

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN



**PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO DE LA
MAQUINA SINCRONA COMO GENERADOR**

T E S I S
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
Q U E P R E S E N T A

JUAN MANUEL LOZADA ACOSTA
Director de Tesis: Ing. José Angel Cortés Ceniceros

NOVIEMBRE 24 DE 1982



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

P R O L O G O

El generador proporciona en la actualidad la energía eléctrica que mueve desde un pequeño reloj eléctrico, hasta un gigantesco complejo industrial, su importancia es tal, que si las centrales eléctricas de una nación pararan, detendrían totalmente a su industria y al país entero. El generador por sí solo no puede producir energía, necesita movimiento y éste se obtiene por medio de motores diesel, turbinas hidráulicas, de gas o de vapor, para producir la corriente eléctrica que constituye la sangre que da ritmo a nuestra época.

A continuación se elabora y desarrolla un estudio de la máquina síncrona como generador, este estudio tiende a constituir una fuente de información accesible a todo estudiante que se interese por el generador síncrono, así como aquel que busque solo información complementaria de sus cursos normales de conversión de la energía.

JUAN MANUEL LOZADA ACOSTA.

PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA SINCRONA COMO GENERADOR.

C O N T E N I D O.

INTRODUCCION. -

- I. - PRINCIPIO Y FUNCIONAMIENTO.
- I-1 FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA.
- I-2 NUMERO DE POLOS.
- I-3 REACCION DE ARMADURA.
- I-4 RELACION DE CORTO CIRCUITO.
- I-5 REACTANCIA SINCRONA.
- I-6 REACTANCIA DE MAQUINA BAJO CONDICIONES DE CORTO CIRCUITO.

- II. - PRIMOTORES.
- II-1 TURBINAS HIDRAULICAS.
- II-2 TURBINAS DE VAPOR.
- II-3 TURBINAS DE GAS.
- II-4 MOTORES DIESEL.

- III. - DESCRIPCION DEL GENERADOR.
- III-1 TIPOS DE ALTERNADORES.
- III-2 ESTATOR O INDUCIDO.
- III-3 ARROLLAMIENTO DEL ESTATOR.
- III-4 ESTRUCTURA DEL ROTOR.
- III-5 CONSTRUCCION Y AISLAMIENTO DEL SISTEMA DE CAMPO.
- III-6 RANURAS.
- III-7 VENTILACION.
- III-8 REQUISITOS PARA LA REFRIGERACION.
- III-9 EXCITACION.
- III-10 REGULADORES DE VOLTAJE.
- III-11 EQUIPO Y ACCESORIOS.

- IV. - CARACTERISTICAS DE OPERACION.
- IV-1 LA LIMITACION POR TEMPERATURA.
- IV-2 LA CURVA DE CAPABILIDAD.
- IV-3 LAS CURVAS "V"
- IV-4 SINCRONIZACION.
- IV-5 DIAGRAMA CIRCULAR DEL GENERADOR.
- IV-6 EL CRITERIO DE ESTABILIDAD.
- IV-7 PERDIDAS DE LA MAQUINA SINCRONA.

V.- SISTEMAS DE PROTECCION

- V-1 APARTARRAYOS.
- V-2 RELEVADORES ELECTRICOS.
- V-3 CAPACITORES.

VI.- MANTENIMIENTO Y PRUEBAS

- VI-1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.
- VI-2 PRUEBAS MEGGER.
- VI-3 PRUEBA CON ZUMBADOR DE LOS DEVANADOS DEL ESTATOR.
- VI-4 PRUEBAS DE IMPULSO.
- VI-5 PRUEBAS DE CORRIENTE DIRECTA.
- VI-6 PRUEBAS DE CORRIENTE ALTERNA.
- VI-7 PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA.
- VI-8 MONTAJE DE COJINETES
- VI-9 LUBRICACION

VII.- FALLAS ELECTRICAS

- VII-1 EN OPERACION
- VII-2 EN ESTATOR.
- VII-3 EN ROTOR.

VIII. CALCULO DEL DIAGRAMA FASORIAL DE LA UNIDAD DOS DE LA
CENTRAL TERMOELECTRICA DE TULA, HIDALGO.

C A P I T U L O I

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

P R I N C I P I O D E F U N C I O N A M I E N T O

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

El Generador se basa en el principio de Faraday obtenido en 1831 para la inducción electromagnética.

En 1888, Charles Parsons desarrolla el primer turbogenerador de corriente alterna.

En 1922 el uso de piezas sólidas forjadas permiten obtener Generadores hasta de 20 MW a 3000 RPM.

En 1939 el Generador más grande era del orden de 30 a 50 MW a -- 3600 RPM.

Durante la 2a. Guerra Mundial el desarrollo se detuvo en 60 MW y 3600 RPM y como novedad se introduce el Hidrógeno como refrigerante.

En la posguerra el incremento de la Potencia de la máquina solo fue posible mediante el incremento de la corriente del estator y disipando pérdidas más elevadas en el cobre. El Hidrógeno substituyó definitivamente al aire como refrigerante y se alcanzaron potencias hasta de 275 Mw.

El desarrollo posterior fue posible introduciendo enfriamiento de agua en los conductores del Estator alcanzándose hasta la fecha potencias del orden de 660 MW.

El Generador de mayor capacidad construido en los E.U.A. alcanza los 1250000 KVA.

Normalmente todos los Generadores de potencia llevan un transformador en su salida que ajusta la tensión del Generador a la tensión necesaria de transmisión.

Los elementos básicos son:

Campo Rotatorio y un Devanado de Armadura.

Entre los cuales existe una velocidad relativa,

Todas las máquinas construidas para Generación de Potencia Eléctrica llevan el campo sobre el rotor y la armadura sobre el estator.

Los rotores pueden ser de polos lisos o de polos salientes.

Sólo en muy pequeñas unidades se usan imanes permanentes en los campos.

Normalmente el campo se forma por la acción de polos excitados -- por bobinas electromagnéticas.

El embobinado de la armadura en el estator está distribuido en diversas ranuras y en varias fases pero, tiene un arreglo tal que produce un flujo magnético rotatorio con polaridad Norte-Sur, similar al -- flujo del rotor. De tal modo que el ángulo entre campo del rotor y campo producido por las corrientes de la armadura para unas condiciones -- dadas es constante.

La ley de Faraday dice: Cuando un número de líneas magnéticas encadenadas con uno o varios conductores cambian de magnitud se inducen fuerzas electromotrices en los conductores.

De esta ley se deduce que si un conductor corta líneas de flujo-- magnético se produce en él una F.E.M.I. (Fuerza Electromotriz inducida).

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

DEFINICION: MAQUINA SINCRONA ES TODO AQUEL CONVERTIDOR --
ELECTROMECHANICO ROTATIVO CAPAZ DE TRANSFORMAR ENERGIA MECA
NICA EN ELECTRICA O VICEVERSA, CON LA CONDICION DE QUE EN
AMBOS CASOS LA VELOCIDAD DE GIRO SEA CONSTANTE E IGUAL A --
Ns :

$$N_s = N_r = \frac{120 F}{\text{No. de Polos}} \quad (\text{R.P.M.})$$

Ns; velocidad del campo o velocidad sincrona
Nr; velocidad del rotor.

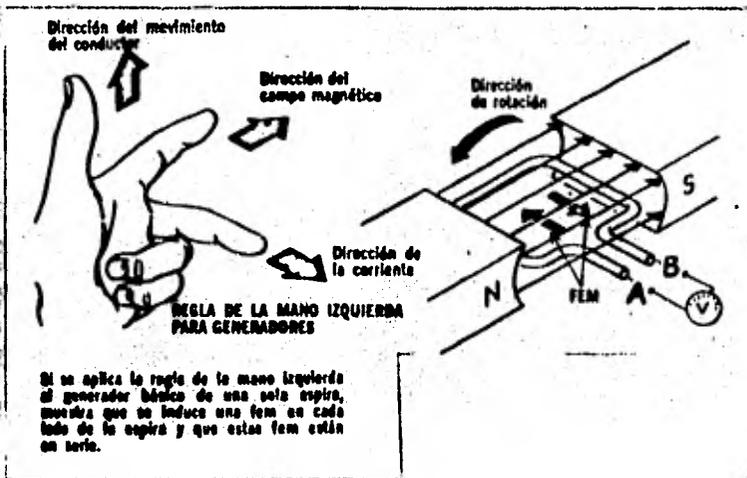
En la máquina sincrona no existe deslizamiento debido a --
que éste viene dado por la diferencia entre la velocidad
de rotación del campo y la velocidad del rotor:

$$N_s - N_r = 0$$

F.E.M.: (INDUCCION ELECTROMAGNETICA)

Se puede demostrar experimentalmente que es posible producir una fuerza electromotriz en un conductor, moviéndole en un campo magnético. El descubrimiento de este principio fue dado a conocer por Faraday en 1831, y ha sido considerado como el más importante en la historia de la electricidad, ya que es la base del generador eléctrico, el transformador, el teléfono y otros muchos aparatos eléctricos.

F.E.M. (inducida) si los extremos de un conductor se conectan a un voltímetro sensible y el conductor se mueve en el campo de un imán, el voltímetro dará una lectura momentánea. Si el conductor se mueve en sentido contrario, el voltímetro marcará momentáneamente hacia el lado opuesto. Si mantenemos fijo el conductor y movemos el imán de forma que el campo corte al conductor, se obtiene el mismo resultado. El voltaje generado en los terminales del voltímetro cuando se mueve el conductor en el campo eléctrico (o cuando se mueve el campo y el conductor esta fijo), se conoce como fuerza electromotriz inducida. La corriente originada en el conductor por la f.e.m. inducida se llama algunas veces corriente inducida. Este fenómeno de inducción de una F.E.M. en un conductor que se mueve relativamente respecto a un campo magnético. Se llama inducción electromagnética.



Se induce una f.e.m. en el conductor AB cuando es movido a través del campo magnético.

Factores que afectan la f.e.m. inducida.- Cuando el conductor de la fig. 1-1 anterior, se sustituye por una bobina de varias espiras, se encontrará que la indicación del voltímetro es mayor que cuando se usaba un sólo conductor, permaneciendo iguales las demás condiciones. Se induce una f.e.m. en cada espira de la bobina y como todas las bobinas están en serie, la f.e.m. total de la bobina es la suma de las f.e.m. de todas las espiras. Si usamos una bobina con más espiras, la f.e.m. inducida será mayor aumentando en relación directa con el número de espiras de la bobina.

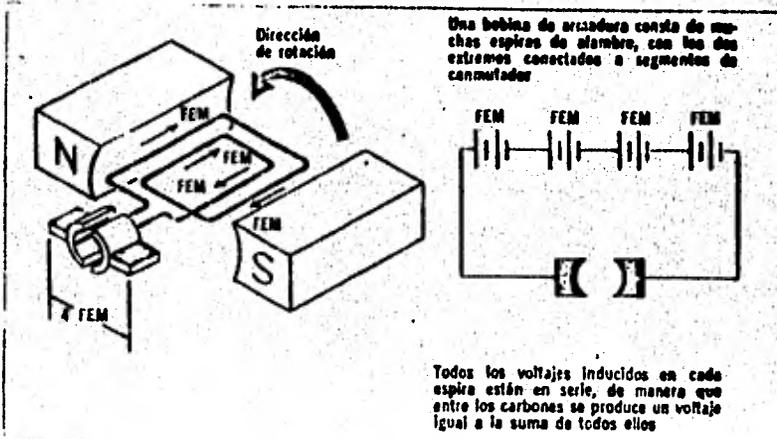


Fig. 1-2 Se induce f.e.m. en cada espira de la bobina al ser movida en el campo magnético.

Cuando movemos la bobina en el campo magnético con una velocidad mayor, la f.e.m. aumenta observándose que la f.e.m. es directamente proporcional a la velocidad con que son cortadas las líneas de fuerza. La intensidad del campo es también un factor porque, a la velocidad dada, se cortan más líneas por segundo en un campo fuerte que en un débil. Otros factores que influyen en la f.e.m., inducida son la longitud de la parte del conductor que se mueve dentro del campo y el ángulo formado por éste último conductor.

Ley de inducción de Faraday.- Todos los factores mencionados anteriormente hacen referencia a la velocidad con que el conductor corta el campo magnético o a la variación del número de líneas de fuerza que atraviesan la bobina, en general: si el número de líneas de fuerza que atraviesan una bobina varía, se induce una f.e.m. en dicha bobina. La f.e.m. inducida es proporcional a la velocidad con que varía el número de líneas de fuerza que atraviesan a la bobina. " Esto se conoce como la Ley de inducción de Faraday.

Los valores sucesivos de la f.e.m. se pueden representar por medio de una curva continua llamada senoide (fig. 1-3b), porque los valores de la f.e.m. son proporcionales al seno del ángulo x que el plano de la espira forma con otro que, pasando por el eje de la espira, sea perpendicular a la dirección del campo magnético lo que se demuestra como sigue:

La f.e.m. inducida en un conductor único que corta un campo magnético viene dada por la expresión.

$$e = Blv \cdot 10^{-8} \text{ voltios, } \dots (1)$$

en la que B , l y v son perpendiculares entre sí. No obstante, cuando el conductor se encuentra, con relación a la dirección del flujo, en la posición indicada en la fig. 1-3(a), la velocidad v no es perpendicular a la dirección del flujo. Puede entonces descomponerse en dos velocidades, v'' paralela a la dirección del flujo y v' perpendicular a ellas. Como la velocidad v'' es paralela al flujo no puede ser causa de generación de f.e.m. La componente $v' = v \sin x$, perpendicular al flujo, dará lugar a una f.e.m. cuyo valor, según (1), será:

$$e = Blv \sin x \cdot 10^{-8}$$

siendo x el ángulo que forma el plano de la espira con el correspondiente a la posición 1. Así, la f.e.m. inducida en dicho conductor puede quedar representada por una senoide. Cuando la parte superior de la espira (figura 1-3 a) se halla en la posición 1, la f.e.m. es nula; cuando está en la posición 2, la f.e.m. alcanza su valor máximo positivo; cuando llega a la posición 3, la f.e.m. vuelve a anularse; y en llegando a la posición 4, toma el valor máximo negativo (fig. 1-3b). Cuando una ondulación periódica, tal como la sinusoidal, ha pasado una vez por todos sus valores positivos o negativos (figs. 1-3b, 1-4) se dice que ha recorrido un semiperíodo (fig. 1-4). Si ha realizado dos semiperíodos de signo contrario se dice que ha completado un período o ciclo.

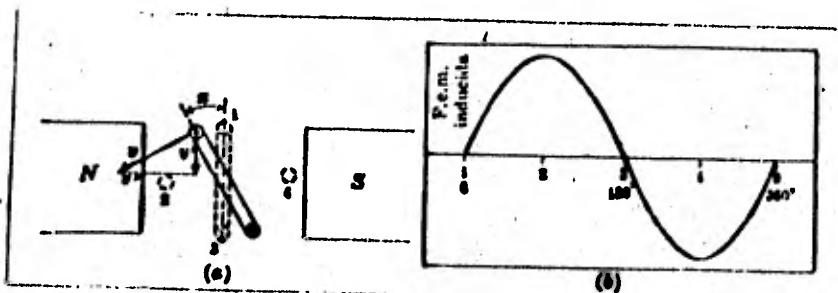
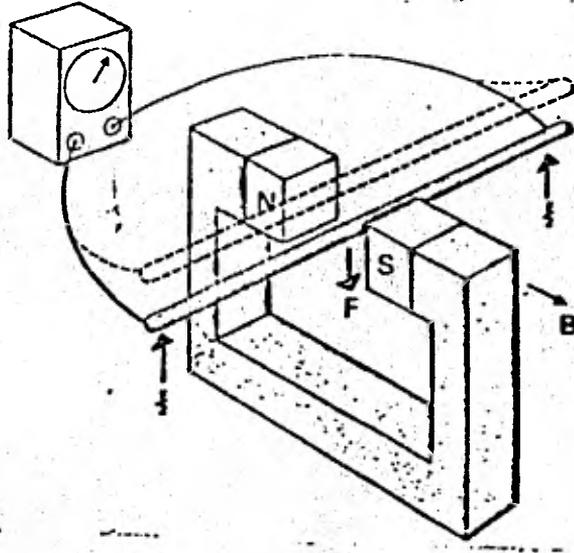


Fig 1-3. — Espira en la que se induce una f.e.m. sinusoidal.



Fig. 1-4 Sinusoide de la f.e.m. inducida.

Fig. No. 1-5 Principio de Inducción de una Fuerza Electromotriz.



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

$$B = \frac{\phi}{A}$$

l

V

N

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

$$d\phi = B dA$$

$$d\phi = B l d\alpha$$

$$d\phi = B l V dt$$

$$\frac{e}{N} = B l V$$

La FEMI en un conductor es igual a:

$$e = B l V.$$

Densidad de flujo líneas/unidad área.

Longitud del conductor.

Velocidad de corte de líneas.

Número de espiras.

NUMERO DE POLOS.

La frecuencia de la f.e.m. generada depende del número de polos inductores y de la velocidad con que gira el generador. En una bobina dada, se genera un ciclo completo de f.e.m., cuando pasa frente a la bobina un par de polos del rotor (un polo norte y uno sur) , por tanto, el número de ciclos generados en una revolución del rotor es igual al número de pares de polos que tiene el rotor o $P/2$, en donde P es el número total de polos, si n es la velocidad del rotor en revoluciones por minuto, entonces $n/60$ es igual al número de revoluciones por segundo. la frecuencia en ciclos por segundo es - por lo tanto:

$$f = P/2 \times n/60 = \frac{Pn}{120} \quad \text{despejando } n,$$

$$n = \frac{120f}{P}$$

De donde se deduce que la velocidad varía en forma inversa al número de polos; es decir, a mayor número de polos menor velocidad y a menor número de polos mayor velocidad, también puede observarse que la velocidad varía en forma directa con la frecuencia.

la tabla no. 1 , nos da una relación entre la velocidad, la frecuencia y el número de polos, para algunos casos corrientes.

Ejemplo; la velocidad de un generador síncrono de 60 ciclos accionado por un motor diesel es de 120 r.p.m., determinar el número de polos. utilizando la ecuación; $f = Pn/120$.

despejando P , se tiene:

$$P = 120 \times f / n = \frac{120 \times 60}{120} = 60 \text{ polos.}$$

En la práctica casi todos los generadores síncronos tienen inducidos estacionarios y excitación giratoria, aplicandose las ecuaciones anteriores.

Tabla No. 1.

Relación entre la frecuencia y la velocidad.

Número de Polos	Velocidad en R.P.M.			
	25 c.p.s.	60 c.p.s.	180 c.p.s.	400 c.p.s.
2	1500	3600	10800	24000
4	750	1800	5400	12000
6	500	1200	3600	8000
8	375	900	2700	6000
10	300	720	2160	4800
12	250	600	1800	4000
40	75	180	540	1200

REACCION DE ARMADURA.-

En los generadores, para mantener el flujo magnético constante en el entrehierro y por consiguiente la FEMI constante, el principal problema es contrarrestar los efectos de la reacción de armadura.

La FEMI en la armadura es la suma de la de la tensión terminal de la máquina más la caída de la impedancia real del Generador.

$$I(r_a + j X_s)$$

Cuando el efecto de la saturación magnética es despreciable el voltaje del Generador es proporcional a la corriente de campo.

Por tanto el vector OE_a representa la corriente de campo requerida para este voltaje.

La corriente de excitación de plena carga está representada por el vector OE_o y la diferencia de las corrientes de campo OE_o y la diferencia de las corrientes de campo $OE_o - OE_a$ es debida a la reacción de armadura.

Los flujos magnéticos siempre estan en fase con las corrientes que los producen por lo que pueden ser tratados en términos magnétométricos.

Por tanto podemos definir la reacción de armadura como el flujo magnético producido por las corrientes eléctricas que circulan por cada una de las fases del estator. Este flujo magnético debido a la disposición de los conductores es de amplitud constante y gira a la velocidad del rotor cuando las corrientes son balanceadas en las 3 fases.

DIAGRAMA VECTORIAL DE LAS TENSIONES.
DEL GENERADOR.

- E .- Voltaje Terminal
- I_a .- Corriente de Carga Nominal.
- I_{ra} .- Caída Resistiva en la Armadura.
- I_{xa} .- Caída Reactiva por flujos de Dispersión.
- I_{xa} .- Caída por efecto de Reacción de Armadura.
- E_a .- Tensión Inducida total en Armadura.
- E_0 .- Tensión sin carga con corriente de campo nominal.

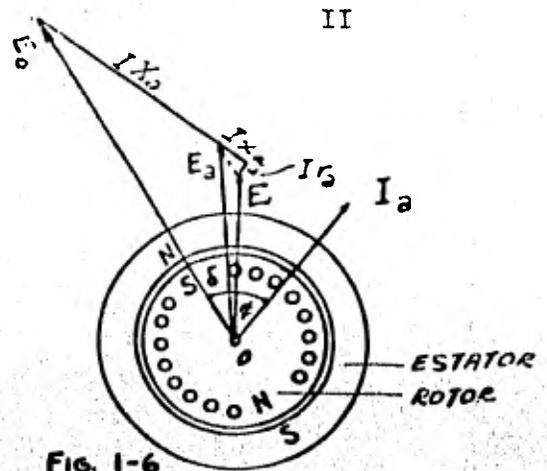


FIG. 1-6

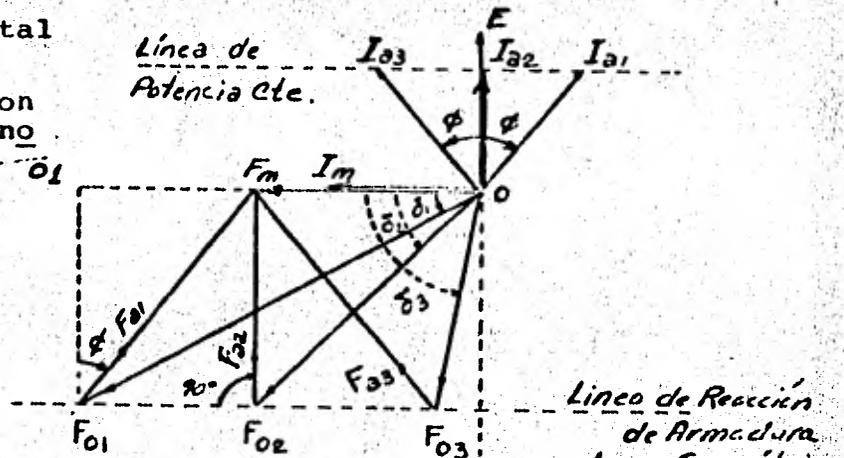


FIG. 1-7

DIAGRAMA DE VECTORES DE FMM A POTENCIA REAL CONSTANTE.

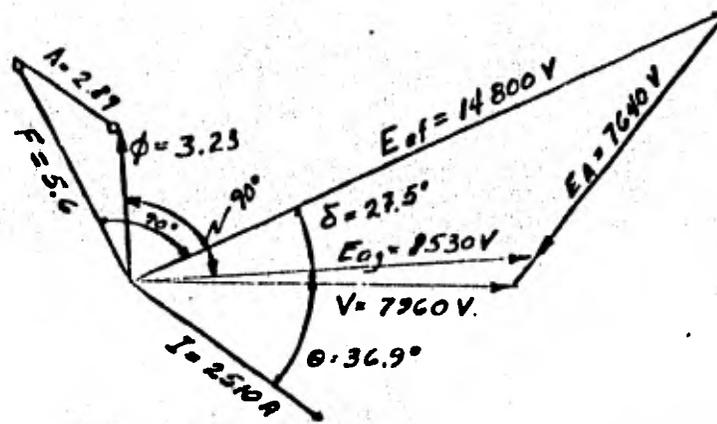


DIAGRAMA FASORIAL DE UN GENERADOR SINCRONO.

60 MVA, 48 MW. F.P. = 0.8

13.8 KV, 2510 A.

FIG. 1-8

REACCION DE ARMADURA

Quando un generador suministra corriente a una carga, la misma corriente que fluye a través de la carga fluye también a través del devanado de armadura. Esto hace que se forme un campo magnético alrededor de los conductores del devanado de armadura, ya que la corriente que pasa a través de cualquier conductor producirá un campo magnético. Los campos magnéticos que están alrededor de cada uno de los conductores del devanado de armadura se combinan para producir un campo magnético general. Así, hay dos campos magnéticos en el espacio que se encuentra entre las piezas polares del generador. Uno de ellos es el campo que produce la corriente en la armadura y el otro es el campo magnético principal, originado por el devanado de campo.

Una característica de los campos magnéticos es que sus líneas de flujo no se pueden cruzar; en cambio se combinan para producir un nuevo campo magnético total. El campo total de cada uno de los dos campos que hay entre las piezas polares del generador, tiene una dirección según se ilustra en la figura 1-9. Este es el campo que realmente corta las bobinas de armadura cuando ésta gira. Aún se induce un voltaje cero en cada bobina cuando no corta líneas de flujo; pero los dos puntos donde esto ocurre, no se encuentran ya en el mismo lugar que tenían cuando sólo se consideraba el campo magnético del devanado de campo. Los dos juntos han sido desplazados en la misma dirección que la rotación de la armadura. Por lo tanto, esto significa que el plano neutro se ha desplazado en dirección de la rotación de armadura.

El desplazamiento del plano neutro depende de la intensidad del campo magnético que la corriente de carga origina alrededor del devanado de armadura. Cuando mayor sea la corriente de carga, mayor será el desplazamiento del plano neutro. Sin embargo, la dirección de desplazamiento siempre es la misma que la dirección de rotación. Nótese, pues, que si la carga es constante, las escobillas se pueden colocar en la nueva localización del plano neutro y quedar allí. Pero si la carga en el generador cambia frecuentemente, las escobillas deben cambiarse constantemente a la nueva posición que toma el plano neutro, para obtener una buena conmutación. Obviamente, esto constituye un procedimiento laborioso.

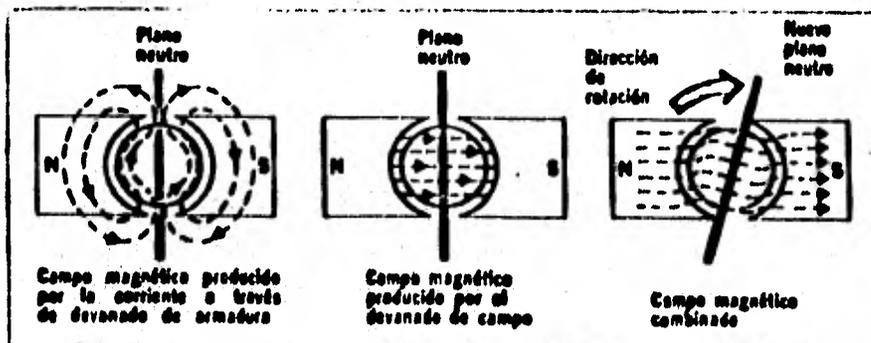


FIG. 1-9

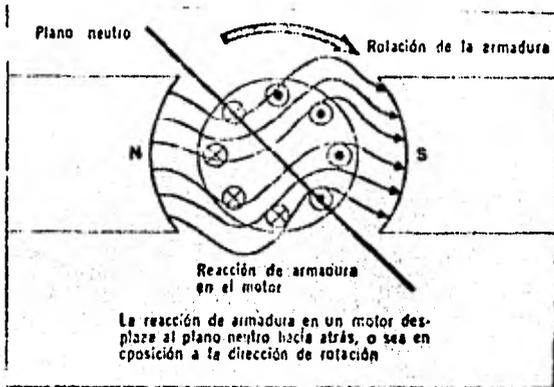


FIG. 1-10

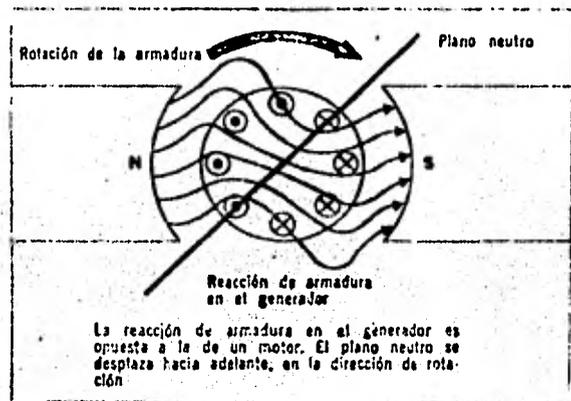


FIG. 1-11

REACCION DE ARMADURA.

La comparación de motores y generadores indica que su funcionamiento es convertible, casi nunca sucede que un motor se use como generador o viceversa. Esto se debe a que la reacción de armadura en los motores desplaza el plano neutro hacia atrás, en sentido opuesto a la dirección de rotación, mientras que en los generadores, el plano neutro se desplaza hacia adelante, o sea, en la misma dirección que la rotación. Como resultado, si se trata de usar uno como otro su funcionamiento será ineficiente y estará acompañado de mucho chisporroteo en el conmutador. En los casos especiales en que debe convertirse un generador con motor o viceversa, esto se puede hacer ya sea desplazado el eje de escobillas y/o realambrando o reconectando los interpolos para compensar la nueva dirección de desplazamiento del plano neutro.

RELACION DE CORTO CIRCUITO.

Se ha mencionado que cuando una carga de factor de potencia atrasada es conectada a un Generador, la corriente de excitación deberá incrementarse una cantidad suficiente para neutralizar el efecto desmagnetizante de la reacción de armadura.

Además existe una caída de voltaje inductiva en la máquina.

Cuando el Generador es cortocircuitado en sus terminales la corriente de corto circuito solamente es limitada por la impedancia de la máquina.

La resistencia de armadura es despreciable comparada con la reactancia síncrona.

Por tanto la corriente se atrasa 90° del voltaje del estator y la reacción de armadura es totalmente desmagnetizante.

Si la corriente de campo se ajusta tal que la corriente circulante del Generador sea igual a la nominal de plena carga, la corriente de campo requerida conducirá a una relación definida con respecto a la corriente de campo requerida para inducir el voltaje nominal con terminales abiertas. Esta relación se le conoce como relación de corto circuito.

La relación de corto circuito de un Generador es la relación entre la corriente requerida para producir el voltaje nominal con circuito abierto en--

tre la corriente de excitación con la máquina en -
corto circuito.

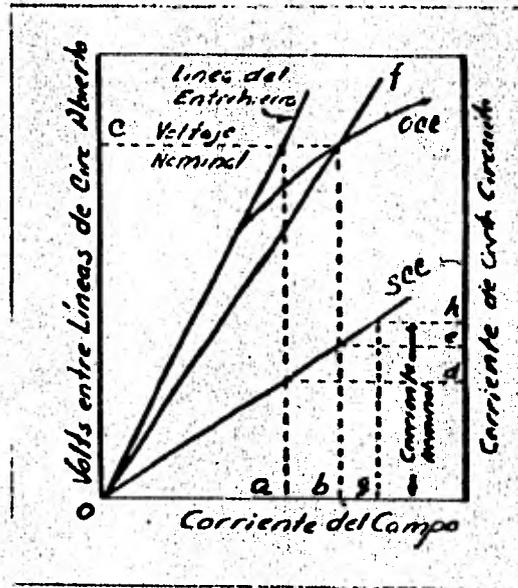


FIG. 1-12

CARACTERISTICAS DE CIRCUITO ABIERTO Y CORTO CIRCUITO.

La relación de corto circuito (RCC) es una medida -
del tamaño físico de una máquina síncrona nominal
a un factor de potencia, KVA, y velocidad dados. -
La relación de corto circuito se define como la --
relación de la corriente de campo para voltaje de
cero carga nominal a velocidad nominal a la co---
rriente de campo para la corriente de armadura no-
minal en corto circuito.

En la fig 1-120b es la corriente de campo que produce un voltaje nominal en la característica de circuito abierto y O_g , la corriente de campo para corriente de corto circuito nominal. Por lo tanto, la relación de corto circuito es:

$$RCC = \frac{O_b}{O_g}$$

Para tener una idea de la influencia de la RCC sobre el tamaño físico de una máquina síncrona, considere una máquina en donde la longitud "g" del entrehierro se duplica, dejando el embobinado de la armadura y las dimensiones del hierro del estator constantes. Si la reluctancia del hierro fuera despreciable, la corriente de excitación en vacío necesitaría duplicarse también para producir el mismo voltaje terminal. Al duplicar la longitud del entrehierro se reducen los valores no saturados de la reactancia de la reacción de armadura un medio de su valor original, de tal manera que solamente cerca de la mitad del flujo resultante original es necesario para producir la corriente de corto circuito nominal. Pero como la reluctancia se duplicó en el entrehierro la FMM requerida en la prueba de corto circuito será prácticamente la misma que anteriormente. Sin embargo se requirió dos veces la corriente de campo para producir la tensión nominal en vacío. Por tanto al aumentar la corriente de excitación se tendrán más pérdidas en el rotor y la máquina deberá hacerse más grande. Como alternativa quedaría dejar la corriente de excitación constante y duplicar el número de vueltas lo cual también llevaría a una máquina más grande.

REACTANCIA SINCRONA.

Utilizando las curvas de saturación y corto circuito de la máquina de corriente de campo requerida para que circule en las terminales del Generador en corto circuito la corriente nominal de la máquina en el estator es A D. Esta corriente de campo está compuesta de dos partes correspondientes a $IX_a = (A-A')$ y la corriente $IX_A = (A' - D)$, la cual representan la reacción de armadura.

La corriente de campo se mantiene después de quitar el corto circuito la FEM se elevará en las terminales del Generador a un valor muy superior al voltaje nominal.

Despreciando la saturación magnética de Voltaje alcanzado D G volts. sobre la línea del entrehierro.

Si se toma en consideración la saturación será D H

Es claro que cuando el Generador está en corto circuito cualquiera de estos dos voltajes aparentes pueden ser considerados para la circulación de la corriente de corto circuito.

El voltaje es la caída interna y tendrá una forma IX.

Consideramos D F 100% D G 245%

El valor X_s se denomina reactancia sincrónica no saturada y es no saturada porque va asociada a la línea de entrehierro A G la cual lleva la pendiente del incre

mento del voltaje del Generador cuando el hierro no está saturado y requiere poca fuerza magnetomotriz.

$$X_s = \frac{\text{Amperes de campo para corriente de plena carga en CC}}{\text{Amperes de campo para voltaje nominal en C. A.}}$$

Si una línea de saturación se utiliza para determinar la reactancia síncrona el valor X_s será menor.

En la fig. 13 el voltaje de 100% se intersecta por la curva de saturación en el punto K'.

La línea AK'H es la línea de saturación para 100% de voltaje y considerando esta línea se podrá obtener la reactancia síncrona saturada.

