



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
DEL GENERADOR NO. 3 DE 82400 KW DE LA  
CENTRAL TERMOELÉCTRICA JORGE LUQUE  
LOYOLA.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

**MARIO MELCHOR PATRICIO**

**ASESOR: ING. ANGEL ISAÍAS LIMA GÓMEZ**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

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

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Descripción y mantenimiento preventivo del generador No. 3  
de 82400 KW de la central termoeléctrica Jorge Luque Loyola

que presenta el pasante: Mario Melchor Patricio  
con número de cuenta: 09828984-0 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

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

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Mayo de 2008.

PRESIDENTE	<u>Ing. Aquiles Reyes Flores</u>	
VOCAL	<u>Ing. Casildo Rodríguez Arciniega</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Angel Isaías Lima Gómez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Oscar Cervantes Torres</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M.A. Diana Fabiola Arce Zaragoza</u>	

**DEDICO ESTA TESIS A:**

**A MI MAMÁ ISABEL PATRICIO BLANQUEL:**

POR HABER CONFIADO SIEMPRE EN MI, POR TU CARIÑO, POR HABERME ENSEÑADO QUE TODAS LAS COSAS SE PUEDEN HACER REALIDAD SI UNO ESTA VERDADERAMENTE DECIDIDO A LOGRARLO Y PORQUE SIEMPRE ME HAS DADO TODO SIN CONDICIONES.

**A MI PAPÁ MIGUEL MELCHOR ESTEBAN:**

POR TU APOYO, POR HABER ESTADO ALLÍ EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES Y POR ENSEÑARME CUAL ES EL CAMINO, ERES EL MEJOR MAESTRO QUE HE TENIDO.

**A MIS HERMANOS: MIGUEL MELCHOR ELÍAS, MARGARITA MELCHOR PATRICIO, ANA MARÍA MELCHOR PATRICIO, MARÍA ISABEL MELCHOR PATRICIO, NICOLÁS MELCHOR PATRICIO:**

QUE SIEMPRE TUVE EL APOYO DE ELLOS.

**A MI ASESOR ING. ANGEL ISAÍAS LIMA GÓMEZ:**

POR APOYARME EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO Y POR SUS VALIOSOS COMENTARIOS PARA ALCANZAR MÍ OBJETIVO.

**A LA UNAM:**

POR SER LA INSTITUCION EN QUE PASÉ ALGUNOS DE LOS MEJORES AÑOS DE MI VIDA, Y POR HABER SIDO MÁS QUE UNA ESCUELA PARA MI.

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo I. Descripción de la planta.....</b>	<b>11</b>
Localización.....	12
Historia de la central termoeléctrica.....	12
Cambio de frecuencia y capacidad instalada.....	13
Diagrama simplificado de Unidades 3 y 4.....	14
Generadores de vapor.....	15
Turbogeneradores.....	16
Modernización.....	17
Objeto de la unidad No. 3 en la planta.....	18
<b>Capítulo II. Descripción del generador.....</b>	<b>19</b>
Marca y numero de fábrica.....	20
Valores nominales.....	20
Excitador principal.....	22
Excitador piloto.....	23
Corriente de excitación.....	23
Anillos rozantes y conmutadores.....	24
Escobillas de carbón.....	24

Descripción del estator.....	25
Descripción del rotor.....	26
Chumaceras.....	26
Sistema de excitación.....	26
Quebradora de excitación.....	27
Regulador de voltaje.....	28

**Capítulo III. Operación y circuito equivalente del generador..... 31**

Operación de generador.....	32
Magnitud de la fem inducida.....	34
Circuito equivalente del generador.....	36
Curva de capacidad.....	37

**Capítulo IV. Sincronización y sistema de enfriamiento del generador..... 39**

Sincronización.....	40
Sistema de enfriamiento.....	44
Razones por las cuales se emplea hidrógeno en vez de aire en los turbogeneradores.....	44
Desventajas del hidrógeno como medio enfriante en generadores.....	45
Detalles constructivos.....	45
Hermeticidad.....	46
Carcaza del generador.....	50

Control de la pureza del hidrogeno.....	50
Sistema de alarmas y protección.....	51
<b>Capitulo V. Mantenimiento preventivo.....</b>	<b>53</b>
Ventajas del mantenimiento preventivo.....	55
Inconvenientes del mantenimiento preventivo.....	55
Posibles aplicaciones del mantenimiento preventivo.....	55
Instructivo para el mantenimiento preventivo.....	56
Actividades iniciales.....	56
Actividades principales.....	57
Actividades finales.....	61
<b>Capitulo VI. Prueba realizada en el mantenimiento.....</b>	<b>62</b>
Prueba de resistencia de aislamiento (megger).....	63
Definición.....	63
Corriente de aislamiento.....	63
Absorción dieléctrica.....	64
Índices de absorción y polarización.....	64
Factores que afectan la prueba.....	64
Efecto de la condición de la superficie del Aislamiento.....	65
Efecto de la humedad.....	65
Efecto de la temperatura.....	65

Potencial de prueba aplicado.....	66
Efecto de la duración de aplicación de voltaje de prueba.....	67
Efecto de la carga residual.....	67
Efecto del envejecimiento.....	67
Tratamientos especiales.....	67
Megger Descripción principio y uso.....	68
Descripción.....	68
Principio de operación.....	69
Uso de la guarda.....	70
Instrucciones generales para uso del megger.....	71
Medidas de seguridad al utilizar el megger.....	72
Aplicación de prueba de resistencia de aislamiento a maquinas rotatorias.....	73
Limitaciones.....	73
Preparación de la maquina para la prueba.....	74
Circuitos de prueba.....	74
Interpretaciones de lectura para la evaluación de los aislamientos.....	77
<b>Conclusiones.....</b>	<b>80</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>82</b>



## Índice de Fotografías

Generadores de Vapor.....	15
Turbogeneradores.....	16
Tablero Bailey Original.....	17
Consolas de control nuevas.....	17
Generador No.3.....	21
Excitador principal.....	22
Excitador piloto.....	24
Quebradora de excitación.....	27
Regulador de voltaje.....	28
Preparación de herramienta.....	56
Retiro de tapas de protección de excitador.....	57
Inspección visual del excitador.....	58
Escobillas de carbón.....	58
Revisión visual de chisporroteo excitador.....	59
Limpieza del conmutador del excitador.....	59
Limpieza general y sopleteado del generador.....	60
Limpieza general de tapas.....	60
Revisión visual de trabajo.....	61
Limpieza de área de trabajo.....	61
Megger.....	68
Uso de la guarda.....	70
Uso del megger.....	72

## Índice de figuras

Diagrama simplificado unidad No. 3.....	14
Diagrama esquemático generador-turbina.....	32
Generación onda-seno, FEM inducida.....	34
Circuito equivalente del generador.....	37
Curva de capacidad.....	38
Sincronización.....	40
Diagramas fasoriales.....	41
Diagramas fasoriales generador sistema.....	42
Condiciones de sincronización.....	43
Sellos de H2.....	48
Sello axial.....	49
Pruebas del generador síncrono utilizando guarda.....	75
Pruebas del generador utilizando guarda conectada a tierra.....	76

## Índice de tablas

Cambio de frecuencia.....	13
Escobillas de carbón ELCA.....	25
Valores de voltaje para uso del megger.....	71

## **Introducción**

**Actualmente la energía eléctrica es una parte esencial de la vida moderna y constituye un elemento primordial para lograr el desarrollo de los países. La generación de energía eléctrica es uno de los elementos principales, sin el cual sería imposible contar con electricidad en los hogares e industrias.**

**En el caso de las centrales termoeléctricas son centrales que utilizan el calor que desprende la combustión de un combustible fósil para convertir el agua en vapor de agua. Las centrales termoeléctricas pueden funcionar con tres clases de combustible diferente: gas, fuel y carbón. En el caso de la central termoeléctrica Jorge Luque Loyola se utiliza el gas.**

**El combustible se introduce en la caldera con la misión de desprender calor suficiente para calentar los tubos con agua. Esta agua se convierte en vapor y tras eliminar su humedad y aumentar su temperatura en el calentador, se introduce en la turbina generando energía cinética que el alternador transforma en eléctrica.**

**Esta energía tras pasar por los transformadores que elevan su tensión a un valor adecuado para su transporte, llegará al parque de distribución y por las líneas de transporte a los centros consumidores.**

**El vapor de agua será reciclado para un nuevo ciclo dentro de la central, mientras que los gases de la combustión se utilizarán para calentar el aire de la combustión y después serán expulsados a la atmósfera.**

**En el siguiente trabajo denominado la "descripción y mantenimiento preventivo del generador No. 3 de 82400w de la central termoeléctrica Jorge Luque Loyola", se presenta una descripción de la central termoeléctrica y las características principales del generador de la unidad No. 3 así como su funcionamiento y el mantenimiento preventivo efectuado por el personal del taller eléctrico de la central.**

**El mantenimiento es realizado con el fin de conservar en óptimas condiciones de operación el equipo y las instalaciones, el cual deberá ser verificado con periodicidades que comprenden desde semanales, mensuales, semestrales, anuales y cuyo fin esencial será de devolver las características mecánicas y eléctricas a todos los componentes debido al deterioro que sufren los equipos debido al entorno ambiental así como a las condiciones de operación.**

**El documento esta formado por seis capítulos**

**En el capitulo uno. Descripción de la planta, se describe la localización y descripción de la central termoeléctrica así como una descripción del cambio de frecuencia, descripción general de los turbogeneradores con su diagrama simplificado de las unidades No. 3 y No. 4, la modernización que se efectuó a los tableros bailey.**

**En el capitulo dos. Descripción del generador, se describe la marca, los valores nominales del generador y sus partes principales.**

**En el capitulo tres. Operación Y circuito equivalente del generador, en este capitulo se describe la operación del generador, el circuito equivalente y su curva de capacidad.**

**En el capitulo cuatro. Sincronización y sistema de enfriamiento del generador, se describe el sistema de enfriamiento como son sus ventajas y desventajas, hermeticidad y sistemas de alarmas y protecciones así también la sincronización al sistema eléctrico nacional.**

**En el capitulo cinco. Mantenimiento preventivo, se describe las ventajas y desventajas de el mantenimiento preventivo y un instructivo de cómo realizan el mantenimiento preventivo el personal con mas antigüedad del taller eléctrico de la central termoeléctrica.**

**En el capitulo seis. Prueba realizada en el mantenimiento. Se describe la prueba de resistencia de aislamiento lo que es la corriente de aislamiento, el índice de polaridad, el índice de absorción, los factores que afectan la prueba como lo son la condición de la superficie de aislamiento, la temperatura la humedad, el potencial de prueba aplicado, el efecto de la duración de la prueba así como la descripción principio y uso del megger directamente en las maquinas rotatorias, limitaciones preparación de la maquina e interpretaciones de las lecturas.**

**El documento tiene la finalidad de servir como manual para los trabajadores de nuevo ingreso que se incorporen al departamento de mantenimiento eléctrico de la central termoeléctrica y material de consulta de la biblioteca de la FES Cuautitlán campo cuatro.**

## **Objetivo.**

**El objetivo de esta tesis, es describir la estructura y el mantenimiento preventivo aplicado al sistema de excitación del generador No. 3 de 82400W en la central termoeléctrica Jorge Luque Loyola de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.**

**La descripción del equipo abarca los aspectos de más interés para el personal de producción. Por lo tanto el objetivo principal del presente trabajo es servir como manual de consulta para que el personal del área de mantenimiento eléctrico tenga mejor conocimiento de las instalaciones donde se desarrolla su trabajo.**

**El presente manual ayudara al personal del taller eléctrico de nuevo ingreso a familiarizarse más rápidamente con los diferentes equipos que tengan a su cargo. Logrando de esta manera una mejor capacitación en menos tiempo.**

# *Capítulo I*

## *Descripción de la planta*

## **DESCRIPCION DE LA PLANTA**

### **Localización.**

La Central Termoeléctrica "Ing. Jorge Luque Loyola.", se encuentra localizada en Lechería, municipio de Tultitlan Edo. de México, a la altura del Kilómetro 33 de la autopista México-Querétaro y el Kilómetro 22.5 de la carretera México-Cuautitlán, sobre una superficie de 72,882 m<sup>2</sup>, a una altitud sobre el nivel del mar de 2,250 Mts. la presión barométrica media será de 585 mm de Hg. La temperatura ambiente varía entre 5°C 35°C Y la humedad del aire varía entre 10% Y 95%.

La planta se encuentra cerca de la estación de ferrocarril de Lechería, por la que pasan todos los convoyes que comunican la ciudad de México con el Norte de la República.

Otro camino de acceso es la carretera México, Tlalnepantla, Cuautitlán.

El terreno consiste de depósitos aluviales que permiten una carga de 0.9 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad hasta de 3 Mts. Después permiten 1.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Historia de la central Termoeléctrica.**

La Central Termoeléctrica Lechería, orgullo de Luz y Fuerza del Centro, era reconocida como la más grande en su genero en la República Mexicana y una de las más importantes de Latinoamérica cuando fue instalada; que después tomó el nombre de "Central Termoeléctrica Ing. Jorge Luque Loyola" La construcción de esta Central se inició con 2 Unidades de 33,000 kW de capacidad cada una, que fueron puestas en servicio en el mes de octubre de 1952 y en marzo de 1953, respectivamente.

Posteriormente se instaló la Unidad No. 3 de 82,400 kW de capacidad, que fue puesta en servicio en el año de 1958 y finalmente, la Unidad No. 4 de la misma capacidad, puesta en servicio en el año de 1960.

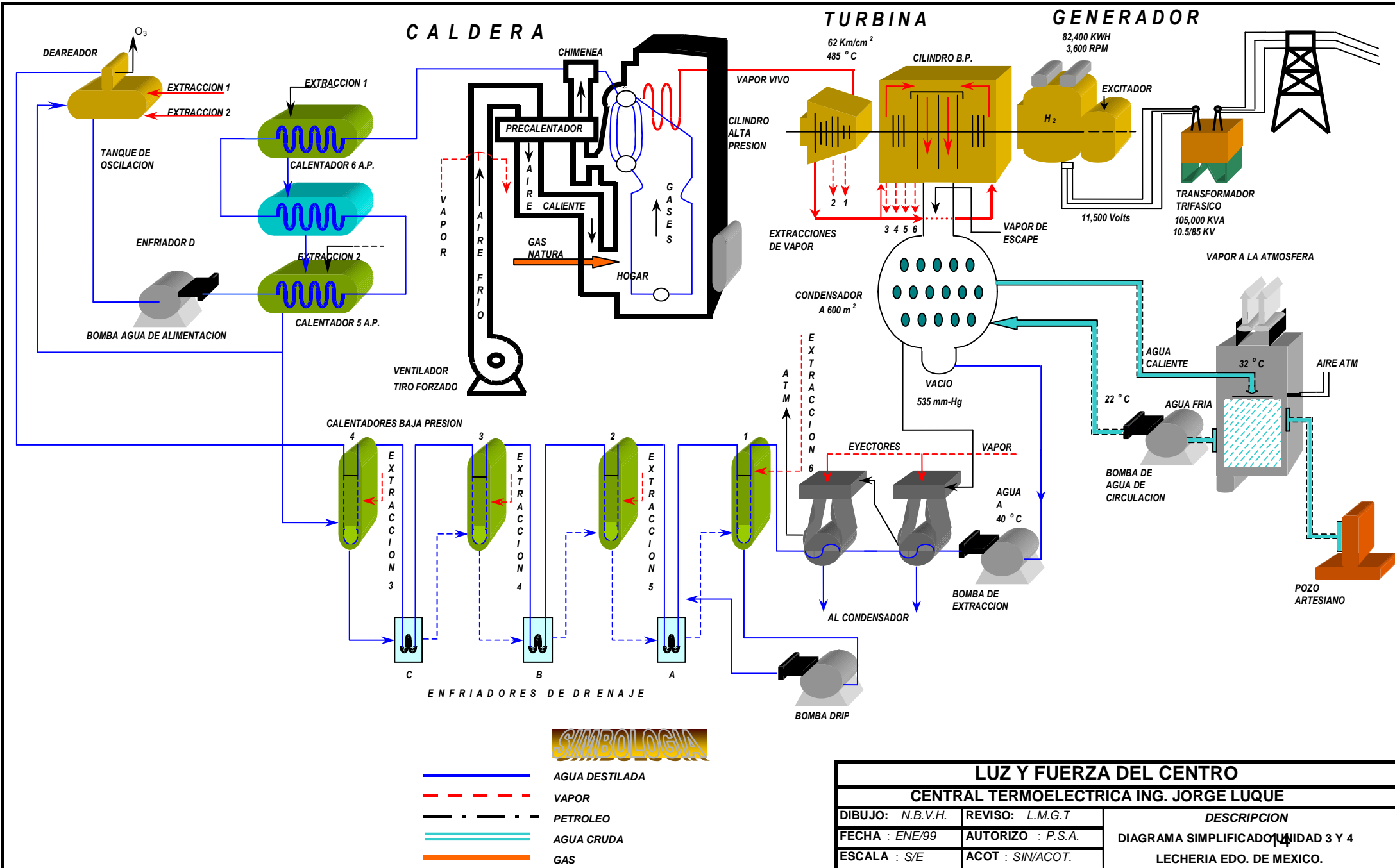
Debido al cambio de frecuencia del sistema de 50 a 60 Hertz, ordenado por decreto presidencial, la Central dejó de generar en el

mes de noviembre de 1976, para efectuar las modificaciones necesarias en sus equipos y así operar con la nueva frecuencia.

