre éstas líneas (sin ninguna protección para interceptar una descarga y drenarla directamente a tierra) repercutirá sobre el equipo al que conectan.

En caso de que ocurriera una descarga atmosférica ya sea sobre los buses de 13.8Kv. ó sobre las terminales de los interruptores de máquina, el valor máximo ó de cresta de la onda de sobretensión transitoria sería disminuido por los apartarrayos de 15Kv. (en los buses de fase aislada) a un valor por debajo del nivel de aislamiento al impulso del equipo conectado a éstas líneas.

Los buses de fase aislada proporcionan protección contra descargas atmosféricas directas sobre las terminales de salida de el devanado de los generadores, ya que cualquier descarga sobre éstas termi-

nales será interceptada por la envoltura metálica de los buses y descargada a tierra.

Tanto las estructuras de soporte de los buses de 13.8Kv. como las estructuras exteriores de los generadores, transformadores de auxiliares, interruptores de máquina, transformadores de enlace, buses de fase aislada, transformadores de servicios propios y buses de 4.16Kv. se encuentran firmemente aterrizadas para drenar inmediatamente a tierra cualquier descarga atmosférica directa sobre dicho equipo.

La zona de alto aislamiento comprende tres niveles de aislamiento al impulso: 750Kv., 1050Kv (en la subestación) y 1200Kv (en la subestación). El devanado del lado de alta tensión de los transformadores de enlace tiene un nivel de aislamiento al impulso de 750Kv.; los transformadores de corriente, cuchillas tipo pantógrafo y cuchillas tipo horizontal de cierre vertical poseen un nivel de aislamiento al impulso de 1050Kv. y los interruptores de hexafluoruro de azufre un nivel de aislamiento al impulso de 1200Kv.

Si ocurriera una descarga atmosférica ya sea sobre los buses de 230Kv. ó en las líneas de conducción de 230Kv (que conectan a través del equipo de la subestación a las terminales del devanado de alta tensión de los transformadores de enlace con los buses de 230Kv) el valor máximo de la onda de sobretensión transitoria se vería disminuido por la acción de los pararrayos de 192Kv. a un valor por debajo del nivel de aislamiento al impulso del equipo conectado a estas líneas.

Tanto las estructuras de soporte de las líneas de conducción y buses de 230Kv. como las estructuras exteriores de las cuchillas, transformadores de corriente e interruptores de hexafluoruro de azufre se encuentran firmemente aterrizadas para drenar a tierra cualquier descarga atmosférica directa sobre dicho equipo.

Se encuentran colocados hilos de guarda sobre las líneas de conducción de 230Kv (en el tramo comprendido entre los transformadores de enlace y las cuchillas horizontales de cierre vertical) para inter

ceptar las descargas atmosféricas. Estos hilos de guarda van conectados a tierra a través de las estructuras de soporte de las líneas de conducción.

6.4. SISTEMA DE PROTECCION POR RELEVADORES.

El objeto de colocar un sistema de protección por relevadores - en el circuito de cualquier instalación eléctrica es la de poner fuera de servicio la parte del equipo de operación en donde se ha producido alguna condición anormal de funcionamiento, con el fin de limitar los daños que ésta condición anormal pueda causar sobre dicho equipo, además de evitar las repercusiones que su sostenimiento tendría sobre el funcionamiento general de la instalación.

Dentro del sistema de protección por relevadores se considera - como protección primaria a aquella que está ajustada para actuar inmediatamente después que se ha producido la condición anormal de funcionamiento y como protección secundaria ó de respaldo a aquella que está ajustada para actuar con un determinado tiempo de retardo en caso de que no haya operado la protección primaria.

La mayoría de los relevadores empleados en las centrales eléctricas utilizan los principios de atracción electromagnética e inducción electromagnética para accionar a los mecanismos de apertura y cierre de sus contactos, los cuales van conectados generalmente a circuitos de control de interruptores, circuitos de alarma ó a circuitos de accionamiento de relevadores auxiliares.

Los relevadores diferenciales constituyen la protección principal ó primaria contra corrientes de falla con que cuenta el equipo principal de la mayoría de las centrales eléctricas, ya que poseen -- una elevada velocidad de operación y gran sensibilidad.

Los relevadores de sobrecorriente con retardo de tiempo son comúnmente empleados como protección de respaldo contra corrientes de falla en caso de que no actúe la protección diferencial.

Las protecciones complementarias ó de apoyo con que cuentan las centrales eléctricas son aquellas que actúan para proteger a su equipo principal contra condiciones anormales de funcionamiento no provocadas por corrientes de falla pero que pueden causarle también serios daños ó mal funcionamiento, como por ejemplo: suministro de potencia del Sistema de Carga a los generadores, baja frecuencia en el Sistema de Carga, bajo nivel de excitación de los generadores, elevada presión y temperatura del aceite de los transformadores de gran capacidad por falla de su sistema de enfriamiento, etc.

6.5. SISTEMA DE PROTECCION DE LOS GENERADORES.

Debido al alto costo de los generadores de la Central y de su importancia se ha proporcionado a éstos un amplio y sensible sistema de protección.

En el diagrama 6.5 se puede apreciar la disposición de las protecciones con que cuenta el generador de la unidad turbogas No.1, donde las flechas de línea punteada indican los elementos sobre los que actúan los relevadores auxiliares de bloqueo sostenido(86) y en el caso de la computadora señalan el tipo de accionamiento que ésta ejecuta. Las flechas de línea continua indican los relevadores auxiliares de bloqueo sostenido sobre los que actúan los relevadores de protección y en el caso del relevador de voltaje balanceado(60) señalan los relevadores de protección a los que bloquea.