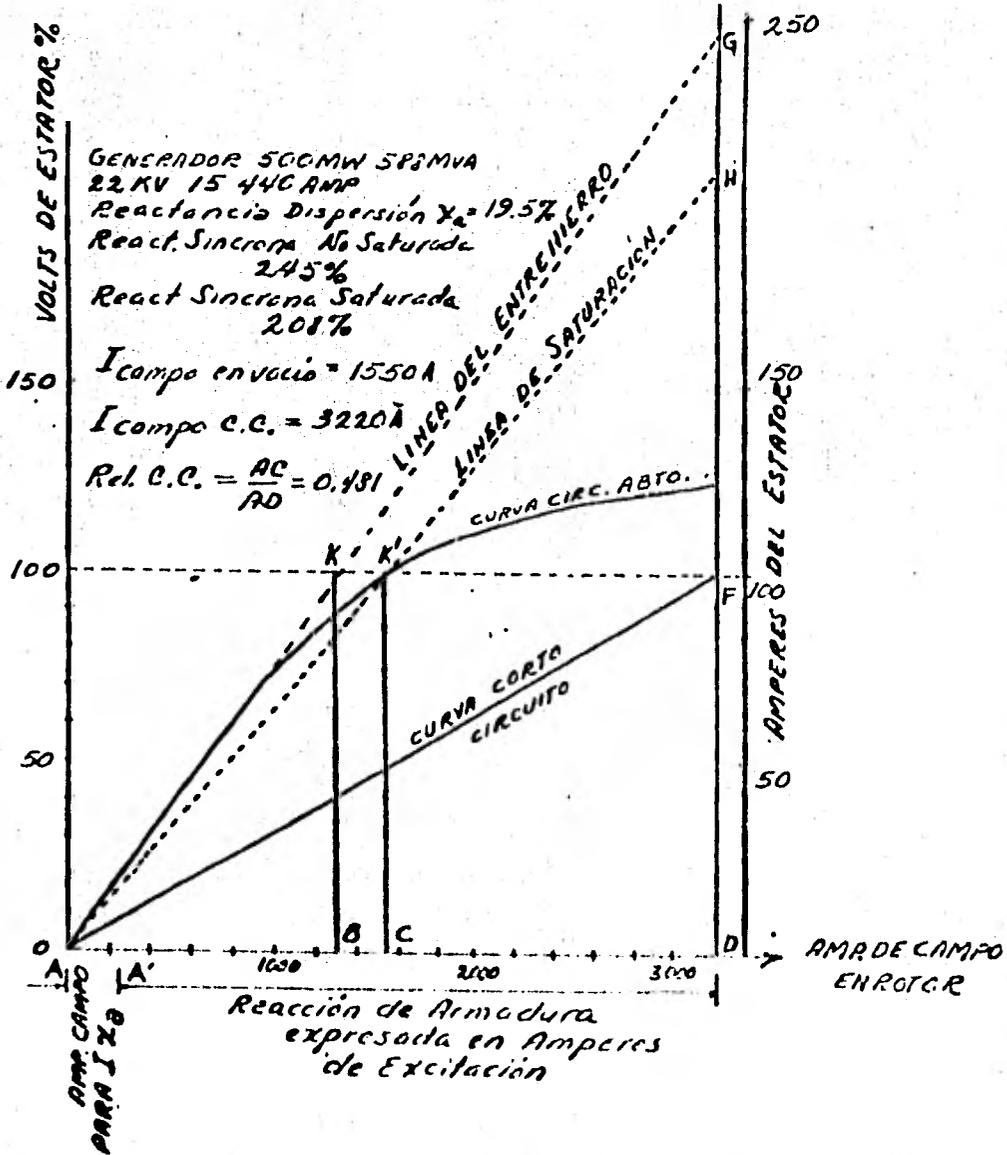
La reactancia síncrona saturada es igual a la inversa de la relación de corto circuito.

La reactancia síncrona no saturada es suficientemente precisa para el análisis de problemas pero un estudio de estabilidad de la máquina o en corto circuito las reactancias saturadas deberán usarse.

Básicamente un Generador es un electroimán que obedece las leyes del circuito magnético, la permeabilidad del hierro el cual construyó la trayectoria del flujo magnético decrece con la saturación magnética por eso la curva de saturación de circuito abierto tiene esa configuración.

Por consiguiente los cálculos que consideran el estado de saturación magnético para los valores de --

reactancias deberán ser basados en el incremento o decremento de permeabilidad.



CURVAS TÍPICAS DE CIRCUITO ABIERTO Y CORTO CIRCUITO DE UN GENERADOR DE 500 MW.

FIG. 1-13

REACTANCIA DE LA MAQUINA BAJO CONDICIONES DE C.C.

Cuando un corto circuito sucede en las terminales de un Generador excitado a voltaje nominal una fuerte corriente circulará excediendo el valor estable varias veces. La corriente decrecerá rápidamente del valor inicial -- pero el Generador deberá diseñarse para soportar los -- esfuerzos desarrollados por el impulso de corriente inicial.

Si se observan las ondas de corriente de corto circuito de un Generador en oscilogramas se distinguen dos características:

1. El valor inicial de cada corriente es diferente y asimétrico.
2. Los valores pico decrecen rápidamente primero y después suavemente hasta alcanzar un valor estable.
Fig. 1-14 y 1-15.

El grado de asimetría depende de un instante del ciclo de voltaje en el cual ocurrió el corto circuito. Si -- el corto circuito ocurre cuando el voltaje pasa por cero la corriente alcanzará un valor máximo, si ocurre -- cuando el voltaje pasa por un punto máximo la corriente será simétrica.

En la práctica el valor máximo de corriente de corto -- circuito logrado es de 1.8 veces el valor simétrico.

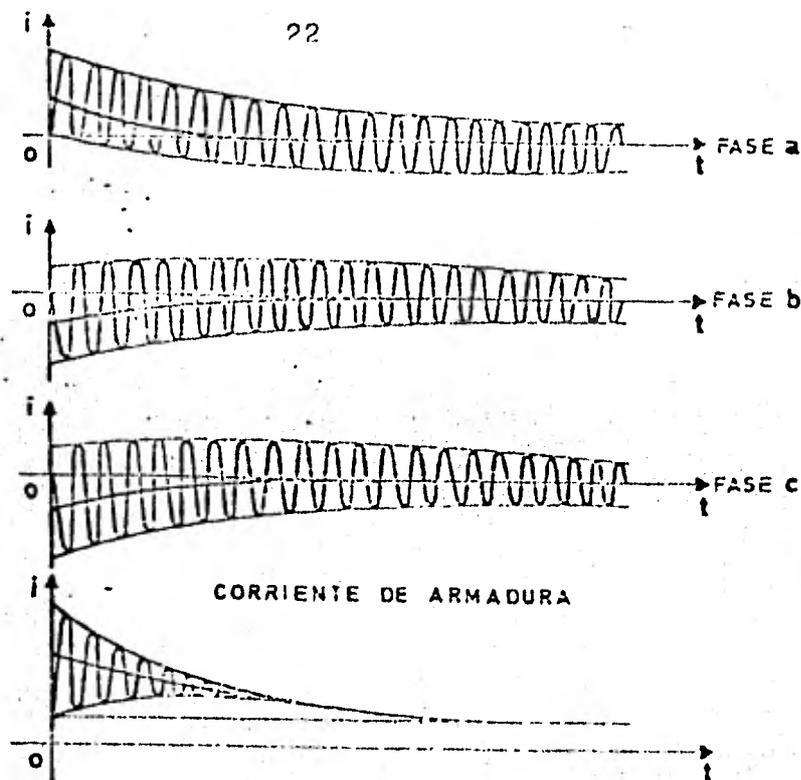
Los términos subtransitorio y transitorio son aplicados a los rápidos cambios de corriente que ocurren inmediatamente después de un corto circuito y para tomarlos en cuenta deberán considerarse reactancias transitorias en el Generador.

Cuando una variación brusca de carga ocurre en la máquina, la reactancia es mucho menor que el valor síncrono.

Un corto circuito representa una variación súbita de carga y sólo la reactancia transitoria de la máquina limita la corriente de corto circuito. La corriente se atrasa 90° al voltaje y la reacción de armadura es completamente desmagnetizante.

Hay un transitorio más corto denominado afecto subtransitorio.

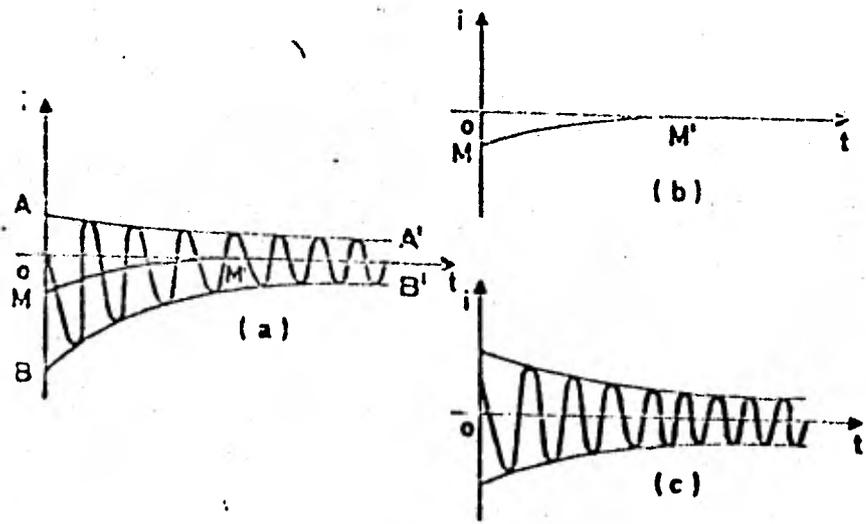
La elevación de corrientes de corto circuito en el estator es casi instantanea y el rápido cambio de flujo magnético asociado con él induce corrientes de Eddy, en las caras polares del rotor y en los embobinados de amortiguamiento, el efecto es reducir la reactancia de la máquina abajo del valor transitorio y el resultado es la corriente subtransitoria.



CORRIENTE DE CAMPO

Oscilogramas de las corrientes producidas por un corto-circuito trifásico aplicado a las terminales de un generador que estaba operando en vacío.

FIG. 1-14



Desarrollo de la corriente de cortocircuito.

FIG. 1-15

C A P I T U L O I I

PRIMOTORES

PRIMOTORES**Turbinas Hidráulicas.**

Las caídas de agua son la fuente de energía ideal para el hombre pues es renovable, y no contamina el ambiente. Sin embargo tiene como problemas - que es un recurso limitado y que depende de la - precipitación pluvial que en ocasiones es baja.

Existen tres tipos de Turbinas Hidráulicas:

- a) La Rueda Pelton que usa en caídas grandes - de poco caudal.
- b) La Turbina Francis para caídas medianas y - gran gasto.
- c) La Turbina Kaplan para caídas bajas y muy - grandes gastos.

Desde el punto de vista eléctrico estas unidades en general son máquinas de baja velocidad que requieren un generador de varios pares de polos y flecha vertical para los tipos Francis y Kaplan.

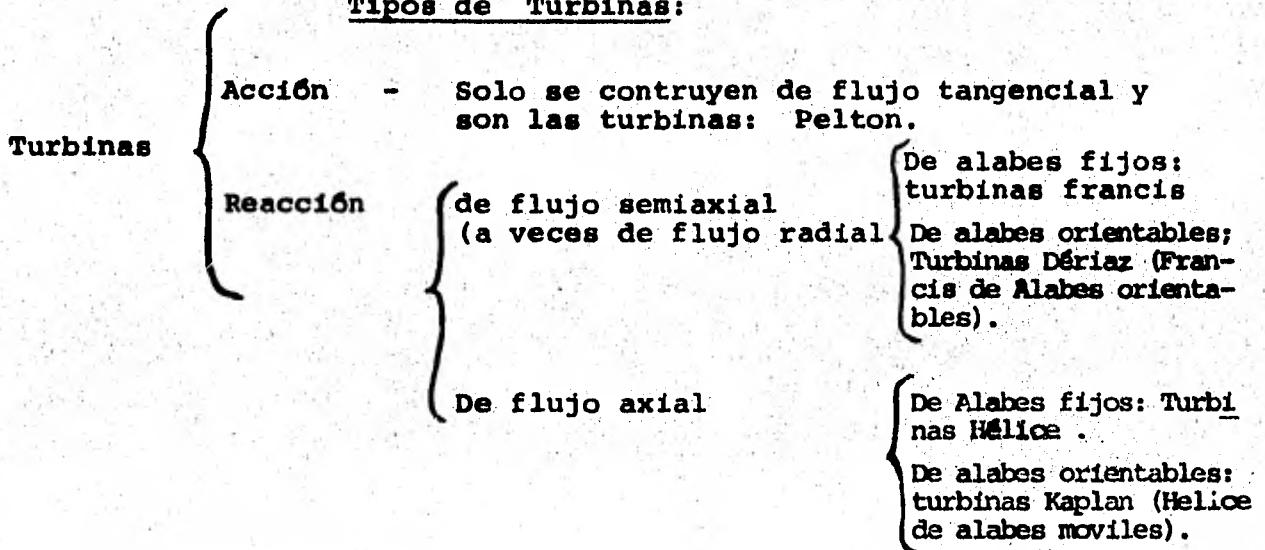
Por ejemplo la Planta de Mal Paso tiene seis Generadores de 180 MW cada uno, 138.6 rpm 52 polos.

Sus auxiliares eléctricos son mínimos.

TURBINAS HIDRAULICAS.

La turbina hidráulica es una turbomáquina motora, y por lo tanto esencialmente es una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa. Una turbina absorbe energía del fluido y restituye energía mecánica.

Tipos de Turbinas:



Según el cuadro anterior en la actualidad. Se contruyen cinco tipos de turbinas: Pelton, Francis, Dériaz, Hélice y Kaplan.

La pelton es de acción y las otras cuatro de reacción; en la hoja 2-5, se ilustran los distintos tipos de turbinas.

Turbina Hidráulica, según el grado de reacción se clasifican en dos grupos: Turbinas de acción y Turbinas de reacción; esta clasificación se funda en el concepto de grado de reacción, Sec. 18.6 "Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas - Claudio Mataix.

Si el grado de reacción es 0, la turbina se llama de acción. Si es distinto de cero, la turbina se llama de reacción.

Elementos Constituidos:

- a) Canal de llegada o tubería forzada.
- b) Caja espiral. Transforma presión en velocidad.
- c) Distribuidor, transforma presión en velocidad y actúa con tubería.
- d) Tubo de aspiración. Es el órgano de desague.

La combinación de una turbina hidráulica y un generador eléctrico recibe el nombre de estación hidroeléctrica. (la mayoría de las turbinas de agua mueven dinamos o generadores para crear una corriente eléctrica).

TURBINAS PELTON..

Con la ayuda de un chiflón (1) se lanza el agua en un chorro (2) a alta velocidad contra los cangilones (4) montados separada o integralmente en un rodete (3) el cual comunica un par mecánico que es aprovechado en la flecha del rodete.

Las turbinas que operan bajo este principio son llamadas "turbinas de impulso" y pueden estar provistas de uno o varios chiflones.

La mejora esencial introducida por Pelton fue la adopción de cangilones dobles, simétricamente colocados en relación con un plano vertical. La costilla central divide el chorro en 2 venas iguales, que son deflectadas hacia los lados.

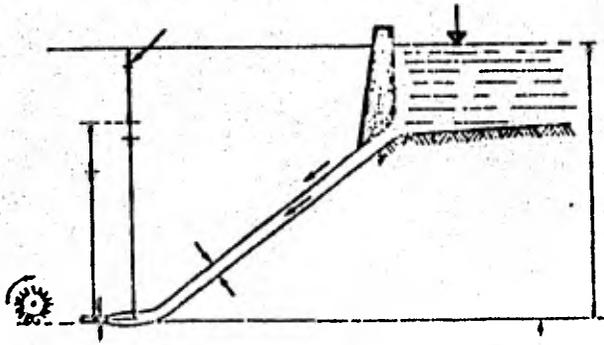


Fig. 2-1 Esquema del flujo en los cangilones

La parte extrema del cangilón es cortada cuidadosamente en forma semicircular, con objeto de que el chorro incida en él con eficiencia máxima, sin interferir con el siguiente cangilón, evitando que el líquido dé en la parte posterior de un cangilón que ya trabaja.

La cantidad de agua es regulada por una aguja que se introduce en el chiflón y que puede ser ajustada durante la operación.

El agua, después de incidir en los cangilones se reúne en una carcasa y es desalojada por una cámara especial llamada colector. Entre el nivel aguas abajo en esta cámara y el rodete existe un cierto espacio que evita salpicaduras.

A diferencia de las turbinas Francis y Kaplan, que utilizan parte de la carga de la línea de centros del rodete hacia abajo, en las turbinas Pelton sólo se emplea la carga hasta la línea de centros del chiflón.

Para obtener una eficiencia alta es esencial que el chiflón esté bien diseñado en forma y tamaño.

Las turbinas Pelton trabajan bajo cargas altas y gastos pequeños. Debido a que las cargas son altas y a los chiflones, la velocidad se incrementa acelerando a su vez los rodetes; consecuentemente -- la generación es a menor costo. El diámetro del rodete deberá -- guardar cierta relación con el diámetro del chiflón, como se verá más adelante.

Los cangilones pueden ir montados en el rodete, o bien estar fundidos íntegramente con él. Se recomienda esta segunda forma ya -- que ahorra costos muy altos de maquinado y ensamble. Antiguamente los cangilones eran postizos, es decir, remplazables. Sin embargo, como el desgaste ocurre parejamente, cambiar cangilones -- equivale a cambiar toda la rueda.

En las turbinas Pelton, el principal elemento que merece atención en cuanto a la resistencia son los cangilones. La erosión en -- ellos es muy fuerte, debido a la velocidad del agua, a la arena -- que contiene así como a la corrosión. Es imprescindible que la -- forma sea conveniente y el material adecuado, para que los cangilones sean durables.

Según sean la carga, los esfuerzos, el contenido de arena del agua, etc. los cangilones serán de hierro, acero, acero aleado o acero inoxidable. El hierro sólo se usa para ruedas muy pequeñas por su poca resistencia y su difícil soldadura.

El agua fluye al chiflón (1) a través de la tubería de entrada -- (12) cuya pendiente desciende ligeramente hasta hacerse paralela al eje de la aguja. Se logra hacerlos concéntricos por la guía (14) El eje de la aguja es el marcado (13).

Anterior a la sección de entrada (12) se encuentra un tramo (17) -- con su base anclada (17a) y un tubo para derivación del líquido -- aguas abajo (18). Este tramo entrará en funciones cuando se quiere evitar que el agua pase al rodete y todavía no se haya cerrado la válvula principal.

El chiflón (1) está unido por bridas a la tubería (12). El chiflón es de hierro para cargas bajas, y de acero para cargas altas. Tiene la parte del asiento perfectamente pulida y el acero es forjado.

Los insertos para turbinas que operan bajo cargas altas o cuando el agua contiene bastante arena, son de acero inoxidable forjado. Se pueden remplazar dejando el rodete intacto. Las guías de la -- aguja (14) son de bronce, de maquinación cuidadosa.

La flecha de la aguja (13) es de acero tipo Siemens Martin, y está soportada en varios puntos. La fricción se reduce por una camisa de bronce (13a) que hay dentro.

El pistón de balanceo (13b), el cual sirve de guía, también es de bronce, o de acero inoxidable cuando hay arena. Asegura el balanceo hidráulico de las fuerzas ejercidas sobre la aguja y sirve como estopero para la flecha de la aguja (13): en (13c) se usa empaque.

Cuando ha habido un desgaste de la aguja o del asiento se puede -- volver a ajustar este movimiento el pistón (22) con el resorte (23)

El volante (25) que hay al extremo de la flecha de la aguja sirve para arrancar la turbina. Después viene la regulación automática como veremos más adelante.

Cuando una carga se rechaza bruscamente, el deflector del chorro (20) intercepta éste (2) y evita que golpee el rodete (3). El -- deflector es de acero.

La Carcaza. En las turbinas Pelton, la carcaza solamente guía el agua de los cangilones (4) al colector (6). En algunos casos son robustas y de hierro, para que no ocurran vibraciones en la operación. En turbinas horizontales, la tubería de entrada va unida con brida a la carcaza y los baleros de la -- turbina descansan en la carcaza. Por razones de ensamble, la carcaza tiene al menos dos partes. La parte superior (31) cubre el rodete, previniendo cualquier perturbación por acción del aire. La parte inferior (32) aporta el conjunto de tubería y chiflón, a la vez que guía el agua al colector.

El número (32a) corresponde a las paredes laterales.

El desviador (33) recoge el agua que escurre de los cangilones superiores y la desvía abajo, sin que toque el rodete.

Las cámaras laterales (30b) recogen el agua que se adhiere a las flechas, y es desviada por un anillo desviador (40b), el flujo -- que resulta es guiado por los canales (32b).

Hay una placa de acero (34) opuesta al chiflón (1) que previene que el concreto se humedezca con la acción del agua y en segundo -- hagan que el agua desviada del chiflón golpee directamente contra el concreto. Esas placas no son necesarias para cargas pequeñas.

También en las paredes del colector (37) hay serpentines para enfriar el aceite del gobernador y de las chumaceras con el agua de descarga.

Las bobinas (36) para enfriar el aceite del gobernador y las chumaceras se ponen en los lados del pozo de la turbina, debajo de la carcaza.

La flecha de la turbina (40) es soportada por dos chumaceras (41) y 42), las cuales a su vez descansan en la base (30c). En el caso de turbinas muy grandes, el precio puede ser reducido eliminando la chumacera (42) y haciendo que sea la chumacera del generador la que absorba esta carga.

El diseño simétrico de los cangilones hace que no exista esfuerzo axial apreciable.

Para seguridad en una de las chumaceras se pone un collarín (40a) que impide cualquier desplazamiento de la flecha.

Los bujes de las chumaceras constan de dos partes de metal blando y son fácilmente removibles.

Para turbinas de alta velocidad o alta potencia se enfría el aceite.

Las turbinas pequeñas están equipadas con coples (43) asegurados por cuñas, En las más grandes se usan coples de brida forjados. Para frenar rápidamente algunas turbinas tienen una conexión antes de la válvula de la turbina de donde parte un chiflón que golpea la rueda en el reverso.

Lista de partes

1. Boquilla de inyección No. Inserto
2. Chorro de agua
3. Rodete
4. Cangilones
- 4a. Parte recorrida del cangilón
- 4b. Partición central
5. Cabeza de la aguja
- 5a. Punta de la aguja
6. Colector
7. Birlos de la boquilla
8. Rodete
9. Tornillos de tensión
10. Tornillos de tensión
11. Cuñas radiales
12. Tubería de entrada
- 12a. Brida de la tubería de entrada
13. Eje de la aguja
- 13a. Camisa de bronce

30.

- 13b. Pistón de balanceo
- 13c. Empaque
14. Guías de la aguja
15. Soporte del eje de la aguja
16. Agujero para limpieza
17. Tramo inferior
- 17a. Base anclada
18. Tubo para derivación del líquido aguas abajo
19. Válvula de la turbina
20. Deflector del chorro
21. Palanca del mecanismo de regulación
22. Pistón del servomotor
23. Resorte para el cierre de la aguja
24. Válvula de distribución para la boquilla
25. Volante
26. Deflector
27. Leva
30. Carcasa
- 30a. Apertura para inspección del tramo inferior
- 30b. Cámaras laterales
- 30c. Base
31. Parte superior de la carcasa
32. Parte inferior de la carcasa
- 32a. Paredes laterales
- 32b. Canales de desagüe
33. Desviador
34. Placa de acero
35. Bobinas
37. Paredes del colector
- 37a. Agujero para descarga del agua de enfriamiento
40. Flecha de la turbina
- 40a. Collarín
- 40b. Anillo desviador
41. Chumacera
42. Chumacera
43. Coples
44. Gobernador
45. Volante

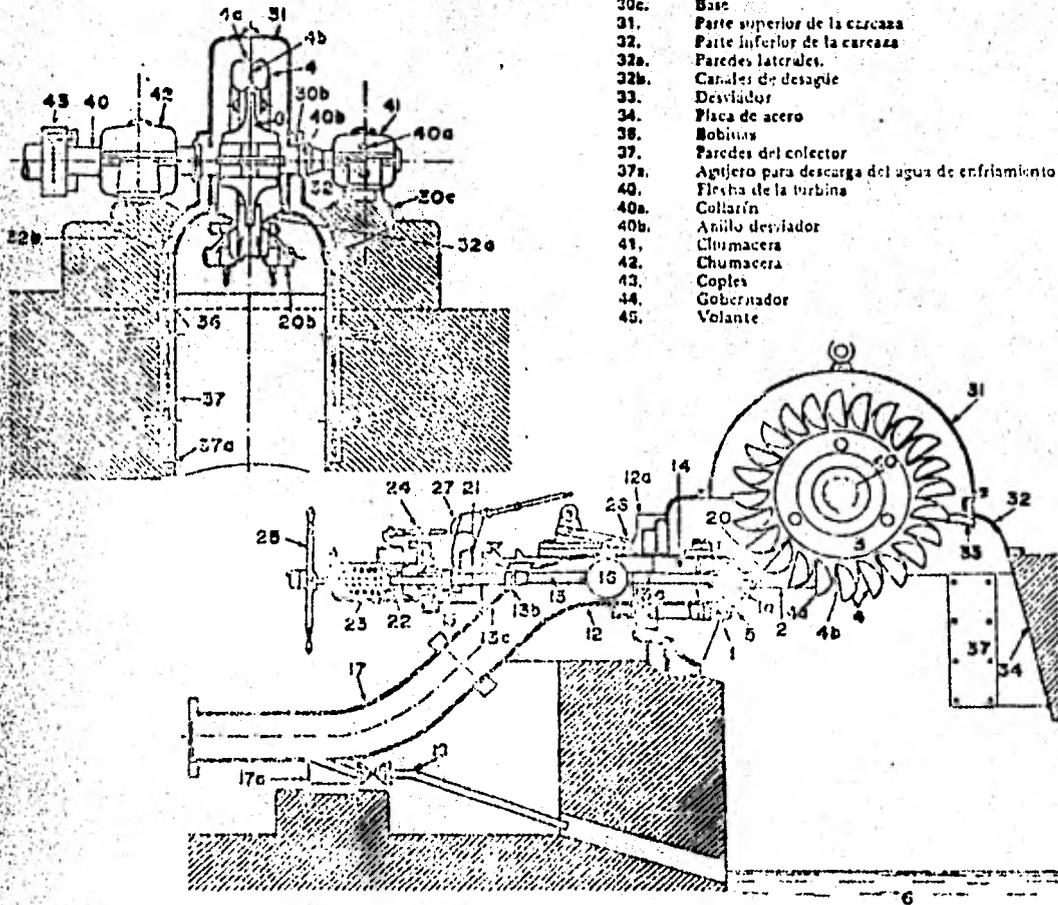
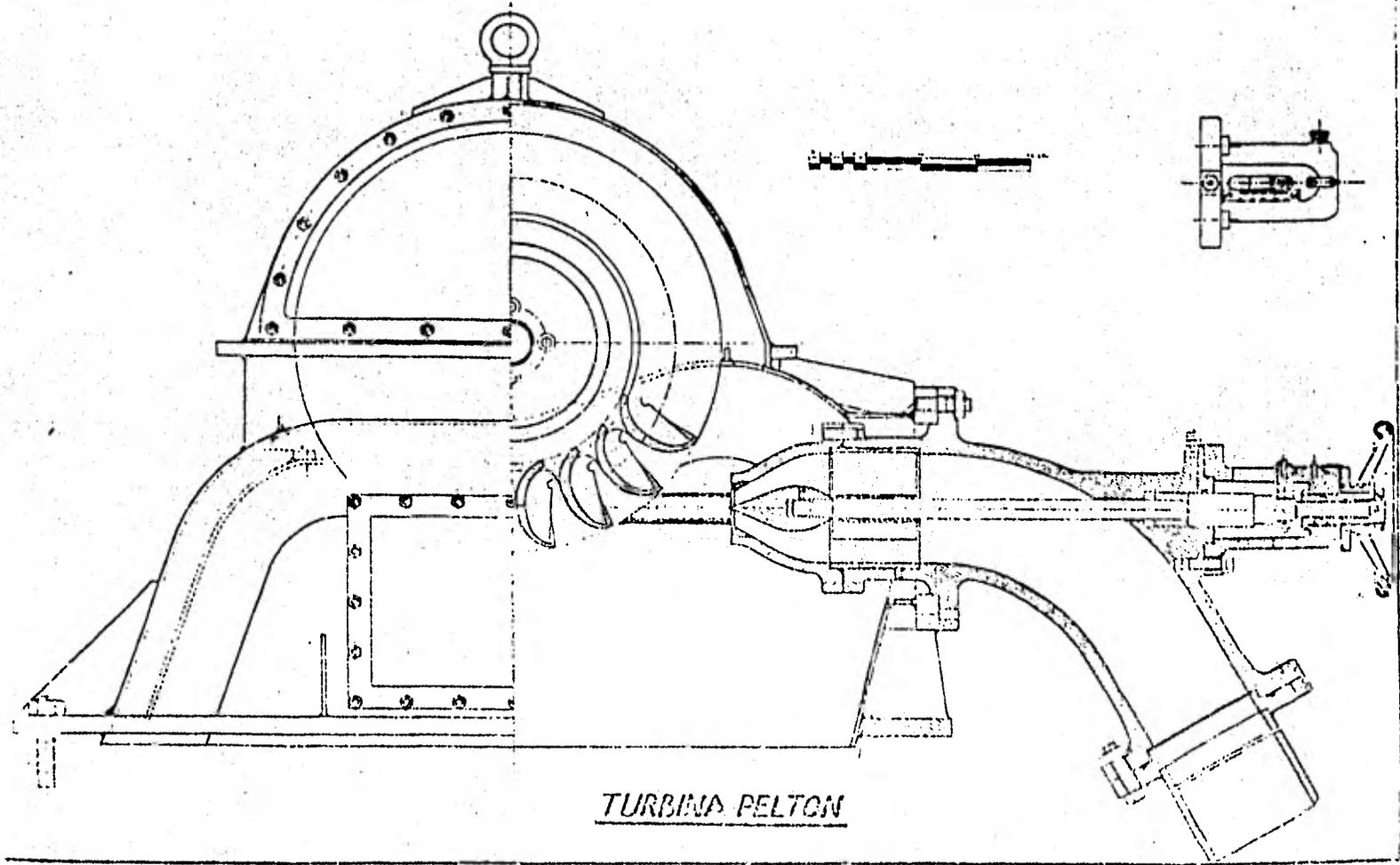


Fig. 2-2 Corte secuencial de una Turbina Pelton.



TURBINA PELTON

Fig. 2-3

TURBINAS KAPLAN

La turbina Kaplan es una turbina de reacción y su flujo es completamente axial, es una turbina de hélice con álabes móviles, que -- fue la modificación introducida por el profesor Kaplan. Se usa para grandes caudales con saltos pequeños, y algunas veces medianos. Las tres características esenciales que la han hecho insustituible para tales casos son:

- a) dimensiones reducidas
- b) velocidad relativamente elevada
- c) rendimiento alto con cargas variables
- d) notable capacidad para sobrecargas

El rodete cuenta solamente con unos pocos álabes, dispuestos en -- sentido radial y sin corona exterior, y el agua lo atraviesa en -- sentido axial. Los álabes tienen un perfil hidrodinámico con poca curva, que atenúa las pérdidas e imprime mayor velocidad del agua. Ello permite reducir los diámetros del rodete, alcanzándose por -- consiguiente mayores velocidades que sobrepasan el doble de las -- que se conseguían en turbinas Francis de carga baja.

Esto reduce el tamaño y costo de los generadores, consecuencia de la movilidad de los álabes son elevados rendimientos a cargas parciales y la posibilidad de sobrecargar la turbina. Los álabes pueden girar sobre el cubo de la rueda.

El rodete va precedido del distribuidor cuyos álabes directrices -- son generalmente móviles.

Estos álabes directores del distribuidor y los del rodete se pueden regular simultáneamente durante la marcha, a fin de obtener el rendimiento máximo.

La turbina Kaplan presenta así una característica de rendimiento, que es el conjunto de los puntos máximos de una infinidad de características de las turbinas de hélice. Ello explica por qué los -- rendimientos con carga parcial son tan elevados.

En saltos pequeños, la entrada del agua a la turbina se efectúa a través de una cámara abierta o bajo presión. En este último caso, la cámara se construye de concreto.

Para saltos más elevados la carcasa se hace de chapa de acero, en una forma similar a las carcasas Francis. Estas carcasas se revisitan luego, total o parcialmente, con cemento.

El paso de la carcasa al distribuidor tiene lugar a través del anillo distribuidor fijo, que se halla empotrado en el concreto.

Las flechas de la turbina Kaplan y del generador deben ser huecos, para poder alojar todos los elementos de regulación que accionarán los álabes del rodete situados en el cubo de la turbina.

Cuando el agua deja el rodete tiene todavía una velocidad muy elevada, y por consiguiente alta energía cinética, que si se perdiera reduciría considerablemente la eficiencia.

Para recuperar la mayor parte de dicha energía se hace uso de un tubo de aspiración o desfogue, cuidadosamente estudiado, cuyo objetivo podemos resumir como sigue:

- a) convierte la energía de velocidad con que el agua abandona el rodete en energía de presión.
- b) permite obtener una presión menor (vacío) que la atmosférica, que ayudará al flujo y aumentará la carga con que trabaja la turbina.
- c) evita que el agua salga directamente a la atmósfera regulando la salida y permitiendo que se instale la turbina a un nivel más alto que el nivel aguas abajo.

La forma más apropiada para ese tubo es la de un codo de sección variable, casi siempre construido de metal o de concreto, que además, por su poca altura ofrece la ventaja de reducir los trabajos de excavación de la central.

Los álabes de la rueda relativamente poco numerosos, van montados móvilmente en el cubo, que presenta una forma apropiada para reducir al mínimo el juego entre los álabes y el cubo. Los álabes deben ser perfectamente lisos, tanto así que cuando se trata de turbinas grandes son maquinados en una fresadora.

El cubo de la rueda es relativamente grande, a fin de que pueda contener en su interior los dos soportes para cada uno de los -- gorriones de los álabes. Además se encuentran las palancas de mano, bielas, cruceta y todo el varillaje de regulación.

El cubo se llena completamente de aceite. Para que no existan fugas del mismo se colocan juntas que reducen las fugas al mínimo. El aceite deberá estar a una presión mayor que el agua, para que ésta no se introduzca en el cubo.

El varillaje de regulación es accesible por debajo, quitando la tapa. Con el fin de que los tornillos de fijación no dificulten la afluencia del agua en operación, éstos van colocados en pequnos huecos que luego se rellenan con plomo.

La Turbina Kaplan se ilustra en la figura 2-5

TURBINAS FRANCIS

Las turbinas Francis se usan para cargas medianas (aproximadamente 30-400 metros) y gastos bastantes grandes aun cuando también se -- usan para gastos menores. Según sea la carga se puede elegir entre varios tipos de rodetes, es decir lentos, normales, rápidos y extrarápidos, denominación que se basa en la velocidad específica y no en la velocidad angular; además los rodetes se diferencian entre sí por su forma.

Características

El tipo normal tiene un rodete en el cual el diámetro de entrada D_1 es ligeramente mayor que el tubo de desfoque D_3 . El agua atraviesa el rodete, desviándose de la dirección radial a la axial con la cual entra al tubo de aspiración.

En los rodetes Francis lentos la diferencia entre D_3 , D_1 , y el cambio de dirección son muchos más pronunciadas.

Rápidos.

1. El entrehierro es grande
2. El diámetro de entrada es chico y el de salida grande.
3. Flujo casi axial.
4. Se utiliza en caídas pequeñas.

El principio de operación es el siguiente:

El agua procedente de la tubería forzada entra en la cámara espiral después en el distribuidor y finalmente en la rueda motriz, donde -- transforma su energía hidráulica en energía mecánica, transmitiéndola por el eje 4 de la turbina. El agua sale por el tubo de desfo-- que al canal aguas abajo.

La carcasa muchas veces llamada voluta, tiene una forma de espiral y convierte la energía de presión en energía de velocidad debido a un cambio gradual de áreas.

Además, tiene por objeto alimentar uniformemente toda la periferia del rodete.

A diferencia de la carcasa de las turbinas Pelton, la carcasa de -- las turbinas Francis efectúa un trabajo y está sujeta a presión, -- razón por la cual debe tener una resistencia mecánica mucho mayor.