Puesta en servicio, cambio de frecuencia y capacidad instalada

<b>Unidad</b>	<b>Fecha de entrada en servicio</b>	<b>Capacidad en MW</b>		<b>fecha de entrada al cambio de frecuencia</b>
		<b>Antes</b>	<b>Al cambio de frecuencia</b>	
No. 1	Mar. 1953	33.0	32.0	Ene. 1978
No. 2	Oct. 1952	33.0	32.0	Feb. 1978
No. 3	May. 1958	82.4	80.0	May. 1981
No. 4	Dic. 1960	82.4	80.0	Abr. 1980
<b>Total</b>		<b>230.8</b>	<b>224.0</b>	

Diagrama simplificado de Unidades 3 y 4.



**SIMBOLOGIA**

- AGUA DESTILADA
- - - VAPOR
- · - · PETROLEO
- = = = AGUA CRUDA
- GAS

**LUZ Y FUERZA DEL CENTRO**

**CENTRAL TERMOELECTRICA ING. JORGE LUQUE**

DIBUJO: N.B.V.H.	REVISO: L.M.G.T
FECHA: ENE/99	AUTORIZO: P.S.A.
ESCALA: S/E	ACOT: SIN/ACOT.

**DESCRIPCION**  
 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA UNIDAD 3 Y 4  
 LECHERIA EDO. DE MEXICO.



## **Generadores de Vapor**

Se cuenta con cuatro Generadores de Vapor de paredes de tubos de agua o acuotubulares del tipo semi-intemperie, una para cada Unidad Turbo-Generadora.

Los Generadores de Vapor No. 1 y 2 son marca Babcock & Wilcox, y tienen una capacidad de 150 toneladas de vapor por hora cada uno; son de tiro balanceado y tubos aletados.

Los Generadores de Vapor No. 3 y 4, son marca Combustión Engineering, y tienen una capacidad de 350 toneladas de vapor por hora cada uno; los tubos son sin aletas.

Los cuatro Generadores de Vapor operan a una presión de 62 kg/cm<sup>2</sup>, y a una temperatura de 485 °C a la salida del sobrecalentador secundario.



## **Turbogeneradores.**

La Sala de Máquinas consta de cuatro Unidades Turbo-Generadoras. Las turbinas de estas unidades operan con vapor sobrecalentado a una temperatura de 485 °C (900°F) y a una presión de 62 Kg/cm<sup>2</sup> (880 lbs./pulg<sup>2</sup>).

Las Unidades No. 1 y 2, son marca General Electric, de 32,000 kW de capacidad máxima continua de un solo cilindro para operar a 3,600 RPM. Las turbinas tienen una rueda de reacción de doble paso y 21 ruedas de impulso, sus capas están hechas de una liga de acero al cromo, la cual es extremadamente resistente a la oxidación y erosión del vapor.

Las Unidades Turbo-Generadoras No. 3 y 4, son marca A.E.G., con capacidad máxima continua de 80,000 kW, de dos cilindros, uno de alta presión y otro de baja presión, para operar a 3600 RPM. El cilindro de alta presión cuenta con una rueda de velocidad y 16 ruedas de impulso. Este cilindro fue fabricado de un acero al cromo-molibdeno, el rotor está forjado en una sola pieza y las aspas son de acero inoxidable.





## **Modernización.**

Se retiró el equipo original obsoleto, sin refacciones en el mercado y poco confiable en su operación, instalando en su lugar en las Unidades No. 1, 2 y 3 sistemas de control automático de combustión, sistemas de reducción de NOx y sistemas de monitoreo y registro. En la Unidad No. 4 se encuentra en proceso de instalación el mismo equipo el cual se pretende concluir después de la Rehabilitación Total del Generador de Vapor No. 4, los equipos instalados operan con tecnología de punta por medio de un Controlador Lógico Programable (PLC).



**Tablero Bailey Original**



**Consolas de Control Instaladas**

### **Objeto de la unidad No. 3 en la planta.**

La unidad No. 3 consiste en un turbo-generador de 82.4 MW, 3600 RPM, 60 ciclos, con un excitador directamente acoplado, con condensador precalentador de agua de alimentación y equipo de evaporación de agua de repuesto.

Se inauguró el 16 de julio de 1958 por el C. presidente de los Estados Unidos Mexicanos don Adolfo Ruiz Cortines.

En la unidad se usa para producir carga base y su operación es continua. El factor de carga es de 70% a 80% que es el resultado de la relación de los KWH, producidos durante un año, divididos entre la capacidad en KW multiplicadas por las horas de operación.

La energía se distribuye de la subestación de Lechería a las subestaciones de Cerro Gordo y Nonoalco. La mayor parte de la energía es consumida en las cercanías, ya que Tlalnepantla es un gran centro industrial.

# *Capítulo II*

## *Descripción del generador*

## **DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR.**

### **Marca y numero de fábrica.**

Marca:	AEG
Nombre de referencia:	Lechería maquina 3
Tipo de construcción:	Enfriado por H <sub>2</sub>
Año de construcción:	1957
Reconstruido para 60 Hz:	1978
Número de fábrica:	TF-FB 000 98 FM-BF 870 020

### **Generador.**

Tipo:	SKWS 3737p
Estator No:	G6991
Inductor No:	I 7470

### **Valores nominales.**

#### **Generador.**

Potencia:	103 MVA – F <sub>p</sub> =0.8 – 82.4 MW 15 lb/in <sup>2</sup> = 2.12 atm. Presión H <sub>2</sub>
	93.75 MVA – F <sub>p</sub> =0.8 – 75 MW 15 lb/in <sup>2</sup> = 1.056 atm. Presión H <sub>2</sub>
	50 MVA – F <sub>p</sub> = 0.8 - 40 MW

## Operación con aire

Potencial: 11500 V  $\pm$  5 %

Frecuencia: 60 Hz

Revoluciones: 3600 RPM

Corriente: 5160 A 2.12 atm presión H<sub>2</sub>

4710 A 1.056 atm presión H<sub>2</sub>

2500 A con operación con aire



### **Excitador principal.**

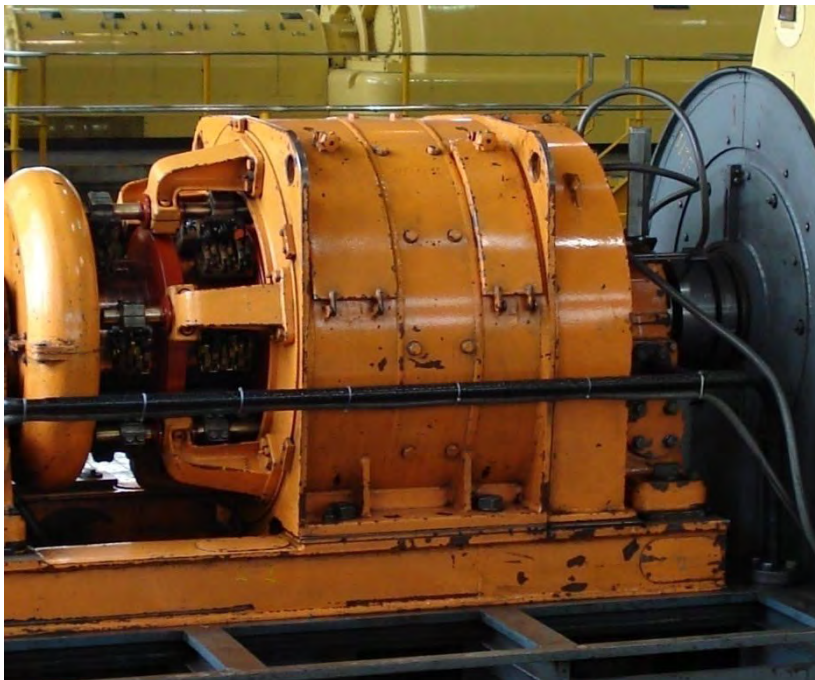
El excitador principal es un generador de corriente directa y consta de dos partes:

ROTOR: Parte giratoria donde esta instalado el embobinado del inducido, es el inducido y recibe el nombre de armadura.

ESTATOR: Parte estacionaria donde esta instalado el embobinado del campo, es el inductor y recibe el nombre de campo.

### **Maquina excitadora principal.**

Tipo:	ECT 354/27/6
Máquina No.:	785569
Potencia:	363 KW
Potencial:	220 V
Corriente:	1650 A
Revoluciones:	3600 RPM





### **Excitador piloto.**

La corriente para el excitador principal proviene del excitador piloto. La regulación de la excitación se hace por medio de un reóstato (resistencia variable), colocado entre el campo serie derivación del excitador piloto y el campo del excitador principal.

El excitador piloto tiene magnetismo remanente, de tal forma que al principiar a rodar el turbogenerador la armadura de dicho excitador piloto principiara a cortar líneas de fuerza magnética, induciendo la corriente inicial, la cual a su vez circula por los polos del campo del mismo aumentando el flujo magnético hasta llegar a su régimen normal.

### **Máquina excitadora auxiliar. (Excitador piloto)**

Tipo:	Ea 160-17
Máquina No.:	785571
Potencia:	4 KW
Potencial:	230 V
Corriente:	17.4 A
Revoluciones:	3600 RPM

### **Corriente de excitación.**

La corriente máxima en operación estable es de aproximación.

1400 A 2.12 atm presión H<sub>2</sub>

1300 A 1.056 atm presión H<sub>2</sub>

880 A con operación con aire

La indicación de la corriente de excitación no es en ningún caso una medida para la capacidad de carga del turbogenerador.



### **Anillos rozantes y conmutadores.**

El límite de desgaste exterior es de:

En los anillos rozantes del generador 380 mm  $\phi$

En los conmutadores de la máquina excitatriz principal 296 mm  $\phi$

En los conmutadores de la maquina excitatriz auxiliar 90 mm  $\phi$

### **Escobillas de carbón.**

La presión del contacto de los carbones debe ser:

En los anillos rozantes del generador 130 g/cm<sup>2</sup>

En el conmutador de la maquina excitatriz principal 200 g/cm<sup>2</sup>

En el conmutador de la maquina excitatriz auxiliar(piloto) 200 g/cm<sup>2</sup>

Escobillas para el excitador de la unidad No. 3 y No. 4.

Piloto	C320E1
Principal	C320E3
Anillos rozantes	29-D

## **Escobillas de carbón marca ELCA.**

Medidas en mm.

Tipo	Grado	Largo	Ancho	Grueso	Largo cola
C320E-3	E-49	50	32	12.5	177.8
29B	E-49	75.98	31.75	15.98	216
C320E-4B	E-46	70.0	18.5	31.75	173
29-C	E-27	40.0	25	12.5	76.2
29D	E-46	50	32	20	125

## **Descripción del estator.**

En el estator se montan varias bobinas formadas por muchas espiras conectadas en serie, de tal forma que al ser cortadas por el campo magnético giratorio del rotor, se induce en cada una de ellas una F. E. M., que al sumarse todas ellas produce una mayor potencia de salida del generador.

Núcleo del estator.

Esta formado por delgadas laminillas de acero al silicio de pequeñas perdidas, las cuales son troqueladas para formar las ranuras donde van unidas por medio de una cuña después de haber recibido cada una de ellas un "baño" de barniz aislante con el fin de reducir las pérdidas por el efecto joule al inducirse fuerzas electromotrices que resultan de una repartición desigual del campo magnético. A través del laminado del núcleo se tienen canales de ventilación que permiten el paso del hidrógeno refrigerante.

Cubierta.

Consta de una estructura de acero de gran resistencia mecánica, diseñada para confinar el hidrógeno refrigerante en su interior y para resistir en el caso de que se presentara una explosión interna por causa de la inflamación del hidrógeno.

En esta cubierta se encuentran soportados el núcleo del estator y los enfriadores de hidrógeno, así como también los dispositivos de sellado con aceite que evitan que el hidrógeno fluya al exterior por las uniones de la cubierta con la flecha del rotor.

## **Descripción del rotor.**

El sistema inductor que gira dentro del estator, aloja los polos magnéticos de excitación con corriente continua, y cuyo propósito es crear el flujo magnético inductor. Se alimenta mediante un sistema de anillos rozantes.

El rotor de un generador síncrono puede ser del tipo de polos salientes o polos lisos, en el primer caso se utilizan para máquinas lentas (en centrales hidroeléctricas) y en el segundo caso en máquinas que operan a mayor velocidad.

El rotor del generador de polos lisos es un cilindro de acero dulce forjado, montado en un eje para poderlo girar, con sus bobinas alojadas en las ranuras (en la periferia), que se conectan internamente a los anillos rozantes.

## **Chumaceras.**

El rotor del generador se encuentra soportado en sus extremos por las chumaceras del No. 5 y 6, así como también el rotor de la excitatriz, por la chumacera del No. 7, localizada entre el excitador piloto y el excitador de corriente alterna.

Para mantener a la flecha libre de esfuerzos indebidos por causa de deflexión de la flecha o por un mal alineamiento, las chumaceras en su parte exterior son esféricas para que resulten auto alienables. Por su parte inferior las chumaceras están cubiertas por una camisa de metal BABBITT antifricción y lubricadas por aceite a presión del sistema de lubricación de la turbina.

En los soportes de las chumaceras, se encuentran soportados los elementos para formar los sellos de aceite que evitan que el hidrógeno escape del interior del generador.

## **Sistema de excitación.**

Esta directamente acoplado a la flecha del generador con un acoplamiento doblemente flexible. Se puede considerar como unidad separada, ya que tiene sus propias chumaceras, base, cubierta y sistema de ventilación.

El acoplamiento entre las flechas del generador y del excitador está aislado, para evitar corrientes circulantes en la flecha.

Los anillos colectores del generador se encuentran dentro de la cubierta del excitador. Las conexiones eléctricas y las tuberías de aceite se encuentran en la base del excitador.