La nomenclatura de las protecciones y del equipo involucrado en el diagrama del sistema de protección de éste generador es la siguiente:

- GEN - Generador principal.
- GIP - Generador de imán permanente.
- GCD - Generador de corriente directa.
- CMG - Rotor del generador principal.
- 52G - Interruptor de máquina.

- TD - Transformador de distribución(15KVA,12000/240V).
- F - Fusible
- TP - Transformador de potencial.
- TC - Transformador de corriente.
- 41 - Interruptor de campo.
- 90 - Regulador de voltaje.
- C - Computadora.
- A - Alarma.
- DT - Disparo de turbina.
- 87G- Protección diferencial(1 relevador).
- 64G- Protección contra fallas a tierra en el estator(1 relevador).
- 40G- Protección contra baja excitación(1 relevador).
- 51V- Protección de respaldo de fase(3 relevadores).
- 46G- Protección contra sobrecorriente de secuencia negativa(1 relevador).
- 60G- Protección de voltaje balanceado(1 relevador).
- 32G- Protección contra potencia inversa(1 relevador).
- 81G- Protección contra baja frecuencia(1 relevador).
- 86G,86-1 y 86-2 - Relevadores auxiliares de bloqueo sostenido - con reposición manual.

A continuación se elaborará el estudio de las características - y coordinación de las protecciones con que cuenta éste generador.

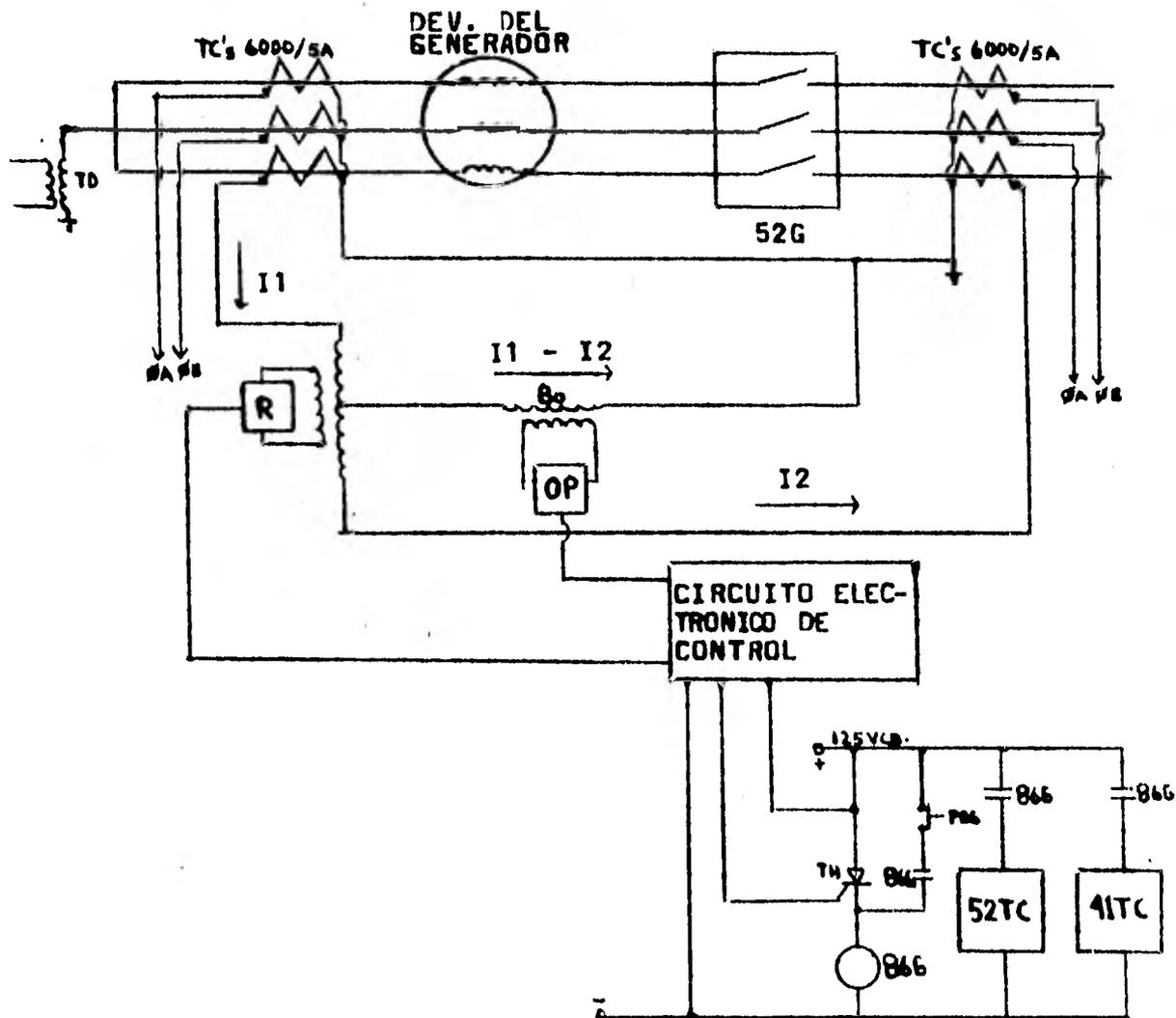
6.5.1. PROTECCION DIFERENCIAL(87G).