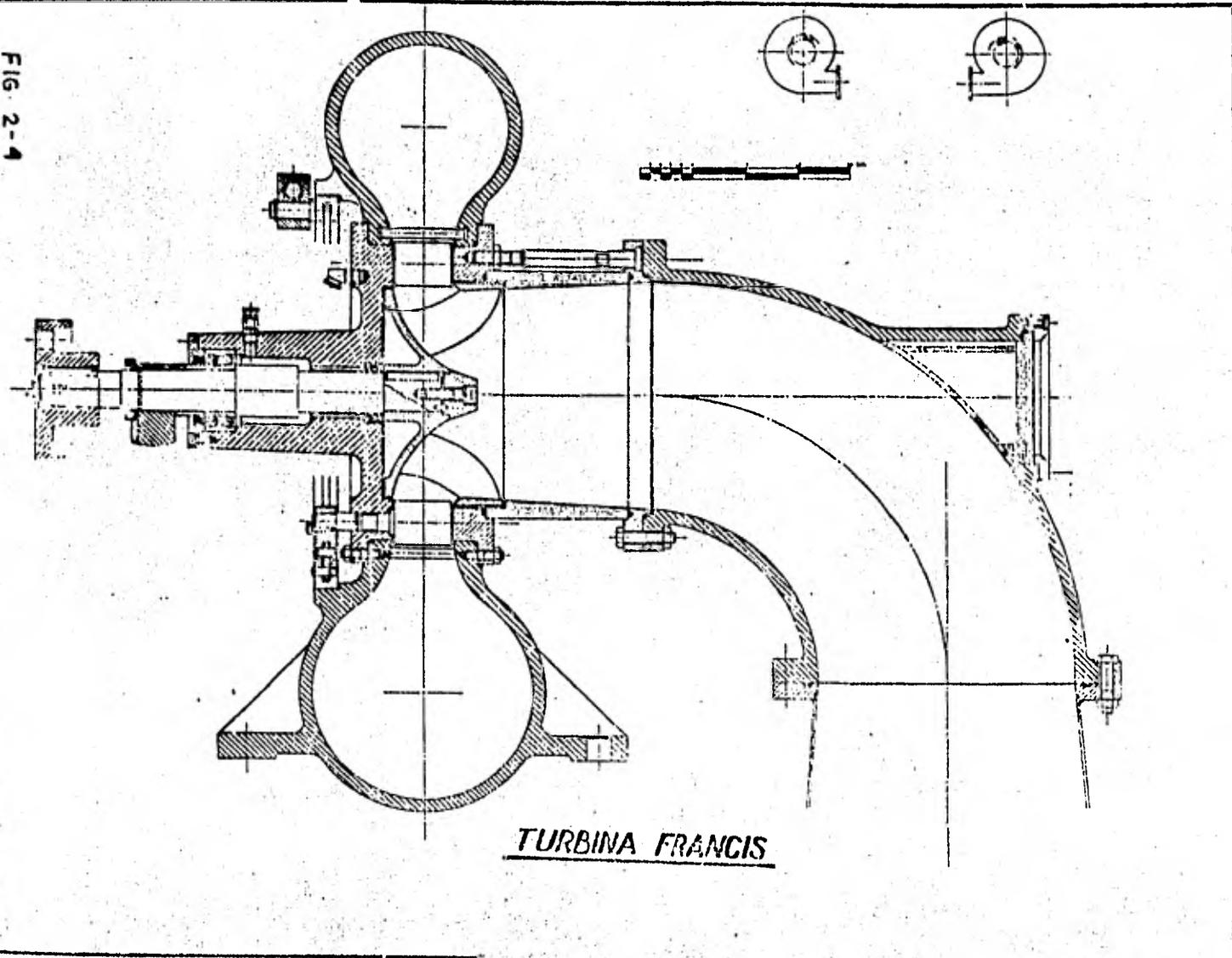
Los materiales usados son hierro para saltos pequeños, y acero fundido o lámina de acero para saltos grandes. Los espesores son mucho mayores que en la Pelton.

La sección de entrada está provista de una brida para conectarla a la tubería que contiene la válvula de entrada.

La tubería de desfoque también irá unida a la carcasa.

El asiento de la carcasa está constituida por pies fundidos con la misma carcasa, o bien, soldados a ella. La carcasa se puede hacer en una o varias partes, según las posibilidades de transporte y -- montaje.

FIG. 2-4



TURBINA FRANCIS

El distribuidor. Es una corona con álabes, ya sea fijos o móviles, dispuestos a lo largo de toda la periferia del rodete, entre ésta y la espiral.

Las funciones del distribuidor son las siguientes:

- a) Guiar el agua en dirección más conveniente a los álabes del rodete, para obtener la óptima eficiencia.
- b) Regular el gasto que penetra al rodete.
- c) En un caso de emergencia puede servir como válvula.

Para ello, el perfil de los álabes directrices es hidrodinámico y su superficie es lo más lisa posible. Con el fin de regular el caudal se imprime a los álabes un movimiento giratorio durante el servicio. Los álabes por ambos lados, descansan en soportes; tienen pernos, que giran en unos casquillos de bronce, lubricados por grasa, todos ellos montados sobre anillos.

Las tapas del distribuidor van atornilladas a la cámara espiral.

Con el fin de reducir al mínimo las fugas de agua, se limita el juego entre distribuidor y rodete al mínimo permitido. Cuando se tienen grandes saltos y si el agua es arenosa, es decir, siempre que se temen desgastes importantes, las dos tapas del distribuidor irán provistas de anillos cambiables de protección.

Regulación. El movimiento giratorio de los álabes directrices se efectúa por medio del anillo de regulación, por medio de las bielas y de las palancas.

El mecanismo de regulación se encuentra por lo tanto completamente fuera del agua, evitándose así un desgaste excesivo.

Rodete. Los perfiles de los álabes son de importancia primordial para el rendimiento de una turbina Francis.

Se han hecho muchos experimentos en los laboratorios de las fábricas más importantes.

La rueda es de una sola pieza de fundición, de hierro, acero, -- acero aleado o acero inoxidable para rodetes grandes y donde puede existir cavitación.

El rodete tiene agujeros para balanceo de la presión axial.

Este tipo de turbinas pueden ser horizontales y verticales.

TURBINA DERIAZ

La turbina Dériaz es como una turbina francis de alabes orientables. La turbina deriaz posee: Mejor rendimiento que una turbina francis de rodete análogo de álabes fijos, a cargas intermedias.

Desarrollo y Tendencias Actuales

Construcción de turbinas de potencia creciente.

De 10000 CV, en 1905, se llegó cincuenta años mas tarde a los records de potencias unitarias siguientes.

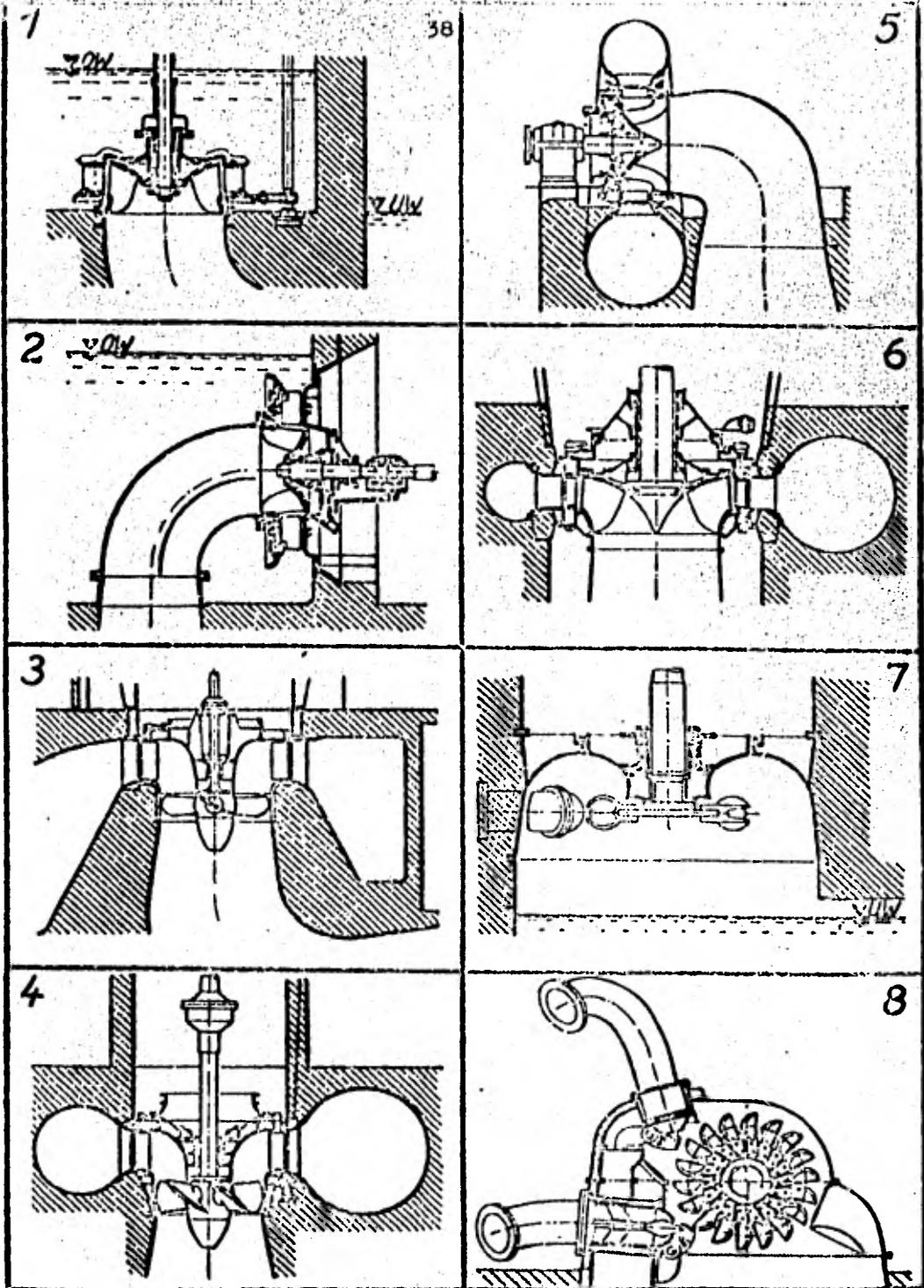
- a) En turbinas Pelton: 150000 CV, central de cimego, Italia.
- b) En turbinas Francis: 175000 CV, central de Bersimis, Canadá.
- c) en Turbinas Kaplan: 110000 CV, central de Mc. Nary.

La evolución sigue porque tanto en el alternador como en la turbina y en la obra civil el precio por KW instalado disminuye con la potencia unitaria.

Es mucho más barata una central de 100,000 CVm cib 2 turbinas de 50,000 que con 10 de 10,000 CV.

Así actualmente se han construido en Rusia para la central de Krasnoiarsk 10 turbinas francis de 508,000 KW por unidad, cuyo rodete pesa 250 TM, tiene 10 metros de diámetro y están alimentadas por tubería forzada de 7.5 m de Olametro: La tendencia actual es hacer turbinas de mayor capacidad, mas económicas, de explotación más facil y mas duraderas.

Rendimientos:	{	Turbinas Kaplan 93% Turbinas Francis 92% Turbinas Pelton 90 a 91%
---------------	---	---



TURBINAS HIDRAULICAS

1 y 2 Francis en cámara libre 3 Kaplan con espiral de concreto
 4 Kaplan con espiral de acero 5 y 6 Francis espiral de acero
 7 y 8 Turbinas Pelton

TURBINA DE VAPOR.

Son unidades complejas porque a mayor capacidad mayor es, su número de auxiliares y el valor de la presión y de la temperatura del vapor que manejan.

Sin embargo es en la actualidad el medio más -- confiable de generar energía eléctrica en grandes volúmenes y en los sitios donde se le consume.

Sus períodos de Mantenimiento Mayor son del orden de 25 000 horas o sea sobre tres años de -- operación continua.

Queman normalmente combustible pesado, gas o -- carbón. Requieren de grandes cantidades de suministro de agua y producen una contaminación -- relativamente controlable.

Sus Generadores son de 3 600 RPM y 2 polos de -- Rotor Cilíndrico.

En la actualidad están instalándose centrales -- nucleares que utilizan el vapor como medio de -- accionamiento de turbinas de baja velocidad --- 1 800 RPM y 4 polos.

Sin embargo estas centrales que aunque ya son -- muchas las instaladas tienen altos riesgos y --- además todavía no se ha resuelto el problema de los desechos radiactivos por lo que siguen constituyendo una amenaza para la humanidad.

TURBINAS DE VAPOR

Tipos y principios fundamentales. Las turbinas son máquinas de flujo permanente, en las cuales el vapor entra por las toberas y se expande hasta una presión más pequeña. Al hacerlo el chorro de vapor adquiere una gran velocidad. Parte de la energía cinética de este chorro es cedida a los álabes de la turbina, de la misma manera que un chorro de agua cede energía a los cangilones de una rueda hidráulica. Las turbinas que utilizan el impulso del chorro para mover los álabes se denominan turbinas de acción. En ellas las toberas son fijas y van montadas sobre el bastidor. Pero también es posible construir la turbina de manera que los espacios comprendidos entre los álabes tengan la forma de toberas. En este caso la reacción ejercida sobre estas toberas por el vapor saliente hace -- girar el rodete.

Este principio es el que caracteriza una turbina de reacción pura. Tanto a las turbinas de acción como de reacción es aplicable la ley de Newton del movimiento la cual dice que a cada acción corresponde una reacción igual y sentido contrario.

Flujo de vapor en las toberas. En una turbina de vapor se dirige permanentemente de las toberas, o pasos-guías, a los álabes uniformemente repartidos en la periferia del rodete. La transformación de energía se lleva a cabo mediante fuerzas ejercidas sobre los álabes del rodete, a causa de los cambios de cantidad de movimiento -- del vapor al pasar a través de los canales de los álabes. De esta forma la entalpía se convierte en energía cinética a medida que el vapor circula por la tobera. En una turbina ideal toda variación de entalpía del vapor aparece en forma de energía cedida al eje. La turbina ideal tiene, por consiguiente, interés al estudiar la velocidad que adquiere el chorro de vapor, su comportamiento y las dimensiones de la tobera requerida.

El proceso de la turbina de vapor como máquina motriz para centrales, después de superar a la máquina de triple expansión, ha sido rápido. Primeramente se desarrollaron las turbinas de eje vertical por exigir menor superficie de instalación y proporcionar una corriente de vapor directa desde la parte superior hacia el condensador, colocado en la parte inferior o inmediato a ella. No mejoró el consumo inmediatamente, pero la reducción de lubricante del cilindro y de la mano de obra, afectando al funcionamiento y al mantenimiento, respectivamente, fueron suficientes para asegurarle el éxito comercial.

Disposición de las turbinas. - Los dos tipos de álabes que se usan son:

1. Alabes de acción (o impulsión).
2. Alabes de reacción.

En las figs. 2-6, 2-7 y 2-8, pueden verse diversos tipos de turbinas. Cada figura incluye un corte axial del rotor, una sección desarrollada p las toberas y los álabes y un diagrama de las variaciones

de presión y velocidad. La característica fundamental de las turbinas de acción es que la expansión tiene lugar en la tobera y no en los álabes del rodete. El diagrama de velocidad aclara lo expuesto. La energía potencial, debida a la presión y a la energía interna, se transforma en energía cinética al atravesar las toberas, y la caída de presión es completa en la tobera, en el caso de turbina simple (un solo escalón), como la de la figura 2-6. La forma del álabes es simétrica con respecto a su plano medio. En la figura 2-7 puede verse una turbina con escalonamiento de presión, y la podemos considerar como dos turbinas simples de libre acción montadas en serie, cada una completa con sus toberas y rodete, escalonamiento que suele llamarse disposición Rateau. La caída de presión se realiza en dos saltos con igualdad de energía en ambos rodetes. En la figura 2-8 se ve una turbina con escalonamiento de velocidad, en la cual, la caída total de presión tiene lugar en un solo juego de toberas, que es la llamada disposición Curtis. La conversión completa de la energía potencial en energía cinética tiene lugar en las toberas, pero sólo se absorbe en cada escalón una mitad de dicha energía. Con frecuencia se construyen grandes turbinas con esta última disposición para la primera rueda, porque su capacidad de absorción de energía es alta. En la figura 2-9 puede verse una combinación de escalonamiento de presión y velocidad, que queda aclarada con las correspondientes curvas. Un corte típico de turbina de reacción, llamada de álabes Parsons, se ve en la figura 2-10. En este tipo se utiliza una caída parcial de presión para lanzar vapor contra las paletas móviles. La presión se reduce más aún en las paletas, con la resultante creación de energía cinética y directa utilización, accionando los rodetes por reacción contra los álabes. Se emplean suficientes escalones para aprovechar la expansión del vapor hasta la presión de escape. Los escalones de reacción suelen emplearse en los últimos saltos de una turbina de rodetes múltiples, consecutivos a una rueda simple de acción, lo que parece ser la disposición más acertada.

Toberas.- Las toberas usadas para la expansión de vapor, desde una presión a otra más baja, son, por lo general, de forma convergente-divergente, ya que el vapor es, en realidad, un gas, o sea un medio elástico. Puede demostrarse que para una condición inicial dada, suponiendo la expansión adiabática, cuando la presión supere cierto valor llamado crítico, el cambio de velocidad del medio expansivo es mayor que el cambio de volumen específico, mientras que, por debajo de la presión crítica, tiene lugar lo contrario. La forma de la tobera suele ser la que se indica en la figura 2-12 con una sección de admisión y otra de descarga. Aunque la forma teórica sería con una curvatura gradual entre las dos secciones, la economía de producción, unida a la escasa pérdida de rendimiento, han hecho adoptar el cono recto. Resulta innecesario señalar que donde la presión de descarga no es inferior a la crítica sólo se necesita emplear un cono.

Forma del rotor.- Es evidente que al proyectar un rotor de turbina la forma de cada paleta debe determinarse por un diagrama de velocidades, haciéndose más planos los álabes a medida que se acercan al lado del escape. El número de coronas de una turbina de reacción (Westinghouse o Allis-Chalmers) será considerablemente mayor que en una acción (General Electric), lo cual afecta a la longitud total -

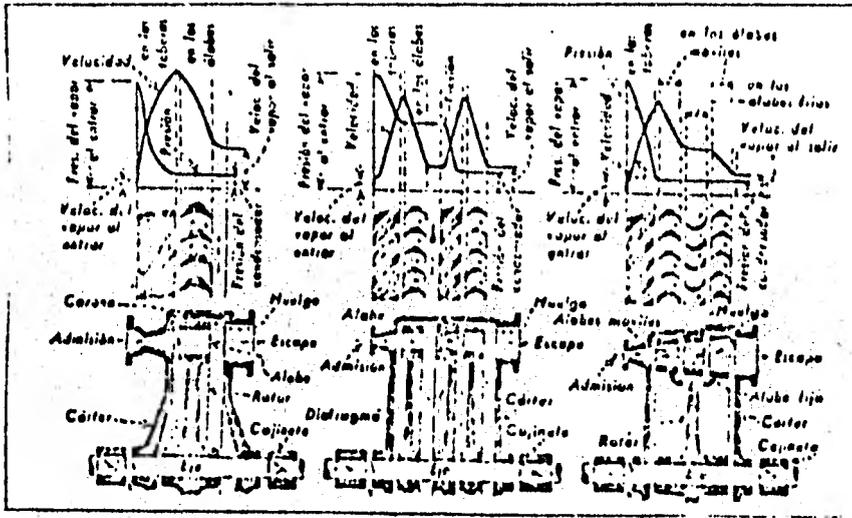


Fig. 2-6
Turbina simple
de acción.

Fig. 2-7
Turbina de acción
con presión esca-
lonada (disposi-
ción Rateau).

Fig. 2-8
Turbina de ve-
locidad esca-
lonada (disposi-
ción Curtis).

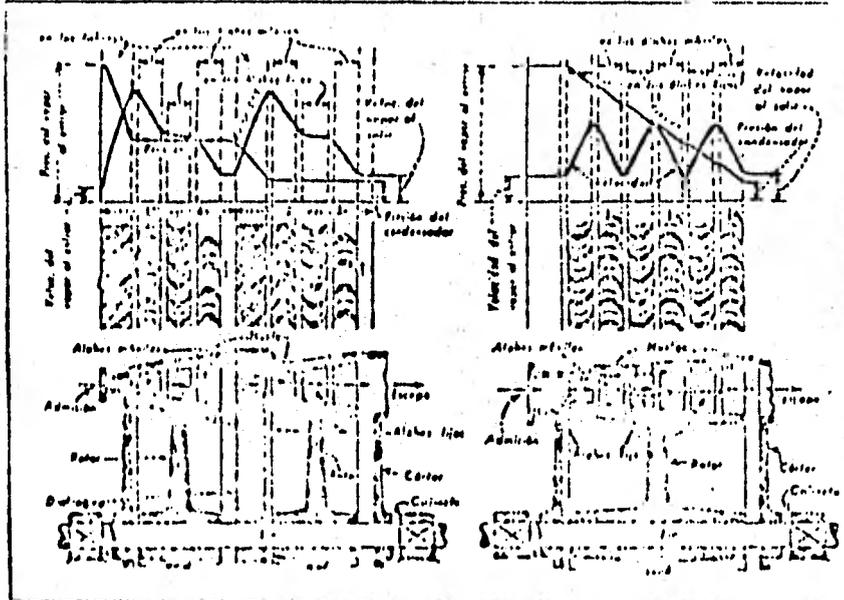


Fig. 2-9
Turbina con escalonamien-
tos de presión y de veloci-
dad (Curtis).

Fig. 2-10
Turbina de reacción (Parsons).

del rotor. La altura de las paletas es función del volumen de la corriente de vapor en una sección considerada. La experiencia aconseja que:

1. La última rueda no debe causar excesiva pérdida de escape y ser, sin embargo, lo bastante fuerte para soportar las tensiones centrífugas.
2. La altura de las paletas de la primera rueda no deberá ser tan pequeña que pueda originar excesivas pérdidas por rozamiento.
3. Deberán colocarse suficientes coronas (escalonamiento) para absorber toda la energía aprovechable.

Detalles de construcción.- La turbina está constituida por tres elementos principales: el cuerpo del rotor, que contiene las coronas giratorias; la mitad inferior del cárter y la mitad superior, ambas conteniendo las coronas fijas. Los materiales de construcción deben seleccionarse teniendo muy en cuenta las presiones y temperaturas que deberán resistir. El árbol del rotor se contruye generalmente de acero forjado y las paletas están fresadas de bloques macizos de acero. Alrededor de la periferia de las paletas se coloca una guardación para dar mayor rigidez a las coronas y firmeza al rotor. La válvula de admisión del vapor y las piezas que componen la caja de alta presión, están hechas de acero de excelente calidad, o de acero aleado especial, si se usa una temperatura inicial excesivamente alta. Las secciones de la turbina correspondientes a la baja presión y al escape están construidas de fundición, y las coronas fijas van fresadas en macizos bloques de acero.

La figura 2-11 nos muestra en corte una típica turbina de reacción, en la que todas sus partes importantes han sido rotuladas. Se ven dos cojinetes; uno al exterior, en el extremo de admisión, y el otro entre la turbina y el alternador, en el extremo del escape. Además hay un cojinete de empuje, en el extremo de alta presión, para mantener el rotor en alineación axial, por ser pequeños los huelgos o entrehierros. El rotor es, por lo común, una pieza de acero forjado con un taladro central, de igual longitud que el émbolo compensador (este último se usa para equilibrar el empuje axial del vapor contra los álabes). Las lumbreras de extracción indicadas, son para el caldeo del agua de alimentación y para aplicación industrial del vapor a determinada presión. El corte muestra, asimismo, cómo el mecanismo regulador está conectado a las válvulas de admisión del vapor mediante un brazo transmisor. En esta turbina el vapor de alta presión pasa primero por un escalón de presión con dos escalones de velocidad, y luego por los restantes escalones de reacción hasta el escape. Como el mecanismo regulador está accionado directamente por el eje principal de la turbina, es, por tanto, el tipo moderador de velocidad, siendo en consecuencia, ésta una máquina de velocidad constante. Como el vapor tiene tendencia a escapar a lo largo del eje, en el extremo de alta presión de disponen unas empaquetaduras laberínticas para moderar la pérdida.

Dichas empaquetaduras consisten en una serie de hojas o "cuchillas" que dejan pequeños huelgos con el eje de la turbina, al objeto de interceptar la corriente de vapor, reduciendo la presión en el extremo de alta presión, a poco más de la atmosférica. Estas empaquetaduras se colocan también en el extremo de escape para impedir la entrada de aire a lo largo del eje del rotor de la turbina.

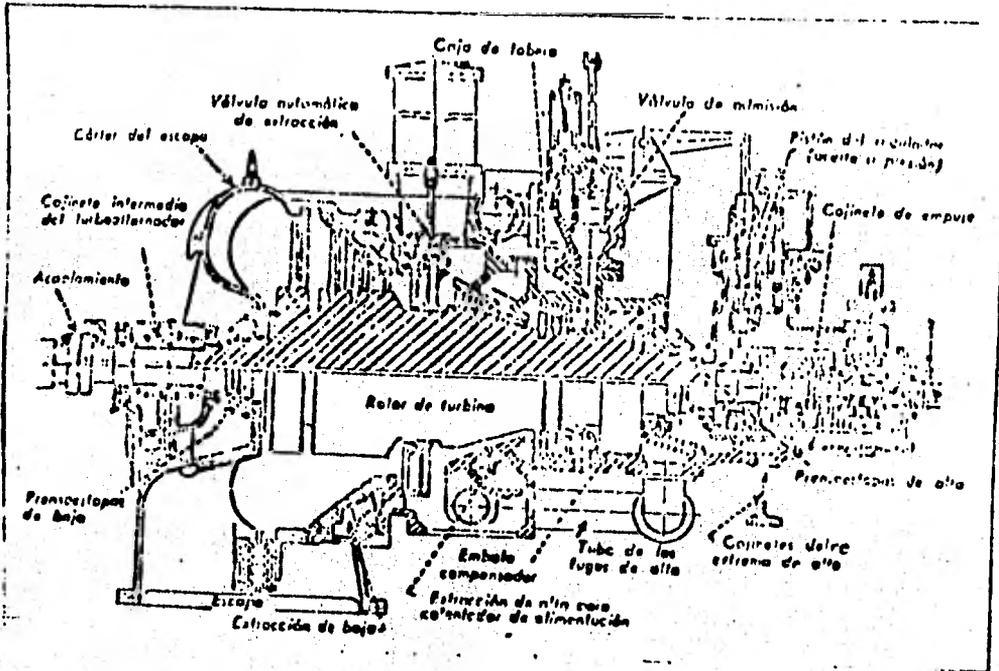


Fig. 2-11, Corte longitudinal de una turbina (con extracción de vapor) de 10 000 Kw, 3600 r.p.m.

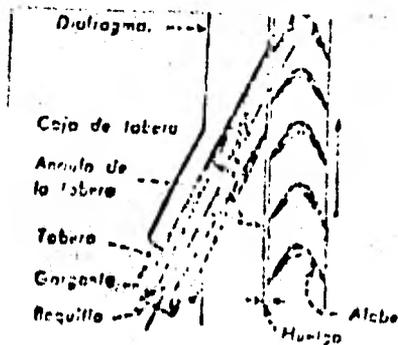


Fig. 2-12, Tobera de vapor con la típica forma convergente-divergente.

TURBINAS DE GAS.

Es una máquina de combustión interna, teóricamente es la más eficiente, pero debido a limitaciones de los materiales sus temperaturas no han podido elevarse hasta un nivel en que pueda competir adecuadamente con otras máquinas.

Está formado su ciclo por un compresor, una cámara de combustión y la turbina esencialmente. Es la de más corto tiempo de instalación.

Actualmente requiere períodos de mantenimiento de 8 000 horas y están restringidas a combustibles -- limpios por lo que su operación es muy costosa.

Sin embargo utilizándolas como respaldo en los picos son costeables. Su velocidad puede ser mayor de 3 600 RPM por lo que se acoplan con reductores a sus Generadores.

Su capacidad máxima es del orden de 70 MW.

TURBINAS DE GAS

Introducción.- Una turbina de gas, de tipo simple, consta de un compresor de aire, una cámara de combustión, una turbina y varios dispositivos auxiliares que dependen de las características de velocidad y de la relación peso-potencia. Los dispositivos auxiliares son de la lubricación, regulación de la velocidad, alimentación de combustible y puesta en marcha. En el funcionamiento de las turbinas de gas se representan varias limitaciones de índole práctica, las cuales determinan en gran parte la actuación de esta clase de máquinas motrices. Entre estas limitaciones merecen citarse la temperatura y velocidad de los álabes, rendimiento del compresor, rendimiento de la turbina y la transmisión de calor (en ciclos con regeneración).

Durante el funcionamiento de una turbina de gas, de tipo simple, se envía aire comprimido a la cámara de combustión, en donde el combustible entra con caudal constante y se mantiene una llama continua. La ignición inicial se obtiene generalmente por medio de una chispa. El aire, calentado en la cámara de combustión se expande a través de toberas y adquiere una elevada velocidad. Parte de la energía cinética de la corriente de aire es cedida a los álabes de la turbina. Una fracción de esta energía se emplea para accionar el compresor y el resto para producir trabajo. Lo mismo que en las turbinas de vapor, el proceso total constituye un ejemplo típico de flujo constante; la diferencia primordial consiste en que se emplea aire, el cual es un gas relativamente perfecto, en lugar de vapor u otro medio condensable. Entre las turbinas de gas y de vapor se encuentran grandes analogías, lo cual no es de extrañar, toda vez que los principios termodinámicos en que se fundan son en gran parte los mismos.

En las instalaciones de tipo (abierto) los productos de la combustión fluyen a través de la turbina junto con la corriente de aire. Para diluir los productos de la combustión hasta una temperatura que pueda resistir el rodete de la turbina (649 a 982 °C) es necesario un elevado porcentaje de exceso de aire. En las instalaciones de tipo (cerrado) los productos de la combustión no pasan a través de la turbina, sino por un intercambiador de calor.

Los gases que atraviesan la turbina trabajan en circuito cerrado y sucesivamente se comprimen, calientan, expansionan y enfrían. Las instalaciones (cerradas) permiten quemar cualquier tipo de combustible en la cámara de combustión, necesitándose, sin embargo, un intercambiador de calor. Este tipo de instalaciones está limitado a las que son estacionarias.

De las muchas ventajas de las turbinas de gas sobre las instalaciones de vapor, unas cuantas son: (1) instalación más compacta; (2) menos dispositivos auxiliares; (3) no necesitan condensador; (4) no necesitan agua (5) lubricación más simple; (6) control fácil; (7) ci

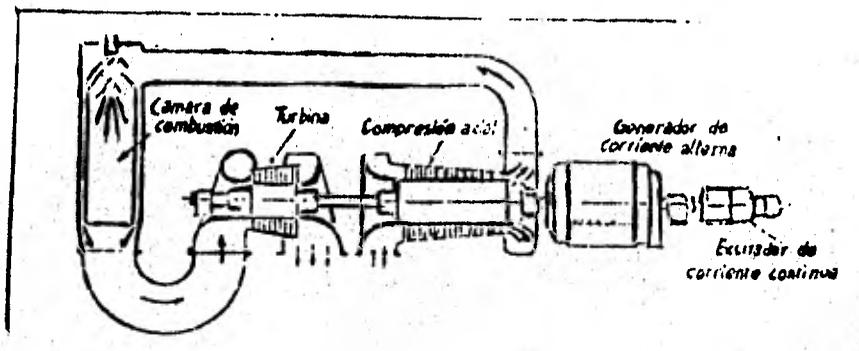


Fig. 2-13, Ciclo de la turbina de gas simple con sus aparatos auxiliares.

mientos ligeros; (8) escape limpio (no necesitan chimenea), y (9) relación peso-potencia más pequeña. Algunas de las ventajas de las -- turbinas de gas sobre los motores de émbolo para aviación son: (1) -- empleo de keroseno o destilados; (2) menor peligro de incendio; (3) -- no existen fuerzas desequilibradas; (4) problemas de refrigeración -- más simples; (5) menos piezas en movimiento; (6) facilidad de instala-- ción; (7) no existen limitaciones impuestas por las característi-- cas de las hélices; (8) menor superficie frontal y (9) menos peso -- por HP.

Aplicaciones.- Además de su empleo en aviación, la turbina de gas -- se utiliza en grandísima escala en las bombas de las largas tuberías destinadas al transporte de productos del petróleo, pues, debido a -- su proceso de combustión continuo, permite emplear como combustible -- cualquier tipo de aceite, gas o gasolina; la única limitación consis-- te en que los productos de la combustión no corroan los álabes o se depositen en el aparato. El éxito alcanzado por el carbón pulveriza-- do como combustible ha acelerado la aplicación de las turbinas de -- gas para la producción de energía. En la actualidad los trabajos de investigación están dirigidos hacia la solución del problema de la -- erosión de los álabes y de los depósitos formados por las cenizas del carbón. El rendimiento del ciclo mejorará cuando se consiga obtener materiales para construir los álabes que puedan resistir temperatu-- ras más elevadas, así como procedimientos para refrigerar dichos ála-- bes. Es de gran importancia que el rendimiento del compresor sea lo más elevado posible, ya que debe manipular grandes cantidades de a-- ire, y, por otra parte, el compresor absorbe aproximadamente tres --- cuartas partes de la energía producida por la turbina. Una unidad --

de 1.000 HP puede generar realmente 4 000 HP, tres mil de los cuales son absorbidos por el compresor. En la actualidad existen unidades que producen 27 000 KW, con rendimientos globales del 35%.

Motores Diesel.

Se utilizan hasta capacidades del orden de 9 MW pero con la interconexión de los sistemas y su crecimiento están cayendo en desuso.

Sus Generadores son de gran número de polos y -- baja velocidad. Por ejemplo en la Central - - - Nachi-cocom de Mérida Yucatán se tienen dos unidades de 9 000 KW cada una de 150 RPM o sea de - 48 polos, flecha horizontal y 13 200 Volts.

Requieren un Mantenimiento continuo cada semana, se debe revisar el estado de los pistones y sus mantenimientos mayores son anuales. Se ha logrado hacer que quemen diesel mezclado con combustible pesado, lo cual los ha hecho más económicos, pero sus aplicaciones son limitadas para -- generación eléctrica. Son terriblemente ruidosos.

PLANTAS DE FUERZA CON MOTORES
DE COMBUSTION INTERNA

Motores de Combustión Interna. Se puede generar potencia por medio de motores térmicos, en los que los productos de la combustión constituyen el fluido operante del ciclo térmico. Ha sido profunda la influencia de estos motores de combustión interna en la vida de los países avanzados técnicamente como los Estados Unidos. A ellos se debe en gran parte el éxito logrado por los vehículos de autopropulsión, en los que encuentran su mayor aplicación. Con pequeños motores de C. I. se da fuerza motriz a algunos equipos móviles y estacionarios, cuando no resulta conveniente usar el servicio eléctrico. Aunque, cada vez más las necesidades de fuerza motriz se resuelven con motores eléctricos; siendo una excepción importante el caso en el que se emplea fuerza mecánica para mover generadores, para obtener fuerza motriz eléctrica. Este capítulo trata precisamente del uso que se hace del motor de C.I. con ese objeto. Su aplicación puede tener las siguientes variantes:

1. En unidades generadores portátiles, que pueden cambiarse de un lugar a otro en el que se necesite potencia eléctrica temporalmente.
2. En unidades de reserva, normalmente ociosas, que pueden ponerse a funcionar cuando falle la estación central, y la interrupción se traduzca en pérdidas financieras o peligro. (Alumbrado de túneles, salas de operaciones, procesos industriales claves, etc.).
3. en grupos electrógenos instalados en las centrales eléctricas, donde constituyen la fuente primordial de potencia eléctrica generada, para el consumo público, industrial o particular.

Los motores de combustión interna se construyen aplicando una variedad de ciclos termodinámicos. Los tipos pueden variar entre sí en sus características, como flexibilidad, combustible usado, facilidad para el arranque, peso, costo, etc., pero todas tienen muchos detalles comunes como:

1. El uso de un pistón y un cilindro para crear una cámara de volumen variable en la que se pueda llevar a cabo el ciclo.
2. Un medio de operación gaseosa.
3. Ciclos térmicos abiertos, lo que implica una corriente de aire y otra de combustible dentro del motor, y la descarga de los productos gaseosos de su combustión.
4. Ciclos mecánicos de dos o de cuatro tiempos.
5. Producción de potencia de magnitud cíclica, por lo tanto no uniforme, que necesita el uso de cilindros múltiples o de volantes pesados para uniformar su rendimiento.

Los principios y detalles distintivos de las nueve variaciones comerciales que se usan en la actualidad se resumen en la fig. 2-14 Las máquinas que usan combustibles gaseosos se ven con menos frecuencia que las que usan combustibles del tipo líquido, debido a que los líquidos

se transportan con mayor facilidad. Los dos tipos de máquinas de --- combustibles líquidos son el motor de gasolina y el motor Diesel.

los Diesel tienen mayor importancia dentro del campo de la genera-
ción eléctrica. Sin embargo, cuando las condiciones locales lo justifican, los ingenieros no titubean en usar los otros tipos, porque con todos se pueden lo--- grar explotaciones comerciales productivas. Por ejemplo, un produc--- tor de aluminio, para el cual el mayor gasto de producción es la elec--- tricidad, localizó una fábrica en un territorio dentro de un campo -- productor de gas, y construyó una planta de fuerza en la que se insta--- laron más de cien grupos electrógenos de 1 150 kw movidos por motores de gas de dos ciclos, con mezcladores exteriores.

Los motores que se emplean en las plantas de fuerza estacionarias, se conectan directamente a los generadores, que son de una velocidad re- lativamente baja. Las velocidades que se emplean (de 200 a 1000 rpm) necesitan generadores de gran diámetro, de polos salientes, con una longitud axial corta. Su construcción pesada y tosca, de máquinas de baja velocidad, da una gran seguridad de operación, y aunque costosas se justifican para usarse en las estaciones centrales.