## **Quebradora de excitación.**

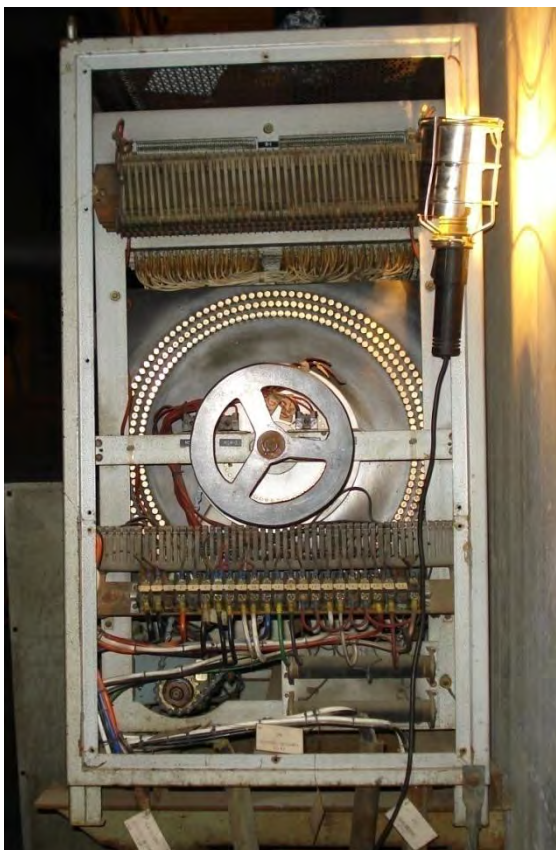
La quebradora de excitación es simplemente un interruptor de corriente directa. La quebradora en un disturbio abre, con lo que la excitación al generador queda cortada y la corriente que queda en el generador se disipa en una resistencia de descarga de la quebradora.

La quebradora de excitación se encuentra entre los anillos rozantes del campo del generador y el excitador principal.



## **Regulador de voltaje.**

El regulador de voltaje está constituido por una serie de circuitos electromagnéticos, cada uno de los cuales desempeña una función específica.



El regulador de voltaje tiene dos formas de ser operado una es mediante el ajustador manual (reostato 70E) y otra en forma automática mediante el ajustador automático (reostato 90R), ambos controlados desde la sala de control, las principales funciones que desempeña el regulador de voltaje del generador son las siguientes.

- a).** Regulador de voltaje de salida del generador de tal forma que permanezca constante. Cabe aclarar que cuando el generador se encuentra sincronizado al Sistema Eléctrico Nacional, esta característica pasa a segundo término, ya que este será el que rija las condiciones de generación.
- b).** Repartir uniformemente la potencia reactiva. Cuando el generador se encuentra sincronizado al Sistema Eléctrico Nacional, se establece una característica sobre la potencia reactiva del generador y el voltaje del sistema, de tal forma que al producirse un cambio en

el voltaje del sistema, el regulador de voltaje responde con un cambio proporcional de la potencia reactiva del generador.

**c).** Mejorar la estabilidad dinámica del generador cuando éste se encuentra sincronizado al Sistema Eléctrico Nacional, si las condiciones de trabajo obligan a operarlo sub excitado, con un valor de excitación cercano al límite de estabilidad del generador, de tal forma que al presentarse un aumento de carga reactiva en el sistema, el regulador de voltaje aumente la excitación del generador, para que este no rebase el límite de estabilidad y salga de sincronía.

**d).** Mantener un factor de potencia constante durante la operación.

A continuación se describirá la función que desempeñan los circuitos principales que componen el regulador de voltaje.

- Circuito sensor de voltaje. Este circuito tiene la función de censar el voltaje y la corriente de salida del generador y proporcionar una señal adecuada de retroalimentación al regulador de voltaje, lo cual hace a través de los transformadores de corriente y de potencia. En otras palabras este circuito le sirve al regulador de voltaje, para cuantificar el voltaje y la corriente de salida del generador.
- Circuito seguidor de voltaje. La función de este circuito es la de hacer que el reostato manual 70E siga al reostato automático 90R, cuando este se encuentra en servicio, de tal manera que cuando se hace la transferencia del 90R al 70E, no existe señal de error que corregir.
- Circuito compensador de reactivos. Este circuito tiene la finalidad de establecer una característica proporcional entre las variaciones de potencia reactiva y el voltaje del generador, estando este sincronizado al Sistema Eléctrico Nacional. Este circuito hace que el generador varíe su excitación de tal manera que consuma o genere mayor potencia reactiva cuando en el sistema se presente una variación de esta.
- Circuito limitador de baja excitación. Este circuito fija un valor mínimo de excitación del generador, evitando que cuando la demanda de potencia reactiva del sistema se reduce, el generador reduzca también su excitación (para tratar de consumir mayor cantidad de reactivos del sistema), a tal grado que lleguen a producirse calentamientos excesivos en las bobinas del estator o llegar a la pérdida de sincronismo.

- Ajustador manual de voltaje 70E. Es un reostato o potenciómetro, movido por un motor eléctrico controlado desde la sala de control, se utiliza para regular la corriente de excitación del generador manualmente. Generalmente se usa al inicio de la excitación y cuando alcanza el voltaje nominal de generación normalmente se hace la transferencia al ajustador automático 90R.
- Ajustador automático de voltaje 90R. Al igual que el 70E es un reostato o potenciómetro accionado por un motor eléctrico que se gobierna desde la sala de control, la función que desempeña el 90R cuando se encuentra en servicio es la de fijar el voltaje automático de voltaje como referencia.

Lo que ocurre cuando se varía el voltaje de excitación de referencia (estando en servicio el 90R y el generador sincronizado al sistema), es que varía la aportación o consumo de potencia reactiva, del generador al sistema.



# *Capítulo III*

## *Operación y circuito equivalente del generador*

## **OPERACIÓN DEL GENERADOR.**

La operación del generador se basa en el siguiente principio:

Siempre que halla un movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor la dirección del movimiento sea tal que el conductor corte las líneas de flujo del campo magnético, se tiene una fuerza electromotriz inducida (FEM) dependerá de los siguientes factores:

- a. Intensidad del campo magnético.
- b. Rapidez con que se cortan las líneas de flujo.
- c. Longitud del conductor.

El generador esta constituido de un rotor y de un estator. Los devanados del rotor están dispuestos de tal manera, que al ser excitados por una fuente de corriente directa forman dos polos magnéticos. El devanado del rotor esta conectado a anillos rozantes y es excitado por un sistema de excitación estática por medio de escobillas.

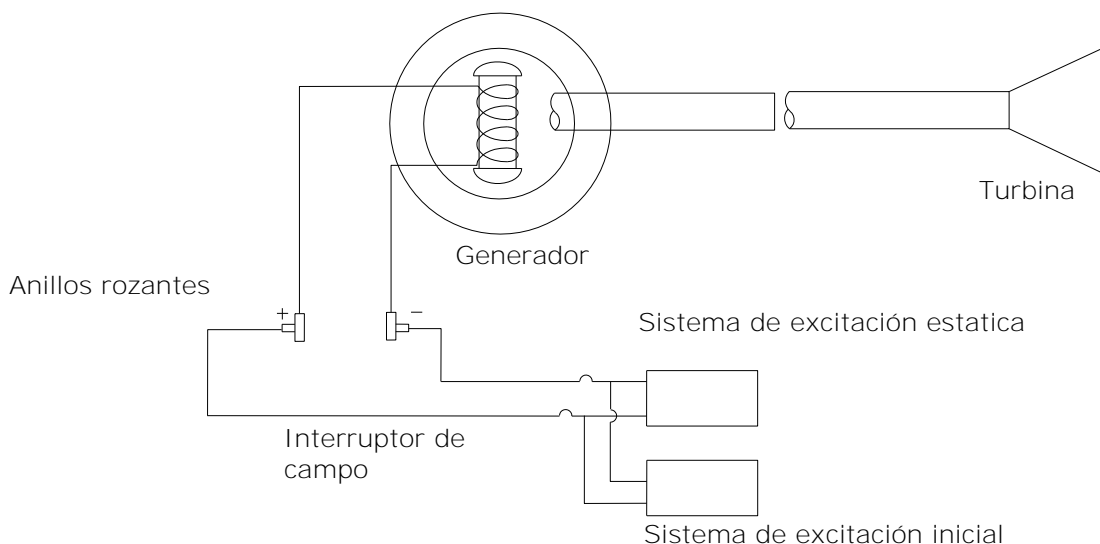


Diagrama esquemático, acoplamiento mecánico generador turbina

La turbina (acoplada directamente al generador) al recibir el impulso del vapor hace girar al rotor del generador, el campo magnético giratorio del rotor induce voltajes senoidales balanceados en los devanados del estator.

La magnitud de la fuerza inducida (FEM) será:

$$e = \frac{d\phi}{dt}$$

En donde,  $\phi$  representa el flujo eslabonado por el circuito (bobinas del estator) en Maxwell y  $d\phi$  el cambio de flujo durante un  $dt$  en segundos.

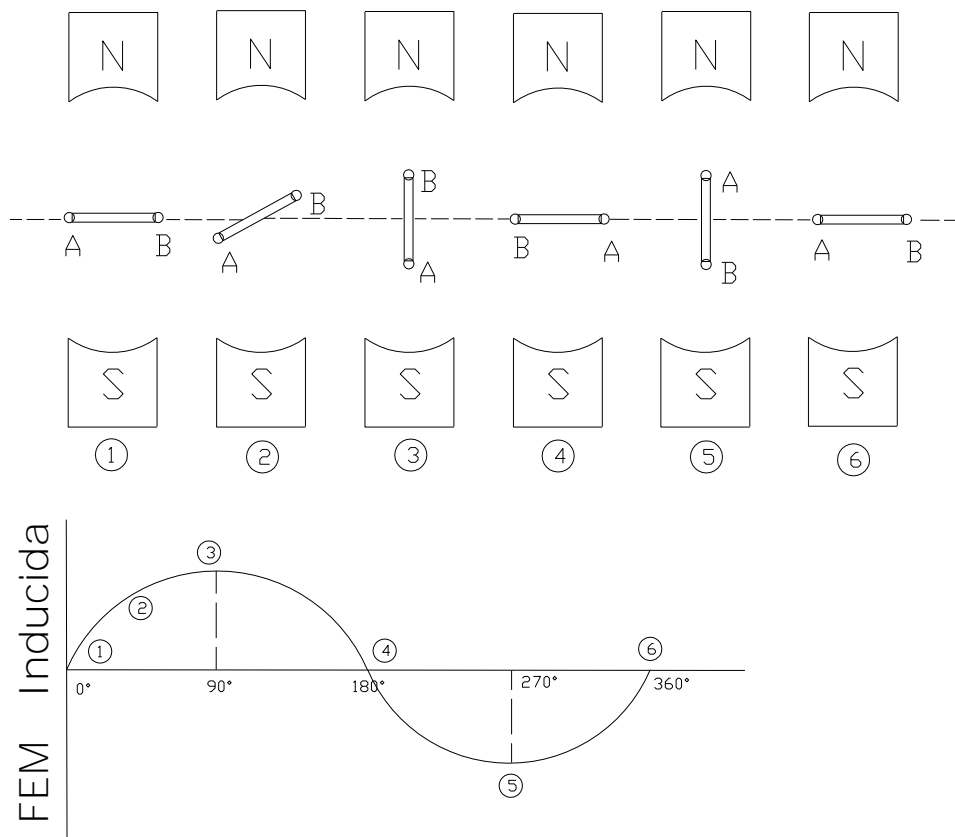
La FEM inducida  $e$  es de tal sentido que la corriente inducida se opone al cambio de flujo y la expresión anterior queda representada como:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ volts}$$

En el caso del generador No. 3, Después de alcanzar las revoluciones normales (3,600 rpm) se puede excitar el generador. Para poder lograr esto, el reóstato del campo debe estar en su posición inicial, o sea, excitación máxima y el interruptor del regulador en la posición "0" (apagado). **Ahora puede ser conectada la quebradora de excitación.** Posteriormente por medio del reóstato del campo se deberá ajustar el potencial del generador (voltaje) hasta llegar al potencial nominal (11,500 voltios) para poder sincronizar. Es necesario que el potencial del generador se haya logrado igualar al potencial del sistema, las revoluciones del generador de la secuencia de fases de la red.

## Magnitud de la Fem inducida.

Para inducir una FEM es necesario que exista un movimiento relativo entre los conductores y el campo magnético, considerando una maquina bipolar con una bobina de una espira cuya posición para los diferentes instantes de tiempo se muestra en las figuras siguientes.



Generación onda-seno, FEM inducida.

De las figuras anteriores se puede deducir lo siguiente:

Por cada rotación completa de la espira se genera un ciclo de salida sinusoidal. Cuando el plano de la espira es perpendicular al flujo polar  $\phi$ , la FEM inducida es nula (posición No. 1) y cuando la espira se ha

desplazado un ángulo  $\alpha$  igual a  $90^\circ$ , la FEM inducida es máxima (posición No. 3).

De lo anterior resulta;

$$\phi = \phi_1 \cos \alpha$$

Donde

$\phi$  = flujo eslabonado.

$\phi_1$  = Flujo polar.

$\alpha$  = ángulo de desplazamiento de la bobina.

Sustituyendo el valor de  $\phi$  en la expresión

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ volts}$$

$$e = -\frac{d}{dt} (\phi_1 \cos \alpha \times 10^{-8})$$

$$e = \phi_1 \times 10^{-8} \operatorname{sen} \alpha \frac{d\alpha}{dt}$$

Como  $\frac{d\alpha}{dt} = 2\pi f$  = velocidad angular.

$$e = 2\pi f \phi_1 \operatorname{sen} \alpha \times 10^{-8}$$

Para  $\alpha = 90^\circ$ , se tiene el valor máximo de FEM.

$$e = 2\pi f \phi_1 \times 10^{-8}$$

El valor eficaz de la FEM resulta:

$$e_{\text{eficaz}} = 4.44 f \phi_1 \times 10^{-8}$$

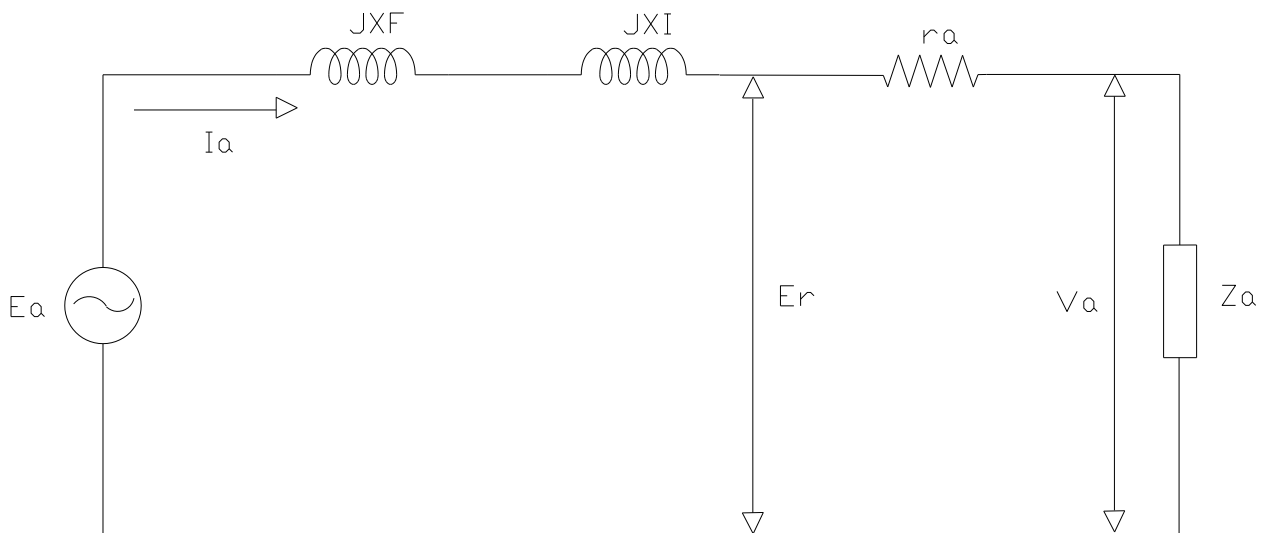
La expresión anterior es válida si la bobina es de una espira, si la bobina está formada por N número de espiras resulta:

$$e_{\text{eficaz}} = 4.44 f N \phi_1 \times 10^{-8}$$

## **Circuito equivalente del generador.**

El generador como parte de un sistema de potencia se le representa mediante un circuito equivalente el cual es útil para los estudios de estabilidad y análisis de sistemas de potencia.

Siendo un sistema balanceado se puede analizar una sola fase.