La protección diferencial del generador actúa para proteger al devanado de su estator contra fallas entre fases. En el diagrama -- 6.5.1. se puede observar la conexión de una de las fases del relevador trifásico empleado, el cual tiene las siguientes características:

Marca- Westinghouse.
Tipo - SA-1.
Modelo-290B225A10.

Fases- 3
Frecuencia- 60Hz.
Tensión- 125VCD.

Cada fase del relevador está constituida fundamentalmente por - cuatro elementos: un circuito de operación, un circuito de retención,



DIAG. 6.5.1. PROTECCION DIFERENCIAL DEL GENERADOR.

un thyristor (común a las 3 fases) y un circuito electrónico de control (común a las 3 fases).

El circuito de operación se encarga de transformar la corriente que circula por la bobina de operación (B_0) producto de la diferencia entre las corrientes I_1 e I_2 , a una señal de voltaje (C.D.) a través de un transformador y de un circuito rectificador (OP).

El circuito de retención transforma la corriente suministrada por los transformadores de corriente a una señal de voltaje (C.D.) a través de un transformador y de un circuito rectificador (R).

En todos los relevadores diferenciales siempre circula una determinada cantidad de corriente por sus bobinas de operación aunque no exista ninguna condición de falla, debido a la diferencia en precisión de los transformadores de corriente, así como también a la diferencia en la saturación de los mismos al circular por ellos una corriente de gran magnitud producto de una falla externa.

Esta situación representa un problema para el correcto funcionamiento de los relevadores diferenciales, ya que éstos tienden a operar inmediatamente que son energizadas sus bobinas de operación. Por ello se han tenido que implementar en éstos relevadores diversos dispositivos cuyo funcionamiento es tal que se oponen a su accionamiento sólo cuando no existe ninguna condición de falla.

En este tipo de relevador diferencial de accionamiento electrónico, el circuito de retención y el circuito electrónico de control cumplen la función de evitar que el relevador sea accionado indebidamente. El circuito de retención suministrará un voltaje (C.D.) proporcional a la variación de las corrientes I_1 e I_2 al circuito electrónico de control, tal que éste voltaje será siempre mayor ó igual al voltaje (C.D.) suministrado por el circuito de operación mientras no circule una corriente por la bobina de operación (B_0) representativa de una condición de falla.

El circuito electrónico de control comparará ambos voltajes continuamente, manteniendo siempre un voltaje nulo en su salida mientras

el voltaje suministrado por el circuito de retención sea mayor ó igual al voltaje proporcionado por el circuito de operación. Sin embargo cuando se produce una condición de falla en la zona comprendida entre los transformadores de corriente, el voltaje de operación será mayor al voltaje de retención tal que el circuito electrónico de control producirá un pulso de voltaje en su salida con la magnitud necesaria para encender al thyristor (TH).

Al ser encendido el thyristor la bobina del relevador auxiliar de bloqueo sostenido (86G) quedará energizada, produciendo con ello que sus contactos cierran. Dos de los contactos al cerrar energizarán a los circuitos de disparo 52TC y 41TC correspondientes al interruptor de máquina y el interruptor de campo respectivamente y otro contacto permitirá que se produzca una señal de voltaje hacia la computadora para hacer que ésta suministre una señal de alarma y dispare la turbina.

El relevador auxiliar mantendrá sus contactos en ese estado hasta que se restablezca manualmente (por medio del contacto de restablecimiento PBS) una vez corregida la causa de la falla, para asegurar de esta manera que no sea puesto nuevamente en servicio el generador -- mientras exista aún la condición de falla.

El relevador diferencial está ajustado para accionar bajo condiciones de falla con una corriente en cualquiera de sus tres bobinas de operación igual ó mayor a 0.14 Amp.

El tiempo de operación del relevador es de 0.09seg. a 0.02seg. -- dependiendo de la magnitud de la falla.

6.5.2. PROTECCION DE RESPALDO DE FASE (51V).

Esta protección detecta principalmente fallas entre fases en el embobinado del estator del generador, por lo que constituye la protección secundaria ó de respaldo con que cuenta el generador para este tipo de corriente de falla.

El relevador que emplea ésta protección es del tipo de sobrecorriente con control de bajo voltaje, en donde el relevador de sobrecorriente es accionado sólo si el voltaje en terminales del generador disminuye considerablemente por una condición de falla, con ello se evita la operación del relevador en caso de una sobrecarga. Las características de éste relevador monofásico son las siguientes:

Marca	Westinghouse.
Tipo	COV-8.
Modelo	1876517.
Frecuencia	60 Hz.
Rango	0.2-2 Amp.
Fases	1

En el diagrama 6.5.2 se puede apreciar la conexión de los tres relevadores empleados para la protección del devanado del generador, en donde las bobinas de voltaje(27) se oponen a la operación de las bobinas de sobrecorriente(51).

Al decaer el voltaje en terminales del generador por una condición de falla las bobinas de voltaje permitirán que las bobinas de sobrecorriente operen y con ello que sus contactos al cerrar energicen la bobina de operación del relevador auxiliar de bloqueo sostenido -- 86-1.