Las instalaciones de los motores diesel, pueden dividirse en móviles y estacionarias. La clase de servicios estacionarios que estamos -- tratando aquí es la que consume la mayoría de los motores Diesel que se producen, pero ahora, que se han aceptado estos motores en los fe- rrocarriles, camiones y autobuses, también ellos consumen mucho de la producción de motores.

El Diesel es un motor excelente para la generación eléctrica en capa- cidades de 100 a 5 000 hp. Y como tal, se usa ampliamente en la in- dustria privada, hoteles, compañías de servicios públicos y municipa- les.

Las ventajas del motor Diesel son:

1. Bajo costo del combustible.
2. No necesita un periodo largo de calentamiento
3. No tiene pérdidas cuando está de reserva.
4. Eficiencia uniforme en todos los tamaños.
5. Distribución sencilla de las plantas.
6. No necesita un abastecimiento de agua grande.

El Diesel puede obtener más trabajo de cada unidad térmica que los - otros motores. Por esta razón es un motor interesante cuando el cos- to de adquisición se amortiza lentamente de tal manera que los cos- tos de operación se hacen importantes. El tipo de servicio de las estaciones centrales es de esta clase.

C A P I T U L O I I I

D E S C R I P C I O N D E L G E N E R A D O R .

CONSTRUCCION DE LOS ALTERNADORES.

Tipos de alternadores. En la concepción general y la construcción de los alternadores pueden distinguirse, en primera aproximación, tres clases, según sea la máquina motriz a la cual se acoplan. Los alternadores acoplados directamente a una máquina motriz (de vapor o de combustión interna) deben girar necesariamente a poca velocidad. Con el fin de obtener una velocidad angular de la conveniente uniformidad, es necesario disponer de una inercia considerable, lo que puede obtenerse disponiendo un volante separado o incorporando los elementos necesarios para que el órgano móvil del alternador actúe como volante. Las velocidades de los alternadores accionados por turbinas hidráulicas varían entre amplios límites, desde 60 a 500 r.p.m., correspondiendo las velocidades menores a las alturas de salto más pequeñas. Tanto los alternadores movidos por un motor como los accionados por turbina llevan polos salientes, como en la figura 3-11.

Debido al considerable intervalo de tiempo que puede transcurrir desde que un alternador accionado por turbina queda sin carga hasta que se cierran las compuertas, estos alternadores están previstos para funcionar con seguridad a una velocidad doble de la de régimen. Este tipo de alternador (a menos que se accionen mediante engranajes, lo que se suele utilizar algunas veces en máquinas pequeñas) gira a velocidades considerables, que varían entre 750 y 3600 r.p.m. debido a las elevadas pérdidas que ocasiona la resistencia del aire y a la gran fuerza centrífuga, los rotores son del tipo cilíndrico liso, en el que las espiras del inductor se empotran en ranuras (fig. 3-12). Los alternadores accionados por turbinas hidráulicas pueden ser de tipo vertical u horizontal. Como el acoplamiento mecánico de los alternadores es más sencillo si se colocan sobre la turbina, los tipos verticales son, con mucho, los más utilizados. Sin embargo, los alternadores accionados por turbinas Pelton son, en general, horizontales.

En los primeros tiempos, los alternadores accionados por turbina de vapor eran de eje vertical; no obstante, para compensación de cargas y de vibraciones, este tipo ha sido prácticamente substituído por el de eje horizontal.

TIPOS DE ALTERNADORES.

Hay dos tipos de alternadores, el de armadura giratoria y el de campo giratorio. El alternador de armadura giratoria se parece en su construcción a la dinamo de CC en que la armadura gira dentro de un campo magnético estacionario. En la dinamo de CC, al FEM producida en los bobinados de la armadura se convierte en corriente continua gracias al colector, mientras que en el alternador la CA producida es transmitida por medio de anillos de contacto a los terminales de carga, sin sufrir variaciones. El alternador de armadura giratoria sólo se encuentra en los alternadores de poca potencia y por lo general no se usan.

El alternador de campo rotatorio tiene el bobinado de la armadura fijo y el bobinado de campo giratorio. La ventaja de que la armadura sea estacionaria radica en que la tensión generada puede conectarse directamente con la línea de carga. La armadura rotatoria requeriría anillos de contacto para transmitir la corriente desde la armadura hasta el circuito externo. Como los anillos de contacto están al descubierto, se producirían arcos y cortocircuitos al generarse altos voltajes. Por eso los alternadores de alta tensión suelen ser de campo giratorio. La tensión aplicada al campo giratorio es corriente continua de bajo voltaje y, por lo tanto, se evita el problema de la formación de arcos en los anillos de contacto.

La corriente máxima que puede suministrar el alternador depende de la pérdida máxima de calor que soporte la armadura. Esta pérdida de calor (que es una pérdida de potencia dada por I^2R) calienta los conductores y, en caso de ser excesiva, destruye la aislación. Por lo tanto, los alternadores se fabrican teniendo en cuenta este factor y el voltaje de salida. La potencia de los alternadores se expresa en volt-amperes o, como unidad más práctica, en kilovolt-amperes.

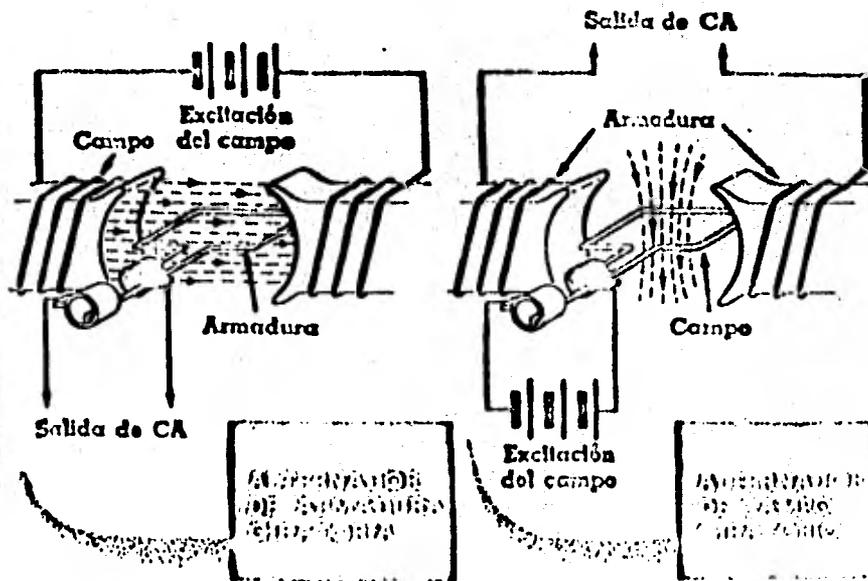


Fig. 3-1

ESTATOR O INDUCIDO.

El estator u órgano fijo del alternador hace casi siempre de inducido, siendo el órgano móvil el que hace de inductor; se designa por ello con el nombre de rotor. Cuando el alternador está en marcha, el hierro del estator está continuamente sometido a las variaciones del flujo del campo giratorio y debe, por tanto, construirse con chapas para reducir las pérdidas por corrientes parásitas. En máquinas de poco diámetro, cada una de las chapas forma ordinariamente un disco completo.

En los tipos mayores de máquinas rotativas, el hierro del estator se compone de segmentos circulares superpuestos, que se fijan a la estructura, bien mediante colas de milano, bien con pernos. En la fig. 3-2 (a) se representa un segmento estampado del tipo que se fija con pernos para máquina de velocidad media, y en (b) uno con colas de milano para alternador accionado por turbina de vapor. Debe observarse la gran anchura de hierro que queda en el fondo de las ranuras. En (c) se ha representado un segmento con ventilación para acoplarlo a otros del tipo (b) con el fin de dejar conductos internos que aseguren la ventilación del núcleo del estator (fig. 3-5).

Con frecuencia, las chapas tales como la (b) están perforadas para que formen conductos longitudinales de aire. (ver fig. 3-5)

Los alternadores movidos por motor deben girar a velocidad relativamente reducidas y han de tener gran número de polos, por lo que el estator debe ser de un diámetro grande. Las piezas polares se fabrican con chapas superpuestas, unidas por roblones y provistas de entallas en cola de milano, para sujetarlas a la armazón del rotor (fig. 3-2). El estator está compuesto de pequeños segmentos superpuestos, unidos a cola de milano a la estructura de la máquina, de una manera muy parecida a la que se utiliza para los inducidos de los generadores de corriente continua, con la excepción de que, en los alternadores, las chapas del inducido están separadas de la parte fija de la máquina.

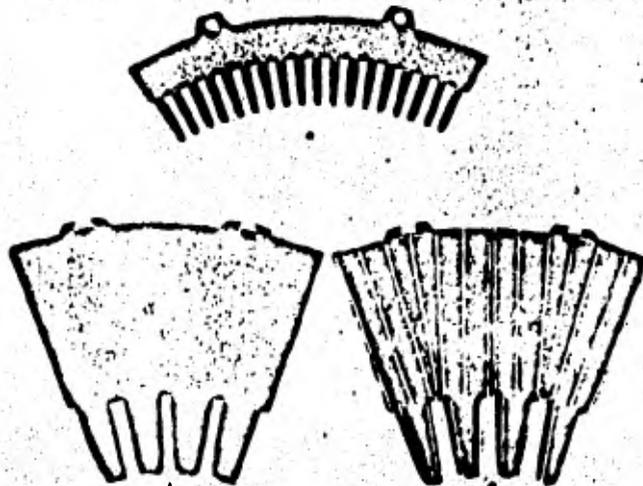


Fig. 3.2 - Segmentos estampados para estator: (a) baja velocidad; b) para accionamiento por turbina de vapor; c) segmento con conductos de ventilación.

La fig. 3-3, representa la disposición general de un estator de este tipo. El bastidor puede constituirse por cajas huecas de fundición - (fig.3-3), o placas de acero entre las cuales se atornillan las láminas (fig.3-4). Ambos tipos proporcionan la necesaria rigidez mecá-

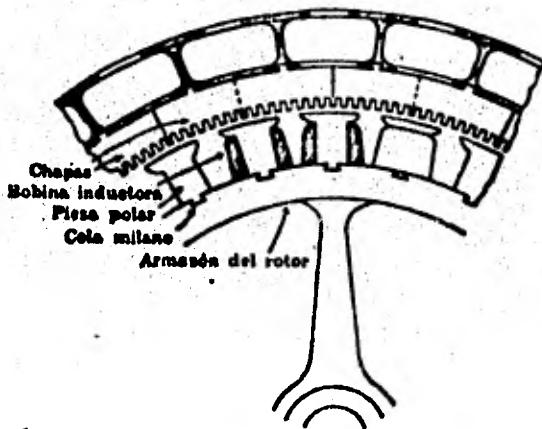


Fig.3-3 - Sección transversal de un alternador accionado por máquina de vapor.

nica con poco peso, y con cualquiera de estas estructuras se cuenta con amplia posibilidad de salida del aire de enfriamiento, que pasa por los conductos previstos.

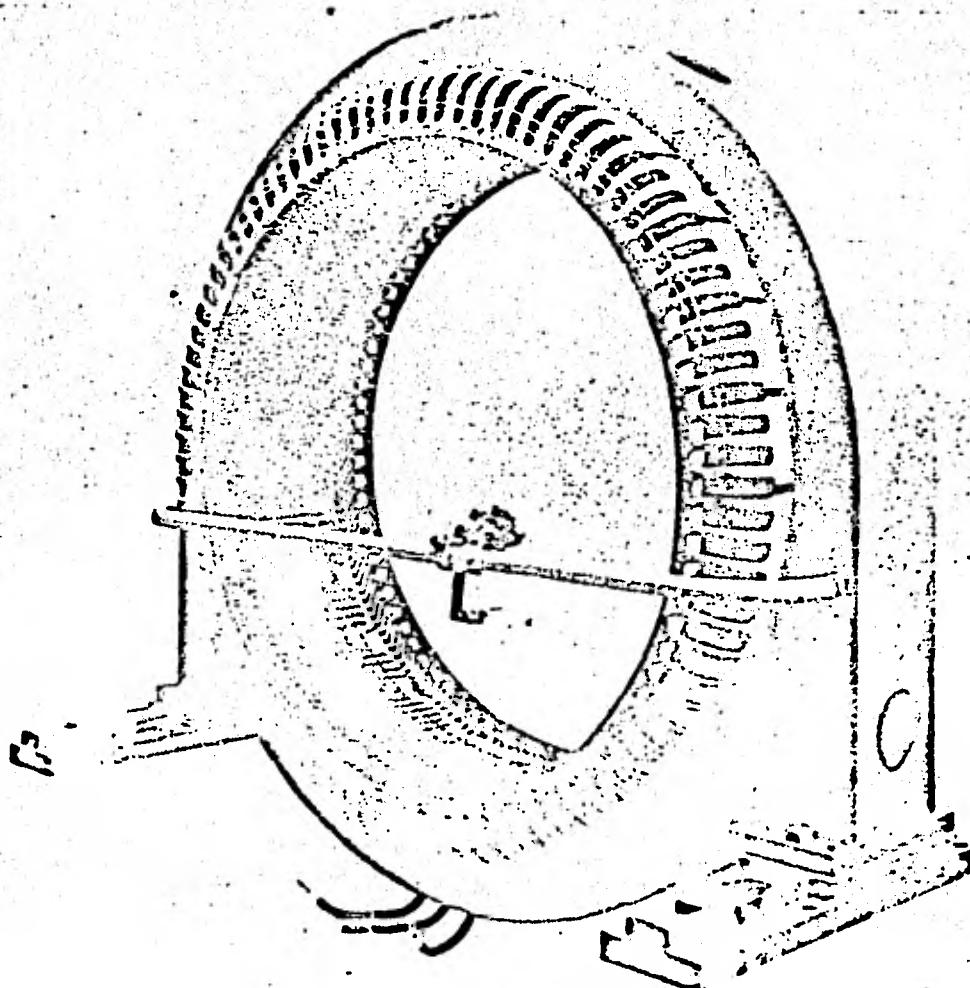


Figura 3-4 , Estator completamente bobinado para alternador accionado por máquina de vapor.

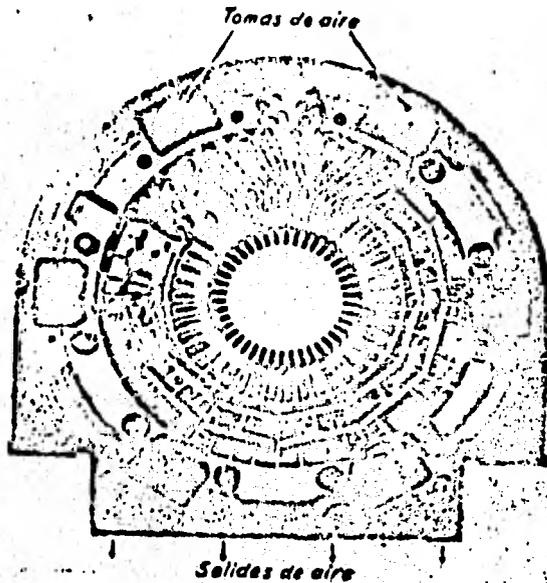


Fig. 3-5 - Vista lateral de un estator de turbogenerador, en la que se observa la disposición alternada de los conductos espirales de ventilación, para conseguir una temperatura uniforme en todo el estator.

En la figura 3-5 se representa el estator de un alternador, desprovisto del devanado y accionado por turbina de vapor de gran velocidad. Debido a su reducida reactancia, la intensidad de la corriente de corto circuito, en los alternadores accionados por turbinas de vapor, es excesivamente grande y los esfuerzos mecánicos que desarrollan son extremadamente elevados.

(Estas fuerzas electromecánicas son proporcionales al cuadrado de la intensidad de la corriente.) En el caso de un corto circuito, los extremos de espiras corren, pues, el peligro de salirse de sus posiciones, a menos que se las sujete firmemente. Las abrazaderas para sujetar los extremos de las espiras están representadas en la figura 3.5. Algunas abrazaderas se han suprimido para que se vea la manera de disponer los conductos de ventilación en espirales alternadas para procurar que sea uniforme la temperatura en todo el perímetro del estator (ver también fig. 3-2).

DEVANADOS DE ALTERNADORES.

Los principios generales en que se basan los arrollamientos para corriente -- continua se mantienen en los devanados para alternadores. El paso de bobina de cada espira debe ser igual aproximadamente a un paso polar; es decir que los dos lados de una espira deben quedar frente a dos polos adyacentes. Las espiras deben conectarse de modo que sus f.e.m. se sumen. Además, es conveniente que el devanado se prevea para que se genere una f.e.m. sinusoidal, o -- aproximadamente de este carácter. El coste del devanado debe ser reducido, -- de manera que es de gran interés preparar las espiras y aislarlas antes de co -- locarlas en las ranuras.

Los devanados de los alternadores pueden dividirse en dos clases generales: el devanado imbricado, en el que se emplean las espiras romboidales; y el devanado es espiral. El imbricado puede ser de media espira; de espira entera -- de una capa; o de dos capas. En los Estados Unidos se emplea casi exclusiva -- mente el devanado imbricado de dos capas. En Europa se usan mucho más los de -- vanados en espiral que los de bobinas romboidales.

DEVANADOS IMBRICADOS.

El devanado imbricado tiene ese nombre por la forma en que el devanado reco -- corre hacia adelante y hacia atrás la armadura de tambor. En este devanado, un elemento de bobina va hacia adelante y se coloca bajo un polo de campo sur. Para comprender en qué consiste el devanado imbricado, observe el diagrama que aparece en LA FIG. 3-6A, recorriéndolo como sigue:

Empezando por la bobina dibujada en línea más gruesa, la cual sale del segmen -- to 1 del conmutador, pasa por la ranura 1, luego atraviesa la ranura 4 y re -- gresa al conmutador en el segmento 2. Note que la bobina empieza y termina -- en segmentos adyacentes del conmutador; pero, al hacerlo, pasa por otras ranu -- ras que se encuentran bajo polos opuestos. Compruebe que con las demás bobi -- nas sucede lo mismo.

Ahora obsérvese el diagrama y note que existen cuatro trayectorias paralelas -- que recorren la armadura.

DEVANADOS ONDULADOS.

El devanado ondulado debe su nombre de la apariencia de los devanados en el -- tambor. Como en el caso del devanado imbricado, se pueden encontrar muchas -- variedades de devanados ondulados. Sin embargo, hay dos características comu -- nes a todos ellos:

1. Los motores con armaduras de devanado ondulado sólo requieren un mínimo de dos escobillas. Sin embargo, en algunas variaciones, pueden tener el mis -- mo número de escobillas que de polos, igual que el motor de armadura imbri -- cada.
2. En armaduras de devanados ondulados sólo hay dos trayectorias paralelas a lo largo de un devanado ondulado completo, independientemente del número -- de escobillas o polos que se usen. (FIG. 3-6.)

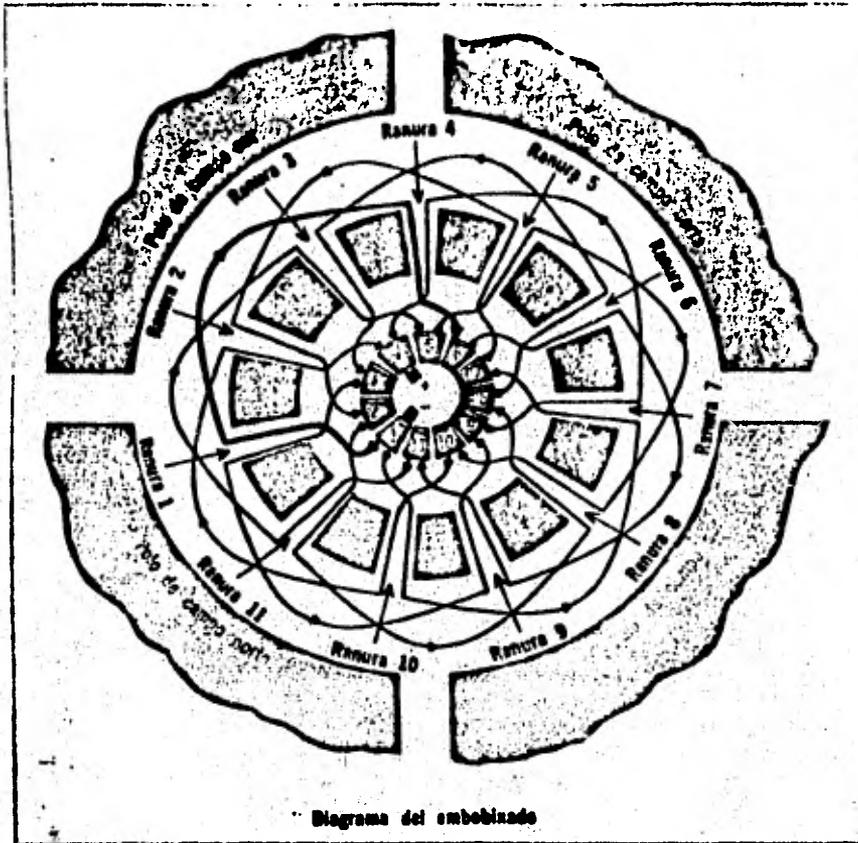
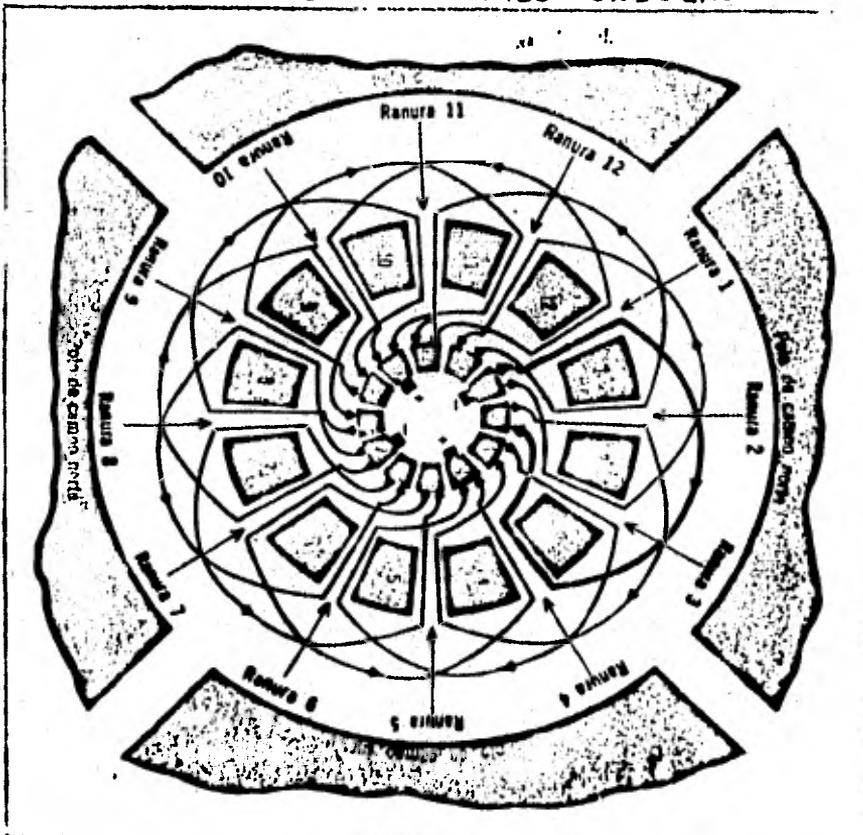


FIG. 3-6 DEVANADO ONDULADO



ARROLLAMIENTO DEL ESTATOR.

El Estator de una máquina síncrona soporta un arrollamiento trifásico. Se aloja ese arrollamiento en las ranuras del paquete de láminas del estator. De acuerdo con la sección que requiera el conductor es decir, debido a la intensidad de la corriente, estará formado por barras de cobre. Normalmente las bobinas de los Generadores están --- construídas de una sola vuelta.

En la mayoría de los casos se usan ranuras abiertas con cierre -- por cuñas ya que, en oposición a lo que ocurre en las máquinas asíncronas, si no tiene importancia mantener una baja intensidad de la corriente de magnetización. Con las ranuras abiertas es más fácil la -- construcción del arrollamiento, pues entonces las bobinas pueden aislarse fuera de la máquina, para introducir las como un todo. El aislamiento de los lados de bobinas, consta de varias capas de papel de mica al formar la bobina, cada capa de aislamiento se calienta y se comprime. El aglutinante de las capas se aplica líquido (en general se trata de goma, laca o laca de baquelita o algún preparado de resina) -- para lograr que aquéllas queden bien pegadas. Este aislamiento de -- las bobinas debe sobresalir de los bordes frontales de las ranuras en la longitud adecuada a la tensión de la máquina, para que las trayectorias de fuga no sean demasiado cortas. También el espesor del aislamiento de las bobinas depende del voltaje, por ejemplo para la tensión usual de 6 000 voltios suele ser de unos 2 a 2.5 milímetros a -- cada lado.

Los conductores vienen aislados con cinta de vidrio y resina. Un paquete de conductores de sección rectangular forman la barra, esta -- se aísla con cinta de mica y resina epóxica o poliéster, se impregna al alto vacío y al final se le cubre con una cinta de vidrio para protección mecánica. Esta se barniza con pintura semiconductor. En la -- ranura la pintura semiconductor es de baja resistencia, en el cabezal se usa una pintura de alta resistencia. En las máquinas muy grandes de tensiones medias, la intensidad de la corriente es tan grande -- que hay que recurrir al arrollamiento de barras (dos de ellas por ranura). Las barras se aíslan como los lados de las bobinas moldeadas -- se conectan entre sí mediante uniones especiales en forma de arco u -- boquillas que se atornillan o se remachan y se sueldan.

Solamente en las máquinas pequeñas para baja tensión, el arrollamiento del estator es, análogo al de las máquinas asíncronas de la misma potencia, y se obtiene introduciendo en la abertura de la ranura cada uno de los conductores. En este caso en lugar de emplear manguitos cerrados, se utiliza un aislamiento de la ranura que, una vez colocados los conductores, se dobla y queda aprisionado por la cuña.

3 FASES 20 KV

9988 AMP 60 HZ 3600 RPM

DEVANADO DEL ESTATOR VISTO DEL LADO TURBINA

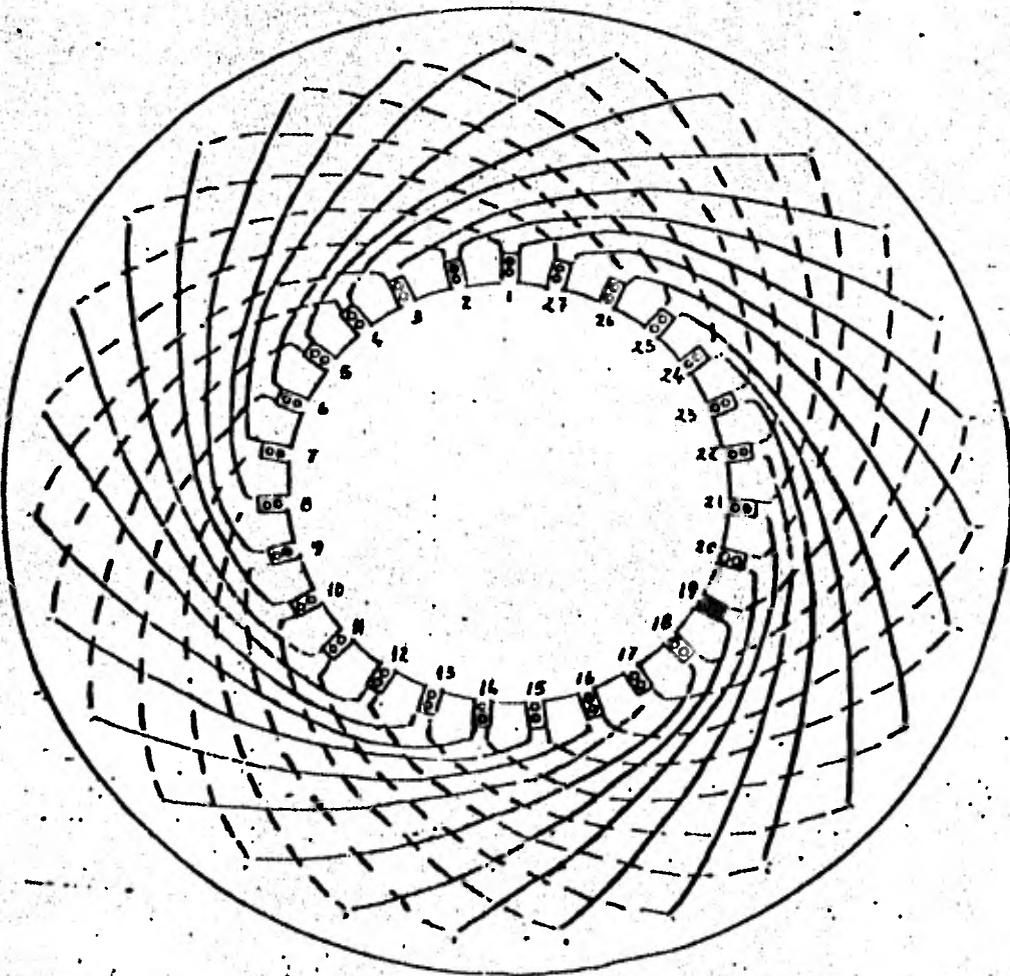


Fig. 5-6

Bobina Superior
Bobina Inferior

3 FASES 20 KV 9000 AMP
60 HZ 3600 RPM

64

DEVANADO DEL ESTATOR VISTO DEL LADO DEL EXCITADOR

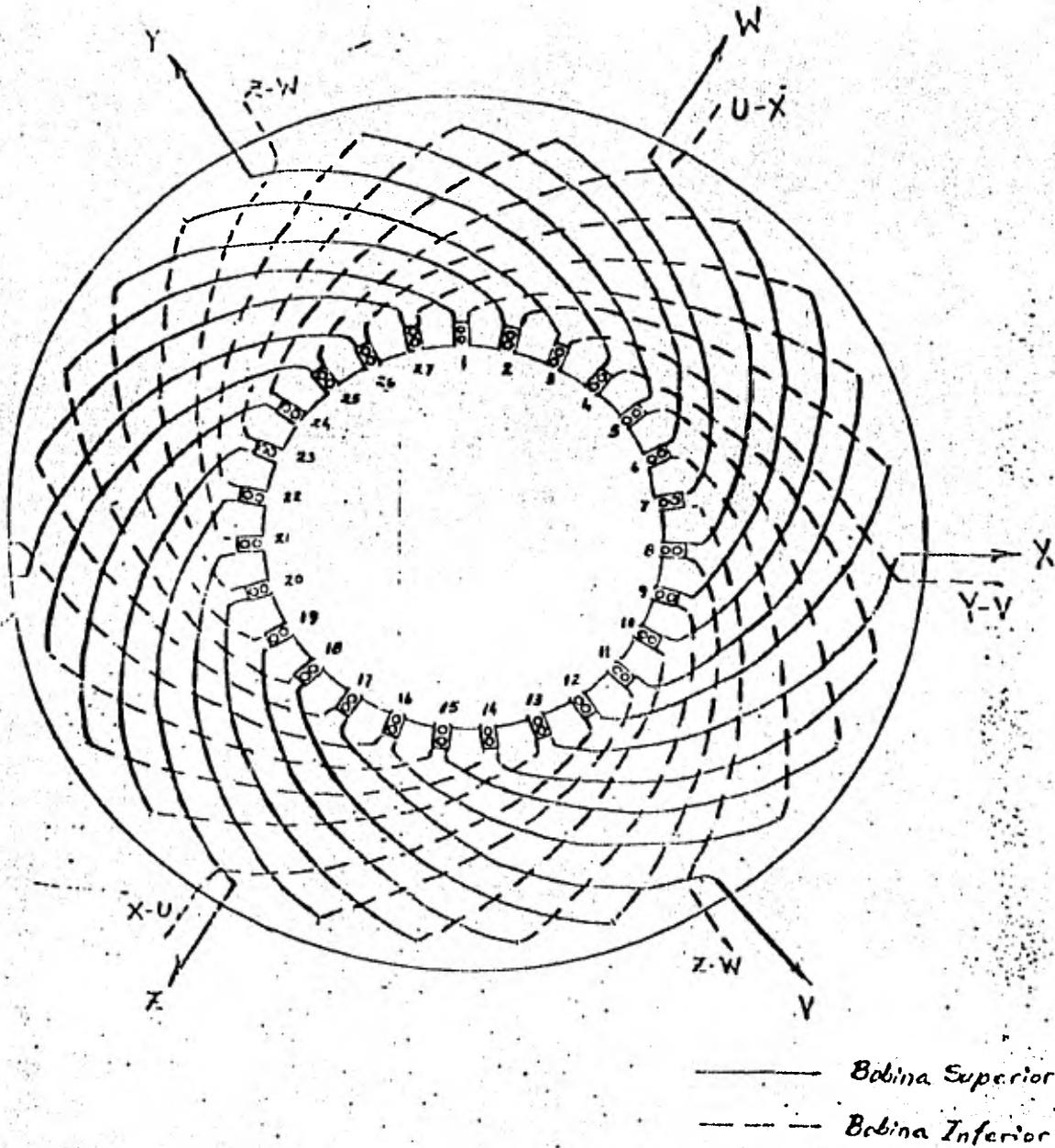


FIG. 3-7

Cabezales del arrollamiento. La parte de las bobinas que queda fuera de las ranuras (cabezales de bobinas o conexiones frontales), pueden tener un aislamiento menor o igual que los lados. Las cabezas de bobinas, que en conjunto se denominan "cabezal del arrollamiento", se encuentra en una superficie cilíndrica o en una superficie cónica.-- En la mayoría de los casos se necesitan varias de esas superficies. Se dice entonces que el arrollamiento posee varios "planos de cabezales de bobina", aún cuando no se trate de verdaderos planos, sino de superficies cónicas o cilíndricas. A menudo cierta cabeza de bobina debe pasar de un plano a otro.

Fijación de las cabezas de arrollamiento. En las máquinas grandes -- hay que asegurar las cabezas de arrollamiento para que resistan las fuerzas que desarrolla la corriente. Estas son pequeñas durante el funcionamiento normal de la máquina; pero en el caso de un corto circuito, la intensidad llega a ser 15 veces mayor que la nominal, y -- las fuerzas, que son proporcionadas al cuadrado de la corriente, son 225 veces más intensas. Las fuerzas de corto circuito tienden a enderezar las bobinas y a separar los conductores recorridos por corrientes de signos opuestos. Por ello las cabezas de las bobinas se fijan mediante anillos amarrados a las placas de presión de los paquetes de laminación del estator, y por medio de bridas que ligan las cabezas de estos pernos manteniéndolos en una posición fija, o mediante cuñas y separadores aislantes amarrados entre sí con hilo de cáñamo o dacrón.

Barras compuestas, en las máquinas de gran potencia, la intensidad de la corriente y por lo tanto la sección de los conductores es tan grande que el campo disperso de las ranuras produce, por inducción, -- intensas corrientes de Foucault en los conductores, lo que conduce a grandes pérdidas adicionales si se emplean barras macizas. En tales casos se utilizan barras compuestas de varios conductores. Estos conductores deben cambiar su posición mutua dentro de la ranura, para -- que en todos ellos se induzca la misma tensión. Las mejores barras compuestas, son aquellas en las que cada conductor ocupe, desde el principio hasta el fin de una ranura, todas las posiciones posibles -- dentro de ella, como por ejemplo la barra Roebel.

ESTRUCTURA DEL ROTOR.

Debe hacerse una distinción entre las máquinas síncronas que tienen seis o más polos y las que tienen dos y cuatro polos. Los rotores de las primeras son del tipo de polos salientes (rotores de polos salientes), como en la máquina de c-d. La fig. 3-11 muestra un rotor de polos salientes.

Las máquinas de 2 y 4 polos, 60 hertz, giran a 3 600 y 1 800 rpm -- respectivamente. Cuando se usan como generadores, están manejados por turbinas de vapor. Los rotores están sujetos a elevados esfuerzos mecánicos y se construyen por esta razón de acero de grado elevado en una forma cilíndrica (rotores cilíndricos). La fig. 3-12 (a) muestra un rotor cilíndrico (sin arrollamiento) de una máquina síncrona de 2 polos. El arrollamiento de c-d del campo se coloca en ranuras y se mantiene en el lugar por pesadas cuñas de metal. Los dientes grandes corresponden a los polos salientes del rotor de polos salientes. Deberá mencionarse que las máquinas síncronas pequeñas de 4 polos se construyen con polos salientes.