Circuito equivalente del generador

$E_a$  = Tensión del generador en vacío.

$E_r$  = Tensión en el entrehierro.

$V_a$  = Tensión del generador con carga.

$JXF$  = Reactancia debido a la reacción de armadura.

$JXI$  = Reactancia de dispersión.

$R_a$  = resistencia de fase.

## **Curva de capacidad.**

La curva de capacidad es una gráfica donde se muestran las limitaciones, en cuanto potencia real (MW) y potencia reactiva (MVAR) del generador.

La capacidad del generador está limitada por los siguientes factores:

El calentamiento en el devanado del rotor, cuando el generador está operando con factor de potencia atrasado y es necesario sobre-excitar el campo.

La potencia mecánica que puede entregar el primotor (en este caso la turbina) al generador.

La tensión mínima con la que puede operar el generador sin riesgo de perder su sincronismo (factor de potencia adelantado, campo sub-excitado)

### Generador sobre-excitado.

El generador actúa como un productor de negativos y la carga inductiva que soporta de provoca un factor de potencia atrasado. En estas condiciones del límite superior de la curva de capacidad se debe al calentamiento del devanado del rotor (MVAR saliendo).

Esta condición se presenta generalmente la hora pico y en horas de alta demanda.

### Generador sub-excitado.

Cuando la carga que soporta el generador es capacitiva el generador es sub-excitado. Los MVAR son negativos y el factor de potencia es adelantado. Actuando el generador como un consumidor de reactivos (MVAR entrando).

En este caso el límite inferior de la curva de capacidad corresponde a la estabilidad de la máquina; ya que si esta se sub-excita demasiado puede perder su sincronismo. Esta condición de factor de potencia adelantado se vuelve crítica en las madrugadas. Cuando los sistemas tienen mínima demanda y todas las líneas energizadas con baja carga aportan sus reactivos capacitivos únicamente. En la



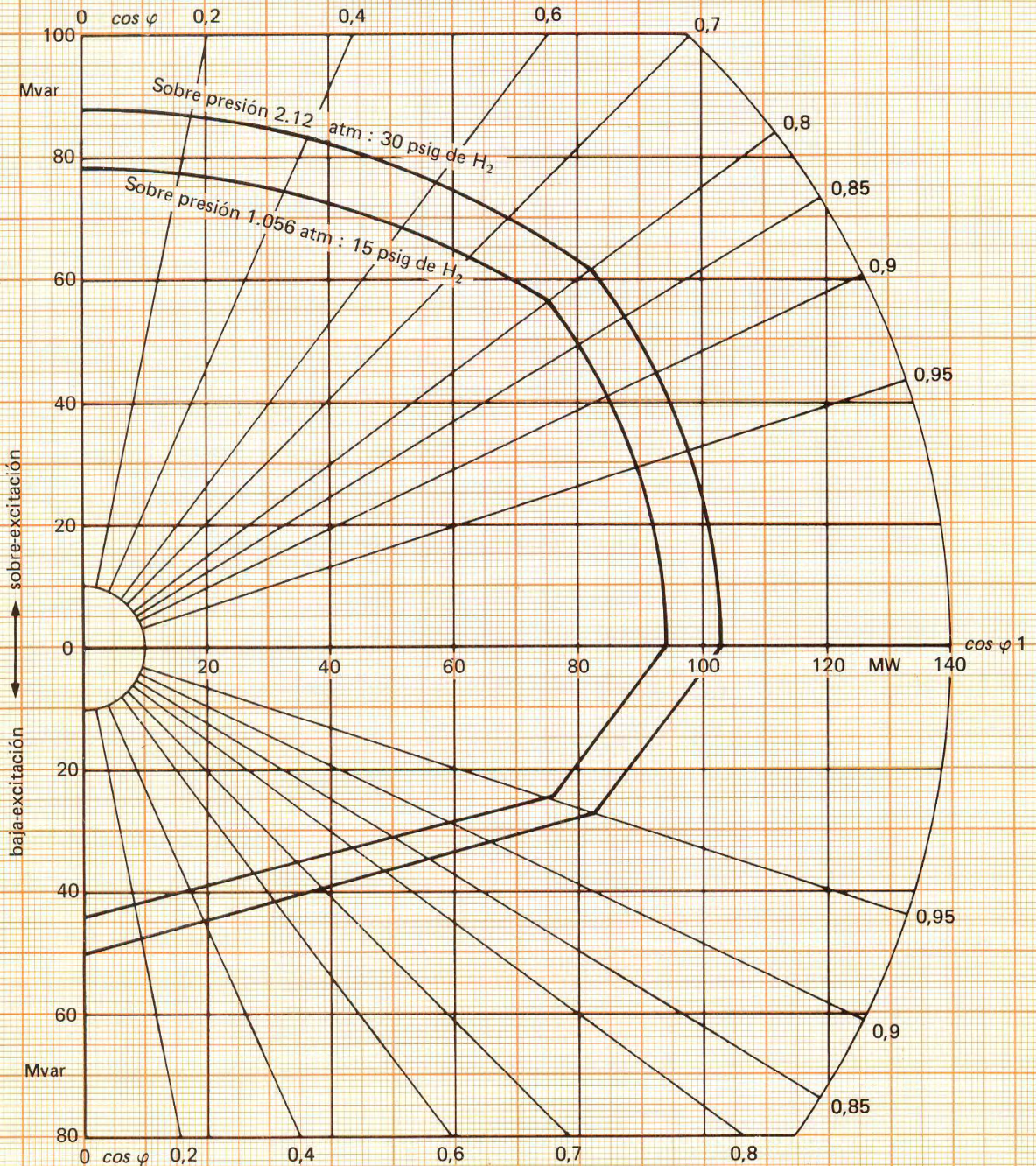
grafica siguiente se muestra el comportamiento de la carga reactiva, unidad No. 3 planta termoeléctrica Jorge Luque.



Interpretación:

103 MVA — 11,5 kV ± 5 %  
 88,4 MW — 5,16 kA  
 60 Hz — 60 s<sup>-1</sup>  
 cos φ 0,8  
 2,12 atm : 30 psig sobre-presión de H<sub>2</sub>

Planta: Lechería Maq. 3 No. de Fabr. 870 020  
 Lechería Maq. 4 No. de Fabr. 870 061



Sin nuestra expresa autorización, queda terminantemente prohibida  
 cualquier reproducción o comunicación a terceros. De los  
 infractores se exigirá el correspondiente resarcimiento de daños y  
 costas de proceso de inculcación o el registro de Violación Industrial.



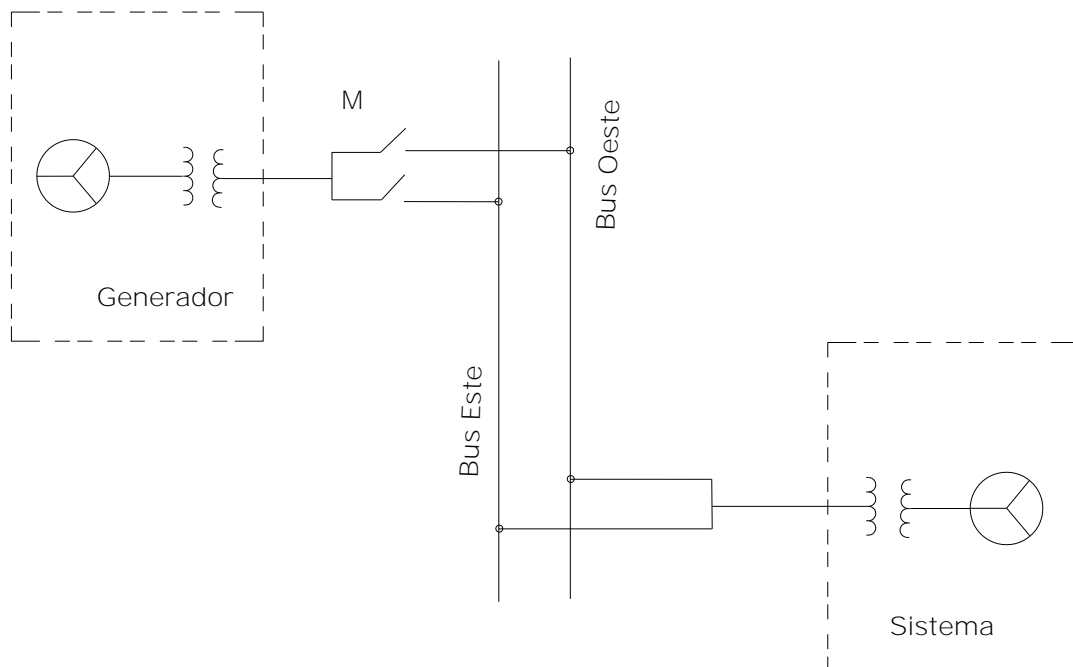
# *Capítulo IV*

## *Sincronización y sistema de enfriamiento del generador*

## **Sincronización.**

El generador puede operarse como una maquina independiente, pero comúnmente es solo una de tantas maquinas en el sistema de potencia interconectado en donde opera en paralelo y en sincronismo.

Se llama sincronización al acoplamiento de una maquina síncrona (generador) al sistema.



Generador a sincronizar.

Para sincronizar un generador al sistema es necesario que se satisfagan las condiciones siguientes:

Que la tensión del generador sea igual a la tensión del sistema.

Que la frecuencia del generador sea igual a la frecuencia del sistema.

Que el ángulo de fase del generador sea igual al ángulo de fase del sistema.

Descripción fasorial.

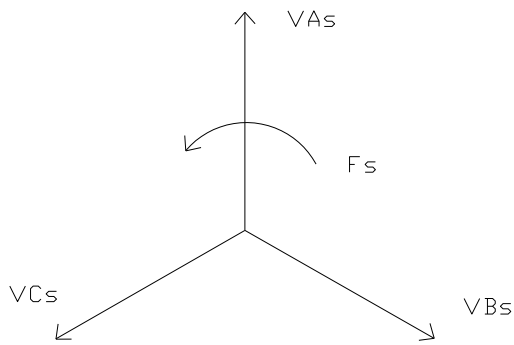


Diagrama fasorial del sistema

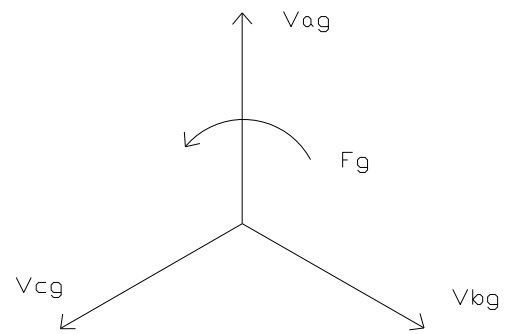
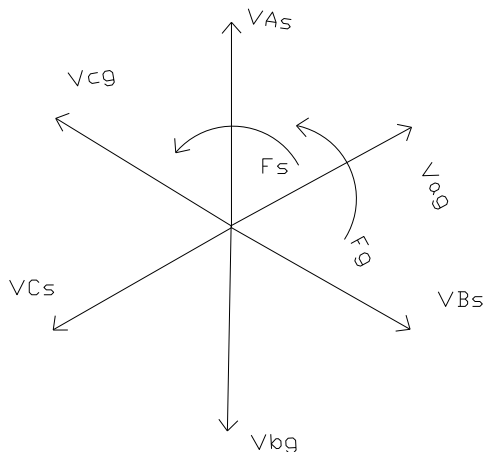


Diagrama fasorial del generador.

Donde:

- Vas, VBs y VCs = Fasores de voltaje del sistema
- Vag, Vbg y Vcg = Fasores de voltaje del generador.
- Fs = Frecuencia del sistema.
- Fg = Frecuencia del generador.

Si el generador a sincronizar no está girando a la velocidad adecuada, sus fasores presentan una velocidad relativa con respecto a los fasores del sistema, lo que ocasionara una diferencia de frecuencia entre los fasores del sistema y los fasores del generador, que se le llama frecuencia relativa. Sobreponiendo los diagramas fasoriales de voltaje del generador y el sistema resulta:



Donde  
 $F \text{ relativa} = F_s - F_g$

## Diagrama fasoriales generador sistema.

Cuando el generador ha alcanzado el voltaje del sistema ( $V_g=V_s$ ), se tratará de ajustar su frecuencia respectivas haciendo que la frecuencia relativa sea igual a cero.

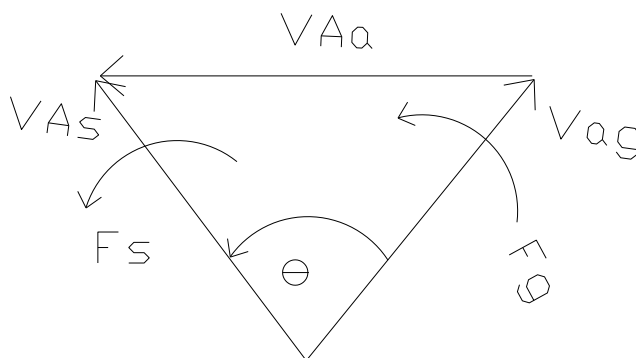
Aún cuando se tengan las condiciones de  $V_g=V_s$  y  $FR=0$ ; si existe un ángulo  $\theta$  de desplazamiento, los fasores pueden estar desfasados y el ángulo  $\theta$  indicara que habrá un voltaje entre las terminales de la misma fase con una magnitud  $V_{Aa}$ .

Donde

$$FR = f_s - f_g = 0$$

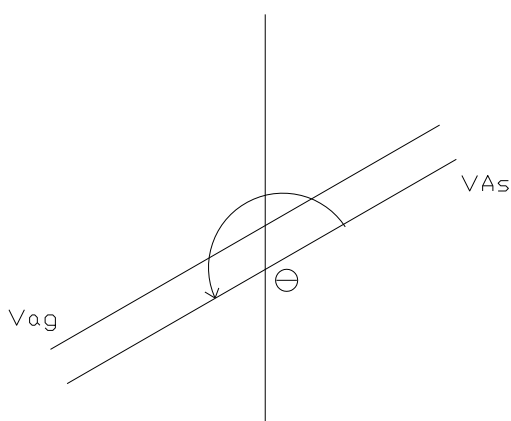
$$V_{as} = V_{ag}$$

$\theta$  = ángulo de defasamiento



En una sincronización siempre existe el riesgo de no efectuarla con un ángulo  $\theta = 0$ , si el ángulo  $\theta$  en el momento de la sincronización es mayor a  $15^\circ$  se producirá una sobrecarga brusca al generador; de tal modo que si se llega a valores entre  $40^\circ$  a  $180^\circ$  de diferencia, el generador se conectara en corto circuito con el sistema y se dañara severamente.

Sincronización con un ángulo de defasamiento igual a  $180^\circ$ .

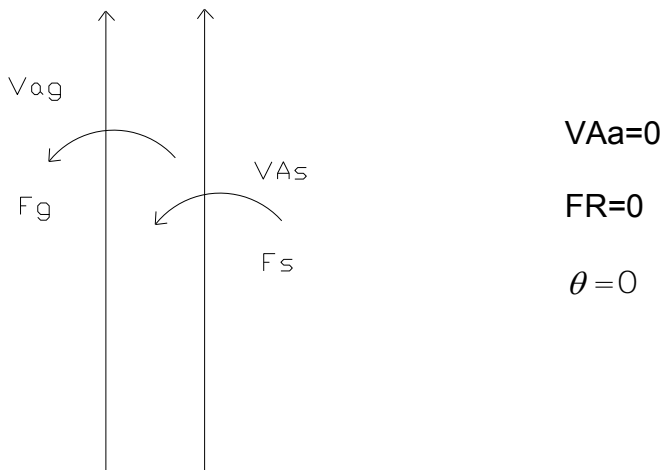


$$\theta = 180^\circ$$

$V_{as}$  = tensión máxima

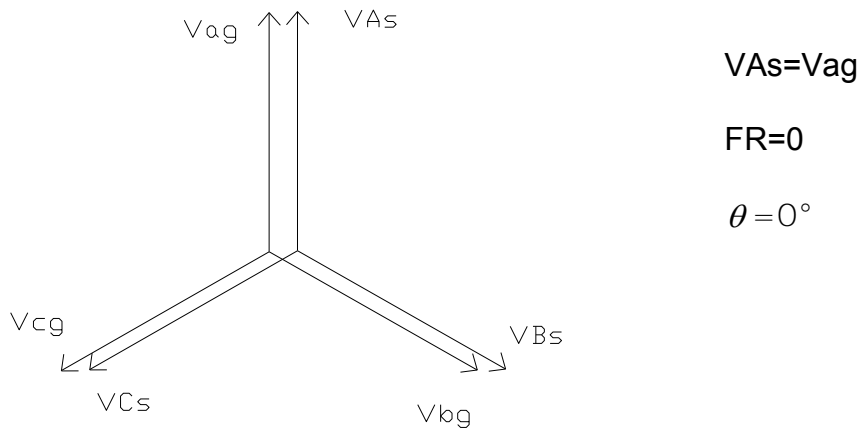
En estas condiciones el voltaje entre terminales de la misma fase es máximo e igual al doble de la tensión nominal.