Al cerrar los contactos del relevador 86-1 el circuito de disparo del interruptor de máquina(52TC) será energizado y la computadora recibirá una señal de voltaje mediante la cual ésta disparará la turbina y suministrará una señal de alarma.

El relevador auxiliar mantendrá sus contactos en ese estado hasta que se desenergice su bobina de operación manualmente (por medio -- del contacto de reposición PBS) una vez corregida la causa de la falla para asegurar que no sea puesto en servicio el generador mientras permanezca la condición de falla.

El relevador de voltaje balanceado(60) bloqueará el funcionamiento del relevador auxiliar 86-1 cuando fallen los fusibles de los -- transformadores de potencial.

6.5.3. PROTECCION CONTRA FALLAS A TIERRA EN EL ESTATOR(64G).

Esta protección detecta fallas a tierra en el embobinado del estator, así como en el equipo conectado a éste. Su principio de opera - ción se basa en la detección de voltaje en el neutro del propio gene - rador cuando se produce una falla de éste tipo, en donde la magnitud - de éste voltaje es más alto cuanto más alejada del neutro se encuen - tre la falla, por lo que si se produce la falla en el neutro no podrá ser detectada. Sin embargo es poco probable una falla en ésta parte - del embobinado por no estar sujeta a voltaje en operación normal.

Las características de éste relevador de sobrevoltaje son las - siguientes:

Marca	Westinghouse.
Tipo	CV-8
Modelo	1875527A.
Tensión	199VCD.
Frecuencia	60 Hz.
Fases	1
Rango	0.2-2 Amp.

En el diagrama 6.5 se puede apreciar la forma de conexión de éste tipo de relevador, el cual posee un filtro para la tercer armónica que se presenta en el neutro del generador en operación normal. Se emplea un transformador de distribución de 15KVA. con una relación de - transformación de 12000/240V. para reducir el volaje a un valor que pueda controlar el relevador.

El ajuste del relevador está calibrado para actúer con un volta - je de 16V.

El tiempo de retardo de éste relevador es de 0.8seg. para pro - porcionarle cierta insensibilidad contra fallas exteriores.

El relevador actúa a través del relevador auxiliar 86G sobre el circuito de disparo del interruptor de máquina(52TC) y sobre la com - putadora.

6.5.4. PROTECCIONES DE APOYO.

Las protecciones de apoyo son aquellas que protegen al generador contra diversas situaciones anormales de operación no producidas por condiciones de falla sino por otro tipo de situaciones que pueden alterar su funcionamiento normal e incluso llegar a dañarlo. Estas protecciones no requieren de una coordinación especial con otros relevadores, sin embargo tienen ajustado un tiempo de retardo suficiente para esperar a que se restablezca la situación anormal y evitar con ello disparos equivocados por diversos transitorios que tienen lugar principalmente en el Sistema de Carga. Las características principales y utilidad de éstos relevadores son las siguientes.

a).-Protección contra baja excitación(40G).-Esta protección detecta baja excitación cuando el regulador está desconectado y el ajuste manual se hace por debajo de las condiciones de mínima excitación que permite la curva de capacidad del generador. Sus características son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	K.F.
Tensión	125VCD.
Frecuencia	60 Hz.
Modelo	290B481A09.

b).-Protección contra potencia inversa(32G).-Esta protección detecta cuando el generador recibe potencia del Sistema de Carga, lo cual se produce cuando la turbina deja de entregar potencia y empieza a absorber la necesaria para mantener al generador en sincronismo. Esto provoca un calentamiento excesivo en algunas partes de la turbina si se sostiene ésta anomalía. Sus características son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	CJ.
Modelo	289B988A17A
Rango	20-120 watts.
Tensión	125VCD.

c).-Protección contra sobrecorriente de secuencia negativa -- (46G).-Esta protección protege al generador contra toda clase de corrientes asimétricas que causan corrientes de doble frecuencia y calentamiento en el rotor, lo cual puede ser debido a: fallas asimétricas en la red de 230Kv., una fase abierta en alguno de los circuitos conectados al generador ó a cargas desbalanceadas. Sus características son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	COQ.
Modelo	1876175.
Frecuencia	60 Hz.
Rango	0.2-2 Amp.
Tensión	125VCD.

d).-Protección contra baja frecuencia(81G).-Esta protección actúa cuando detecta baja frecuencia debida a una sobrecarga en el Sistema de 230Kv. ya que los álabes de baja presión de la turbina presentan problemas de vibración a velocidades bajas, lo cual a la larga puede producir que se destruyan.

El relevador tiene un ajuste de operación de 59.5Hz. y un tiempo de retardo suficiente para hacerlo insensible a variaciones transitorias de frecuencia. Sus características son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	KF.
Modelo	671B287A15.
Tensión	125VCD.
Rango	55-59.5 Hz.

e).-Protección de voltaje balanceado(60).-Esta protección protege contra falsos disparos de algunos relevadores y contra mal funcionamiento del regulador de voltaje al fundirse los fusibles de los transformadores de potencial que alimentan a éstos dispositivos.

Las fallas de los fusibles de los transformadores de potencial del lado de excitación producen sobreexcitación en el generador y las fallas de los fusibles de los transformadores de potencial en el lado de protección producen disparos equivocados de algunas protecciones, por lo que el relevador detectará a que circuito corresponde el fusible fundido y actuará para bloquear el disparo de los relevadores 40G, 51V y 81G (los cuales tienden a operar cuando disminuye el voltaje) en caso que el fusible fundido pertenezca al lado de protección. En el caso de que el fusible fundido pertenezca al lado de excitación, el control de la excitación del generador será transferido a control manual para evitar que el regulador de voltaje al actuar con una señal errónea de bajo voltaje tienda a elevar el voltaje en terminales del generador.