Mientras que el arrollamiento del campo de la máquina de polos salientes consta de bobinas concentradas como en la máquina de c-d, el arrollamiento del campo de la máquina de rotor cilíndrico se distribuye en forma similar a un arrollamiento monofásico (véase la fig. 3-8).

La fig. 3-9, muestra las trayectorias del flujo principal de una máquina de polos salientes de 4 polos. La forma general y construcción del estator es muy similar a la del motor de inducción.

Para reducir las pérdidas en las caras polares y al mismo tiempo facilitar su construcción y montaje, los núcleos de casi todos los polos salientes se hacen de chapas roblonadas (fig. 3-10). En los alternadores de poca velocidad, estos núcleos se unen con colas de milano (fig. 3-3), o se fijan con pernos (fig. 3-11) a la llanta del rotor. Los brazos centrales pueden ser de fundición o acero fundido, o se pueden construir con acero de máquinas (fig. 3-11).

Las bobinas de campo de los alternadores de pequeña capacidad se confeccionan ordinariamente con conductores de sección rectangular, con cubierta de algodón completamente impregnada; en los alternadores de tipo mayor se emplean bobinas devanadas con cintas de cobre, frecuentemente aisladas con cintas de mica, fijadas a altas temperaturas. Los dos tipos de bobinas se representan en la figura (3-10)

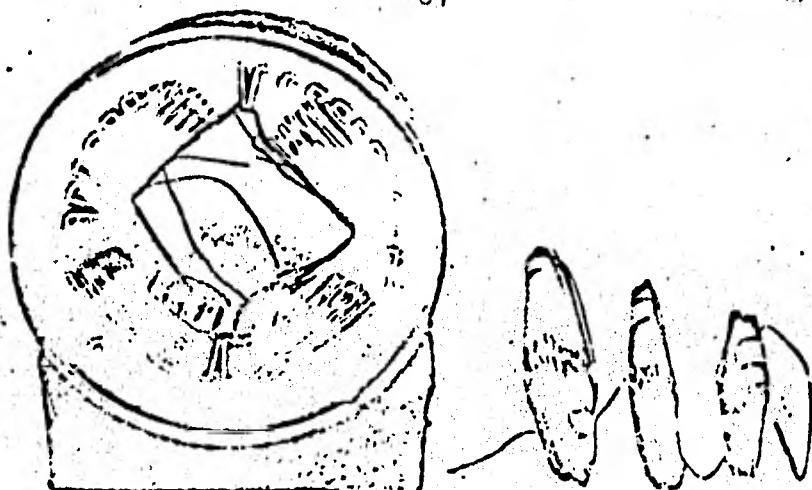


Fig. 3-8 Arrollamiento monofásico.

Para amortiguar las pulsaciones u oscilaciones, sobre todo en el caso de alternadores accionados por motores de émbolo, se disponen amortiguadores de jaula en las caras polares, como los que se ven en la figura (3-11)

El rotor sin polos salientes, o de tipo cilíndrico, se utiliza para los alternadores directamente acoplados a turbinas de vapor, que giran a gran velocidad. El rotor es una pieza cilíndrica de acero forjado (fig. 3-12), en cuya superficie se labran ranuras longitudinales para alojar las espiras del inductor. El rotor representado en la figura 3-12 es de dos polos. Las ranuras longitudinales estrechas, abiertas a lo largo de las caras polares, sirven para el equilibrio dinámico. Si no existieran dichas ranuras, el rotor sería más elástico según el eje de los polos, debido a la supresión de metal en las ranuras, que según un eje en ángulo normal al anterior y esta diferencia de elasticidades daría lugar a vibraciones.

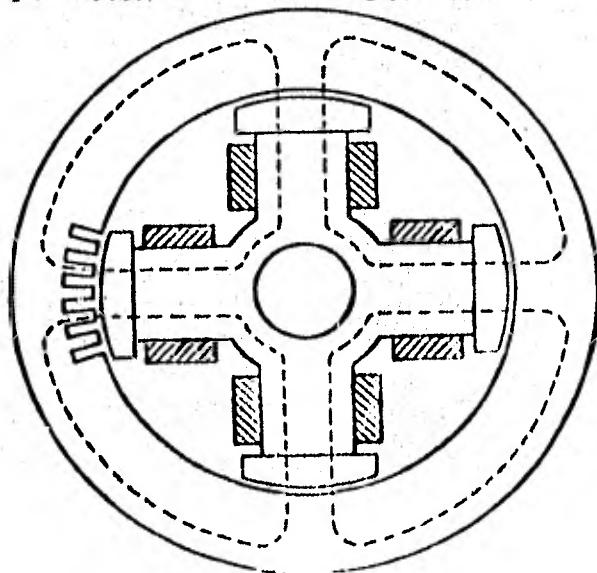


Fig. 3-9 - Trayectorias del flujo principal de una máquina síncrona polos salientes, de 4 polos.

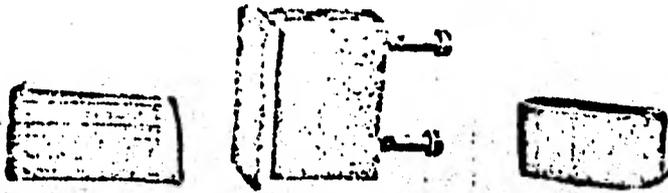


Fig.3-10 - Piezas polares salientes, con dos tipos de bobinas.

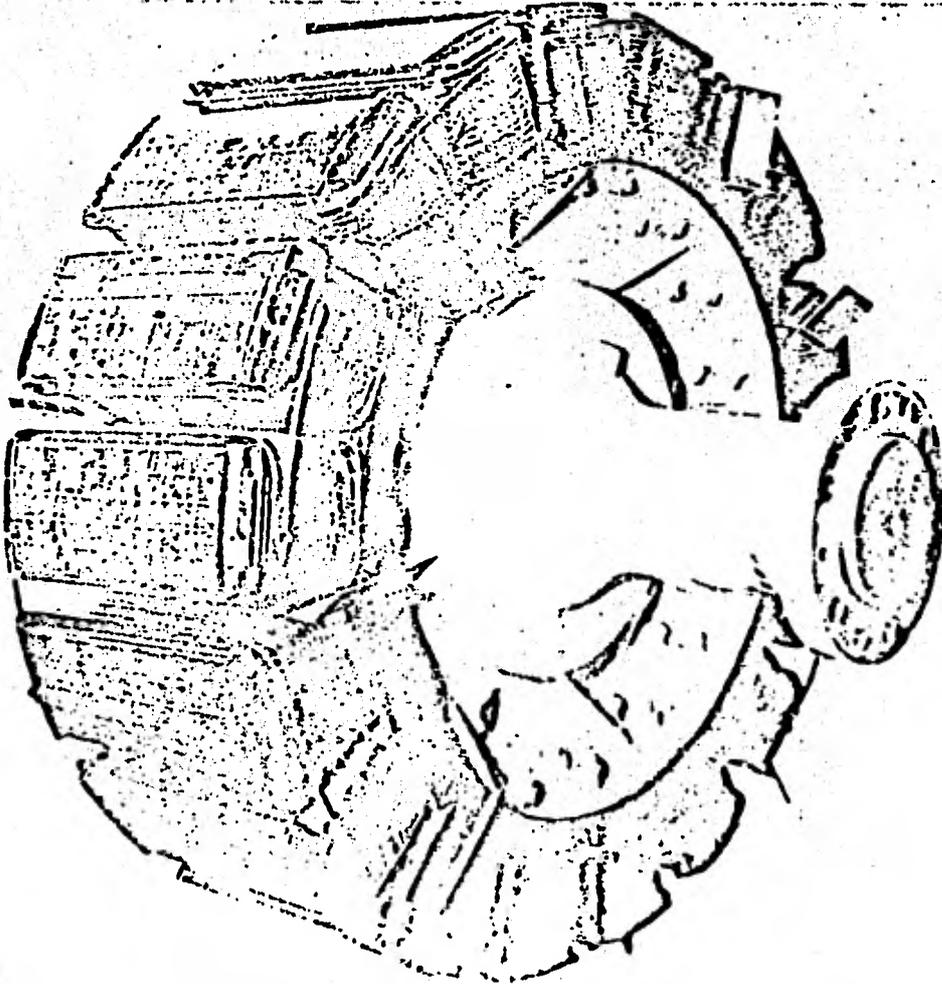
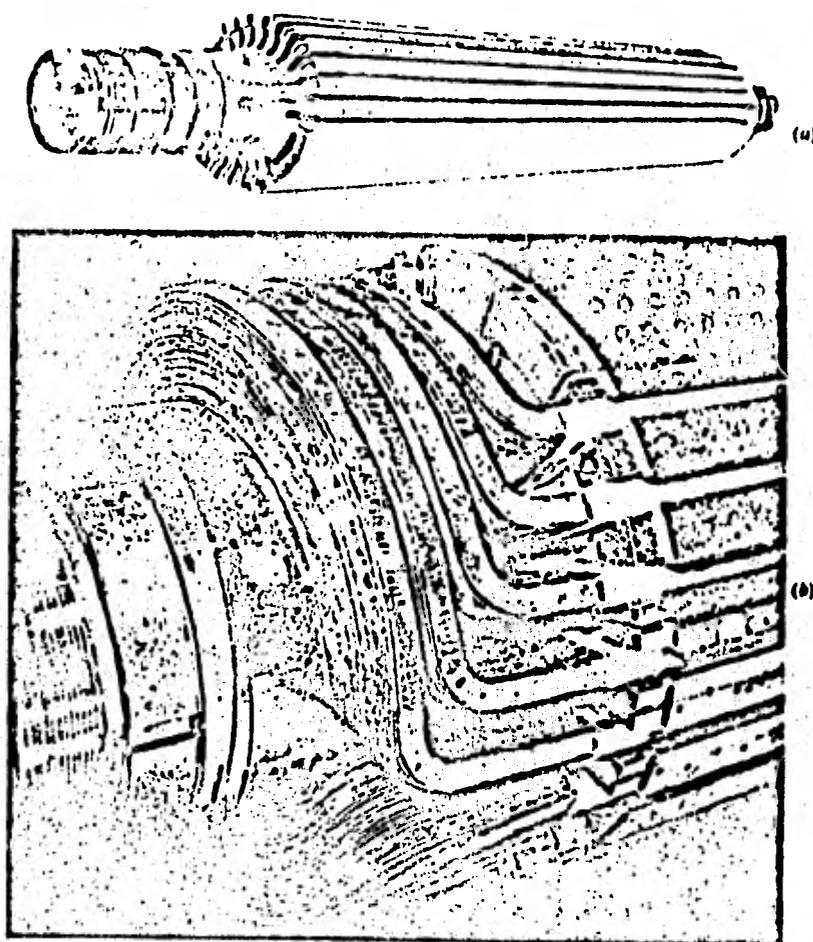


Fig.3-11 - Rotor de polos salientes con amortiguadores en las caras polares.



- (a) Antes del bobinado.
 (b) Detalle de las conexiones externas.

Fig. 3-12. - Rotor bipolar para turboalternadores de 43750 Kva., 13800 voltios y factor de potencia 0,80, 3600 r.p.m.

El rotor se bobina con cinta de cobre. La fig. 3-12 (b), es una vista de uno de los extremos del rotor y su devanado. Las conexiones extremas de cobre deben sujetarse con cercos metálicos para soportar la fuerza centrífuga. Para reducir al mínimo la resistencia del aire, que tiende a ser considerable a las velocidades de las turbinas de vapor, las superficies del rotor terminado se hacen tan lisas como es posible.

CONSTRUCCION Y AISLAMIENTO DEL SISTEMA DE CAMPO.

La estructura del campo giratorio de las máquinas de velocidad baja y moderada de tipo normal, consiste en polos laminados que se proyectan radialmente desde un núcleo anular de acero que forma parte de los brazos del rotor, mostrándose la disposición general en la fig.

3-15 Las chapas que forman los núcleos polares están hechas de material más grueso que las del núcleo del inducido y están provistas de extremos salientes que no solo sirven para distribuir el flujo en el entrehierro, sino también para soportar los devanados de campo. Los núcleos polares están unidos a los brazos del rotor por pernos o mediante llaves de unión con los salientes en cola de milano, que forman parte integrante de las chapas. En las máquinas pequeñas de este tipo, el devanado está formado por un hilo con doble cubierta de algodón, con aislamiento de papel entre capas, pero siempre que las condiciones lo permitan, los devanados se hacen de conductor desnudo de cinta, devanado en los bordes, estando aisladas las sucesivas espiras unas de otras por tiras delgadas de material aislante, tal como papel de amianto.

De la relación $f = pn/120$ se deduce que en los alternadores de 25 ciclos, $pn = 3.000$, mientras que los alternadores de 60 ciclos, $pn = 7200$. Teniendo en cuenta que las turbinas de vapor son inherentemente máquinas de alta velocidad, se deduce que los turboalternadores deben tener, en general, de dos a seis polos. Mientras algunas máquinas de este tipo se han construido con seis polos salientes para velocidades de 1.200 rpm, la práctica actual utiliza rotores cilíndricos con el devanado de excitación embebido en ranuras, construcción que proporciona mayor fortaleza mecánica y permite un equilibrio más ajustado; incidentalmente, la suave superficie de un rotor cilíndrico se traduce en funcionamiento silencioso, si bien la supresión de ruido se logra en mayor extensión encerrando completamente la máquina.

El diseño del rotor de los primeros turboalternadores de alta velocidad incluía algunas de las características comunes a los diseños normales de máquinas de baja velocidad, particularmente la construcción de eje pasante que tenía el efecto de limitar considerablemente la potencia de salida para la que se podía construir estas máquinas, ya que el pequeño diámetro del rotor determinado por la alta velocidad, restringía considerablemente el espacio disponible para dientes y ranuras, así como la profundidad del núcleo debajo de ellos. Se venció esta limitación abandonando la construcción de eje pasante y empleando en su lugar un rotor que comprendía un núcleo y un eje hecho de una pieza forjada sólida en los tamaños pequeños, mientras que en los tamaños mayores el núcleo estaba formado por placas o discos atornillados y con extensiones atornilladas sobre el eje. De esta forma se hacía posible utilizar diámetros de ejes considerablemente

mayores que los que eran factibles con el diseño del eje pasante, lo que se traducía en mayor rigidez, reduciéndose proporcionalmente los inconvenientes de la vibración.

La fig. 3-13 es, en parte, la sección transversal de un rotor bipolar, pero con la adición de un dibujo en perspectiva que muestra las espiras finales de dos de las bobinas del arrollamiento de excitación, el cual a causa de su extensión, da una distribución escalonada de la fem, que se aproxima a la forma sinusoidal deseada. La importancia de esta consideración depende del hecho de que la forma de onda de la fem de un generador de c.a. debe ajustarse tanto como sea posible a una curva sinusoidal, ya que la ausencia de armónicos reduce la posibilidad de complicaciones inconvenientes en el comportamiento de los aparatos conectados, así como por la mayor facilidad y sencillez con que pueden llevarse a efecto los cálculos necesarios.

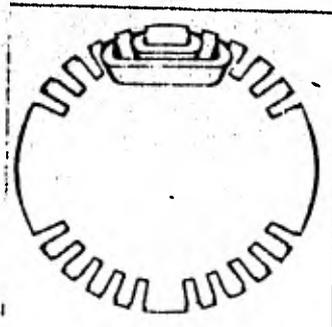


Fig. 3-13 Rotor bipolar con ranuras radiales.

Existe un nuevo hecho, el que AIEE Standards especifica que el factor de desviación de la onda de tensión en bornas en circuito abierto de las máquinas síncronas, no excederá el 10%, a no ser que se especifique de otra forma.

Los extremos libres de las bobinas de excitación deben estar mantenidos rígidamente por anillos de acero o bronce, de material de alta calidad, no solo a causa de las grandes fuerzas centrífugas debidas a la gran velocidad de rotación, sino también a causa de las fuerzas aún mayores a que están sometidas las bobinas en caso de un repentino cortocircuito en el circuito alimentado por el alternador, ya que como se demostrará más adelante, el efecto de dicho cortocircuito repentino, además de producir una corriente instantánea de gran magnitud en el inducido, es inducir en el devanado de campo una corriente y una tensión instantáneas y unidireccionales que pueden ser muchas veces superiores a los valores normales. La tensión instantánea de-

bida a esta causa suele estar dentro de los límites de perforación - del aislamiento, ya que consideraciones de fortaleza mecánica requieren una calidad y un espesor del material más que suficiente para resistir la energía dieléctrica; pero los esfuerzos mecánicos sobre el aislamiento, así como sobre las propias bobinas, son considerables, por lo que tales condiciones, en combinación con la alta temperatura de funcionamiento, excluyen el empleo de cualquier otro material aislante que no sea la mica.

Además, debe tenerse en cuenta que la estructura metálica que forma el extremo del núcleo de la extensión atornillada al eje, está conectada con los polos magnéticos del rotor, por lo que debe ser material no magnético, tal como el bronce, con objeto de evitar una derivación innecesario de flujo magnético del circuito magnético principal.

R A N U R A S .

Para los alternadores se emplean dos tipos generales de ranuras, las -- abiertas y las semicerradas. La que más se emplea es la ranura abierta cuya sección se representa en la figura 3-14 (a), porque las espiras se pueden formar y aislar antes de colocarlas en las ranuras, con lo que se consigue que el devanado sea más barato y efectivo..

La ranura semicerrada, que representa la figura 3-14 (b), suele ser necesaria sobre todo en los motores de inducción. La mayor superficie de la cabeza del diente reduce la reluctancia del entrehierro y también la dispersión del flujo, que tiende a perturbar la curva de f.e.m. Suele ser necesario poner los conductores uno a uno en la ranura, lo que resulta caro y sin aprovechamiento económico del espacio de aquella. Es también difícil colocar el aislante.

En ambos tipos de ranura suelen retenerse los conductores por medio de cuñas de fibra (fig. 3-14). El efecto que se obtiene con las ranuras -

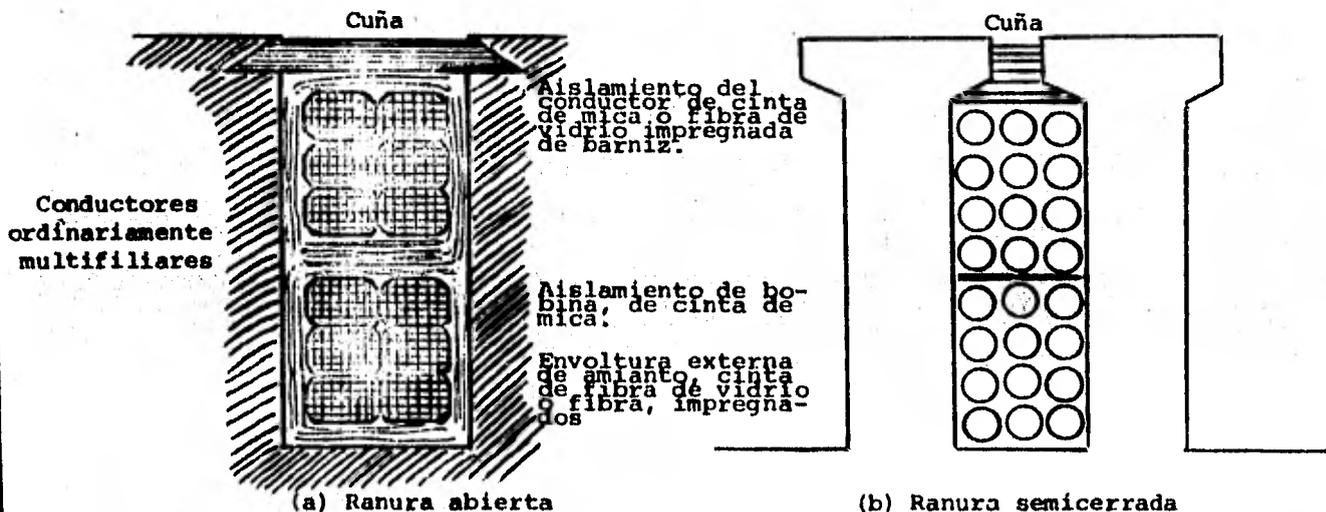


Fig. 3-14 - Sección transversal de ranuras típicas para alternadores.

semicerradas se puede conseguir con ranuras abiertas y cuñas de material magnético, construidas sólo parcialmente de hierro, de manera que la ranura no queda del todo cerrada. El aislamiento de las espiras se divide en dos clases generales, A y B. El aislamiento de clase A, de papel

o tela, es de material orgánico y cuando está impregnado de barniz o -- relleno tiene una temperatura límite de trabajo de 100°C, medida con un detector empotrado. El aislamiento de clase B, del que son ejemplos -- las cintas de mica y de fibra de vidrio (cinta tejida con fibra de vidrio), puede alcanzar una temperatura límite de 120°C, medida también -- con el detector empotrado. Hasta hace poco se usaban barnices orgáni-- cos, que sólo admitían bajas temperaturas de trabajo, para pegar las ho-- jas de mica y para impregnar la fibra de vidrio, que se aplica regular-- mente en forma de cinta. Recientemente se han introducido en el merca-- do nuevos barnices de siliconas, que resisten temperaturas de trabajo -- mucho mayores. Las temperaturas límites para aislamientos de mica y de fibra de vidrio con barnices de este tipo no se han precisado todavía. La ranura de la figura 3-14 (a) aparece aislada con materiales de la -- clase B, lo que es corriente en los alternadores, puesto que la poten-- cia útil aumenta con la temperatura de trabajo.

Si se reemplazase la mica y la fibra de vidrio por cinta de algodón bar-- nizada, se obtendría un aislamiento de la clase A.

Los conductores, o parte de ellos, que se hallan cerca de la boca de la ranura tienen menor autoinducción que los que se hallan cerca del fondo. Por consiguiente, la corriente tiende a circular por las porciones más superficiales de los conductores. Para evitar esta distribución desi-- gual de la corriente, los conductores de gran sección de los alternado-- res están constituidos por cables multifilares, como se puede ver en la figura 3-14 (a), aislándose los hilos con esmalte. Cada uno de los -- conductores está hecho de manera que los cables ocupan las partes alta, media y baja, de la ranura, a distancias iguales para equilibrar sus auto-- inducciones.

Con el fin de evitar el efecto corona en los vacíos que existen entre los conductores y los núcleos de chapa en comunicación con tierra, lo -- que suele ocurrir cuando la tensión es elevada, el aislamiento de la ra-- nura se recubre con una pintura semiconductor y las superficies se co-- nectan a tierra.

V E N T I L A C I O N

El problema de la ventilación de los alternadores de poca velocidad con polos salientes no es difícil de resolver. La longitud de los conductores empotrados no es grande, la superficie de radiación importante, y el movimiento del aire producido por los polos salientes asegura la circulación del mismo. Por el contrario, la potencia de los alternadores movidos por turbina de vapor es tan grande en comparación con su tamaño, la longitud de los conductores empotrados tan considerable y la agitación del aire producido por las superficies lisas del rotor tan pequeña, que el problema de la ventilación es difícil de resolver. Además, como no es posible prácticamente dejar conductos de ventilación en la parte maciza del rotor, todo el fluido refrigerante debe circular en dirección axial por el entrehierro o por conductos axiales perforados en las láminas del estator. Deben disponerse en el estator, por lo tanto, estos conductos (ver también fig. 3-5).

Actualmente se emplean conductos de ventilación con ciclo completamente cerrado, que, además, eliminan la acumulación de polvo que se produciría en el sistema de ventilación si circulase por él el aire del exterior, consiguiéndose con ello reducir al mínimo las probabilidades de incendio, porque se suprime la entrada de oxígeno. También se establecen dispositivos de entrada de anhídrido carbónico, para caso de incendio. El agente refrigerante, que puede ser aire o hidrógeno, se enfría haciéndolo pasar entre tubos por los que circula agua, y circula continuamente por el sistema de ventilación del alternador.

Casi todos los alternadores accionados por turbinas de vapor y los motores sincrónicos de gran tamaño se construyen actualmente con enfriamiento por hidrógeno. La razón fundamental que aconseja el uso de este gas en lugar del aire es que las pérdidas por rozamiento se reducen a un décimo aproximadamente de las que se producen con el aire, con lo que se obtiene un aumento de rendimiento de 0.6%, o mayor, para la carga de régimen, además de un mejor enfriamiento, cuyo rendimiento aumenta aproximadamente en un 20%. Otras ventajas del hidrógeno son: la reducción de la oxidación del aislante y de la probabilidad de incendio y del ruido producido por el viento. Las propiedades del hidrógeno que lo hacen ventajoso como agente refrigerador son: su menor densidad, que es sólo el 7% de la del aire, la consiguiente reducción de la pérdida de presión, y su conductibilidad térmica, que es 7,5 veces mayor que la del aire, por lo que para una determinada diferencia de temperatura absorbe el 30% más de calorías que éste para una superficie dada. Debido al peligro de explosión se le ha de hacer circular por una envoltura estanca. Como en los condensadores sincrónicos el eje no sobresale, la refrigeración por hidrógeno que empleó inicialmente en ellos. En los alternadores se ha establecido un cierre especial de aceite en los cojinetes, que hace despreciables las fugas de hidrógeno. El peligro

de explosión se elimina prácticamente si se mantiene la presión del gas un poco inferior a la del aire. Además, los límites entre los cuales es explosiva una mezcla de hidrógeno y aire varían entre el 5 y el 75% del hidrógeno, y el porcentaje normal en condiciones de trabajo varía entre el 95 y 98%, en esta proporción, la mezcla no es combustible.

En la figura 3-15 se representa un esquema, un sistema longitudinal de ventilación. El aire de enfriamiento circula longitudinal o axialmente por el entrehierro y por los orificios practicados en las chapas de hierro y sale radialmente por los conductos de ventilación. En la figura 3-5 se indican los conductos de circulación del aire o hidrógeno, en el sistema de ventilación radial.

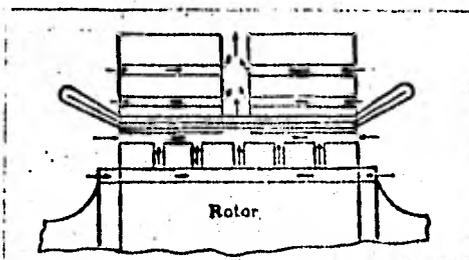


Fig. 3-15 Paso del aire de refrigeración por los conductos de un turboalternador.

REQUISITOS PARA LA REFRIGERACION

La armadura exterior o carcasa, que soporta el núcleo del inducido, se suele construir de láminas de acero soldadas eléctricamente, en lugar de las armaduras más costosas de acero fundido que utilizaban antiguamente. Cuando se trata de grandes turboalternadores en los que la ventilación forzada es una necesidad, el diseño interior de la carcasa debe prever los adecuados conductos para el libre movimiento de grandes volúmenes de aire de refrigeración o de gas hidrógeno, por lo que la carcasa debe estar totalmente cerrada.

Cuando se trata de alternadores de ruedas hidráulicas o impulsados por máquina, de baja o media velocidad, caracterizados por gran diámetro y pequeña longitud axial, no existen dificultades especiales para proporcionar la suficiente ventilación que mantenga la temperatura de trabajo dentro de límites de seguridad. Además de las grandes superficies útiles para la radiación directa, existe la acción aireadora del campo giratorio, que puede incrementarse (a expensas de pérdidas adicionales por rozamiento) proveyéndole de aspas de ventilador alrededor de la periferia. Si es pequeña la longitud axial del núcleo, el calor desarrollado en la parte embebida del devanado del inducido, se trasladará a las conexiones terminales, donde se disipará si la acción aireadora es suficiente; pero, generalmente, es necesario subdividir el núcleo dotándole de conductos de ventilación a intervalos de 7,5 cm, aproximadamente, para permitir el flujo de aire refrigerador radialmente en el núcleo. La provisión de las adecuadas cualidades de refrigeración se convierte en un problema de la máxima importancia en el proyecto de turboalternadores de elevada velocidad y gran capacidad. La ecuación de la potencia de salida.

$$kva = \zeta d^2 / n.$$

Demuestra que el efecto de la elevada velocidad, n , es reducir la cantidad de material activo (determinada por el diámetro d y la longitud axial l) muy por debajo del necesario en una máquina de baja velocidad de la misma capacidad, disminuyendo así considerablemente la superficie útil para la radiación directa. El diámetro debe mantenerse lo suficientemente pequeño para conservar la velocidad periférica del rotor dentro de límites de seguridad, de forma que para grandes capacidades, la longitud axial debe ser considerable, lo que se añade a la dificultad de refrigerar la parte central del núcleo, que se encuentra demasiado alejada de las conexiones terminales para permitir que el calor se traslade a lo largo de los inductores del inducido hasta las conexiones terminales con moderada diferencia de temperatura entre el punto medio y los extremos. Todos estos razonamientos señalan la necesidad de encerrar completamente la máquina a fin de permitir el empleo de ventilación forzada para disipar el calor, con lo que el proyectista se enfren-

ta con la dificultad de diseñar conductos de suficiente sección para permitir el paso del necesario volumen de aire. La cantidad necesaria de aire refrigerador puede calcularse mediante las siguientes consideraciones:

Peso de 1 pie cúbico de aire seco a 60°F y 28,5 pulgadas
 Hg = 0,07272 libras
 Calor específico del aire = 0,2418
 1 Btu = 778 libras-pie.

La energía necesaria para elevar 100 pies cúbicos de aire
 = $0,07272 \times 100 \times 0,2418 \times 778 \times \frac{9}{5} = 2,462$
 $\frac{0,746}{33.000}$
 = $2,462 \times \frac{0,746}{33.000}$ kw-min = 0,0559 kw-min

Por tanto, una pérdida del 1 kw elevará la temperatura de 100 pies-cúbicos de aire a $1/0,0559 = 18^\circ\text{C}$ en un minuto. Si la temperatura del aire es más elevada, el peso por pie cúbico será inferior a la cifra utilizada anteriormente en cuyo caso, la elevación de la temperatura correspondiente a una pérdida dada, será más alta en relación inversa con la disminución del peso específico.

Como ejemplo del volumen necesario de aire refrigerador, consideremos el caso de una máquina de 15.000 kva, 1.500 rpm y 25 ciclos, -- que tiene un rendimiento del 96,5%. Las pérdidas en la máquina son

$$\frac{15.000}{0,965} \quad 15.000 = 545 \text{ kw}$$

lo que exige 54.500 pies cúbicos de aire por minuto, con una diferencia de 18°C entre las temperaturas del aire de entrada y salida, o sea, 50.000 pies cúbicos por minuto, aproximadamente, para una elevación de temperatura de 20°C . Suponiendo una velocidad media de aire de 6.000 pies por minuto (valores de 5.000 a 6.000 pies por minuto son corrientes), la superficie de la sección transversal de los conductores del aire debe ser de $8\frac{1}{3}$ pies cuadrados, o sea, -- muy superior a lo que puede obtenerse con el método ordinario de ventilación radial (fig. 3-16), en la que el aire refrigerador entra en los conductores a través del núcleo del estator por el entrehierro.

Así pues, si suponemos que la velocidad periférica del rotor de la máquina descrita anteriormente, es 20.000 pies por minuto, el diámetro tendrá 51 pulgadas y con un entrehierro de 1 pulgada (de hierro a hierro) y en la hipótesis de que el aire procede de los dos extremos, la sección transversal útil será 2,22 pies cuadrados, o sea, ligeramente superior a una cuarta parte de la superficie necesaria. En lo que el rotor se refiere, no existe dificultad alguna para proporcionar suficiente aire refrigerador, porque las pérdidas en el rotor constituyen únicamente el 10%, aproximadamente, de las

pérdidas totales, por lo que solamente necesitará 5.000 pies cúbicos de aire, aproximadamente, por minuto, lo que corresponde a una superficie del conducto de 0,83 pies cuadrados, aproximadamente, o sea, perfectamente dentro de la cantidad disponible; la dificultad surge por la cantidad mucho mayor de aire refrigerador que necesita el estator.

Las limitaciones del método radial llevaron al desarrollo de los métodos de refrigeración circunferencial y axial, que se ilustran en las fig. 3-17. En la primera, el aire es proporcionado a uno o más puntos sobre la periferia exterior del núcleo del estator y se fuerza circunferencialmente en los conductos entre chapas hasta las adecuadas bocas de salida. Si se combina este método con el sistema radial, los conductos del estator tendrán que llevar las dos corrientes de aire que se indican en la fig. 3-17(a) por lo que la interferencia resultante disminuirá la efectividad de ambas. Para evitar dicha interferencia, algunas máquinas se han construido en la forma que se indica en la fig. 3-18(a) en la que se han cerrado conductos radiales alternos en la superficie exterior y todos ellos en el entrehierro. El gran conducto central proporciona una boca de salida para el aire refrigerador que va al rotor. Este método tiene la desventaja de que los conductos del estator no están todos en paralelo, lo que se traduce en una reducción de la superficie útil y un aumento de la longitud del camino.

En el método axial, el aire refrigerador del estator es forzado en sentido axial en los conductos formados por la perforaciones en las chapas del estator que se muestran en la fig. 3-17(b). Este proyecto tiene la gran ventaja de que el calor del estator que fluye con mucha mayor libertad a lo largo de las chapas que a través de ellas, encuentra su camino directamente hasta las aberturas axiales con una caída de temperatura considerablemente inferior que la necesaria para hacerle fluir a través de las chapas.

Cuando el aire refrigerador que se utiliza para la ventilación forzada de generadores contiene una cantidad apreciable de materias sólidas en suspensión, como sucede cuando el ambiente circundante tiene cantidad de humo o de polvo, el aire refrigerador debe filtrarse o purificarse, con objeto de evitar las posibles obstrucciones de los conductos en el núcleo. Se han empleado filtros hechos de tejido elástico, pero resultan engorrosos a causa de la frecuencia con que han de renovarse cuando el aire está sucio. El lavado del aire haciéndolo pasar por una cámara de rocío, constituye un remedio eficaz, ya que al mismo tiempo que se hace desaparecer el polvo, se reduce considerablemente la temperatura inicial del aire, con lo que se incrementa la potencia de salida del generador sin exceder el límite permisible de temperatura en el punto más caliente.

Cuando se trata de motores y generadores de gran capacidad, la circulación del aire refrigerador exige una potencia considerable y el correspondiente y costoso equipo auxiliar. Con el aire como medio refrigerador, existe un cierto límite de las características nominales pasado el cual no sería posible conservar los límites de temperatura dentro de un margen de seguridad. Un nuevo aumento de las -

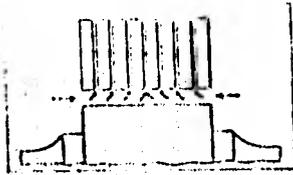


Fig. 3-16 Ventilación radial.

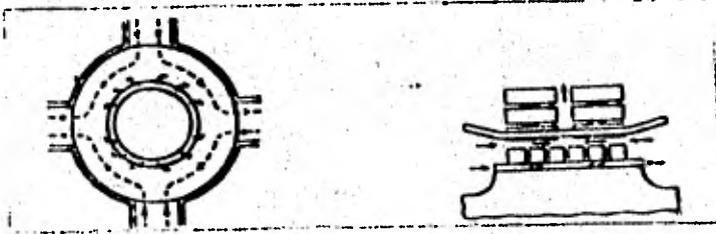


Fig. 3-17 a) Ventilación Circunferencial b) Ventilación Axial.

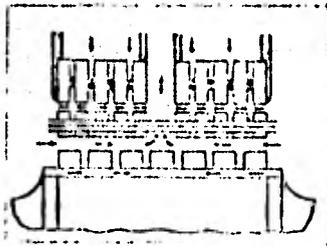


Fig. 3-18 Ventilación combinada radial y circunferencial.

características nominales exige un medio refrigerador que tenga - un calor específico mayor que el aire y una densidad menor que él. El hidrógeno, que tiene un calor específico de 3,409 (14¹/₂ veces, aproximadamente, el del aire) y una densidad de 0,005611 libras por pie cúbico a 0°C y 760 mm Hg, cumple tales requisitos, por lo que se emplea para la refrigeración de grandes condensadores y generadores síncronos. Su utilización requiere diseños totalmente cerrados a prueba de explosiones y dotados de serpentines de refrigeración (que conduzcan agua o aceite circulantes) dentro de la carcasa para la extracción del calor de la atmósfera de hidrógeno circulante.

E X C I T A C I O N .