Sincronización con un ángulo de defasamiento igual a  $0^\circ$ .



En estas condiciones el voltaje entre terminales de la misma fase es igual a cero.

Condición de sincronización.



Con estas condiciones se deberá cerrar los interruptores principales del generador quedando sincronizado al sistema.

## **Sistema de enfriamiento.**

### **Razones por las cuales se emplea hidrogeno en vez de aire en los turbogeneradores.**

A medida que fue aumentando la capacidad de los turbogeneradores, los constructores se dieron cuenta de que las pérdidas por fricción (usando el aire como medio enfriante), aumentaban considerablemente, así como el tamaño físico de las máquinas y su equipo de refrigeración.

En 1915 un ingeniero alemán Schuler, patento un sistema de refrigeración por medio de hidrógeno, el cual fue desarrollado y perfeccionado en EE.UU. a partir de 1926, llegándose a poner en servicio el primer generador enfriado por hidrógeno hasta 1931. El interés de los americanos por perfeccionar este método de enfriamiento era lógico, ya que la frecuencia empleada por ellos es de 60 ciclos ó sea 20% mayor que la de 50 ciclos empleados por los alemanes y por lo tanto las pérdidas por fricción a igualdad de dimensiones del rotor resultan del orden de 70% más elevadas.

El hidrogeno es un gas muy ligero, a 0°C y 760 mm de Hg. su peso específico es de 0.0898 Kg/m<sup>3</sup> y en las mismas condiciones, el aire es de 1.293 Kg/m<sup>3</sup>, es decir, el peso específico del hidrógeno es 7% del peso del aire, ó sea, 14 veces menor. Por lo tanto, el emplearse como medio refrigerante reduce considerablemente las pérdidas por fricción de un generador, permitiendo aumentar la eficiencia de 0.5 a 1% en relación con uno similar enfriado por aire" Su conductividad térmica es 7 veces mayor que la del aire y en capacidad de transferencia de calor 50% mejor que la del aire, cualidades que permiten en un generador enfriado por hidrógeno, aumentar 20% la potencia sin aumentar la temperatura del embobinado ó bien reducir en un 20 % el tamaño físico, es decir, el material activo, en relación a un generador similar enfriado por aire.

Empleando hidrógeno se aumenta la vida de los aislamientos ya que no hay producción de ozono y óxidos nitrosos por efectos corona. Se evita también el polvo y la humedad en pasajes de ventilación. Además en casos de emergencia es posible aumentar la potencia de salida sin aumentar la temperatura del embobinado, subiendo la presión de hidrógeno ya que el incremento de presión aumenta la densidad del gas y por lo tanto su capacidad de absorción de calor, además de que acelera considerablemente la transmisión de calor

superficial aunque en menor proporción que la capacidad de absorción térmica.

### **Desventajas del hidrógeno como medio enfriante en generadores.**

El hidrógeno puro no es inflamable ni explosivo, pero una mezcla de hidrógeno con aire que contenga entre 5 y 75% de hidrógeno en volumen, puede explotar al contacto con una chispa o flama abierta. La mezcla más explosiva se forma cuando hay de 30 a 35% de hidrógeno en aire, ó sea cuando hay tal cantidad de **oxígeno** que es ya suficiente para convertir el hidrogeno en agua por combustión.

La presión generada durante una explosión depende de la presión inicial de la mezcla y de su concentración de hidrógeno.

La compañía General Electric ha calculado que si una mezcla que tenga 30% de concentración de hidrógeno y una presión de 0.5 lbs/pulg.<sup>2</sup> explotara, la presión subiría a 80 lbs/pulg.<sup>2</sup> aproximadamente. Ahora si la presión inicial fuera de 15 lbs/ pulg.<sup>2</sup> la presión en caso de explosión llegaría aproximadamente a 160 lbs/pulg.<sup>2</sup>

Otra desventaja del hidrógeno es que tiene una velocidad de difusión muy alta, aproximadamente 4 veces mayor que la del aire, es decir, que este gas es el más difícil de confinar pues se difunde o escapa con la mayor facilidad a través de los más pequeños pasos, como son: poros de cordones de soldadura, empaques flojos, prensa, estopas, asientos de válvulas, pequeñas grietas de diafragma, etc. etc., por lo cual se requiere en los generadores una construcción especial para hacerlos herméticos y una buena selección del equipo auxiliar así como una instalación cuidadosa para evitar las ya mencionadas fugas de hidrógeno.

### **Detalles constructivos.**

En vista de las características del hidrógeno, al emplearse como medio enfriante, los diseñadores de generadores tienen que satisfacer varios requisitos de construcción para que sus máquinas resulten seguras y eficientes; los principales se especifican a continuación:

1. El generador debe ser lo suficientemente hermético, para evitar que el hidrógeno se fugue al exterior y pueda producir concentraciones peligrosas, especialmente en locales cerrados y

para permitir que los consumos diarios de gas queden dentro de los límites económicos establecidos por la práctica.

2. La carcasa del generador debe construirse en tal forma que resista una explosión interna sin romperse y poner en peligro la vida del personal.
3. El generador debe tener los medios necesarios para mantener durante su operación y aún en reposo, una determinada pureza de hidrógeno.
4. El generador debe tener un sistema de protección lo suficientemente amplio para: prevenir explosiones, evitar la destrucción de sus mecanismos de sello y dar previa alarma en caso de fallas del equipo ó de situaciones anormales de operación.

Refiriéndonos ya en concreto a los generadores de 82,400 KW de la Planta Termoeléctrica de Lechería, la Compañía A.E.G., quien proporcionó y construyó este equipo, resolvió los problemas anteriormente mencionados como sigue:

### **Hermeticidad.**

En el generador se logra principalmente por medio de sellos mecánicos que impiden la fuga del hidrógeno en los lugares donde la flecha del generador atraviesa la carcasa.

Existen dos tipos de sellos de hidrógeno: sellos radiales y sellos axiales, que son usados por la mayor parte de los fabricantes de generadores con las variantes propias de las patentes empleadas, por ejemplo: Allis Chalmers, emplea sellos axiales, General Electric, sellos radiales; Westinghouse sellos radiales; Brown Boveri, sellos radiales, A.E.G., sellos axiales.

Ambos tipos de sellos tienen sus ventajas y desventajas su construcción en forma genérica puede apreciarse en el dibujo No. 1 que muestra ambos tipos de sellos y sus diferencias básicas. Los sellos radiales son similares a los instalados en los generadores General Electric de Lechería y los axiales similares a los instalados en los generadores A.E.G. de la misma Planta.



El Dibujo No.2 muestra un corte de los sellos axiales empleados en los generadores Nos. 3 y 4 de la Planta de Lechería. La flecha del rotor atraviesa la carcasa en ambos extremos a través de un grupo de sellos de laberinto cuyas luces aproximadas son del orden de 0.012".

Estos laberintos tienen dos objetos: evitar que el aceite de sellos pase al generador ó evitar un paso rápida de hidrógeno hacia las cámaras en caso de apertura de los sellos.

A continuación la flecha pasa a unas cámaras laterales que contienen los sellos axiales y las chumaceras del generador.

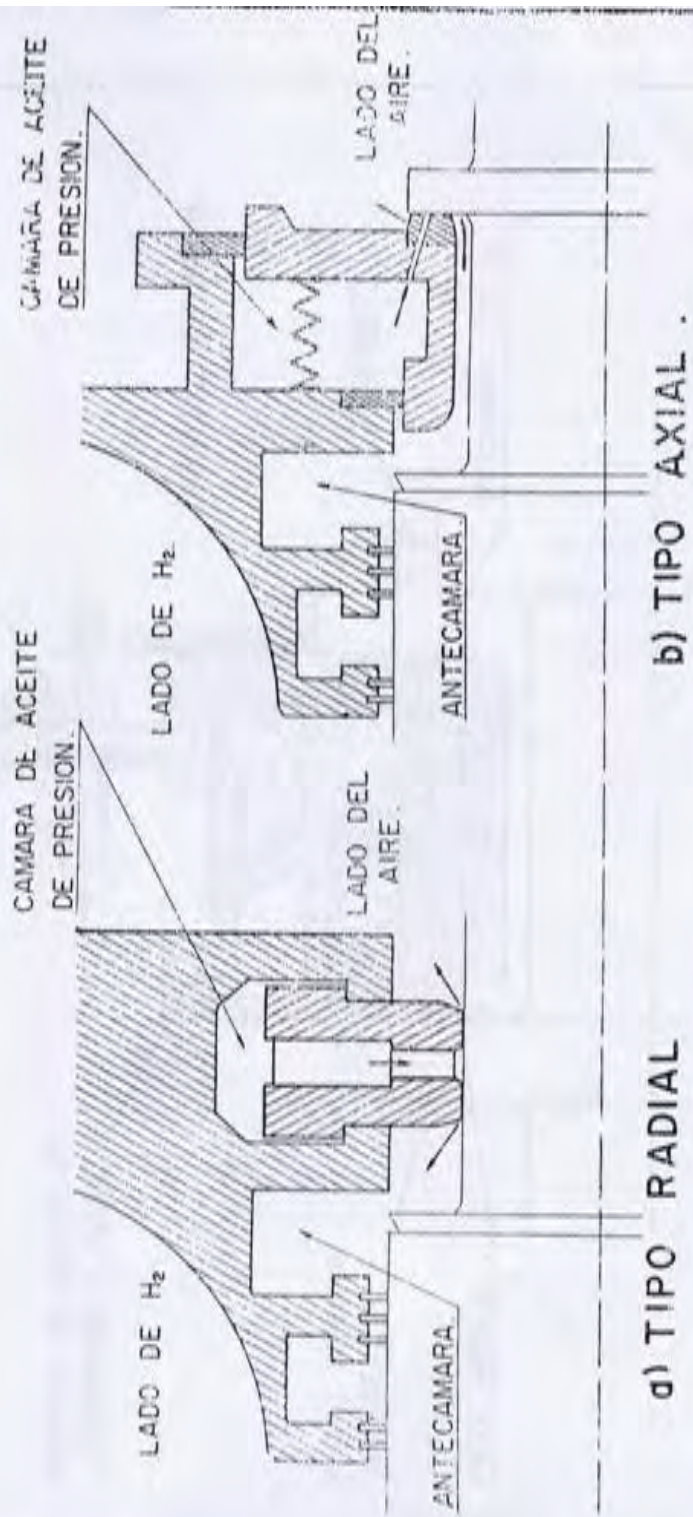
En estas cámaras la flecha tiene un plato o disco integral de acero que constituye una de las caras del sello de hidrógeno, la otra parte del sello la forma una pieza anular de bronce cuyo extremo exterior está recubierto con metal babbit y que puede desplazarse en forma similar a la de un pistón dentro de un cilindro, siendo en nuestro caso la pieza anular, el pistón y el cilindro las guías de la pieza anular.

El sello se forma cuando se ponen en contacto el babbit de la pieza anular con el plato de acero de la flecha a través por supuesto, de una película de aceite lubricante que derrama tanto hacia el lado de aire del generador, como hacia el lado de hidrógeno.

La pieza anular es hueca y en su interior actúa aceite a presión para impulsarla hacia adelante, venciendo la tensión de un grupo de resortes y mantenerla en contacto con el plato de la flecha.

Los resortes tienden a jalar hacia atrás la pieza anular al perderse la presión de aceite, por lo cual cuando esto sucede se abre el sello y el H<sub>2</sub> de la carcasa escapa hacia la cámara y posteriormente hacia la atmósfera por medio de una tubería de venteo adecuada. La pieza anular tiene un segundo conducto interior y por el que circula aceite a presión hacia una serie de orificios que desembocan en la cara exterior de la pieza anular atravesando el recubrimiento de babbit. Este aceite forma en realidad el sello que impide escapar el hidrógeno y lubrica al mismo tiempo las superficies de fricción, impidiendo el roce de metal contra metal y por lo tanto, su destrucción.

**FIGURA N°1.**

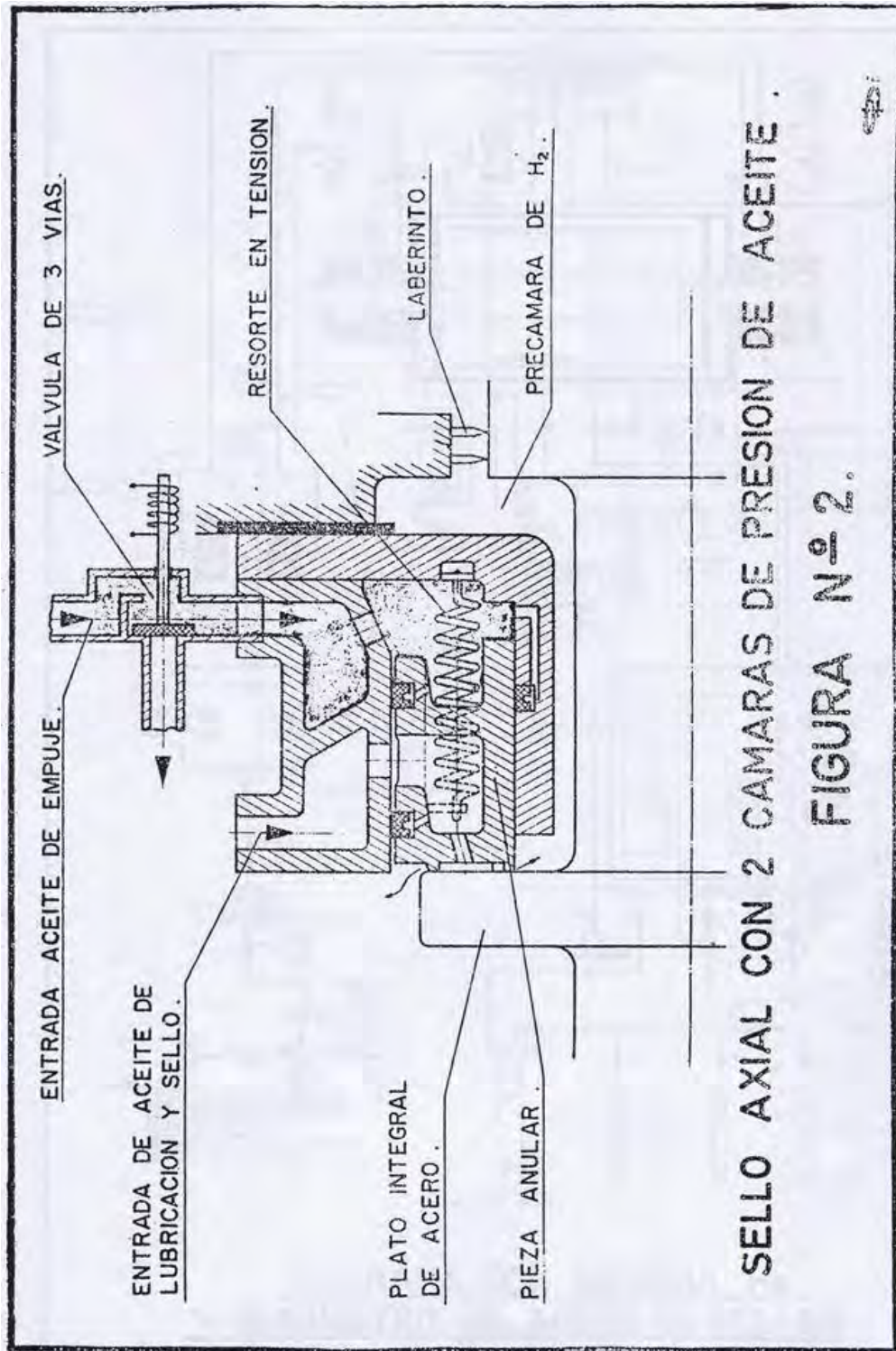


a) TIPO RADIAL

b) TIPO AXIAL .