Este relevador posee la ventaja de que no actúa al desenergizarse los dos circuitos en operaciones rutinarias de desexcitación del generador, además de que posee una alta velocidad de operación. Sus características son:

Marca	General Electric.
Tipo	CFVB.
Modelo	12CFVB11A3A.
Frecuencia	60Hz.
Tensión	125VCD.

Tanto el relevador 46G como el 32G al operar energizarán el relevador auxiliar 86-1, el cual como se puede observar en el diagrama 6.5. accionará el circuito de disparo del interruptor de máquina, además de que permitirá que una señal de voltaje sea suministrada a la computadora para que ésta dispare la turbina y produzca una señal de alarma.

Si el relevador de voltaje balanceado no ha operado, el relevador 81G al operar accionará al relevador auxiliar 86-2 para energizar el circuito de disparo del interruptor de máquina y para permi-

tir que una señal de voltaje sea suministrada a la computadora para que ésta produzca una señal de alarma.

El relevador 40G operará a través del relevador auxiliar 86-G - el circuito de disparo tanto del interruptor de máquina como del interruptor de campo si el relevador de bloqueo 60 no ha accionado. También permitirá que sea suministrada una señal de voltaje a la computadora para que ésta dispare la turbina y proporcione una señal de alarma.

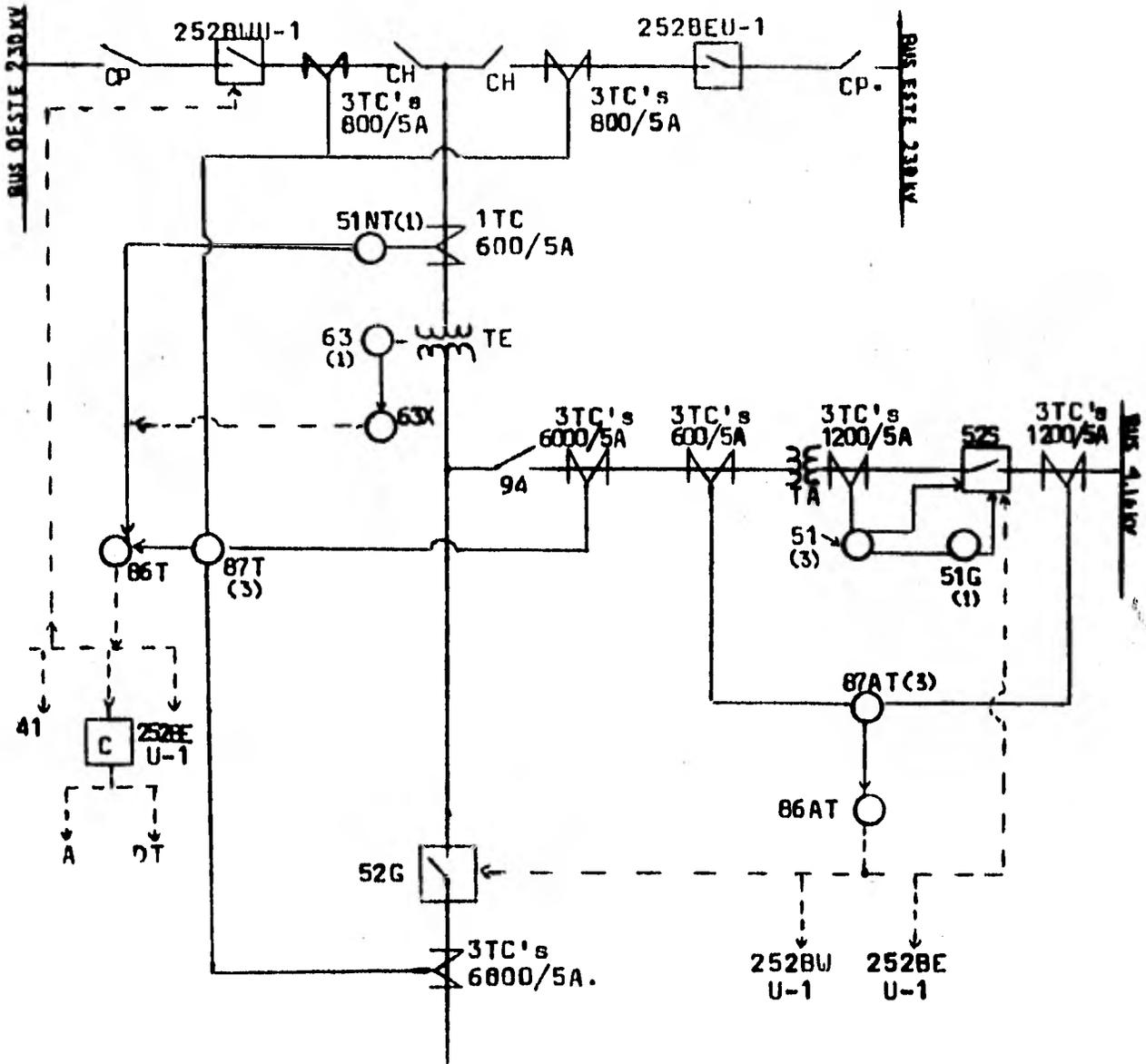
6.6. SISTEMA DE PROTECCION DE LOS TRANSFORMADORES.