La tensión de excitación es ordinariamente de 120 a 250 voltios y en las grandes centrales se produce por medio de un generador individual con accionamiento directo, con reductor de engranajes o por medio de un motor; o bien se alimenta desde barras de cuadro destinadas exclusivamente a la excitación. Las barras de excitación se alimentan regularmente por medio de un grupo motor-generador conectado a las barras principales de la central. En centrales menores, la excitatriz va montada directamente sobre el árbol de alternador o se acciona por medio de una correa movida por dicho árbol. En las grandes centrales se dispone en general de una batería tampón, acoplada a las barras de excitación y, además, se puede disponer de excitatrices accionadas por máquinas de vapor, para casos de accidente.

Los diferentes tipos de excitación se dan a continuación.

Existen varios metodos para poder excitar un generador sincrónico, se enumeran a continuación:

- a) Excitación independiente.
- b) Excitación propia o autoexcitado.
- c) Excitación por un grupo de excitación.
- d) Excitación de cada generador.

EXCITACION INDEPENDIENTE.

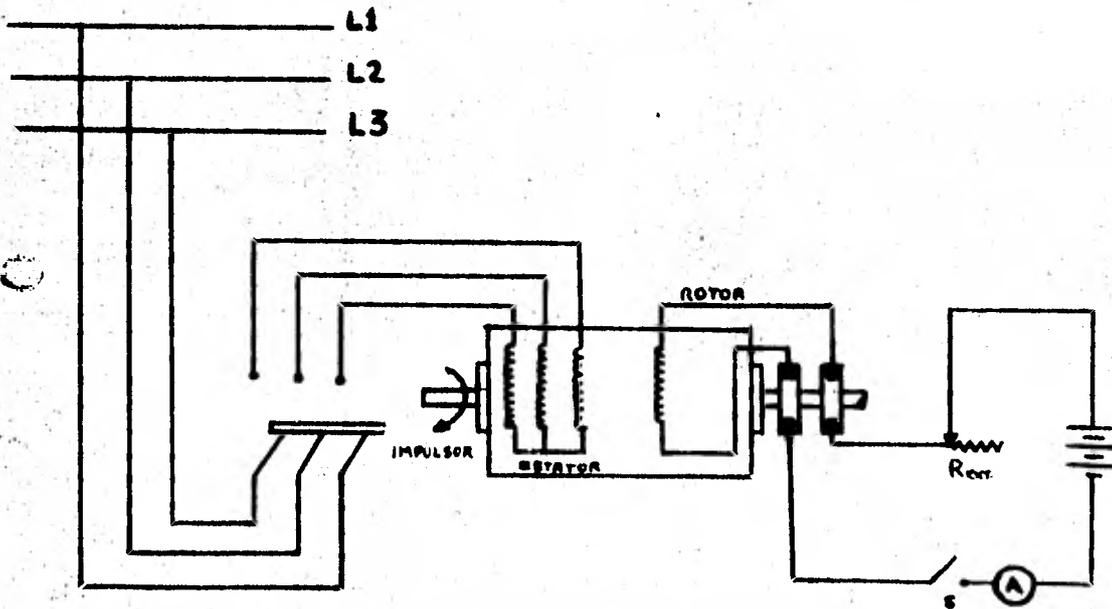


Fig. 3-19

EXCITACION PROPIA O AUTOEXCITADO.

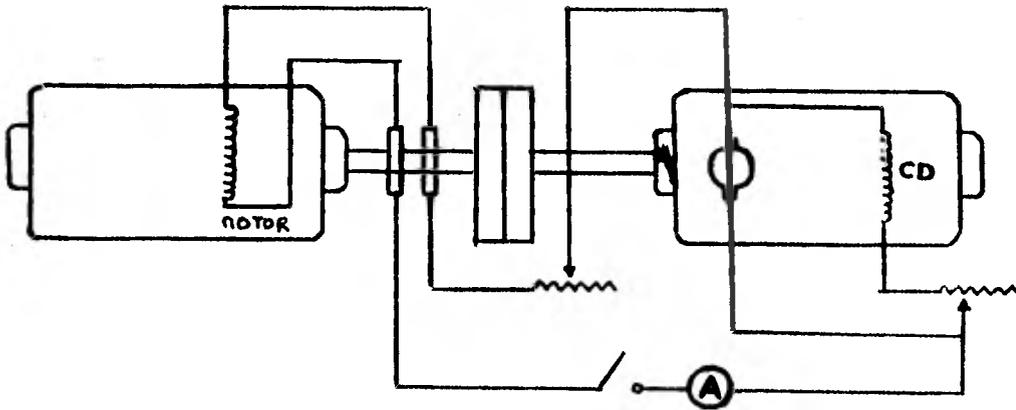


Fig. 3-20

EXCITACION POR UN GRUPO DE EXCITACION:

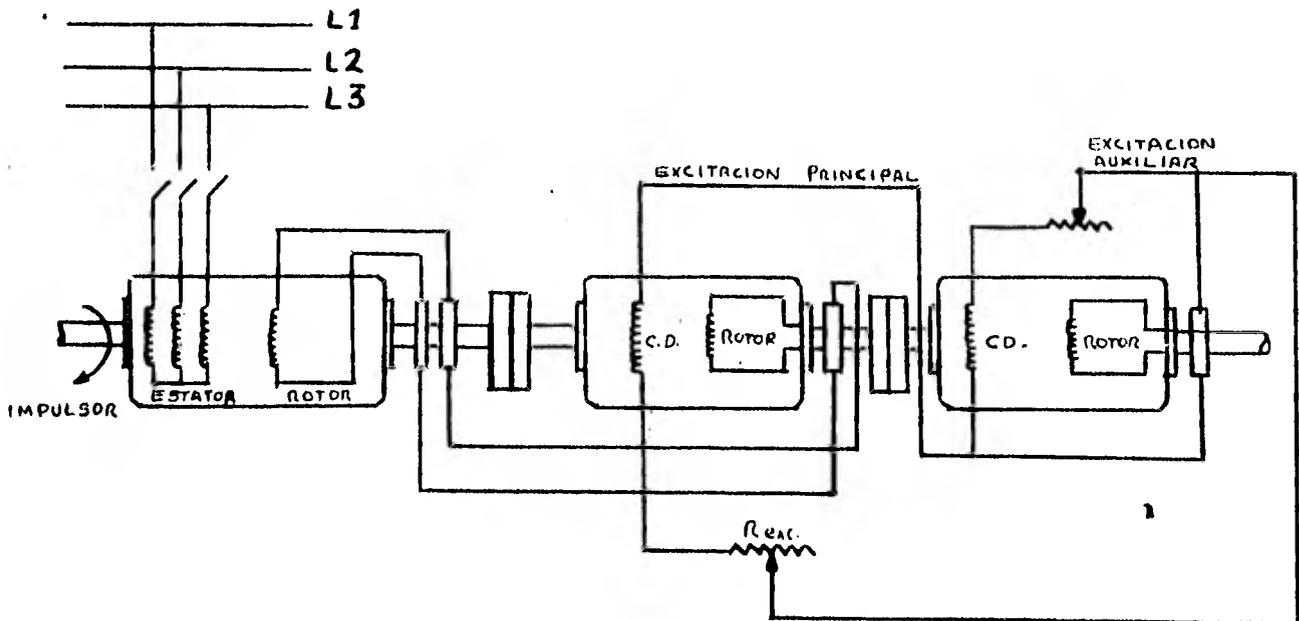


Fig. 3-21

Para la excitación de cada generador, el sistema en sí es parecido al anterior, solo que la excitación principal y auxiliar son acoplados por un impulsor aparte.

LOS REGULADORES DE VOLTAJE.-

El regulador de voltaje es un sistema de control que a partir de una señal del potencial de salida de la máquina, que va compensada por una señal de corriente para la correcta distribución de los reactivos entre las unidades, la compara contra un valor deseado y si encuentra una diferencia procede a dar una señal para que se corrija esa situación. A la diferencia entre el valor real y el valor deseado se le conoce con el término de "error" y esta diferencia se utiliza por medio de amplificadores para producir la corrección en la corriente del campo generador.

Dependiendo del tipo de sistema de excitación se utiliza el tipo de regulador de voltaje.

a) para Generadores con excitatriz.-

El regulador de voltaje podrá ser de señal de voltaje real compensada la cual se rectifica y se compara contra la tensión constante de un diodo Zener. El ajuste del valor deseado se hace mediante un potenciómetro y el error mediante amplificadores magnéticos entra amplificado a una amplidina de donde se afecta al campo de la Excitatriz principal y la corriente de campo del Generador.

También en lugar de amplidina se pueden tener amplificadores magnéticos rotatorios o sea Generadores de C. D. en cascada.

b) Para generadores con excitación estática a base de tiristores.

El regulador es totalmente estático y afecta el ángulo de disparo de los tiristores.

Como éste valor depende de una señal de C.D. fija de entrada el error se suma o resta a éste valor inicial.

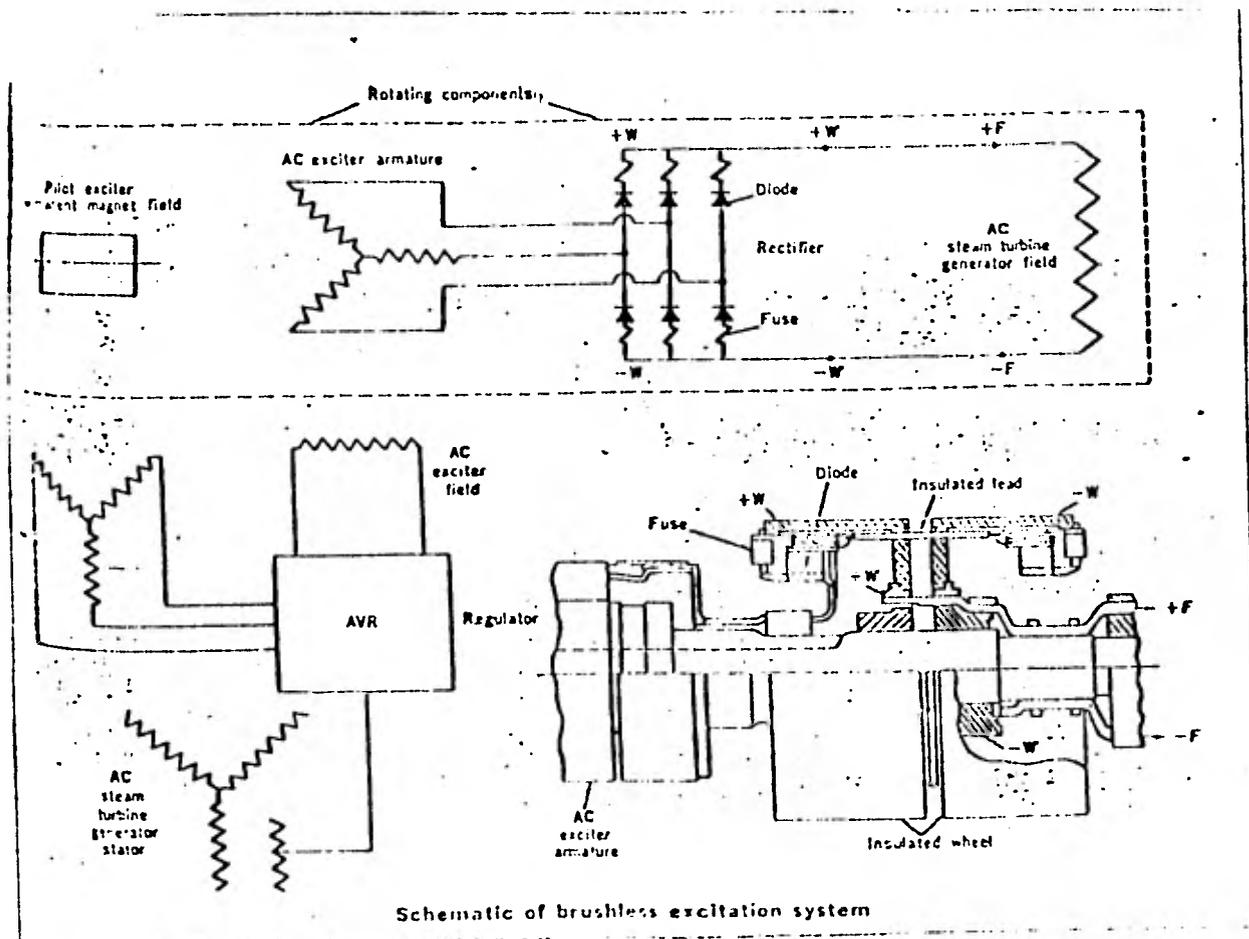


FIG. 3-22

EQUIPO DE CONTROL Y ACCESORIOS DEL REGULADOR DE TENSION.

Los reguladores de tensión llevan normalmente incorporado un equipo de control y accesorios que accionan el regulador automáticamente, para mantener una tensión de salida predeterminada. Los reguladores están accionados por motores eléctricos que, en el de inducción gira el rotor y, en el de escalones, mueve el brazo.

Los reguladores modernos llevan incorporados transformadores auxiliares que suministran la indicación necesaria de tensión e intensidad al sistema de control y la potencia para los motores de accionamiento.

El dispositivo que inicia cualquier variación en la posición del regulador es el relé de tensión. Este relé se dispone de manera que su núcleo móvil está en equilibrio para un valor determinado de la tensión. La bobina de accionamiento de este relé está conectada al transformador auxiliar del regulador. Si el voltaje del circuito que se quiere regular cae por debajo de la tensión de equilibrio del relé, un contacto del mismo cierra el circuito del motor de accionamiento, haciendo que el regulador eleve el voltaje hasta que el relé este nuevamente en equilibrio si la tensión de línea se eleva por encima del valor normal, el relé actúa sobre el regulador para que disminuya el voltaje.

Para que el regulador no trabaje excesivamente tratando de corregir pequeñas perturbaciones momentáneas de la tensión del sistema, se incorpora al equipo de control algún relé temporizado.

Tal dispositivo es el llamado integrador de voltaje que se usa en un tipo de regulador de escalones.

Este dispositivo integra las variaciones de la tensión del sistema sumando los periodos de tiempo en que el voltaje es normal y si la tensión es alta o baja durante un periodo determinado de tiempo, el integrador hace funcionar el regulador. Esto da como resultado el mantenimiento de un voltaje medio correcto aun con tensiones que fluctúan ampliamente.

El retardo introducido por el integrador es ajustable entre unos límites aproximados de 5 a 45 segundos.

REGULADOR DE VOLTAJE "ASEA" TIPO YRVE

Regulación a alta velocidad utilizando un excitador elevador de potencial.

El Regulador ASEA, utilizando un réostato ordinario en el campo del excitador, da la más rápida regulación posible cuando se usa --- equipo normal.

Como puede verse en tal caso, la velocidad de regulación no es de ningún modo constante sobre el rango total de regulación. Usualmente está al máximo cuando la carga de excitación se aproxima al valor pleno pero es considerablemente bajo cuando no hay carga.

Esta desventaja es particularmente inconveniente en los casos en que se necesita un gran rango de regulación, por ejemplo: cuando las máquinas alimentan redes de fuerza de Alta Tensión donde corrientes de gran valor necesitan operarse con excitación extremadamente baja.

La velocidad de operación también depende de la inercia magnética del generador y disminuye cuando aumentan sus dimensiones físicas.

El empleo de un "Excitador elevador de potencial de alta velocidad" ofrece la posibilidad de obtener resultados satisfactorios de regulación sobre toda las condiciones.

El excitador elevador de potencial de alta velocidad es un excitador auxiliar conectado en el circuito del campo del excitador principal, como se muestra en el diagrama. El réostato de campo del excitador principal es regulado a mano para dar una resistencia tal que coincide aproximadamente con la porción de trabajo de la curva de magnetización. El excitador principal deberá proveer el voltaje requerido para forzar la corriente a través de la resistencia óhmica de su propio circuito de campo, mientras que el elevador auxiliar proporciona al circuito el voltaje que efectúa la alteración en la corriente de campo y el voltaje apropiado del excitador necesario para la regulación. Como puede verse en el diagrama, el regulador invierte la excitación del excitador elevador SM con el objeto de que tome valores negativos y positivos alternativamente.

La velocidad de regulación es prácticamente constante dentro del rango normal de voltaje del excitador y seleccionado un excitador elevador de voltaje adecuado, la velocidad de regulación deseada o necesaria puede ser obtenida.

El excitador elevador de potencial es usualmente impulsado por un motor de inducción del tipo de jaula de ardilla al cual va acoplado directamente. Un pequeño generador es acoplado a la misma flecha y éste proporciona la corriente de excitación requerida por el excitador elevador de potencial.

REGULADOR DE VOLTAJE "ASEA" TIPO YRVE

Regulación a alta velocidad utilizando el réostato para el campo del excitador.

Principio de operación.-El diagrama muestra el sistema empleado. El regulador YRVE tiene un elemento de voltaje (IO) conectado al generador (G) a través de un transformador de voltaje (SP) que ejerce una presión opuesta a la acción del resorte (70) sujeto al brazo oscilante (40).

Este brazo oscilante es mantenido en oscilación por un elemento impulsor (30) y abre y cierra unos contactos (42) los cuales ponen in-

termitentemente en corto-circuito el réostato (R) del campo del excitador (M). Esto causa que el voltaje del excitador varíe, subiendo y bajando a un porcentaje de valor medio. Estas variaciones son transformadas en el "transformador de C.D." (YLT) y aplicadas al elemento impulsor (30), de modo que las pulsaciones causadas en el regulador mismo -- normalmente, lo mantienen en oscilación.

Si al alternador se le añade carga repentinamente, el voltaje falla, y al debilitarse la fuerza del elemento de voltaje (IO) causa que el brazo oscilante cierre los contactos (42). El voltaje del excitador sube -- entonces rápidamente y eleva el voltaje del generador. Si el transformador de C.D., no existiera (para dar fuerza al elemento impulsor) ésta -- acción continuaría hasta que el voltaje del generador estuviera completamente restaurado. Pero entonces el voltaje del excitador elevaría -- grandemente su propio valor final y no podría detenerlo antes de que el voltaje del generador llegara a su valor final y entonces habría sobre-regulación y oscilaciones.

El transformador de C.D. tiene además un papel importante después de eliminar la sobre-regulación. Cuando el voltaje del excitador aumenta, el flujo en el transformador aumenta también. Esto induce en el devanado secundario y también en el elemento impulsor una corriente cuya dirección es tal que tiende a abrir los contactos. La tensión combinada del elemento impulsor y el elemento de voltaje abre entonces los contactos antes de que el voltaje de C.A. haya sido completamente restaurado.

Mediante el diseño correcto del transformador de C.D., los contactos pueden hacerse abrir en el instante preciso en que el voltaje del excitador, independientemente de cuanta carga se agregue al alternador, haya retornado a su valor correcto y cuando el voltaje de C.A., se ha -- restaurado.

Debido al bloqueo eléctrico citado, el proceso de regulación se ha -- ce efectivo, pues el voltaje de C.A., es regulado sin oscilaciones y -- tan prontamente como es posible con el equipo empleado en cada caso.

REGULADOR DE VOLTAJE "DIACITOR" GENERAL ELECTRIC
Principios de operación

El regulador de voltaje Diactor se compone de dos partes: el propio regulador y una caja auxiliar.

El regulador está provisto de : un elemento sensitivo magnético - de voltaje, un elemento reostático, un enlace mecánico entre el elemento reostático y el elemento sensitivo y un réostato para ajustar el -- voltaje.

La caja auxiliar lleva a su vez, un estabilizador regulador de voltaje, un rectificador de tipo seco, una resistencia fija para el control de voltaje del circuito, un réostato de ajuste del estabilizador - y un réostato regulador de compensación (usado solamente cuando se requiere operación en paralelo del regulador).

El elemento reostático se compone de varias placas de resistencia-apiladas o en grupos una sobre otra. La resistencia total del elemento es máxima cuando las placas están sin ninguna presión y es mínima cuando están fuertemente comprimidas o apretadas una contra otra.

El elemento sensitivo de voltaje.-Los grupos o pilas de placas del regulador Diactor están prensadas por el elemento sensitivo magnético - de voltaje. Este elemento está hecho de un magneto "U", el cual tiene una armadura adecuada para operación en los extremos de la "U". El magneto recibe corriente directa de un rectificador seco.

Tiene dos bobinas, una en cada pierna de la "U", las cuales proporcionan excitación al mismo. Con corriente fluyendo en las bobinas, hay una fuerza ejerciendo presión en la armadura hacia abajo en el extremo-abierto del magneto, más ésta fuerza está balanceada por un largo resorte helicoidal. El resto de ésta fuerza es utilizada para la operación - del elemento reostático, esto es, inclinando el elemento hacia adelante o hacia atrás para variar la resistencia en el campo derivado del excitador. Esta fuerza es transmitida por el enlace mecánico ajustable.

Pequeños cambios de corriente en las bobinas del magneto son suficientes para causar que el elemento magnético sensitivo de voltaje controle el excitador sobre un amplio rango cubriendo las condiciones de - voltaje y carga del generador de C.A.

Cuando el generador de C.A. es mayor de 125 voltios, es necesario usar un transformador de potencial. Su voltaje debe ser de 125 voltios- y su voltaje primario de acuerdo con el voltaje y la frecuencia de la - máquina.

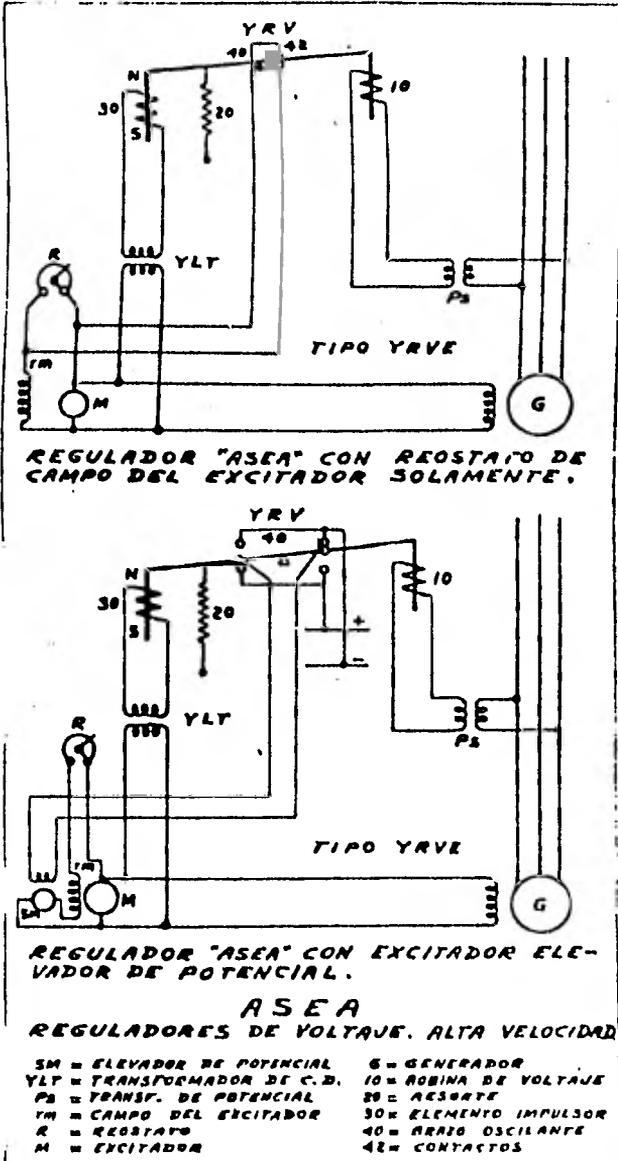


FIG. 3-23

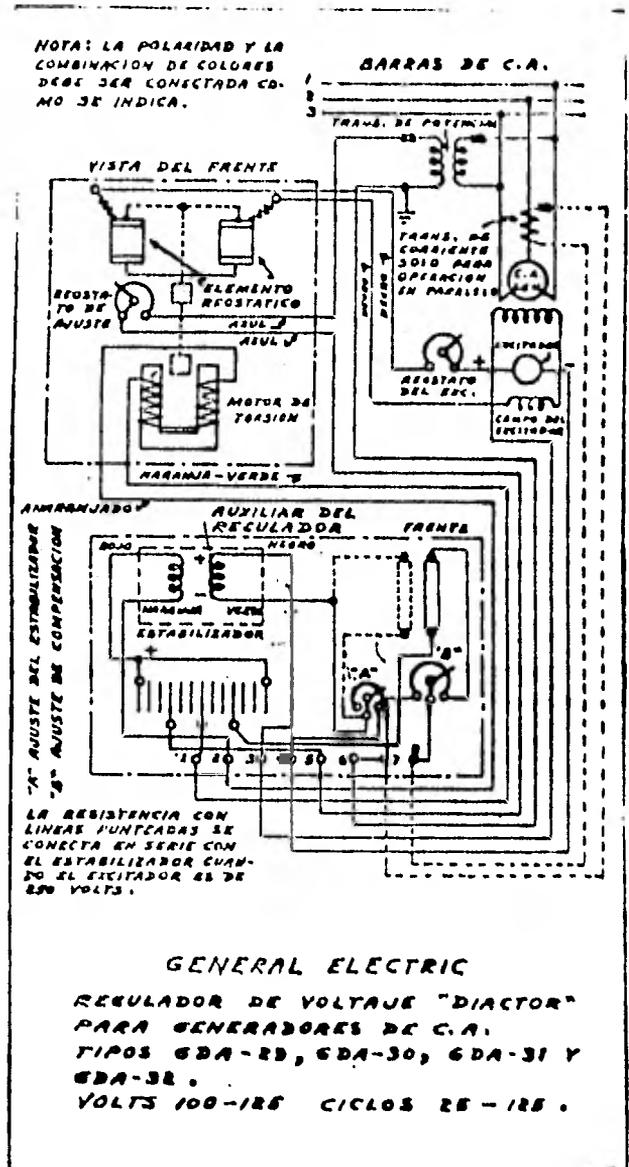


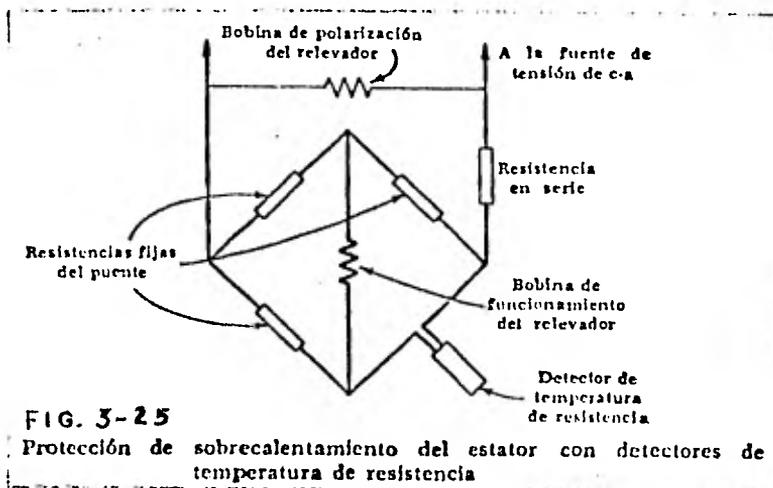
FIG. 3-24

EQUIPOS ACCESORIOS.

Los detectores de Temperatura.- Estan localizados en los embobinados de la armadura y en los ductos de gas. Aquellos localizados en los ductos de gas miden la temperatura del gas entrando y saliendo de los enfriadores.

Los detectores de temperatura son de tipo resistencia (R T D) y se tiene un número de ellos en el lado caliente de la máquina sobre la corriente del gas que sale de las bobinas del estator. Estos detectores leen la más alta temperatura en la máquina y esta temperatura determina la elevación que se tiene en las bobinas enfriadas internamente.

Los cables terminales de estas resistencias salen de la carcasa a través de una caja hermética a prueba de fugas de gas desde donde se conectan a los registradores de temperatura.



ANILLOS ROZANTES

El conmutador de un generador de c-c cumple dos funciones: 1) convierte el voltaje inducido de c-a en c-c, y 2) constituye un medio para comunicar el voltaje inducido a las escobillas y, en consecuencia, a un circuito externo. En un generador de c-a a c-c, de manera que, en lugar de conmutador, todo lo que se necesita es un medio para comunicar el voltaje inducido a las escobillas. Esto se logra instalando anillos metálicos en los extremos de la bobina rotatoria. Cada anillo se ajusta a un extremo de la bobina y ambos anillos giran al girar la bobina. Estos anillos se llaman anillos rozantes.

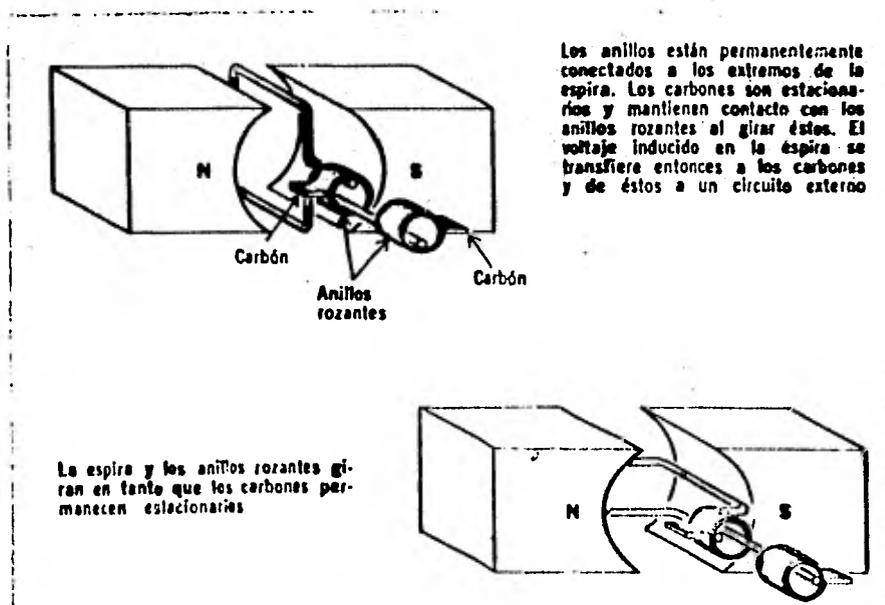


FIG. 3-26

Cada anillo rozante está permanentemente conectado al extremo respectivo de la bobina rotatoria, de manera que el voltaje inducido en la bobina aparece entre los anillos. Las escobillas están unidas a los anillos rozantes haciendo contacto eléctrico con ellos. Al girar la bobina, los anillos rozantes se deslizan a lo largo de las escobillas manteniendo siempre contacto eléctrico con ellas. Cada escobilla está siempre en contacto con el anillo rozante correspondiente, el cual, a su vez, está permanentemente conectado a un extremo de la bobina. El resultado es que entre las escobillas se origina un voltaje de c-a inducido en la bobina y éste puede transmitirse a un circuito externo.

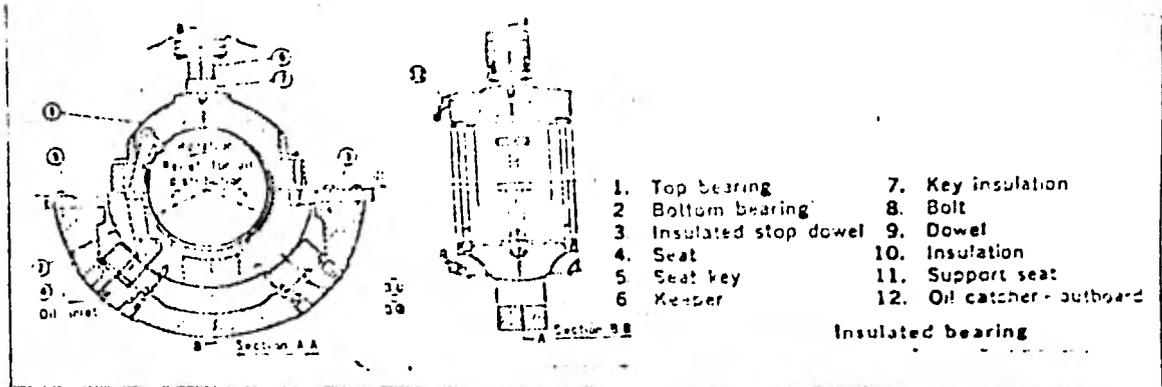


FIG. 3-27

CHUMACERAS.

En el diseño de chumaceras, las cantidades más importantes son las velocidades periféricas del muñon del rotor y la carga en el rodamiento.

La velocidad es:

$$V_b = \pi D_b N$$

Y la carga del rodamiento $W_b = W_r/2 D_b L_b$

Donde:

D_b = Diámetro de la chumacera — diámetro del muñon del rotor

L_b = Longitud de la chumacera.

N = Velocidad en Revolución por minuto.

W_r = Peso del rotor.

$D_b L_b$ = Area Projectada de la Chumacera.

Valores típicos usados para diseño de grandes turbogeneradores son:

$$V_b = 15,700 \text{ pies/min.}$$

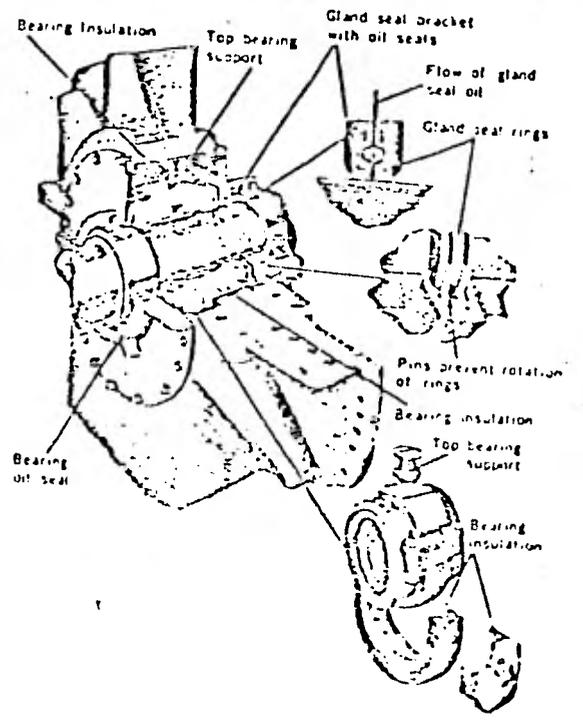
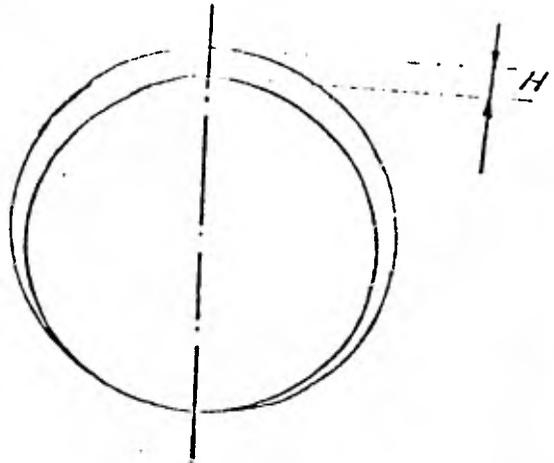
$$W_b = 180-240 \text{ lb/pulg}^2$$

El producto $V_b W_b$ es frecuentemente usado como parámetro en el diseño de chumaceras y los altos valores utilizados actualmente son posibles sólo con los más efectivos sistemas de lubricación forzada.

Los huelgos de las chumaceras se pueden calcular en forma aproximada como.

$$H = 0.0009" \phi \text{ collar en pulgadas} + 0.006"$$

$$H = 1.33 \text{ mils.} \times \phi \text{ collar.}$$



MONTAJE DE COJINETES Y SELLOS.
FIG 3-28

Sistema de Aceite de Sellos.

Para mantener la hermeticidad del Generador para poder contener en forma segura el Hidrógeno el principal problema lo constituyen la entrada y salida de la flecha, para lo cual se dispone de un sistema de aceite que mantiene una película de aceite sobre la flecha a una presión de 0.3 Kg/cm² a 0.8 kg/cm² sobre la presión del Hidrógeno. Mediante esta sobre presión el aceite tiende a fluir en los dos sentidos de la flecha impidiendo la salida de Hidrógeno.

El aceite se desgasa y se bombea de nuevo en circuito cerrado.