SELLO DE H<sub>2</sub>

Sp. Car.



SELLO AXIAL CON 2 CAMARAS DE PRESION DE ACEITE .  
 FIGURA N° 2.

eps

## **Carcaza del generador.**

Está construida de una sola pieza cilíndrica soldada y puede resistir una presión interna de  $10 \text{ Kg/cm}^2$ ; en la fábrica es probada hidrostáticamente a dicha presión. El objeto de tal construcción es resistir una explosión interna.

Ya se vio que la intensidad de una explosión y por lo tanto la presión máxima que originaría, dependen de la presión inicial y de las proporciones de la mezcla explosiva, pero para efectos y construcción de la carcaza del generador no se toma en cuenta la presión de trabajo, pues como es lógico, cualquier presión superior a la atmosférica impide que entre aire al generador y por lo tanto que haya mezcla explosiva.

Si la presión se perdiera por alguna fuga o apertura de los sellos y llegara a producirse una mezcla explosiva, la cual comienza desde que el porcentaje de aire llega a 25%, la explosión sería con una presión inicial de prácticamente la atmosférica y por lo tanto los fabricantes calculan su carcaza para resistir presiones máximas de  $10 \text{ Kgs/cm}^2$  las cuales son el doble de la presión que originaría una explosión en las condiciones mencionadas, es decir, que emplean un factor de seguridad de 2.

## **Control de la pureza del hidrogeno.**

En general todos los fabricantes de generadores establecen que la pureza del hidrógeno debe mantenerse normalmente en valores de 97% ó superiores. La AEG, establece precisamente 97% como la pureza normal de operación y 90% como la pureza a la cual debe sonar una alarma a fin de que se proceda a restablecer las condiciones normales.

La razón de mantener la pureza tan alta no es precisamente. Para evitar los riesgos de una explosión, puesto que existe este peligro hasta que la misma llega a 75% sino que la pureza del hidrógeno tiene una gran influencia en las pérdidas de fricción, por ejemplo: en un generador de 125 **MVA** el consumo de potencia del ventilador es de 42 KW a una pureza de 96%, pero si ésta baja a 90%, el consumo de potencia sube a 65 KW. Así pues, aunque el consumo de hidrógeno suba ligeramente, conviene mantener alta la pureza.

El hidrógeno en la carcaza de un generador, baja su pureza no porque tenga entradas de aire atmosférico, sino porque el aceite de los sellos que derrama hacia el lado de hidrógeno desprende el aire que trae en solución el cual contamina el hidrógeno. El sistema empleado para mantener la pureza consiste en barrer una cierta

cantidad de hidrógeno hacia la atmósfera, y reponerlo con la misma cantidad de hidrógeno puro, manteniendo así la presión constante y la pureza en su valor correcto.

El medidor eléctrico de pureza no es más que un puente de Wheatstone en el cual dos de las resistencias reciben hidrógeno puro de las botellas y las otras dos resistencias reciben hidrógeno de la carcasa del generador. El calor que desarrollan los dos juegos de resistencias al paso de la corriente eléctrica se transfiere al hidrógeno puro y al hidrógeno del generador, pero como ambos gases tienen diferente pureza y por lo tanto diferente conductividad térmica, las dos ramas del puente tienen diferentes temperaturas y el conjunto está desbalanceado y circula por lo tanto una corriente hacia el instrumento calibrado en % de pureza de hidrógeno.

### **Sistema de alarmas y protección.**

Su objeto es; avisar al operador cuando exista alguna situación anormal a fin de que proceda a corregirla, pero si tal corrección no es posible efectuarla en un plazo razonable, el sistema se protege asimismo contra explosiones o contra destrucción mecánica de sus elementos.

La primera protección, consiste en impedir que el aceite de los sellos axiales que escurre hacia el lado de hidrógeno del generador y que por lo tanto lleva hidrógeno diluido, así como hidrógeno puro de las cámaras vaya a pasar hasta el tanque de aceite de la máquina y pueda producir una explosión externa.

Esto se logra mandando este aceite y el hidrógeno correspondiente a una trampa que los recolecta y que automáticamente al subir el nivel permite la salida del aceite reteniendo el gas. El aceite que sale de la trampa pasa por una tubería provista de un sello hidráulico hasta un tanque separador de hidrógeno que elimina el gas hacia la atmósfera por medio de una tubería de venteo.

El sello hidráulico, evita el paso del hidrógeno hacia el circuito de aceite aún en los casos en que la presión en las cámaras y en la trampa llegara a 2 Kgs/cm<sup>2</sup> por aperturas de los sellos de hidrógeno. Al separador de aceite llegan también los flujos de aceite de sellos que escurren al lado de aire y el aceite que sale de las chumaceras del generador. El flujo que sale del separador de aceite se junta posteriormente con los flujos de las demás chumaceras de la unidad y el total llega al tanque de aceite de la turbina completamente libre de hidrógeno.

La trampa de aceite tiene manera de medir los flujos de aceite saliendo del lado de hidrógeno de los sellos y por lo tanto permite checar las condiciones de operación de los mismos. Está provisto de alarmas de alto y bajo nivel. En cada una de las cámaras laterales del generador lado de aire, existe un venteo hacia la atmósfera en cuya línea se encuentra instalado un extractor que opera en forma continua para mantenerlas libres de hidrógeno y que también permite checar la operación correcta de los sellos.

# *Capítulo V*

## *Mantenimiento preventivo*

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. A diferencia del mantenimiento correctivo, la sustitución de las piezas o partes del sistema que pudieran causar averías se realiza con una cierta periodicidad, determinada mediante criterios estadísticos.

Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo preprogramado, o al producirse una avería, si ésta ocurre antes.

Debido a que toda avería tiene carácter estocástico, es bastante improbable que las labores de mantenimiento preventivo realicen la sustitución de los elementos justo antes de que ésta se produzca, causando de este modo un evidente desaprovechamiento de la reserva de uso de los equipos. En cualquier caso es evidente que, para la planificación de actividades del mantenimiento preventivo, es necesaria una correcta aplicación de criterios estadísticos para determinar los tiempos óptimos de intervención, ya que si éstos no son los adecuados, podrían generarse importantes pérdidas.

El mantenimiento preventivo habitualmente comprende una serie de actividades características:

- Limpieza y revisiones periódicas.
- Conservación de equipos y protección contra los agentes ambientales.
- Control de la lubricación.
- Reparación y recambio de los puntos del sistema identificados como puntos débiles.
- Reparación y recambios planificados.



## **Ventajas del mantenimiento preventivo.**

La principal ventaja del mantenimiento preventivo frente a las técnicas estrictamente correctivas estriba en una importante reducción de las paradas eventuales, obtenida al introducir una cierta periodicidad en la observación y reparación del sistema.

## **Inconvenientes del mantenimiento preventivo.**

Las desventajas de esta forma de mantenimiento derivan de la dificultad que entraña estimar de forma correcta los tiempos necesarios para realizar las intervenciones: si se interrumpe el funcionamiento normal de un sistema y se altera su vida útil de forma innecesaria, su reserva de uso será totalmente desaprovechada, además de producir una acumulación inútil de actividades preventivas que aumentan el gasto y reducen la disponibilidad. Por otro lado, si la programación preventiva se retrasa con respecto a la avería, el mantenimiento correctivo sustituye al preventivo con lo que vuelven a aparecer los inconvenientes citados anteriormente.

## **Posibles aplicaciones del mantenimiento preventivo.**

Por los motivos expuestos en el párrafo anterior es fácil llegar a la conclusión de que el mantenimiento preventivo requiere modelos que optimicen su programación, ya que las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a tiempos de intervención no son totalmente válidas, al no disponer aquéllos datos sobre las condiciones particulares de funcionamiento de cada sistema.

Aún así, apoyado por la aplicación de técnicas informáticas a la estadística, la teoría de la fiabilidad y otras herramientas para su aplicación ha sido ampliamente aceptado en multitud de sectores industriales y aplicado con relativo éxito.

## **Instructivo para el mantenimiento preventivo del excitador de la unidad No.3 y del turbogenerador de la Central Termoeléctrica Jorge Luque.**

### **1. ACTIVIDADES INICIALES.**

- 1.1 Recibir instrucciones directas del sobrestante encargado del taller eléctrico.
- 1.2 Programación de licencias o aviso al sobrestante en turno de operación.
- 1.3 Equipamiento de equipo de seguridad como son zapatos, guantes, pantalón, camisola, cubre bocas, casco, faja, gafas y tapones auditivos.
- 1.4 Retiro de partes metálicas del cuerpo como son anillos, cadenas, monedas, llaves, celular, etc. y checar que los guantes se encuentren en buen estado.
- 1.5 Preparación de herramienta adecuada para limpieza y reemplazo de escobillas, así como para el sopleteado y limpieza del generador y los excitadores como son desarmadores, pinzas, lámpara de baterías, probado de corriente alterna, manta, estopa y manguera de aire a presión.



## **2. ACTIVIDADES PRINCIPALES.**

- 2.1 Verificación y confirmación de licencia a permiso por parte del mecánico eléctrico para poder ejecutar la orden de trabajo con el sobrestante de turno.
- 2.2 Limpieza del área de trabajo.
- 2.3 Colocación de mesa portátil de trabajo.
- 2.4 Retiro de tapas de protección de excitadores y colocación en un lugar seguro.



- 2.5 Colocación de iluminación adecuada en el área de trabajo.

2.6 Inspección visual en el área de trabajo para verificación de desgaste, fractura o rotura de sojilla de las escobillas; chisporroteo y suciedad en el excitador piloto, excitador principal y anillos rozantes.



2.7 Cambio de escobillas.

2.7.1 Para el cambio de escobillas desgastadas, fracturadas o por rotura de sojilla se deberá sustituir por una de las mismas características de una a la vez. Este procedimiento será en el excitador piloto, excitador principal y anillos rozantes.



2.8. Eliminación de chisporroteo.

2.8.1 Revisión visual si existe chisporroteo en el excitador principal, anillos rozantes y excitador piloto.



2.8.2 Revisión y corrección del ángulo de inclinación de las porta escobillas para evitar chisporroteo.

2.8.3 Limpieza del conmutador del excitador principal, anillos rozantes y excitador piloto por medio de una piedra de esmeril para sentar.

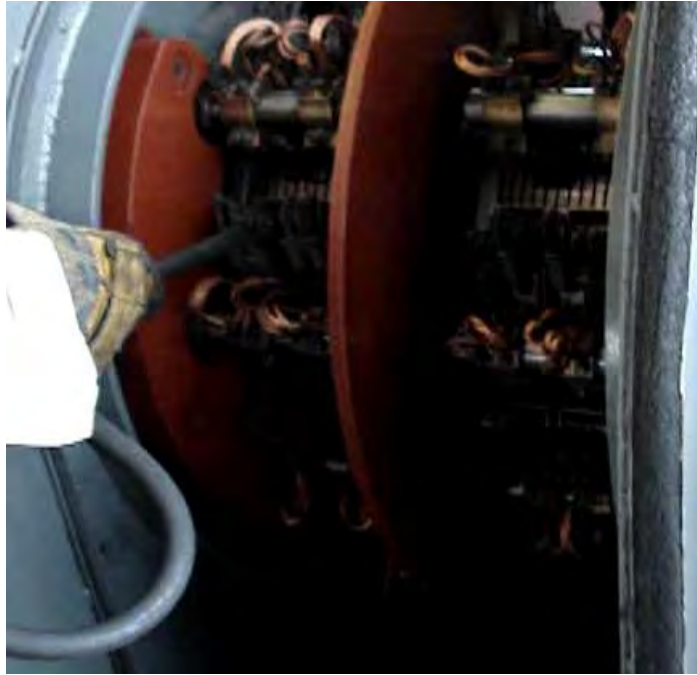




2.8.4 Limpieza y sopleteado del conmutador

2.9 Revisión, limpieza y sopleteado de filtros.

2.10 Limpieza general y sopleteado del generador, excitador piloto, excitador principal y anillos rozantes.



2.11 Limpieza general de tapas de protección de excitadores.



### **3. ACTIVIDADES FINALES.**

3.1 Revisión visual del trabajo realizado.



3.2 Colocación de tapas de protección de los excitadores.

3.3 Recoger herramienta del área de trabajo.



Limpieza del área de trabajo y mesa portátil de trabajo.

# *Capítulo VI*

## *Prueba realizada en el mantenimiento*



## **PRUEBA REALIZADA EN EL MANTENIMIENTO.**

### **Prueba de resistencia de aislamiento (megger).**

#### **Definición.**

La resistencia de aislamiento se define con la resistencia (megohms), que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de las aplicaciones del mismo; como referencia se utilizan los valores de 1 a 10 minutos.

#### **Corriente de aislamiento.**

A la corriente resultante de la aplicación de voltaje de corriente directa a un aislamiento, se le denomina corriente de aislamiento y consiste de dos componentes principales.

a). La corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento compuesta de:

Corriente capacitiva.

Es una corriente de magnitud comparativamente alta y de corta duración que decrece rápidamente a un valor despreciable (generalmente en un tiempo máximo de 15 segundos), conforme se carga el aislamiento y es la responsable del bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento. Su efecto es notable en aquellos equipos que tienen capacitancia alta, como en cables de potencia de grandes longitudes.

Corriente de absorción dieléctrica.

Esta corriente decrece gradualmente con el tiempo, desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero, siguiendo una función exponencial. Generalmente los valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos de una prueba, quedan en gran parte determinados por una corriente de absorción, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor despreciable, para efectos de prueba de megger puede despreciarse el cambio que ocurre después de 10 minutos.

Corriente de conducción irreversible.

Esta corriente fluye a través del aislamiento y es prácticamente constante y predomina después que la corriente de absorción se hace insignificante.

b). La corriente que fluye sobre la superficie de aislamiento y que se conoce como corriente de fuga. Esta corriente que al igual que la de conducción, permanece constante y ambas contribuyen el factor primario para juzgar las condiciones de aislamiento.

### **Absorción dieléctrica.**

La resistencia varía directamente con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo; cuando repentinamente se aplica un voltaje de corriente directa a un aislamiento, la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando hasta estabilizarse.

A la curva obtenida cuando se grafican valores de resistencia de aislamiento contra tiempo se denominan **"curva de absorción dieléctrica"** y su pendiente indica el grado relativo de secado o suciedad del aislamiento, si el aislamiento está húmedo o sucio, se alcanzará un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y se obtendrá una curva de baja pendiente.

### **Índices de absorción y polarización.**

La pendiente de la curva de absorción dieléctrica, puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento, tomado a diferentes intervalos de tiempo durante la misma prueba. A la relación de 60 segundos a 30 segundos se le conoce como índice de absorción y a la relación de 10 minutos a 1 minuto como índice de polarización. El índice de polarización es muy útil para la evaluación del estado de aislamiento de devanados de generadores y transformadores.

### **Factores que afectan la prueba.**

A menos que las mediciones de resistencia y absorción dieléctrica se realice con suma habilidad, se presentarán fluctuaciones importantes provocadas por factores que se expondrán en los párrafos siguientes cada uno de estos párrafos puede ser causa de grandes errores en la medición de la resistencia de aislamiento, los cuales no deben considerarse como problemas del aparato de medición.