Los transformadores empleados en la Central, tanto los de enlace de 140MVA como los de auxiliares de 5MVA por ser de gran capacidad - requieren de diversas protecciones que les permitan liberar rápidamente una condición de falla.

Las condiciones de falla en las que se ven envueltos este tipo de transformadores de gran capacidad son:

- a).-Fallas entre un devanado y el núcleo ó el tanque causadas - por fallas externas ó maniobras de switcheo en el Sistema - de 230Kv.
- b).-Fallas entre devanados ó entre bobinas contiguas de capas - diferentes de un mismo devanado debidas a la misma causa anterior ó por movimiento de los devanados bajo la acción de fuerzas electromagnéticas durante falles externas.
- c).-Fallas entre el devanado y tierra causadas por el deterioro del aceite aislante por sobrecalentamiento.
- d).-Fallas en los contactos de los cambiadores de derivaciones.

En el diagrama 6.6.b. se puede apreciar el diagrama del sistema de protección de los transformadores de alta capacidad que posee la unidad turbogas No.1, en donde las flechas de líneas punteadas indican los elementos sobre los que actúan los relevadores auxiliares de blo



DIAG. 6.6.b. SISTEMA DE PROTECCION DE LOS TRANSFORMADORES DE ALTA CAPACIDAD DE LA UNIDAD TURBOGAS No.1

queo sostenido(86) y en el caso de la computadora señalan el tipo de accionamiento que ésta ejecuta. Las flechas de línea continua indican los relevadores auxiliares de bloqueo sostenido sobre los que actúan los relevadores de protección.

La nomenclatura del diagrama es la siguiente:

- TE - Transformador de enlace.
- TA - Transformador de auxiliares.
- CP - Cuchillas tipo pantógrafo.
- CH - Cuchillas tipo horizontal de cierre vertical.
- TC - Transformador de corriente.
- 94 - Cuchillas verticales.
- 52G- Interruptor de máquina.
- 41 - Interruptor de campo.
- C - Computadora.
- A - Alarma.
- DT - Disparo de turbina.
- 252BW- Interruptor de hexafluoruro de azufre, bus oeste.
- 252BE- Interruptor de hexafluoruro de azufre, bus este.
- 52S- Interruptor de entrada al bus de 4.16Kv.
- 87T- Protección diferencial del transformador de enlace(3 relevadores).
- 87AT- Protección diferencial del transformador de auxiliares(3 relevadores).
- 63 - Protección de presión súbita(1 relevador).
- 51NT- Protección contra fallas a tierra sostenidas(1 relevador).
- 51 - Protección contra sobrecorriente(3 relevadores).
- 51G- Protección contra fallas a tierra(1 relevador).
- 86T- Relevador auxiliar de bloqueo sostenido.
- 63X- Relevador auxiliar.

A continuación se elaborará el estudio del sistema de protección con que cuentan éstos transformadores.

6.6.1. SISTEMA DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR DE ENLACE.

Para su protección, el transformador de enlace cuenta con dos relevadores de alta velocidad y uno de respaldo, en donde todas las protecciones actuarán sobre el relevador auxiliar de bloqueo sostenido-86T para energizar a los circuitos de disparo de los interruptores de los buses de 230Kv. y al circuito de disparo del interruptor de campo. El relevador auxiliar asegurará que no sea energizado el transformador sin antes haber eliminado la causa de la falla, además de -- que permitirá que sea suministrada una señal de voltaje a la computadora para que ésta dispare la turbina y proporcione una señal de alarma.

a).-Protección diferencial(87T).-Esta protección posee el mismo funcionamiento general que la protección diferencial del generador sólo que en éste caso el principio de operación es electromagnético, ya que en lugar de emplearse un circuito de retención y un circuito electrónico de control se usa -- una bobina de retención cuya fuerza electromagnética se opondrá a la fuerza electromagnética ejercida por la bobina de operación, evitando con ello que el relevador opere al -- circular por su bobina de operación una corriente producto de una diferencia en la precisión de los transformadores de corriente ó de una diferencia en la saturación de los mismos el elevarse considerablemente la corriente a causa de -- una falla externa.

En el circuito donde circula la corriente diferencial se encuentra conectado un circuito denominado de retención de armónicas y un relevador de sobrecorriente.

El circuito de retención de armónicas se encarga de -- bloquear el funcionamiento del relevador cuando se produce una corriente diferencial causada por la corriente magnetizante transitoria que se genera al energizar el transformador.El-

circuito está diseñado para funcionar cuando la corriente diferencial tenga un gran porcentaje de armónicas (las cuales son típicas de una corriente magnetizante), de ésta manera se asegura que el relevador sólo funcione cuando exista una condición de falla.

Este circuito presenta el problema de que también bloquea el funcionamiento del relevador cuando los transformadores de corriente se saturan al producirse una corriente de falla de elevada intensidad en el transformador, dado que los transformadores de corriente al saturarse producen una corriente diferencial con un alto porcentaje de armónicas. Sin embargo bajo estas circunstancias el relevador de sobrecorriente (conectado en el circuito donde circula la corriente diferencial) accionará directamente al relevador auxiliar 86T cuando se produzca una corriente diferencial representativa de una condición de falla severa.