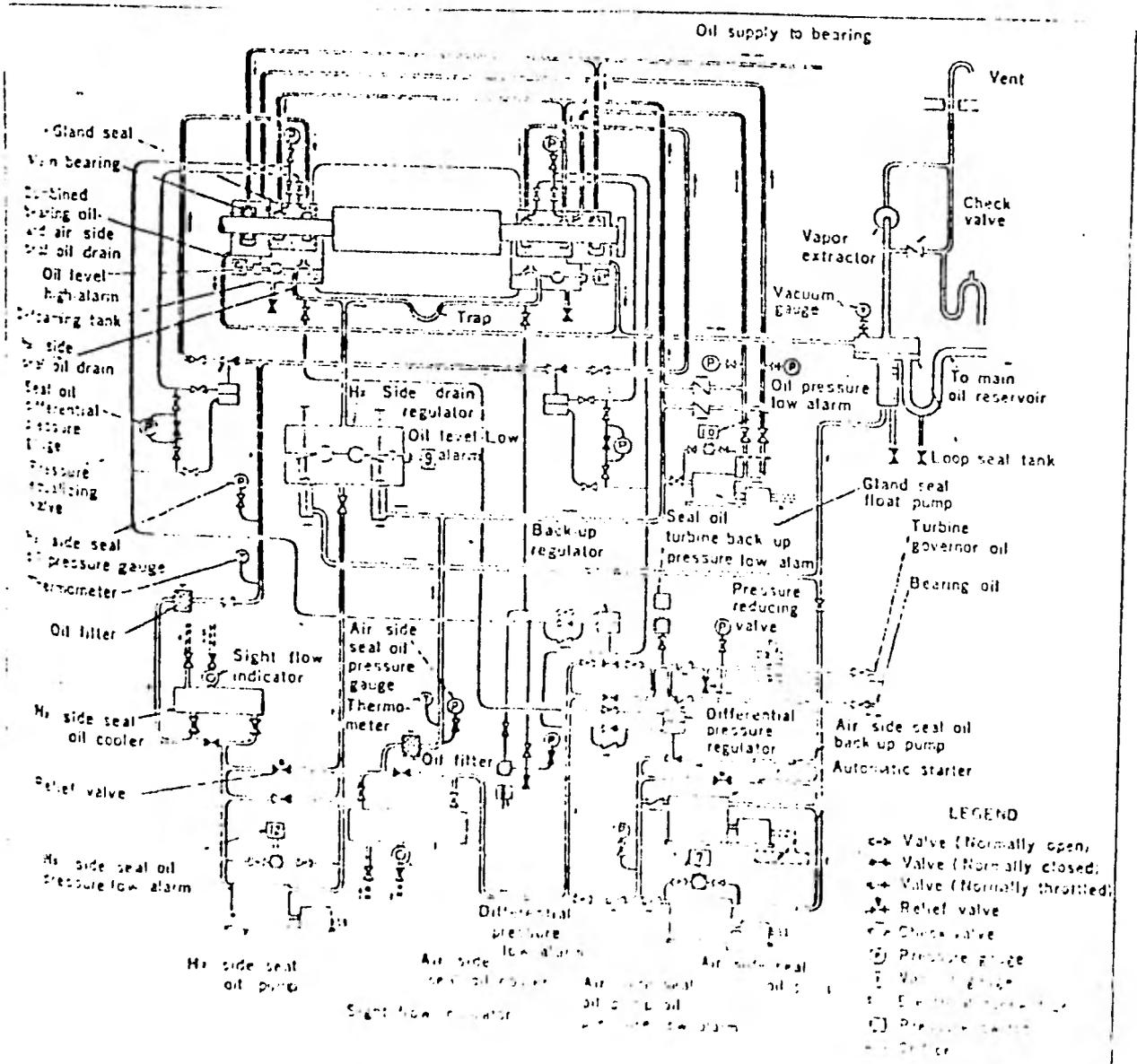
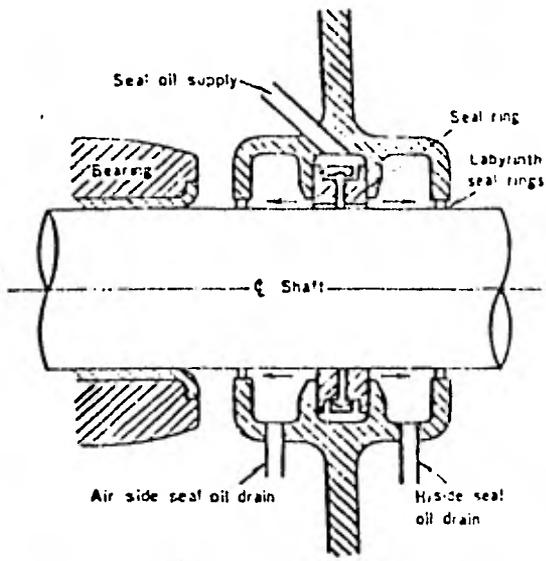
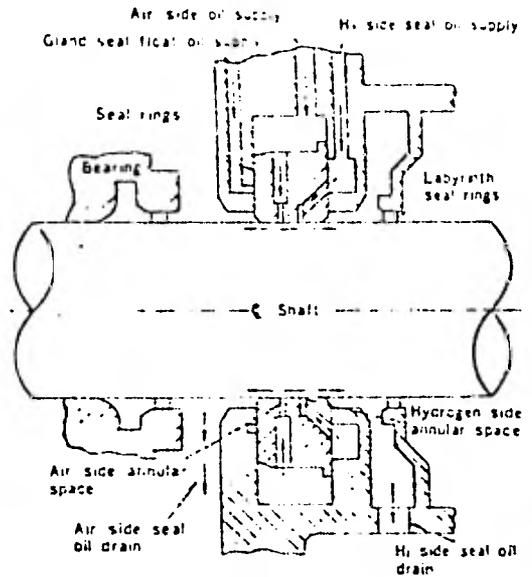


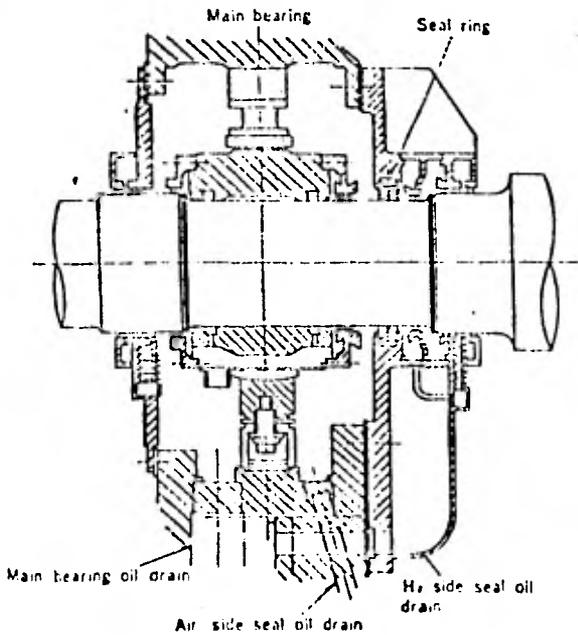
FIG 3-29



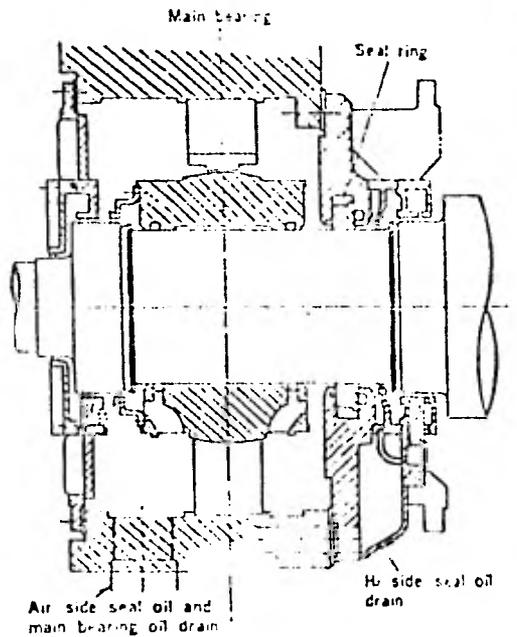
Gland seal for vacuum treating system



Gland seal for double-flow system



Gland seal assembly and associated apparatus conventional hydrogen cooled



Gland seal assembly and associated apparatus inner cooled

FIG 3-30

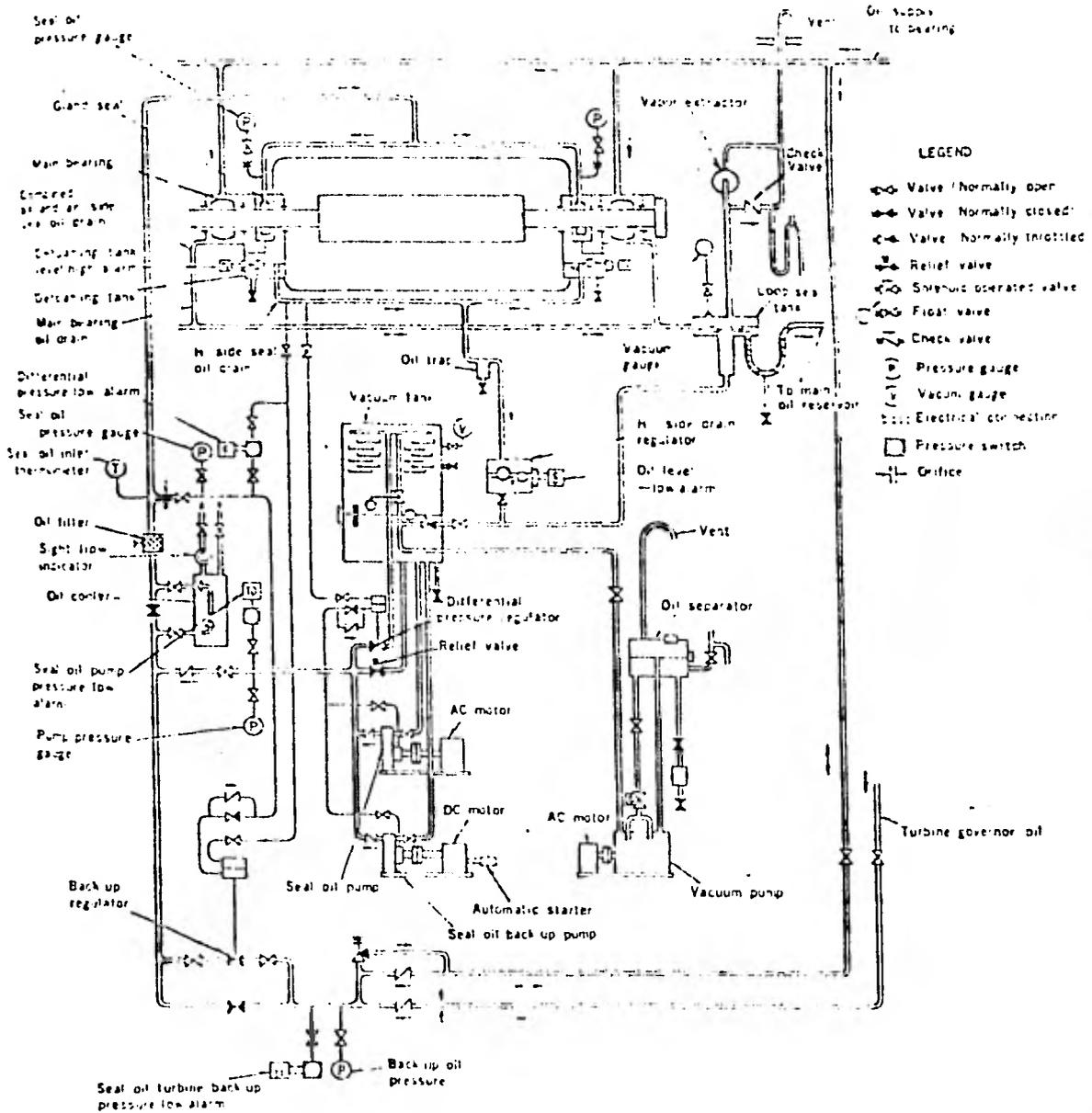


FIG 3-3/ Seal oil diagram for vacuum treating system

C A P I T U L O I V
C A R A C T E R I S T I C A S D E O P E R A C I O N

LA LIMITACION POR TEMPERATURA.

La determinación de las características de las máquinas eléctricas se hace, en general, considerando la elevación de su temperatura, que se debe a las pérdidas de las mismas. El aumento de temperatura de cualquier parte de la máquina disminuye a medida que se incrementa parte de la superficie de conductividad de calor de la máquina y parte de la transferencia de calor de la superficie de la máquina al medio refrigerante (aire normalmente, o bien hidrógeno en algunas máquinas grandes). Para todos los materiales se usa -- alta conductividad de calor, esto es, de las laminaciones, del material de los conductores, y de los materiales aislantes, y una alta transferencia de calor de las superficies de los arrollamientos y del hierro al medio refrigerante son las condiciones necesarias para incrementos bajos de temperatura. La conductividad del calor de los materiales aislantes es baja.

La pérdida $I^2 R$ en el inducido, debida a la corriente de carga, limita la potencia útil. Esta pérdida depende del valor de la intensidad de la corriente en el inducido y es independiente del factor de potencia. Por ejemplo:

100 Amperios en un generador monofásico de 200 voltios producirán las mismas pérdidas $I^2 R$ si el factor de potencia de la instalación es la unidad, es 0.4 o tiene otro valor cualquiera. La potencia útil en kilovatios, sin embargo, es proporcional al factor de potencia.

Si el generador precedente se limita a 100 A. su potencia útil será 20 KW para F.P. unidad, pero solo 8 KW para F.P. 0.4, la característica nominal será de 20 KVA prescindiendo del factor de potencia.

Las pérdidas que limitan la potencia útil en un generador pueden dividirse como sigue:

- a) Pérdidas de la excitación $I_f^2 R_f$.
- b) Del reóstato $I_f^2 R_r$.
- c) Las eléctricas debidas al contacto en los anillos del rotor
- d) De la excitación
- e) Por rozamiento y resistencia del aire
- f) Por rozamiento mecánico de las escobillas
- g) Por ventilación.
- h) En el núcleo.
- i) En el devanado del inducido, $I^2 R$.
- j) Pérdidas adicionales debidas a las corrientes parásitas en el cobre y en el núcleo, ocasionadas por la distorsión del flujo magnético que produce la corriente de carga.

AISLAMIENTO DEL INDUCIDO.

Las exigencias a que hay que hacer frente en la selección y disposición de los materiales aislantes, están tan íntimamente relacionadas con las condiciones térmicas de la máquina, que no es posible considerar estas dos características independientemente. Para cada clase de material orgánico empleado con fines aislantes, existe una temperatura límite pasada la cual se producen deterioros que progresan rápidamente, por lo que, en general, las condiciones que determinan la máxima elevación de la temperatura determinan el material a utilizar.

Se da por supuesto que el aislamiento debe tener la suficiente resistencia dieléctrica para resistir los esfuerzos eléctricos y ser lo suficiente fuerte mecánicamente para resistir el esfuerzo y vibración a que está sometido.

AIEE Standards clasifica los materiales aislantes en cinco grupos, a cuatro de los cuales se han asignado temperaturas límite con fines de normalización de acuerdo con la siguiente tabla: 2

Clase	Material	Temperatura límite
O	Algodón, seda, papel y materiales orgánicos análogos no impregnados ni sumergidos en aceite	90°C
A	Algodón, seda, papel y materiales orgánicos análogos impregnados o sumergidos en un líquido dieléctrico, así como el esmalte aplicado a los conductores	105°C
B	Materiales inorgánicos, tales como mica, fibras de vidrio y amianto constituidos en formas combinadas con sustancias aglutinantes.	130°C
C	Materiales inorgánicos, tales como mica pura, porcelana, cuarzo, etc.	No designada
H	Materiales inorgánicos, tales como mica, amianto y fibras de vidrio combinados con sustancias aglutinantes - formadas por compuestos de siliconas que pueden ser en forma de goma o resina	180°C

Tabla No. 2

Las máquinas de corriente alterna de tensiones bajas y moderadas, tales como las existentes en las máquinas de c.c., no presentan dificultades especiales en cuanto al aislamiento se refiere, empleándose en ambas los mismos materiales, tales como por ejemplo, fibra vulcanizada, papel de hueso y de pescado y papel y cambray barnizados. Pero en las máquinas de alta tensión se complican las condiciones debido al hecho de que un aumento en el espesor del aislamiento no va acompañado de un incremento proporcional en la resistencia dieléctrica, por lo que pronto se alcanza un punto en que las limitaciones de

espacio exigen el empleo de materiales aislantes que tengan sustancialmente mayor resistencia dieléctrica por mil de espesor. La mica es el mejor material, no solo con respecto a esta última consideración, sino también a causa de su capacidad para resistir altas temperaturas. Por estas razones se confía a la mica con la exclusión prácticamente de otros materiales, el aislamiento de los alternadores de alta tensión, especialmente los turboalternadores donde son inevitables las altas temperaturas. La fragilidad de la mica obliga a formar el espesor necesario mediante el empleo de delgadas laminillas unidas por barniz o baquelita, generalmente con un refuerzo de papel delgado o tela y luego cociéndolo a presión. Antes de que se haya endurecido el material aglutinante, es plástico y puede moldearse cuando está caliente, en tubos o canales para revestimiento de las ranuras, convirtiéndose en rígido al cocerse. El material orgánico que forma el aglutinante solamente cumple un fin estructural y como solo ocupa una pequeña parte del espacio destinado a todo el aislamiento, no se confía en él para la resistencia dieléctrica. En el caso de uno de los primeros generadores Niágara puesto en servicio en agosto de 1895, una inspección efectuada durante el verano de 1914 demostró que el aglutinante de cambray había perdido en todas partes su fortaleza mecánica, había desaparecido completamente en algunos sitios y en otros se había reducido a polvo fino; a pesar de este estado y de que el cambray había constituido inicialmente el 20% del material aislante total, las barras aisladas del devanado del inducido estaban ajustadas en sus ranuras. En esta máquina de que hablamos, el aislamiento había sido enrollado a mano, mientras que la práctica actual hace uso del proceso Hoefler de máquina de devanar, en el que el aislamiento se enrolla caliente sobre la parte recta de las bobinas que ocupan las ranuras, lo que proporciona una estructura mucho más compacta que el enrollado a mano y elimina totalmente la necesidad de confiar en el refuerzo de tela o de papel como un espaciador.

Quando se empezaron a fabricar los primeros alternadores de alta tensión, se descubrió que el aislamiento de las ranuras quedaba sometido a grave deterioro debido a los efectos de descarga por corona que, a su vez, originaba la formación de ozono, con la consiguiente oxidación y picadura del aislamiento. Los desperfectos eran más pronunciados donde los conductores se enfrentaban a los agudos bordes del núcleo, como en los extremos del núcleo y en los bordes de los conductores de aire en el núcleo, lo que es natural ya que la descarga por efecto de corona se produce cuando la concentración de flujo dieléctrico excede en un determinado límite y la presencia de bordes agudos de metal produce la concentración de flujo dieléctrico. Lamme mantenía que el empleo de aislamiento de mica convenientemente aplicado, era suficiente para vencer esta dificultad e indicaba máquinas aisladas de este modo que quedaban libres de tal inconveniente con tensiones tan altas como 13.000 voltios sobre tierra. La forma más segura de evitar la formación del efecto corona consiste en que la densidad de flujo dieléctrico se mantenga

por debajo del valor crítico, lo que puede lograrse, como ya se ha hecho en algunos proyectos, cubriendo con papel de estaño aquellas partes de la bobina que ocupan las ranuras, formando así un revestimiento metálico continuo sin bordes agudos; si se emplea papel de estaño, está precisamente dentro de la capa exterior de la cinta protectora y hace masa con el núcleo de la máquina.

Cuando un alternador se pone repentinamente en cortocircuito, la corriente del inducido aumenta súbitamente hasta un valor instantáneo que puede ser muchas veces mayor que el valor fijo o permanente de la corriente de cortocircuito, por lo que las fuerzas desarrolladas por el flujo de dispersión asociado a la corriente del inducido, que es proporcional al cuadrado de la corriente, puede alcanzar magnitudes destructivas. Por razones que se estudiarán más adelante, pero que están evidentemente asociadas en parte con la cantidad de potencia desarrollada normalmente por la máquina, dichas fuerzas son especialmente importantes en los grandes turboalternadores, por lo que precisan una sujeción muy rígida en las conexiones terminales.

La clase más utilizada de aislamiento en Generador es la clase B.

Los límites de elevación de temperatura para embobinado clase B de Generador están determinados por normas las cuales determinan valores de temperatura un poco menores a la temperatura máxima que puede soportar el aislamiento y así tener un margen de seguridad que nos proteja de los errores de medición.

Las normas Japonesas establecen como límites de temperatura los -- siguientes; para un embobinado clase B:

Hidrógeno frío:	46 °C	(por detector).
Embobinado del estator	65 °C	de elevación (por detector en embebido).
Embobinado del rotor	84 °C	de elevación (por resistencia).
Anillos colectores	80 °C	de elevación (por termómetro).

Considerando una temperatura ambiente de 40 °C

Las normas americanas (USAS standard), establecen:

Hidrógeno frío:	45-50 °C	(por detector).
Embobinados de estator	65 °C	de elevación (por detectores en refrigerante desde los embobinados del estator).
Embobinado del rotor :	65 °C	de elevación (por resistencia).
Anillos colectores:	80 °C	de elevación (por termómetro).

Considerando temperatura ambiente de 40 °C.

Como se ve la temperatura máxima que se puede soportar en un -- embobinado de Estator es de 105 °C pero es práctica en nuestras centrales del Altiplano Mexicano, no permitir una elevación de temperatura mayor de 90 °C y antes de llegar a esta situación proceder a -- limpiar enfriadores de Hidrógeno.

O sea que nuestra operación normal es entre 60 y 80 °C en el embobinado una elevación mayor de temperatura siempre nos indicará que están sucios los enfriadores de Hidrógeno. Estos se pueden limpiar en operación bajando la carga de la unidad al valor especificado por el fabricante de la máquina, vale la pena considerar únicamente que nosotros disponemos de temperaturas de agua de circulación de 40 °C máximos y esto nos permite tener un Hidrógeno frío a 42 °C máximo, cuando tenemos los enfriadores de Hidrógeno limpios.

LA CURVA DE CAPABILIDAD.

La curva de capacidad es una gráfica donde se muestra las limitaciones en cuanto a Potencia Real MW y Potencia Reactiva MVAR de un Generador.

Observando las curvas de capacidad de las unidades 4 de Valle de México y de Tula, Hidalgo de 300 MW podemos ver que si la carga --- reactiva es positiva la máquina está sobrecargada y dependiendo de la presión de Hidrógeno del Generador encontramos dos límites. En esta situación la máquina actúa como Generador de reactivos y la carga que soporta de tipo inductivo le provoca un F.P. atrasado y la corriente se atrasa al voltaje. En este caso el límite superior de la curva se debe al calentamiento del Rotor (MVAR saliendo). Esta condición generalmente se tiene a la hora del pico y en horas de alta demanda.

Sin embargo si la carga que lleva la máquina es capacitiva, ésta se subcarga, los MVAR son negativos, el F.P. es adelantado, la corriente se adelanta al voltaje y el Generador actúa como consumidor de reactivos. (MVAR entrando). En este caso el límite inferior corresponde a estabilidad de la máquina ya que si ésta se subcarga más puede perder su sincronismo.

Esta condición de F.P. 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 general debemos recordar que se habla de Generación de Reactivos cuando tenemos capacitancias en el sistema, como son las líneas largas en particular y los Generadores Sobrecargados con F.P. atrasado. Ambos elementos tienden a elevar la tensión del sistema. Y se habla de consumidores de reactivos cuando se tienen cargas inductivas líneas cortas, transformadores y Generadores con F.P. adelantado. Todos estos tienden a disminuir la tensión del sistema.

Si un Generador está conectado a una línea larga deberá subcargarse para consumir los reactivos que la línea genera se dice que los reactivos entran en el Generador.

Si un Generador está conectado a una red de consumidores industriales con gran número de motores de inducción que siempre nos atrasan la corriente y provocan carga reactiva, el Generador deberá sobrecargarse, y se dice que los reactivos salen del Generador.

En un sistema siempre se tiene un equilibrio entre las cargas capacitivas, las cargas inductivas y los Generadores Síncronos. Estos últimos son los que proporcionan la diferencia de Potencia reactiva que requiera el sistema en un momento dado.

346000KVA, 310KW, 20.00KV, 60HZ, 2500RPM, KC493031
0.900PF, 375VEXC, 3.00KG/CM² GAS PRESSURE

INNER-COOLED TURBINE GENERATOR
CAPABILITY CURVE

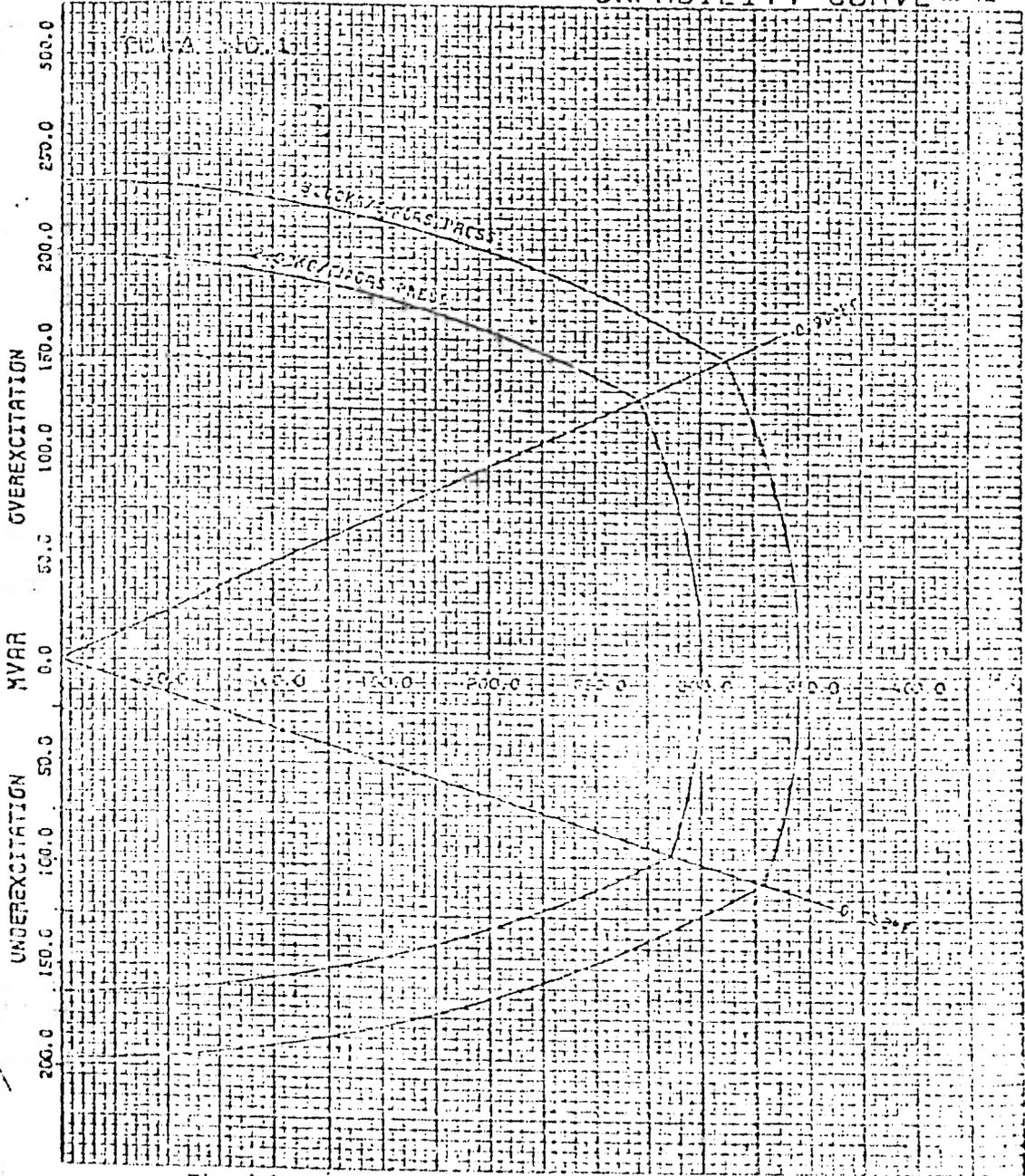


Fig. 4-1 Curvas de capacidad (Tula).

39 KC 493031

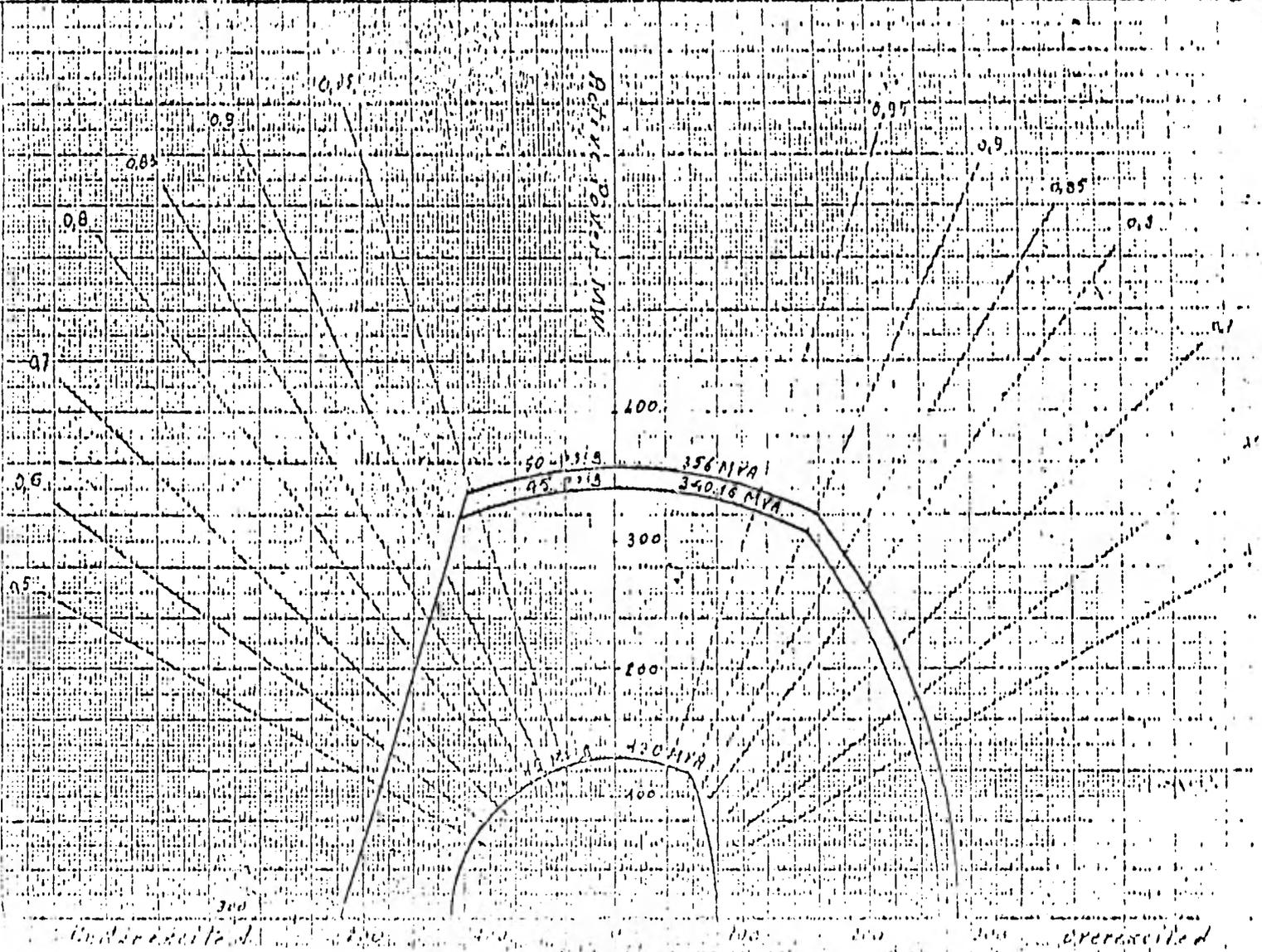


Fig. 4-2. Curvas de capacidad. (Valle de Mexico).

Valle de Mexico -

Three-phase generator type NT 20 S - 030 AF 3
Capacity Curves at 20 KV - 10 Hz and 15-45-50 psia

TIBB

Ord. 822.0085
Boil. 109.502

CURVAS "V"

Dentro de las características que tiene el motor síncrono, se destacan las curvas "V", y se denominan así, por la forma que presentan, estas curvas nos indican la relación que existe entre la intensidad de corriente del campo con c.c. del rotor y la intensidad de corriente del estator, para una carga dada y una tensión constante.

La aplicación principal de las curvas "V" es el ajuste previo de la corriente de campo de un motor cuando tiene una carga variable, deseando obtener un factor de potencia dentro de ciertos límites especificados, ya que el motor al operar con carga variable, también varía su factor de potencia, por lo que es recomendable mantener el factor de potencia en ciertos valores.

Para determinar las curvas "V", se emplea el circuito eléctrico siguiente: FIG 4-3

La excitatriz, es el generador de corriente continua teniendo éste la finalidad de suministrarle de energía al campo del rotor; esta tensión que se le suministra se controla por medio del reóstato de campo y el reóstato auxiliar, que están intercalados en el circuito del campo del rotor. Al ir variando la corriente de campo, consecuentemente se varía la corriente del inducido, se van tomando los distintos valores, desde que se tiene la mínima excitación hasta cuando el motor está sobre-excitado, luego se localizan los puntos en los ejes de coordenadas y se determina una curva. Para determinar otra curva, se varía la carga y se repite la misma operación, de la misma forma se pueden determinar otras curvas "V" para diferente carga; de tal manera que se puedan obtener curvas del motor síncrono cuando opera sin carga (en vacío), para el 50% de la carga; para el 75% de la carga, para el 100% de la carga y hasta para el 125% de la carga normal del motor; tal como se muestra en la figura 4-4. De la misma figura se destaca lo siguiente: en la medida en que se va aumentando la corriente de excitación, el factor de potencia aumenta hasta un determinado y la corriente en el inducido decrece hasta llegar a su valor mínimo; si la corriente de excitación aumenta más allá del valor que origina tener la mínima corriente en el inducido, esta última empieza a aumentar y se adelanta con respecto a la tensión, es decir, el motor pasa de ser sub-excitado a sobre-excitado. Cuando se tiene la mínima corriente en el inducido, en ese punto se tiene el factor de potencia unitario. A la izquierda de ese punto de la gráfica, el motor está sub-excitado y el factor de potencia está atrasado; a la derecha de ese punto de la gráfica el motor está sobre-excitado y el factor de potencia está adelantado.

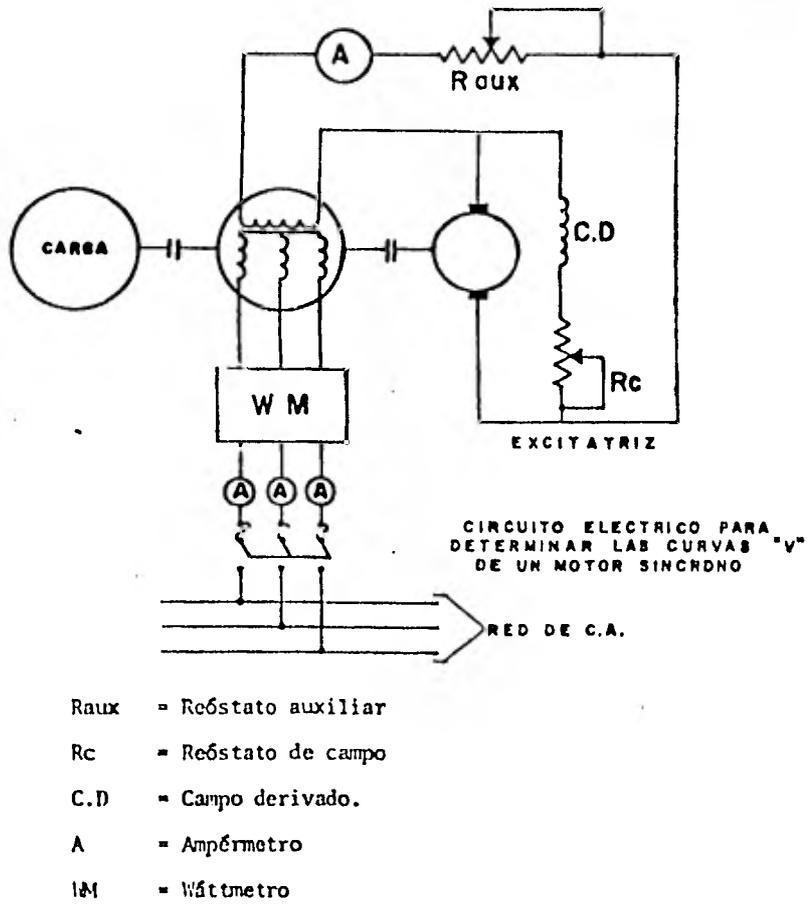


Fig. 4-3

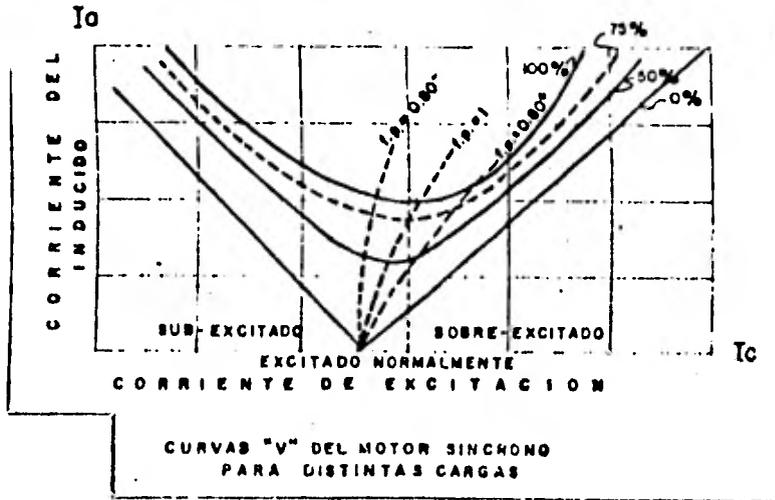


Fig. 4-4

Con la ayuda de las curvas "V" se puede obtener el factor de potencia para cualquier valor de corriente en la línea de alimentación y para un valor determinado de la potencia que demanda el motor. De esto se puede determinar que, cuando un motor sincrónico está alimentado con una tensión constante, se puede tener invariable la potencia desarrollada en la flecha, variando la corriente de excitación; pero al hacerlo en esa forma cambia al mismo tiempo la corriente del inducido, además el factor de potencia también varía al mismo tiempo que la excitación.