#### a). Efecto de la condición de la superficie del aislamiento.

Los depósitos tales como carbón, polvo o aceite depositados en las superficies aislantes pueden bajar la resistencia de aislamiento. Este factor es particularmente importante cuando se tienen superficies aislantes relativamente grandes, expuestas al ambiente.

El polvo depositado sobre las superficies aislantes ordinariamente no es conductor cuando está seco, pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente conductor y decrece entonces la resistencia de aislamiento por lo cual se deberá eliminar toda materia extraña que esté depositada sobre el mismo antes de efectuar la prueba.

#### b). Efecto de la humedad.

Una gran parte de los materiales utilizados en los sistemas de aislamientos como son el aceite, el papel, el cartón y algunas cintas, son hidroscopicos y por tanto capaces de absorber humedad y ocasionar una reducción de la resistencia de aislamiento.

Actualmente se construyen máquinas rotatorias con aislamientos que no absorben humedad, pero en caso de que la temperatura del devanado alcance un valor igual o inferior a la del punto de rocío, se puede formar una película de humedad sobre la superficie de aislamiento y así reducir su resistencia. El mismo fenómeno se presenta en las porcelanas de las boquillas de los transformadores e interruptores cuando se tiene alta humedad en el ambiente, y el problema es más grave si la superficie está contaminada.

Es importante sobre todo en el caso de las máquinas rotatorias, efectuar las pruebas cuando los devanados tengan una temperatura superior a la de punto de rocío.

#### c). Efecto de la temperatura.

La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura en la mayor parte de los materiales aislantes. Para comparar aproximadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma base. Esta conversión se efectúa con la siguiente ecuación.

$$R_c = K_t \times R_t$$

Donde:

RC Resistencia de aislamiento (en megohms) corregida a temperatura base.

Rt Resistencia de aislamiento a la temperatura en que se efectuó la prueba.

Kt Coeficiente de corrección por temperatura

Las bases de temperatura recomendadas por los comités de normas son de 40°C, para las maquinas rotatorias, 20°C para los transformadores y 15.6°C para los cables.

En caso de maquinas rotatorias el efecto por temperatura en el índice de polarización generalmente es pequeño, si la temperatura de la maquina no cambia apreciablemente durante en que se efectuó las lecturas.

### **Potencial de prueba aplicado.**

La medición de la resistencia de aislamiento en sí, es una prueba de potencial y debe registrarse a valores apropiados que dependen de la tensión nominal de operación del equipo que se va a someter a la prueba y de las condiciones en que se encuentre su aislamiento. Esto es importante particularmente para máquinas pequeñas o de baja tensión y para transformadores sin su aceite aislante, que se encuentren húmedos. Si la tensión de prueba es alta se pueden provocar fatigas en el aislamiento.

Los potenciales de prueba más comúnmente utilizados son tensiones de corriente directa de 500 a 5000 Volts.

Las lecturas de resistencia disminuyen normalmente al utilizarse potenciales más altos; sin embargo para aislamientos en buenas condiciones y perfectamente secos, se obtendrán valores muy próximos para diferentes tensiones de prueba, siempre que no se pase el valor nominal de operación del equipo a que se esta sometiendo a prueba.

Si al aumentar el potencial de prueba se reduce significativamente los valores de resistencia de aislamiento, estos nos pueden indicar que existen imperfecciones o fracturas en el aislamiento,

posiblemente agravadas por suciedad o humedad, aún cuando también la sola presencia de humedad con suciedad puede ocasionar este fenómeno.

### **Efecto de la duración de aplicación de voltaje de prueba.**

Este efecto tiene importancia notable en el caso de las grandes máquinas rotatorias y transformadores de potencia con aislamiento en buenas condiciones, sin embargo en el caso de los interruptores, aparos rayos y cables de pequeña longitud, este efecto carece de importancia y por lo tanto difieren de los primeros en que es recomendable efectuar las pruebas con duración mayor de un minuto.

### **Efecto de la carga residual.**

Un factor que afecta las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica, es la presencia de carga previa en el aislamiento. Esta carga puede originarse por que el equipo trabaja aislado de tierra o por una aplicación de voltaje de corriente directa en una prueba anterior. Por lo tanto es necesario que antes de efectuar las pruebas, se descarguen los aislamientos mediante una conexión a tierra.

### **Efecto del envejecimiento.**

En el caso del aislamiento con aglutinantes semisólidos, tales como la mica con asfalto, se presenta un proceso de curado con el tiempo, el cual provoca un aumento en la corriente de absorción que toma el aislamiento y por lo mismo un decremento de la resistencia de aislamiento.

### **Tratamientos especiales.**

Cuando los cabezales de una maquina se tratan con material semiconductor, para eliminación de efecto corona, normalmente se presenta una disminución en los valores de resistencia de aislamiento. Así también se tiene valores de resistencia de aislamiento muy reducidos, en los generadores que están refrigerados interiormente con H<sub>2</sub>O.

## "MEGGER" Descripción principio y uso.

Básicamente existen 3 formas de medir resistencia de aislamiento.

- a). Mediante un ohmímetro (megger) de indicación directa.
- b). Mediante un voltímetro y un amperímetro, utilizando una fuente de potencial corriente directa.
- c). Mediante un puente de resistencia con batería y galvanómetro.

Los siguientes párrafos se dedican al instructivo de indicación directa conocido como megger, que construye el instrumento más práctico y común para medir la resistencia de aislamiento.



### Descripción.

El megger ha sido el instrumento estándar para la verificación de la resistencia de aislamiento. Existen básicamente 3 tipos de instrumentos, los accionados manualmente, los accionados normalmente, los accionados por motor de tipo rectificador.

El primer tipo es satisfactorio para efectuar pruebas de tiempo corto, pero no es recomendable para las pruebas rutinarias de absorción dieléctrica; puesto que es difícil mantener la velocidad adecuada que dura esta prueba. Para este fin deberá usarse cualquiera de los otros dos tipos, como el valor de la resistencia de aislamiento varía con el voltaje aplicado, es importante que el instrumento de prueba tenga suficiente capacidad para mantener su voltaje a su valor nominal constante durante los 10 minutos de prueba: por esta razón algunos de los aparatos pequeños no son aptos para efectuar pruebas en los transformadores y generadores grandes una mayor corriente de absorción. Se recomienda usar un mismo instrumento para efectuar las pruebas periódicas en el equipo ya que las diferentes características de salida pueden afectar las curvas de absorción dieléctrica, especialmente en los valores iniciales.

### **Principio de operación.**

Aún cuando existe una variedad de instrumentos para la medición de la resistencia de aislamiento, puede decirse que la gran mayoría utilizada en el elemento de medición de bobinas cruzadas, cuya principal característica es que su exactitud es independiente del voltaje aplicado en la prueba. El megohmetro consiste fundamentalmente en dos bobinas designadas como A y B que están montadas en un sistema móvil común, con una jaula indicadora unida a las mismas y con libertad para girar en un campo producido por un imán permanente. En el caso del megger, el sistema móvil está sustentado en joyas soportadas en resortes y está exento de las espirales de control que llevan otros aparatos como los amperímetros y voltímetros.

La alineación de señal a las bobinas se efectúa mediante ligamentos conductores que ofrecen la mínima restricción posible, en tal forma que cuando el instrumento está nivelado y no podrá quedar en reposo en cualquier posición de la escala. Adicionalmente el elemento de medición, el megohmetro tiene un generador de corriente directa accionado manualmente o mediante un motor, el cual proporciona un voltaje necesario para efectuar la medición.

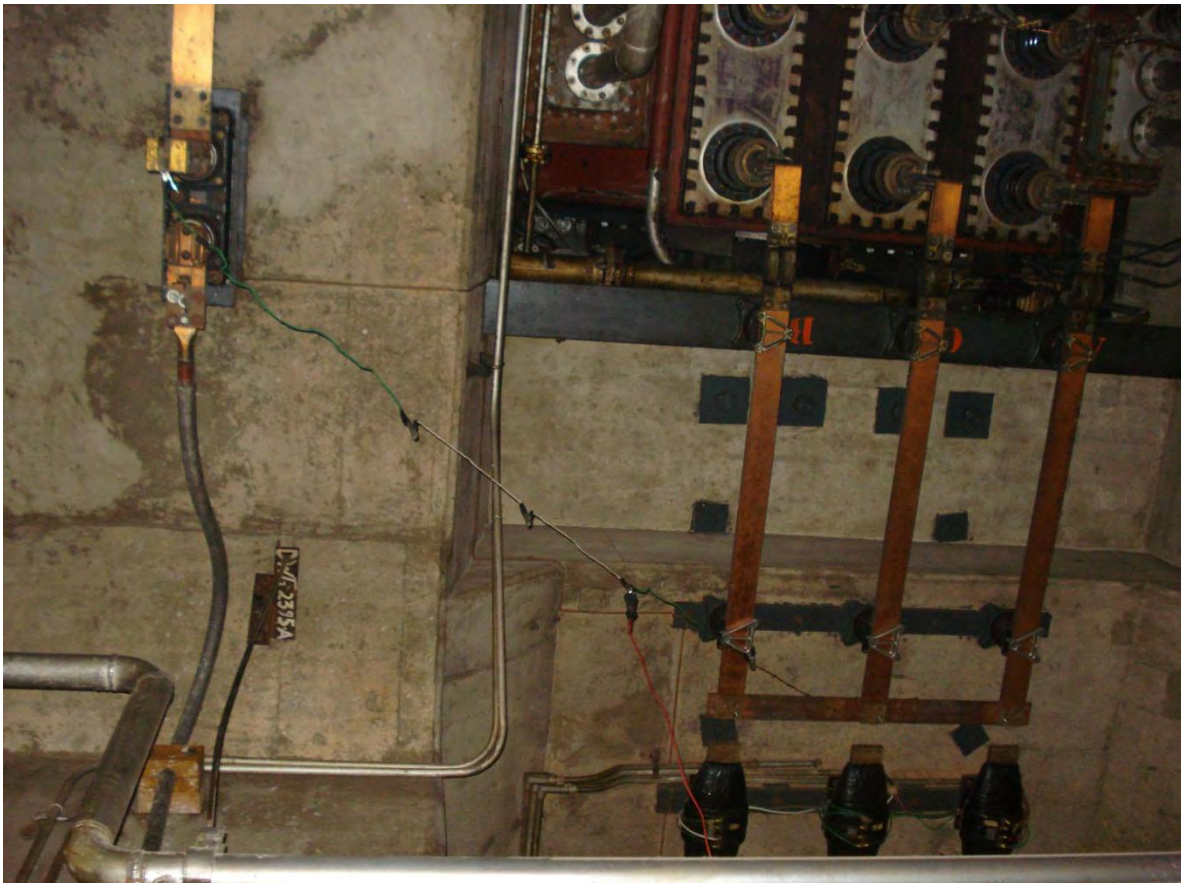
**La bobina deflectora "A" está conectada en serie con resistencia fija  $R$ , y la bobina de control está conectada en serie con una resistencia de serie  $R$ , quedando la resistencia bajo prueba conectada entre las terminales línea y tierra del aparato. Las bobinas A y B, están montadas en el sistema móvil con el ángulo fijo entre ellas y están conectadas en tal forma que cuando se les alimenta corriente, desarrollan pares opuestos y tiende a girar el sistema móvil en direcciones contrarias. Por tanto, la aguja indicadora se estabiliza en el punto donde dos pares se balancean. Cuando el aislamiento es casi perfecto o cuando no se conecta nada a las terminales de**

prueba, no habrá flujo de corriente en la bobina A, sin embargo, por la bobina B, circulara un flujo de corriente y por tal razón, girará en contra de las manecillas de reloj hasta quedar colocado en el entrehierro.

### **Uso de la guarda.**

Generalmente todos los aparatos megger con rango mayor de 1000 Megohms, están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es de conectar con un medio para efectuar mediciones en malla de tres terminales, en tal forma que pueda determinarse directamente el valor de una de las dos trayectorias posibles. Además de esta finalidad principal, dicha terminal hace posible que el megger se utilice como una fuente de voltaje de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

Concretamente puede decirse que la corriente de fuga de todo componente de un sistema de aislamiento conectado a la terminal de guarda no interviene en la medición. Así en el caso de poder estar usando las conexiones indicadas, se medirá la resistencia, directamente ya que las otras dos entran en la medición por estar conectada la terminal 3, a guarda. Al usar la terminal de guarda, particularmente en el caso de los instrumentos accionados con un motor o los de tipo rectificador, deberá tener seguridad de que no existen posibilidades de que se produzca un arco eléctrico entre las terminales de la muestra bajo prueba conectada a guarda y a tierra.





## **Instrucciones generales para uso del megger.**

A continuación se enumeran las instrucciones generales para uso del megger.

a). No se debe usar el probador cuyo voltaje en terminales sea superior al que se considera seguro aplicar al equipo que se va a probar.

Se sugieren los siguientes valores como seguros o normalmente permisibles:

<b>Voltaje nominal del probador</b>	<b>Voltaje nominal de corriente alterna que se va a probar</b>
100 y 250 Volts	Hasta 100 Volts incluye algunos tipos de equipo de señalización y control
500 Volts	De 100 Volts en adelante
1000 Volts	De 400 Volts en adelante
2500 Volts	De 1000 Volts en adelante

De hecho estos valores representan un margen seguro, ya que el equipo se fabrica con un grado de seguridad considerable.

b). Coloque el instrumento en una base firme bien nivelada. En el caso de instrumentos equipados con nivel, nivele los centrados de la brújula. Evite las grandes masas de hierro y los campos magnéticos fuertes.



c). Si el aparato es de voltaje múltiple gire el selector de voltaje hasta el valor que se requiere para efectuar la prueba.

d). Verifique el infinito, del aparato operando manualmente la manivela a la velocidad normal en los meggers manuales, o poniendo en operación el motor en los accionados por este medio o el rectificador en los de este tipo. En caso de que el instrumento tenga Switch de carga, colocarlo en la posición prueba.

Mientras se verifica el infinito, gire el ajustador del índice hacia uno u otro lado, hasta que la aguja indicadora se estacione sobre la marca del infinito.

### **Medidas de seguridad al utilizar el megger.**

Antes de retirar cualquier equipo para efectuar pruebas, se deberá contar con la libranza respectiva. Se deberá tomar todas las precauciones necesarias para asegurar que no se puede energizar el equipo bajo prueba.

Se deberán efectuar pruebas para verificar que no tienen voltajes inducidos; conecte sus tierras, si es necesario desconectar el neutro o alguna otra conexión a tierra, asegurarse antes que no lleve corriente.

Al conectar las terminales del megger y al operarlo, se deberá usar guantes aislantes.

Al efectuar pruebas de absorción en equipos con volumen grande de aislamiento, se deberá tomar la precaución de descargarlo de toda la corriente capacitiva y de absorción después de la prueba y antes de remover las terminales de prueba.

### **Aplicación de prueba de resistencia de aislamiento a maquinas rotatorias.**

La medición de la resistencia de aislamiento ha sido recomendada y utilizada durante más de medio siglo en la evaluación en las condiciones del aislamiento de las maquinas rotatorias.

Esta prueba es de gran ayuda para determinar la presencia de humedad, aceite, polvo, corrosión, daños o deterioros del aislamiento. Se aplica también para el control del proceso de secamiento de las máquinas rotatorias.

### **Limitaciones:**

Sin dejar de reconocer las ventajas de la prueba de megger como una guía útil en la evaluación de las condiciones del devanado en una máquina, ésta no debe tomarse como criterio exacto ya que tiene varias limitaciones, entre las cuales parecen las siguientes:

- a).** La resistencia de aislamiento de, un devanado no tiene una relación directa con su rigidez dieléctrica y por tanto es imposible predecir el valor de resistencia al que fallará.
- b).** Aún cuando con base a la experiencia se ha definido valores mínimos recomendables, existen máquinas que tienen superficies de aislamiento extremadamente grandes que pueden tener valores de resistencia inferiores a los mínimos recomendados, por más que sus devanados estén en buenas condiciones.
- c).** Una medición aislada de resistencia de aislamiento a un voltaje deseado, no indica si la materia extraña responsable de la baja resistencia esta concentrada o distribuida.