El tiempo de retardo de ésta protección diferencial es de 0.016seg. a 0.13seg. según la magnitud de la falla. Las características principales del tipo de relevador empleado son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	HU-1.
Modelo	290B346A22A.
Rango	0.2-2 Amp.
Pick up	0.3 TAP
Frecuencia	60Hz.
Fases	1
Tensión	125VCD.

b).-Protección de presión súbita(63).-Cuando se produce una condición de falla en los devanados del transformador, la presión del gas nitrógeno (ubicado en la parte superior del tanque) aumenta con una rapidez de 5.5 PSIG/seg. y en casos severos llega a alcanzar 30 ó 40PSIG/seg. por lo que en la parte superior del tanque se cuenta con un relevador de

presión súbita asociado a una válvula de seguridad, tal que cuando se produce una elevación brusca de la presión dentro del tanque accionará para permitir que el relevador auxiliar de bloque sostenido 86T opere (a través del relevador auxiliar 63X). Para fallas de baja intensidad (5.5 PSIG/seg) el relevador accionará en aproximadamente 0.066 seg. y para fallas severas (40 PSIG/seg) se tendrá un tiempo de operación de 0.008 seg.

c).-Protección contra fallas a tierra sostenidas (51NT).-Este tipo de protección protege al transformador en caso de fallas a tierra en su devanado ó fallas a tierra sostenidas en el Sistema de 230Kv. en caso de que no haya sido disparado a tiempo algún interruptor próximo a la falla. El tiempo de accionamiento del relevador empleado permite respaldar contra éste tipo de falla a la protección diferencial.

Para detectar la falla se utiliza la contribución de la corriente de falla que circula de tierra al neutro del devanado de alta tensión conectado en estrella, para lo cual se emplea un relevador de sobrecorriente alimentado por un transformador de corriente acoplado en el neutro del devanado.

El relevador está ajustado para operar a 1.7seg. para dar suficiente margen para que actúen las protecciones del Sistema de 230Kv.

Las características principales del tipo de relevador empleado son las siguientes:

Marca	Westinghouse.
Tipo	CO-6.
Modelo	264C898A01.
Frecuencia	60Hz.
Rango	0.2-2 Amp.
Fases	1
Unidad de sobrecorriente	0.5-2.5 Amp.
Tensión	125VCD.

6.6.2. SISTEMA DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR DE AUXILIARES.

El transformador de auxiliares cuenta con una protección diferencial y protecciones de respaldo contra fallas entre fases y fallas a tierra. Las protecciones de respaldo actúan directamente sobre el circuito de disparo del interruptor de entrada al bus de 4.16Kv. mientras que la protección diferencial al actuar energizará (a través del relevador auxiliar de bloqueo sostenido 86AT) a los circuitos de disparo de: interruptores de los buses de 230Kv., interruptor de máquina e interruptor de entrada al bus de 4.16Kv.

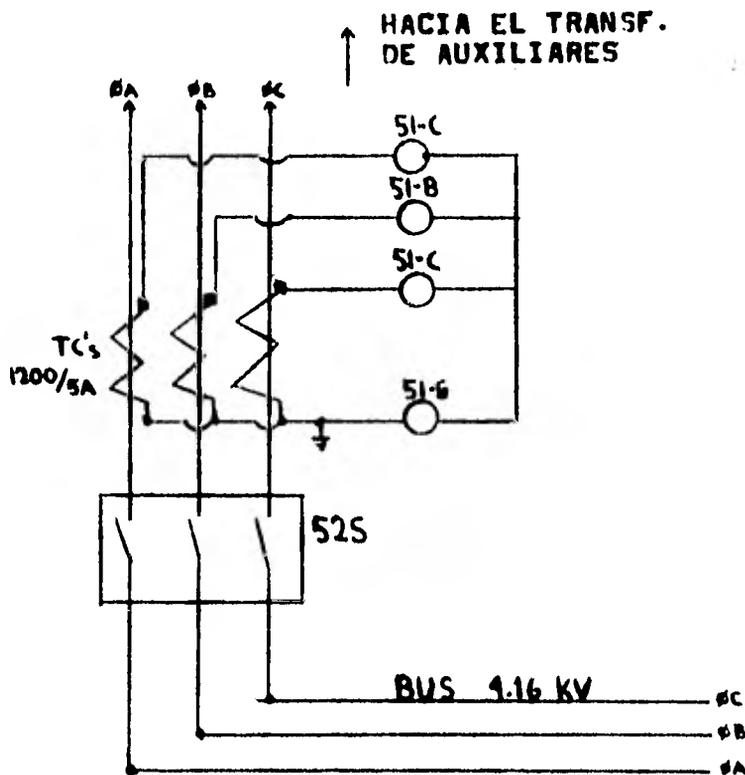
La protección diferencial empleada en este transformador al igual que la protección diferencial del transformador de enlace tiene un funcionamiento de tipo electromagnético, en donde la fuerza electromagnética producida por la bobina de operación al circular por ésta una corriente diferencial, será contraria a la fuerza electromagnética producida por dos bobinas de retención, tal que éstas bloquearán el funcionamiento del relevador cuando la corriente diferencial que circule por la bobina de operación sea producto de una diferencia en la precisión de los transformadores de corriente ó de una diferencia en la saturación de los mismos al elevarse considerablemente la corriente de falla e causa de una falla externa.

El tipo de relevador diferencial empleado carece de un circuito de retención de armónicas, ya que se considera que la corriente magnetizante en este transformador no es muy severa.