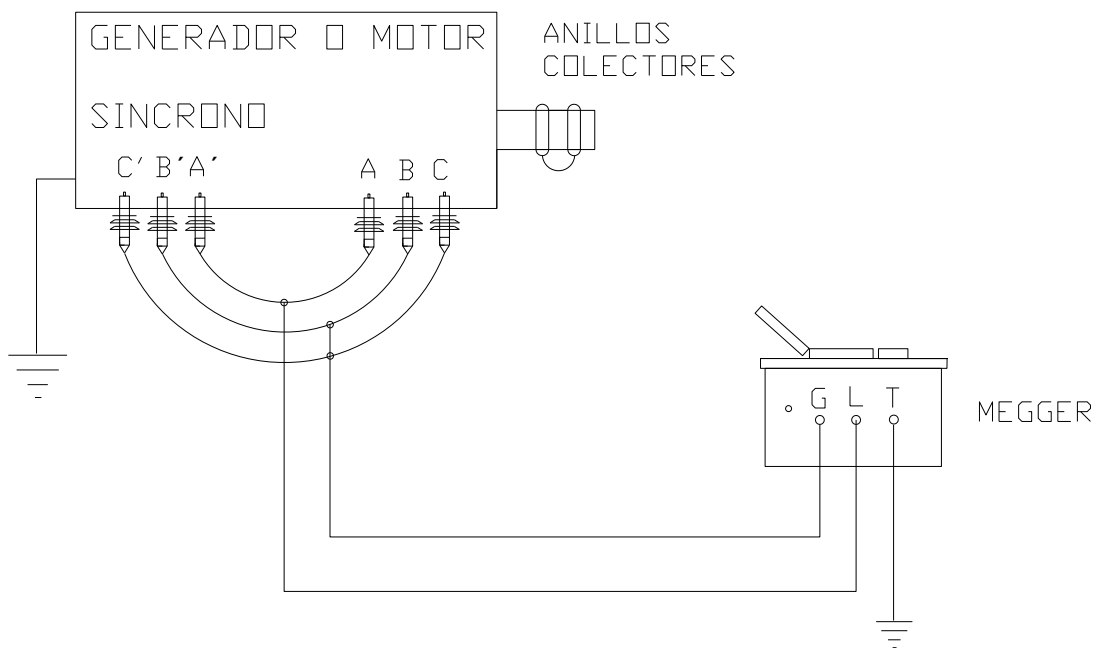
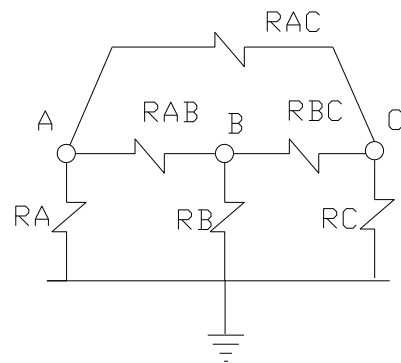
## **Preparación de la maquina para la prueba.**

- a).** Cuando se requiere información sobre la condición interna del aislamiento, sin que el valor se vea afectado por la condición superficial, deberá limpiarse y secarse el aislamiento. En ambientes húmedos es de gran importancia la limpieza de la superficie del aislamiento antes de efectuar la prueba.
- b).** La temperatura del devanado debe estar por encima del punto de rocío, para evitar condensación de la humedad en la superficie del aislamiento.
- c).** No es necesario que la máquina este parada para efectuar la prueba de megger; en ocasiones es deseable que la maquina este girando para que el devanado se sujete a las fuerzas centrifugas que ocurren en servicio.
- d).** Descargar completamente toda carga residual antes de efectuar la prueba, conectando los devanados a tierra cuando menos la minutos antes de su indicación.
- e).** Es conveniente que la medición de la resistencia de aislamiento abarque exclusivamente los devanados de la maquina, para lo cual es necesario desconectar todo equipo externo a la misma.
- f).** En las máquinas con devanados enfriados por agua, deberá expulsarse el agua y secarse completamente el circuito interno con excepción de la prueba tal como esta.

## **Circuitos de prueba.**

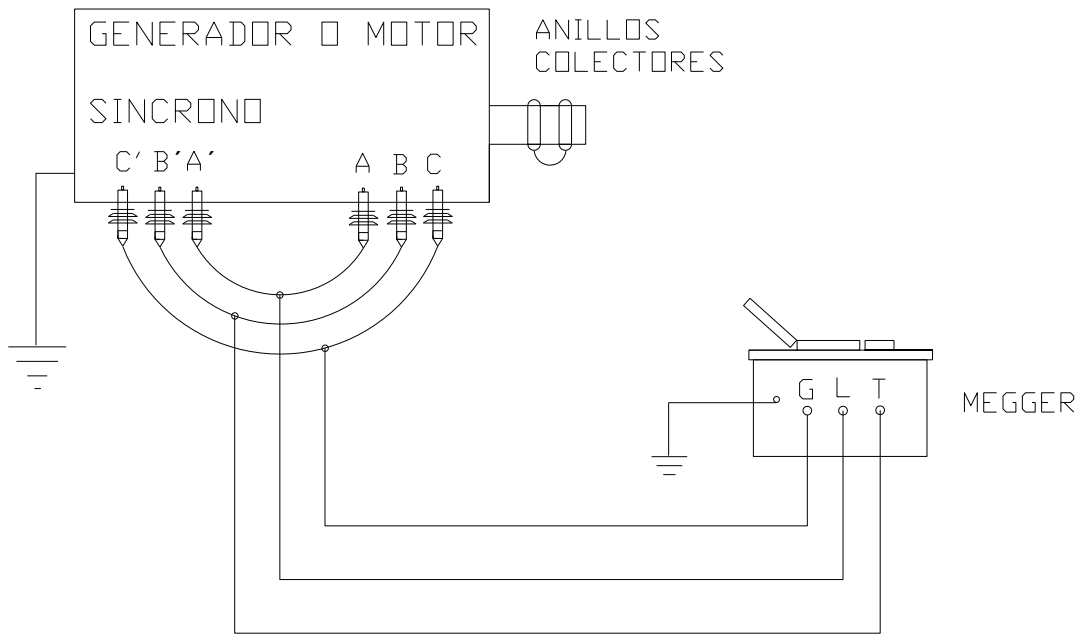
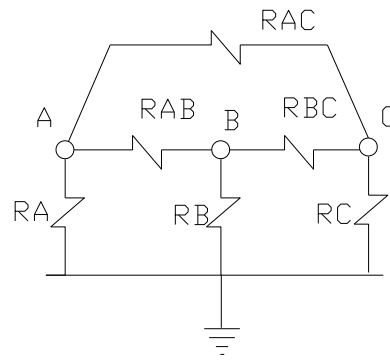
Básicamente existen dos tipos de circuitos de prueba para la medición de resistencia de aislamiento en las máquinas rotatorias circuito de prueba utilizando la guarda y circuito de prueba sin utilizarla.

Dentro de estos tipos de circuitos existen varias conexiones, según sea el tipo de conexión que se requiere. En las Figuras 4.1 Y 4.2, se describen estas conexiones para maquinas rotatorias trifásicas con neutro accesible. Como se considera que las máquinas monofásicas que no tienen el neutro accesible y que son casos particulares que pueden derivarse fácilmente a partir de las anteriores, no se ve la necesidad de describir sus conexiones de prueba.



PRUEBA	CONEXION DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	A	B,C	⏏	$R_A$
2	B	A,C	⏏	$R_B$
3	C	A,C	⏏	$R_C$

Pruebas de generador o motor sincrónico utilizando guarda.



PRUEBA	CONEXIÓN DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	A, A'	C, $\perp$	B	$R_{AB}$
2	B, B'	A, $\perp$	C	$R_{BC}$
3	C, C'	B, $\perp$	A	$R_{AC}$

Pruebas en generador o motor síncrono utilizando guarda conectada a tierra (Antes de efectuar la prueba verificar que la conexión T no este conectada a tierra).

Se recomienda que siempre que sea posible y práctico se separen las fases y se prueben separadamente, ya que con ello se puede establecer una comparación entre las mismas que es muy útil para la evaluación de la condición presente y futura del devanado. Por otro lado la prueba de todas las fases a la vez, tienen el inconveniente de que únicamente se prueba el aislamiento a tierra y se omite la prueba del aislamiento entre fases.

Cuando se prueben campos de generadores, deberá usarse un voltaje de prueba de 500 Volts, para evitar sobre tensiones en el aislamiento.

### **Interpretaciones de lectura para la evaluación de los aislamientos.**

A continuación se dan algunas recomendaciones para auxiliar al personal de prueba en la evaluación de los resultados obtenidos en la prueba de megger. En ninguna forma se pretende que sea sustituido del buen criterio y experiencia de la persona, ya que se considera que para el análisis correcto de las lecturas Y la anticipación de las fallas se requiere un criterio y una experiencia personal básicos, que desafortunadamente ameritan tiempo y esfuerzo para adquirirlos.

En general las lecturas de resistencia de aislamiento deberán considerarse como relativas, a menos que el único interés sea el comprobar que los valores se mantengan por arriba de los mínimos recomendables, lo cual representara un gran desperdicio en el aprovechamiento de la prueba.

Para que el análisis comparativo sea efectivo, todas las pruebas deberán hacerse al mismo potencial, las lecturas deberán corregirse a la misma base (40<sup>C</sup>) y en lo posible bajo las mismas condiciones.

A continuación aparecen algunas indicaciones que deben tomarse como auxilio en la interpretación de los valores obtenidos durante las pruebas periódicas efectuadas en un equipo dado:

- a).** No hay porque preocuparse si los valores son altos regulares y bien sostenidos.
- b).** Si los valores son regulares o altos, pero tienen tendencia a bajar, deberán localizarse y eliminarse la causa.
- c).** Si los valores son bajos pero sostenidos, es probable que todo este correcto, pero debe investigarse la causa.

**d).** Si los valores son tan bajos que caen en lo inseguro, deberá reacondicionarse el equipo antes de ponerlo en servicio.

**e).** Si los valores son regulares o altos, bien sostenidos en un principio, pero muestran una caída repentina, conviene efectuar pruebas a intervalos más frecuentes hasta localizar las causas.

**f).** Si los valores llegan a ser tan bajos que se consideren inseguros, se debe retirar el equipo de operación.

Conviene aclarar que estas indicaciones no deben ser tomadas como suplemento al criterio personal.



# *Conclusiones*

## **Conclusiones.**

**A medida que las poblaciones se desarrollan el consumo de energía eléctrica va en aumento en forma proporcional; el crecimiento demográfico trae como consecuencia un incremento en la necesidad de suministro de satisfactores como son: vivienda, alimentos y energéticos. Uno de los grandes problemas unido a las necesidades elementales de los mexicanos es la preservación o continuidad de planeación en lo correspondiente a la generación de energía eléctrica.**

**Como se pudo observar al momento de presentar este trabajo, el objetivo es dar una definición donde se describen en forma simple las partes de lo que consta una Central Termoeléctrica en un orden, el cual se plasmó para darle el seguimiento en el funcionamiento en la producción de la Energía Eléctrica, obteniendo de esta manera una capacitación de los elementos que está formada; así como también la participación del Ingeniero de mantenimiento eléctrico en contacto directo con la Central en la revisión y supervisión respecto a la parte eléctrica de las unidades de generación y las partes que la componen.**

**El resultado de toda esta información es parte de la formación que sirve al Ingeniero de mantenimiento eléctrico para documentarse y hasta determinado punto mejorar la infraestructura de la Central termoeléctrica, para posteriormente participar en su desarrollo con la idea de ser analíticos y obtener resultados.**

**Destacamos la importancia del Ingeniero de mantenimiento eléctrico en diversas actividades dentro de la Planta, que sin ser un especialista, está obligado a comprender e identificar los fundamentos de operación de la Termoeléctrica, que le permitan asentar criterios para enfrentar eficazmente múltiples problemas, entre los que sobresalen los de mantenimiento y de operación de los elementos eléctricos de la central Termoeléctrica.**

**Además, ofrecer alternativas para la realización de mejoras o prevención de daños que debido al deterioro que sufren los equipos debido al entorno ambiental así como a las condiciones de operación puedan significar una mayor inversión a futuro.**

**La correcta aplicación de un programa de seguimiento de fallas, así como del comportamiento del equipo a lo largo de ciertos periodos nos dará como resultado asegurar la vida útil de los bienes considerando que en este caso tratándose de el mantenimiento del generador y su parte de excitación de la unidad No. 3 de la central Termoeléctrica Jorge Luque Loyola y debido a su importancia en la generación de energía así como de enlace, son de vital importancia disponer de ellos en optimas condiciones de operación las cuales se lograran realizando mantenimientos preventivos a lo largo de la vida útil con el fin de evitar cualquier complicación en su operación, debiéndose contar con una capacitación continua por parte del personal calificado hacia los operadores y personal involucrado la operación de estos , para evitar cualquier tipo de falla que se deba a la incorrecta operación del equipo todos estos cuidados nos darán como resultado alargar la vida útil así como evitar paros innecesarios y costos extras , derivados de mantenimientos correctivos.**

**Con el presente trabajo se cumple con el objetivo de servir como manual para el personal de mantenimiento eléctrico de la central y como complemento los conocimientos adquiridos en la FES Cuautitlán en la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista.**

**En lo personal tuve la oportunidad de observar condiciones reales de trabajo del funcionamiento de una Central Termoeléctrica, de las partes principales de la que esta compuesta la central como son las calderas, las torres de enfriamiento, los turbogeneradores, tableros de control, los transformadores de elevación de la energía para su distribución, etc. Llevando acabo mí servicio social en el área de mantenimiento eléctrico me enfoque mas sobre las tareas realizadas en el personal del talle eléctrico, una de ellas era el dar mantenimiento a todo el equipo que constituían la parte eléctrica de la planta ya sea preventivo o correctivo.**

**En el presente trabajo se hablo sobre descripción del generador de la unidad No. 3, el mantenimiento preventivo del generador y del excitador del generador de la unidad No. 3 y las pruebas realizadas en el mantenimiento cumpliendo los objetivos de complementar los conocimientos en formación teórica de lo visto en la FES Cuautitlán en la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista (Área Eléctrica y Electrónica) en las materias de análisis de circuitos eléctricos, transformadores y motores de inducción, maquinas síncronas, sistemas eléctricos de potencia 1 y 2 y plantas generadoras.**

**De esta manera se creó un panorama más amplio sobre los componentes eléctricos y mantenimiento eléctrico realizado en una Central Termoeléctrica.**

**De este modo quisiera motivar al la comunidad estudiantil de la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de realizar su servicio social en instituciones donde se vean condiciones reales de trabajo de los conocimientos que adquieren en el transcurso de la carrera para una mejor comprensión de estos.**

# *Bibliografía*

- Manuales de funcionamiento de los turbogeneradores y de la central termoeléctrica
- Planos, instructivo de operación de un generador trifásico de C. A.
- Instructivo de operación para un generador trifásico de C.A. enfriado por hidrógeno, editado por el departamento "técnica de maquinas eléctricas" Alemania.
- Aguilar Rodríguez Martiniano, Criterios de diseño de plantas termoeléctricas, 1981.
- Crespo Márquez Adolfo, Ingeniería de mantenimiento: técnicas y métodos de aplicación a la fase operativa de los equipos, 2004.
- Enríquez Harper Gilberto, El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, 2004.
- Patlan flauto José Oscar, Pruebas a maquinas síncronas, 1990.
- Peter J. tavner, Técnicas para el mantenimiento y diagnostico de maquinas eléctricas rotativas, 1990.
- Manzano Orrego Juan José, Mantenimiento de máquinas eléctricas: equipos e instalaciones electrotécnicas, 2004.
- Seifert Walter, Generador y motor: Fundamentos físicos y formas mecánicas, 1988.
- <http://www.aeg-ibo.com/index.htm>
- <http://www.solomantenimiento.com/contenidos.htm>