El relevador está ajustado para operar de 0.08seg a 0.1seg. según la intensidad de la corriente de falla. Sus características principales son:

Marca	Westinghouse.
Tipo	CA.
Modelo	2908893A09.
Rango	0.2-2 Amp.
Frecuencia	60Hz.
Fases	1
Tensión	125VCD.

En caso de que no opere la protección diferencial se cuenta -- con tres relevadores de sobrecorriente(51) y un relevador de sobrecorriente para fallas a tierra(51G). Se encuentran conectados entre el interruptor de entrada al bus de 4.16Kv. y el transformador de la siguiente manera :



Las características principales de éste tipo de relevadores -- son las siguientes :

Marca	Westinghouse.
Tipo	CO-9
Modelo	264C901A05.
Rango	0.2-2 Amp.
Frecuencia	60 Hz.
Tensión	125VCD.
Unidad de sobrecorriente	1 - 12 Amp.

C A P I T U L O V I I

C O N C L U S I O N E S

Las plantas de ciclo combinado ocupan un importante lugar dentro del Sistema de Generación Eléctrico Nacional.

Cuando quede constituida en su totalidad la Central Ciclo Combinado Tula entregará al Sistema de Carga cerca de 560 MW. equivalentes a casi la potencia generada por dos unidades de 300 MW. de las grandes plantas termoeléctricas.

El empleo del hidrógeno como gas refrigerante aumenta considerablemente la eficiencia de los generadores, ya que permite que éstos suministren el máximo de potencia sin elevar demasiado su temperatura interna, además de que protege el aislamiento de sus devanados.

La constante variación del factor de potencia del Sistema de Carga hace necesario que se tenga que modificar constantemente la magnitud de la corriente de excitación de los generadores a fin de mantener constante el voltaje en sus terminales.

El sistema de control que tienen los transformadores de enlace permite que sean arrancados y detenidos en forma automática las bombas y ventiladores empleados por su sistema de enfriamiento, además de que detecta inmediatamente cualquier situación anormal de funcionamiento.

Los interruptores de máquina juegan un papel muy importante en el proceso de sincronización de los generadores con el Sistema de Carga, además de que proveen de un medio efectivo para aislar a los generadores del resto del circuito.

El tipo de regulador de voltaje que tienen los generadores permite que el error de voltaje en sus terminales sea rápidamente detectado y corregido.

La computadora analógica-digital empleada en cada unidad de la Central hace que su equipo de operación sea controlado en forma rápida y coordinada, además de que establece un medio confiable de información sobre el estado de la mayoría del equipo de operación.

El proceso de sincronización por computadora permite realizar la sincronización de los generadores con el Sistema de Carga de mane

ra más precisa que en forma manual, ya que la computadora maneja las condiciones de sincronización de tal forma que energizará al circuito de cierre del interruptor de máquina sólo en el instante en que se encuentren satisfechas dichas condiciones.

Los sistemas de control de los motores hacen que la computadora de cada unidad pueda fácilmente actuar sobre éstos en el momento que el proceso que se esté efectuando así lo requiera, además de que protegen a los motores contra sobrecargas y cortocircuitos por medio de sus protecciones termomagnéticas.

El arreglo de doble interruptor por línea y doble bus que posee la subestación de la Central permite una mayor flexibilidad en el manejo de la energía generada de tal forma que se mantendrá la continuidad del servicio aún cuando esté fuera de servicio alguna parte del equipo ya sea por mantenimiento ó reparación.

Las maniobras de desconexión y conexión del equipo de la subestación se deben de efectuar coordinadamente, ya que de lo contrario se pueden dañar seriamente las cuchillas.

La coordinación del equipo de protección contra descargas atmosféricas que tiene la Central proporciona a su equipo de operación un efectivo blindaje contra éste tipo de fenómeno transitorio.

El sistema de protección de los generadores está adecuadamente coordinado para accionar en caso de que se produzca en sus devanados una falla entre fases ó una falla a tierra y también en caso de que se presente alguna condición anormal de funcionamiento como: suministro de potencia del Sistema de Carga a los generadores, baja frecuencia en el Sistema de Carga, corrientes de secuencia negativa, baja corriente de excitación y voltajes desbalanceados en sus circuitos de potencial.

La adecuada coordinación que tiene el sistema de protección de los transformadores de alta capacidad permite que cualquier condición de falla en sus devanados sea liberada inmediatamente.

B I B L I O G R A F I A

VIQUEIRA LANDA JACINTO.- Redes Eléctricas, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México 1970.

W.D. STEVENSON.- Analisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Nueva-York, McGraw-Hill, 1975.

C.R. MASON.-El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores, - Compañía Editorial Continental, S.A., México 1979.

LUCA M. CARLOS.- Plantas Eléctricas Teoría y Proyecto, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México 1969.

DAWES L. CHESTER.- Electricidad Industrial, Editorial Reverté, 1975.

MILLMAN J. & HALKIAS C. .- Integrated Electronics Analog and Digital Circuits, McGraw-Hill Kogakusha, LTD, 1972.

WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP. .- Manual de Operación de la Central Ciclo Combinado Tula, Volúmenes I, II y III, 1980.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.- Instructivo de Operación de la -- Central Ciclo Combinado Dos Bocas.

DOEHNER S. WERNER.- Protección de Generadores, Comisión Federal de - Electricidad.