La potencia de un motor sincrónico trifásico se obtiene a partir de la fórmula:

$$P = \sqrt{3} VI \cos \varphi$$

siendo:

V = La tensión entre terminales

I = Corriente en la línea

$\cos \varphi$ = Factor de potencia del motor.

Siendo P y V constante, cualquier variación del factor de potencia, va acompañado de una variación de la corriente de armadura.

S I N C R O N I Z A C I O N

Se instalan dos alternadores en paralelo siempre que las necesidades de energía del circuito de carga sean mayores que la salida de energía de un solo alternador.

Al instalar generadores de c-c en paralelo es necesario hacer que el voltaje y la polaridad eléctrica de salida casen con el voltaje y la polaridad de la línea. Al instalar alternadores en paralelo, también se necesita que casen los voltajes y polaridades. Sin embargo, hacer que la polaridad de los alternadores case con la línea, crea problemas que no son comparables con el de hacer casar la polaridad de los generadores de c-c. A una frecuencia definida, el voltaje de salida de un alternador está cambiando continuamente, tanto en magnitud como en polaridad. Por consiguiente, al conectar en paralelo dos alternadores no tan sólo debe ser igual el ritmo de ascenso y descenso del voltaje en ambos alternadores, sino que el ascenso y descenso de voltaje de una máquina debe estar exactamente al paso con el ascenso y caída de voltaje de la otra máquina. Cuando esto ocurre, se dice que los dos alternadores están sincronizados. Los alternadores no pueden conectarse en paralelo, sino hasta que su voltaje, frecuencia y polaridad instantánea son exactamente iguales.

Puede controlarse el voltaje de salida de un alternador variando la intensidad de la corriente de c-c de su circuito de campo. Para ello se utiliza un reóstato de campo. Por cuanto la frecuencia de los alternadores está totalmente controlada por la velocidad, en las instalaciones con dos alternadores se hace necesario tener el control de la velocidad de, cuando menos, una de las máquinas.

El verdadero proceso de la sincronización se lleva a cabo siguiendo tres pasos principales:

1. Se cambia la velocidad de una de las máquinas, o de las dos de modo que ambos alternadores generen voltajes de la frecuencia deseada.
2. La salida de voltaje de c-a de ambas máquinas se iguala mediante el control de sus reóstatos de campo.
3. La frecuencia de una máquina aumenta o disminuye por cambios muy leves de velocidad, hasta que las frecuencias son exactamente las mismas y de polaridad instantánea contraria. Esta sincronización puede observarse usando un instrumento conocido como sincronoscopio. También se le puede observar conectando las máquinas en paralelo por medio de un conjunto de lámparas sincronizadoras. Las lámparas sirven para indicar el momento exacto en

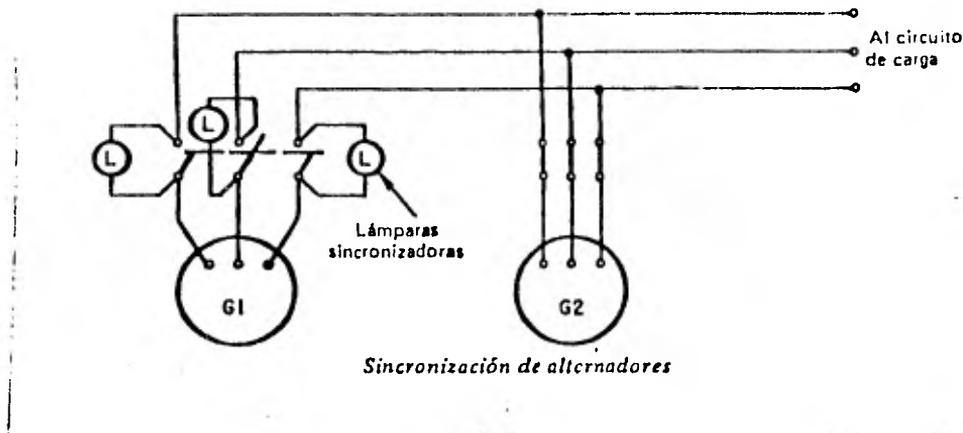


Fig. 4-5

que las máquinas tienen polaridad eléctrica instantánea contraria y, también, para impedir que, durante el proceso de sincronización circulen entre los alternadores corrientes de corto circuito.

La figura 4-5, ilustra un circuito que se utiliza para la conexión en paralelo de dos alternadores trifásicos. El alternador G-2 se conecta al circuito de carga. El alternador G-1 debe conectarse en paralelo con G-2. En los conductores de conexión se colocan tres lámparas, con un régimen de voltaje igual al del voltaje de carga. Con ambas máquinas funcionando, se observará uno de los dos efectos posibles siguientes:

1. Las tres lámparas se encenderán y apagarán al unísono, según un ritmo que depende de la diferencia de frecuencia de las dos máquinas.
2. Las tres lámparas se encenderán y apagarán a un ritmo que depende de la diferencia de frecuencia de las máquinas, pero no al unísono. En este caso las máquinas no están conectadas en rotación o secuencia adecuada de fase, y es necesario intercambiar cualquiera de los dos conductores que van al alternador G-1. Las máquinas no pueden conectarse en paralelo hasta que todas las lámparas se enciendan y disminuyan su brillo al unísono.

Mediante muy ligeros ajustes de velocidad en el alternador G-1, se puede igualar la frecuencia de las máquinas, y las lámparas de sincronización se encenderán y disminuirán su brillo al ritmo más bajo posible. Cuando las tres lámparas están apagadas, la polaridad eléctrica instantánea de los tres conductores que salen de G-1 es la misma que la de G-2. En este instante, el voltaje de G-1 es igual y contrario al de G-2, y puede cerrarse el conmutador de derivación --

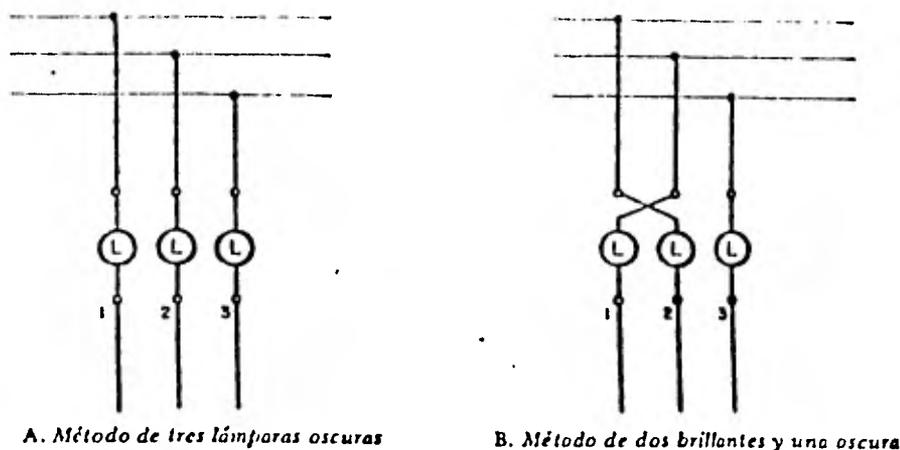


Fig. 4-6

S-1. Entonces ambos alternadores suministrarán energía a la carga. Este método de sincronización de alternadores se llama "método de tres lámparas oscuras".

El "método de tres lámparas oscuras" casi no se utiliza debido a -- ciertos inconvenientes. En una lámpara incandescente puede estar -- presente un voltaje considerable, aunque no dé luz. Por lo tanto, es posible que se cierre una conexión en paralelo habiendo un vol-- ta je y una diferencia de fase considerable entre las máquinas. Estō puede permitirse en máquinas de poca capacidad y baja velocidad; en unidades de gran capacidad con baja reactancia del inducido, que -- funcionen a gran velocidad, conectar unidades en paralelo con una -- cantidad considerable de diferencia de fase puede dar por resultado un número cuantioso de dificultades y daños.

Las dificultades mencionadas en el párrafo anterior pueden eliminar-- se, en parte, utilizando el método de dos lámparas brillantes y una Oscura. Por este método se entrecruzan dos conexiones cualesquiera de las lámparas sincronizadoras, después que se han conectado y pro-- bado las máquinas respecto a su correcta rotación de fase mediante el método de las tres lámparas oscuras. La fig.4-6 A ilustra la co-- nexión para que se establezca la apropiada rotación de fase median-- te el método de tres lámparas oscuras y la sección B indica la co-- rrección de las conexiones de las lámparas, para sincronización por medio del método de dos lámparas brillantes y una oscura.

Cuando las máquinas están sincronizadas, las lámparas 1 y 2 estarán brillando cuando la 3 esté oscura. Puesto que dos de las lámparas-- aumentan su brillo a medida que una va oscureciéndose, se determina más fácilmente el instante exacto para cerrar el conmutador de deri--

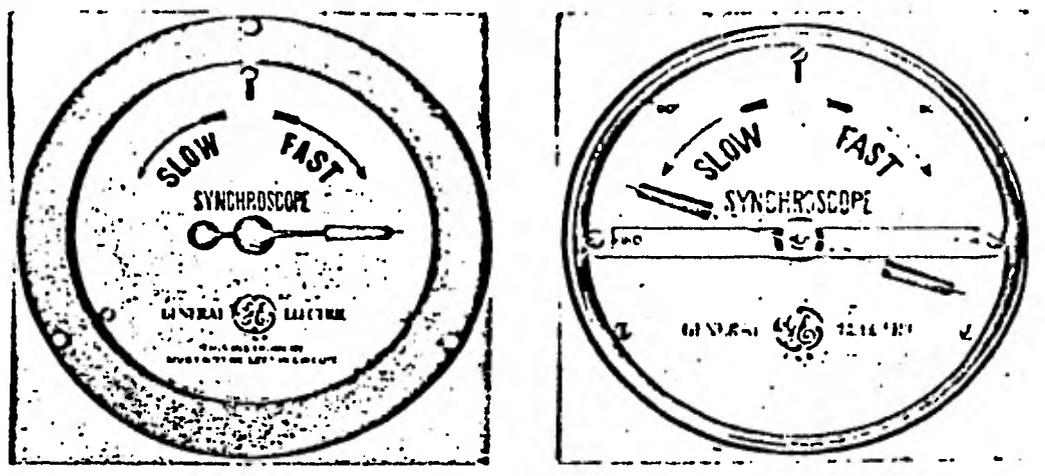


Fig. 4-7 Sincronoscopios.

vación. Además, observando la secuencia de brillo de las lámparas, es posible decir si la velocidad del alternador que estamos sincronizando es demasiado lenta o muy rápida.

Un sincronoscopio es el mejor instrumento que puede utilizarse para sincronizar dos alternadores, puesto que indica el instante exacto de sincronismo. El sincronoscopio se conecta solamente a través de una fase. Por esta razón no puede utilizársele a salvo, sino hasta que los alternadores estén ya correctamente conectados uno con otro para la adecuada rotación de fase. Antes de que se pueda confiar plenamente en el sincronoscopio, deben emplearse lámparas de sincronización y otros medios. En las aplicaciones que se encuentran en el comercio, las conexiones de un alternador a una barra colectora trifásica, por medio de un conmutador de derivación, son permanentes y no hacen falta más pruebas de rotación de fase. En este caso, un solo sincronoscopio bastará para la operación de instalar las máquinas en paralelo.

En aplicaciones industriales, los alternadores están impulsados por varios tipos de impulsores primarios. Se utilizan profusamente turbinas a vapor, turbinas de agua y motores de combustión interna. Para impulsar alternadores de barcos de los servicios de la marina mercante y de guerra, a menudo se utilizan motores de c-c. Puesto que la variación de la velocidad es un factor para la instalación en paralelo de motores, se necesita cierto conocimiento de los aparatos que regulan la velocidad y de los que la controlan.

DIAGRAMA CIRCULAR DEL GENERADOR.

Hay tres formas de expresar las características de un generador: Valores en por ciento, valores por unidad (p.u.) y los valores reales. En la siguiente tabla se anotan pocos valores como ejemplo de un generador de 588 MVA.

CANTIDAD	SIMBOLO	VALOR POR CIENTO	VALOR POR UNIDAD	VALOR REAL.
VOLTAJE TERMINAL	E_2	100%	1.00	$22000 \times \frac{1}{\sqrt{3}}$ Volt/fase
CORRIENTE DE ARMADURA	1	100%	1.00	15440 amp.
REACTANCIA DE PERDIDA	X_a	20%	0.2	0.165 ohm/fase
REACTANCIA SINCRONA	X_s	245%	2.45	2.01 ohm/fase
REACT. SINCR. SAT.	X_{ss}	208%	2.08	1.71 ohm/fase

La unidad de voltaje y corriente son valores nominales del generador. Las reactancias reales se derivan como sigue:

$$\text{Reactancia de Pérdidas} = I X_a = 20\% = 15440 X_a$$

$$I X_a = \frac{20}{100} \times \frac{22000}{\sqrt{3}}$$

De donde:

$$X_a = \frac{20 \times 220}{15440 \sqrt{3}} = 0.165 \text{ ohm/fase}$$

$$\text{Reactancia sincrónica} = I X_s = 2.45 = 15440 X_s$$

$$I X_s = \frac{2.45 \times 22000}{\sqrt{3}}$$

Donde:

$$X_s = \frac{2.45 \times 22000}{15440 \times \sqrt{3}} = 2.01 \text{ ohm/fase}$$

Y simularmente para la reactancia sincrónica saturada. De lo anterior se puede ver que el porcentaje de reactancia de un generador es la caída voltaje, real ó aparente, cuando fluye la corriente plena. Así, la reactancia de pérdidas ó de fuga es real pero la reactancia sincrónica es aparente. El efecto de ambos es lo mismo.

La ecuación del ángulo de potencia simplificada se puede escribir.

$$(a) \quad P = \frac{E_2 E}{X_s} \text{ sen } \delta \left(\frac{\text{Capacidad del Gen. en MVA}}{100} \right)$$

Cuando las cantidades se expresan en valores en porciento.

(b) $P = \frac{E_2 E}{X_s} \sin \delta$ Watts por fase.

Donde E = Voltaje/fase interno del estator y es directamente proporcional a la excitación total del generador.

X_s = Reactancia sincrona en ohms/fase.

(c) $P = \frac{E_2 E}{X_s} \sin \delta$ (capacidad del Generador en MVA)

Cuando las cantidades se expresan en valores por unidad.

De cualquiera de las 3 ecuaciones anteriores el diagrama de carga general de un generador puede construirse como sigue:

Trace el vector de voltaje terminal E_2 perpendicular a una línea - base horizontal como se muestra en la fig. 4-8 desde A, con el origen del vector E_2 de la corriente de carga AB atrasado de E_2 un ángulo de fase ϕ . Entonces AB es también una medida de la corriente de campo equivalente de la reacción de armadura.

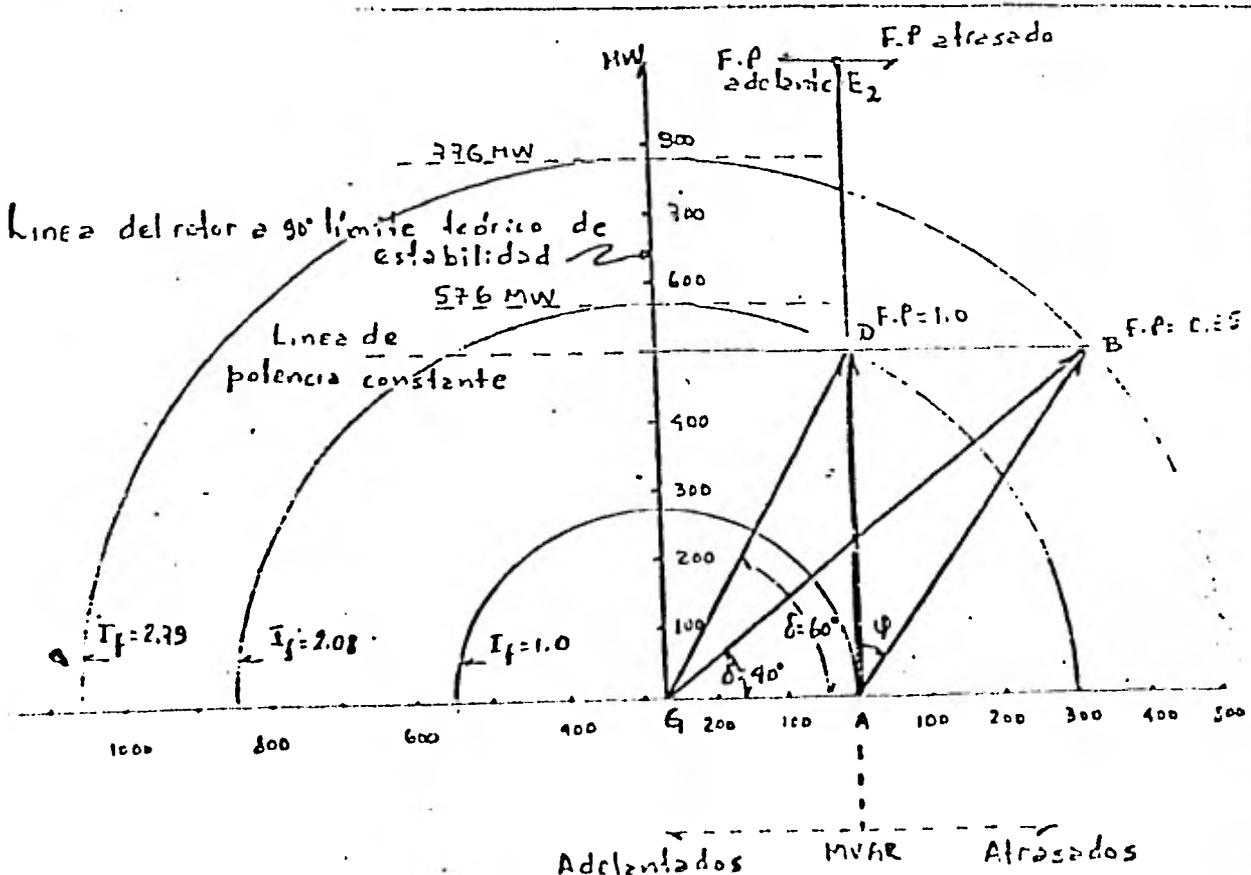


FIG. 4-8 DIAGRAMA CIRCULAR DE UN GENERADOR DE 500 KW

En la línea horizontal base, dibuje AG, de tal manera que $(AG/AB) = (1/X_s)$, es decir, la relación de corto circuito del generador. Entonces, AG es el amperaje de campo sin carga, a la misma -- escala como la reacción de armadura AB equivalente, y GB es la co-- rriente de campo total.

Como GB representa la corriente de excitación nominal del generador. Entonces, si la excitación permanece constante y la de admitir más vapor a la turbina, el factor de potencia de carga avanzará desde la zona atrasada a la posición adelantada. El vector describirá un arco circular y cuando el ángulo del rotor sea 90° la capacidad de potencia máxima del generador se habrá alcanzado. Un incremento ma yor de potencia por medio de más vapor incrementaría el ángulo del rotor más allá de 90° y la potencia del generador se reduciría. El incremento de potencia motriz se observaría por el rotor en su propia aceleración, y de aquí que la operación sería inestable, y el rotor empezaría con deslizamiento-polar. Más aún, si la potencia del vapor no se reduce, el generador perdería sincronización del -- sistema interconectado y giraría asincrónicamente.

Cualquier corriente de campo entre un valor sin carga y carga nominal plena, producirá la característica semicircular cuando la potencia motriz al generador se cambie como se dijo. Así, si GB es la corriente de campo del generador a 500 MW. a plena carga con $\cos \phi = 0.85$, la capacidad de potencia máxima sería 776 MW como se muestra. Ahora examinemos a plena carga con f.p. unitario: El vector de corriente de armadura es ahora AD en fase con el voltaje terminal E_2 . Entonces, de un razonamiento como el anterior, GD es la corriente de campo requerida, y el ángulo de carga del rotor se incrementa de 40° a 60° . Si GD se mantiene constante y la potencia motriz al generador se incrementa continuamente, un nuevo arco circular se describirá, y la capacidad de potencia máxima del generador será 576 MW como se muestra.

Pueden trazarse una infinidad de círculos con diferentes corrientes de campo. Como a f.p. unitario no hay potencia reactiva, MVARs -- reactivos atrasados se representan a la derecha del vector AD, es decir, en la región atrasada con respecto a E_2 . Y los adelantos a la izquierda.

EL CRITERIO DE ESTABILIDAD.

La potencia eléctrica de salida de un Generador (similar a la de una línea o transformador), tiene la siguiente característica.

Consideramos el circuito elemental de un Generador formado por la FEM: E , la tensión terminal V y la caída de su impedancia $I (R + jX)$.

La potencia de salida es:

$$P_{sal} = V I \quad (\text{F.P.})$$

$$P_{sal} = V I \cos \phi_2$$

$$Z_{sinc} = R + jX$$

$$I = \frac{E - V}{Z_{sinc}}$$

$$I = \frac{E \angle \delta - V \angle 0}{Z_s \angle \phi_1}$$

$$I = \frac{E}{Z_s} \frac{\angle \delta - \phi_1}{\angle \phi_1} - \frac{V}{Z_s} \frac{\angle -\phi_1}{\angle \phi_1}$$

$$I \cos \phi_2 = \frac{E}{Z_s} \cos (\delta - \phi_1) - \frac{V}{Z_s} \cos - \phi_1$$

$$\cos - \phi_1 = \cos \phi_1 = \frac{R}{Z_s}$$

$$\phi_1 = 90 - \alpha$$

$$\cos (\delta - \phi_1) = \cos (\delta - 90 + \alpha)$$

$$\cos - (90 - \delta - \alpha) = \cos (90 - \delta - \alpha)$$

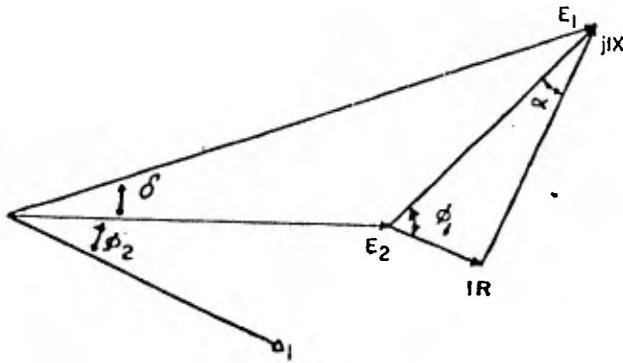
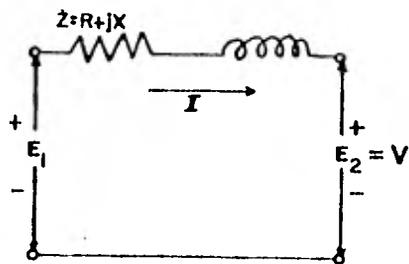


Diagrama Fasorial del Generador.

FIG 4-9



Circuito elemental del Generador.

FIG 4-10

$$\cos \{90^\circ - (\delta + \alpha)\} = \sin (\delta + \alpha)$$

$$I \cos \phi_2 = \frac{E}{Z_s} \sin (\delta + \alpha) - \frac{V}{Z_s} \frac{R}{Z_s}$$

$$P_{sal} = \frac{E V}{Z_s} \sin (\delta + \alpha) - \frac{V R}{Z_s^2}$$

Como α es muy pequeño y $Z \gg R$ se desprecian α y R quedando:

$$P_{sal} = \frac{E V}{Z_s} \sin \delta$$

La Potencia trifásica de salida será:

$$P_{sal} = 3 \frac{E_{an} V_{an}}{Z_{sincr.}} \sin \delta \quad P_{sal} = T \times \omega_s$$

$$T_{sal} = 3 \frac{E_{an} V_{an}}{X_{sincr.} \omega_s} \sin \delta \quad Z_s \doteq X_s$$

La cual es la ecuación de la Potencia de salida en función del ángulo de carga δ de un Generador síncrono, que también es proporcional al par electromotriz ya que gira a velocidad constante.

En los problemas dinámicos reales, las oscilaciones son de tal magnitud que la siguiente linearización no es permisible.

Las ecuaciones del movimiento deben ser mantenidas en su forma no lineal y frecuentemente los computadores analógicos o digitales ayudan al análisis.

Se usan métodos numéricos para resolver los conjuntos de ecuaciones diferenciales.

El objeto del estudio es encontrar si se mantiene o no el sincronismo en una máquina.

O sea si el ángulo δ regresa o no a un valor de operación estable después de que la máquina ha sido sujeta a una perturbación considerable.

Para una máquina síncrona simple puede usarse la interpretación gráfica de la energía almacenada en el Rotor, como ayuda para determinar el máximo ángulo de oscilación y ver si se mantiene el sincronismo, suponemos también un amortiguamiento despreciable. Esta simplificación del problema nos dará una visión profunda -- del mismo, aunque como ya dijimos en la realidad no se permite.

Suponemos que la curva par-ángulo δ , corresponde a un motor síncrono por analizar. El motor inicialmente está descargando su punto de operación en el origen de la curva.

Súbitamente se le aplica un par T carga. El rotor bajo la acción de este par se frena un poco, retrasándose un cierto ángulo δ del eje del flujo magnético que lo arrastra a la velocidad síncrona.

Simultáneamente a la apertura δ entre rotor y flujo magnético, -- aparece un par electromagnético $T_{\max} \text{ Sen } \delta$ que actúa en dirección de la velocidad síncrona y oponiéndose al par T carga que frena - al rotor; quedando éste bajo la acción de:

$$T \text{ resultante} = T \text{ carga} - T \text{ max Sen } \delta$$

Cuando δ crece llega al punto B sobre la curva teniendo entonces:

$$T \text{ carga} = T \text{ max Sen } \delta_B$$

$$T \text{ resultante} = 0$$

Pero el rotor en el lapso anterior fue frenado y perdió velocidad Así que seguirá atrasándose más y haciendo crecer el par electro-magnético $T \text{ max Sen } \delta$

$$T \text{ max Sen } \delta > T \text{ carga}$$

$$R \text{ resultante} = T \text{ carga} - T \text{ max Sen } \delta$$

Quedando el par resultante negativo con respecto al inicial antes de llegar a "B"; por lo que este nuevo par acelerará al rotor para recuperar la velocidad síncrona. Esto se logra en el punto - "C" alcanzando $\delta \text{ max}$.

Sin embargo el rotor en "C" tiene un par $T \text{ max Sen } \delta \text{ max} > T \text{ carga}$, el cual lo acelerará haciendo que su velocidad aumente a más de la síncrona y se adelante de nuevo.

En ausencia de amortiguamiento el rotor oscilaría entre $\delta = 0$ y $\delta = \delta \text{ max}$, con amplitud constante y a su frecuencia natural.

Claro que como en la realidad siempre hay amortiguamiento las oscilaciones serán de amplitud decreciente alrededor del punto "B".

Ahora lo más importante la integral.

$$\int T \, d\delta = \text{Energía}$$

O sea "OBA" corresponde al deficit de energía de la carga al inicio del proceso. Ese deficit se cubrió con la energía cinética del rotor, que llegó al punto "B" con menos velocidad que la síncrona. El área B C D, representa la energía que recibe el rotor para recuperar su energía cinética y alcanzar de nuevo su velocidad síncrona, en la primera excursión y una vez recuperada ésta representa B-C-D la energía aceleradora del rotor para iniciar -- las oscilaciones, por tanto el punto "C" será aquel que haga que el área B-C-D sea igual al área O-B-A.

Este método de áreas iguales nos da una manera burda de saber si el rotor se mantendrá en sincronismo si se le aplica una carga súbita dada. Proporciona un medio rápido de encontrar la máxima oscilación angular.

El límite de estabilidad para esta máquina será aquel T carga que haga que el área O-A-B sea igual al área B-C-E-D.

Ya que de otro modo si el área O-B-A, es mayor al área B-C-E el rotor no recuperará jamás su velocidad síncrona.

Este criterio sirve igual para interpretar las oscilaciones que sufre un Generador al serle aplicada una carga súbita.

La carga incrementada aumentará la reacción de armadura y en nuevo ángulo δ deberá establecerse pero antes de alcanzarse esta situación se tendrá un período de oscilaciones como el anteriormente descrito.

En 1960 hubo en la ciudad de Nueva York una suspensión de energía eléctrica que se hizo famosa porque tardó el apagón alrededor de 24 horas.

La ciudad quedó paralizada y las pérdidas económicas fueron muy grandes. Esto se debió a una pérdida de estabilidad del sistema que a grandes rasgos consistió en que una gran central se disparó subitamente o un enlace del sistema se abrió y dejó toda la carga que soportaba a las otras Centrales, esto provocó un abatimiento de frecuencia y el disparo de otras unidades; quedando las restantes con cargas tan grandes que perdieron su sincronismo y se iniciaron unas oscilaciones de potencia entre unas y otras de las unidades conectadas que provocó la salida de todas. Esta situación crea condiciones de desconcierto y no logran entrar las unidades grandes hasta que unidades menores de poca capacidad y que pueden autoarrancarse se van sincronizando de nuevo. El resultado fue un gran retraso en restablecer el sistema. Este riesgo es el peor peligro que se tiene en la operación de sistemas de Potencia.

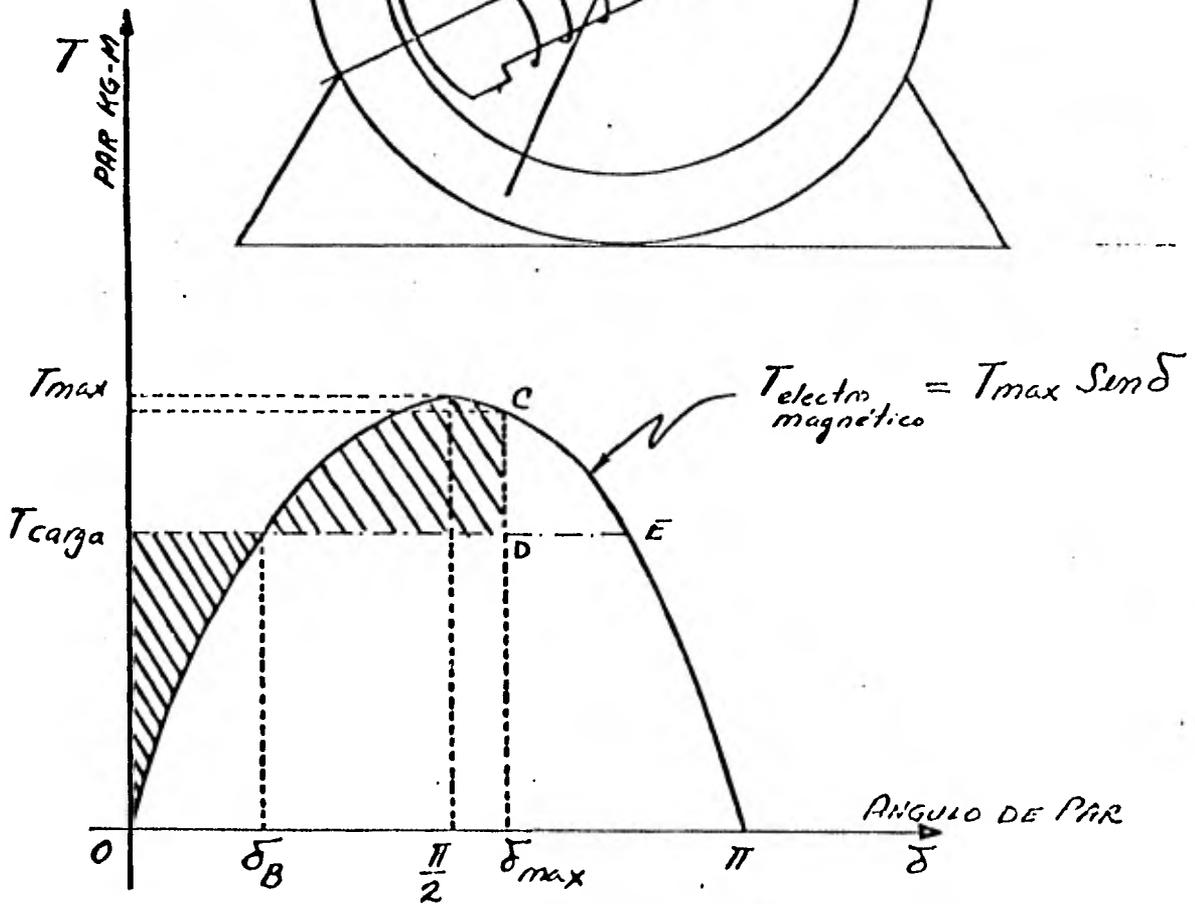
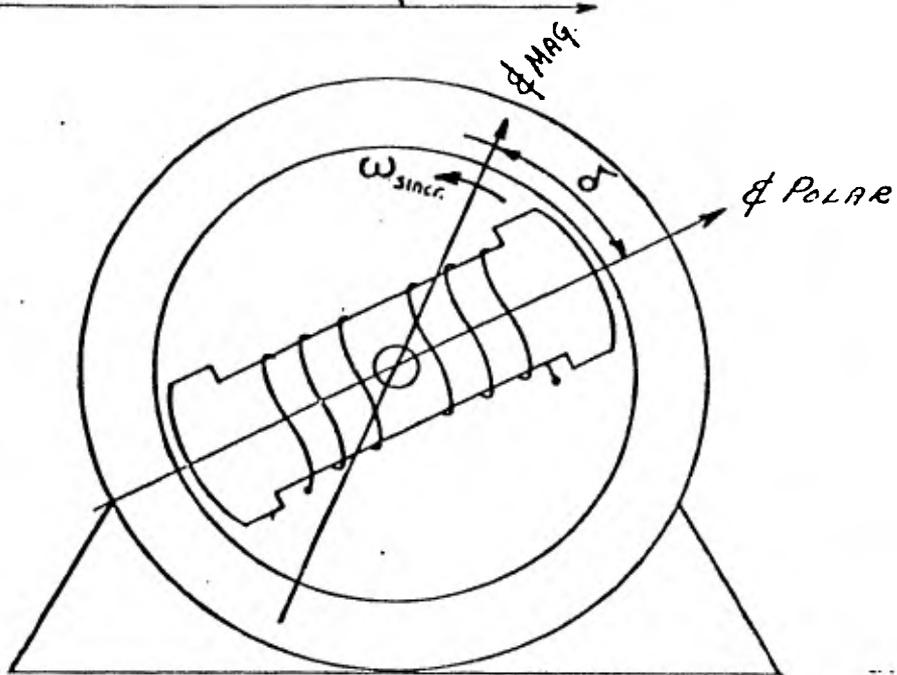
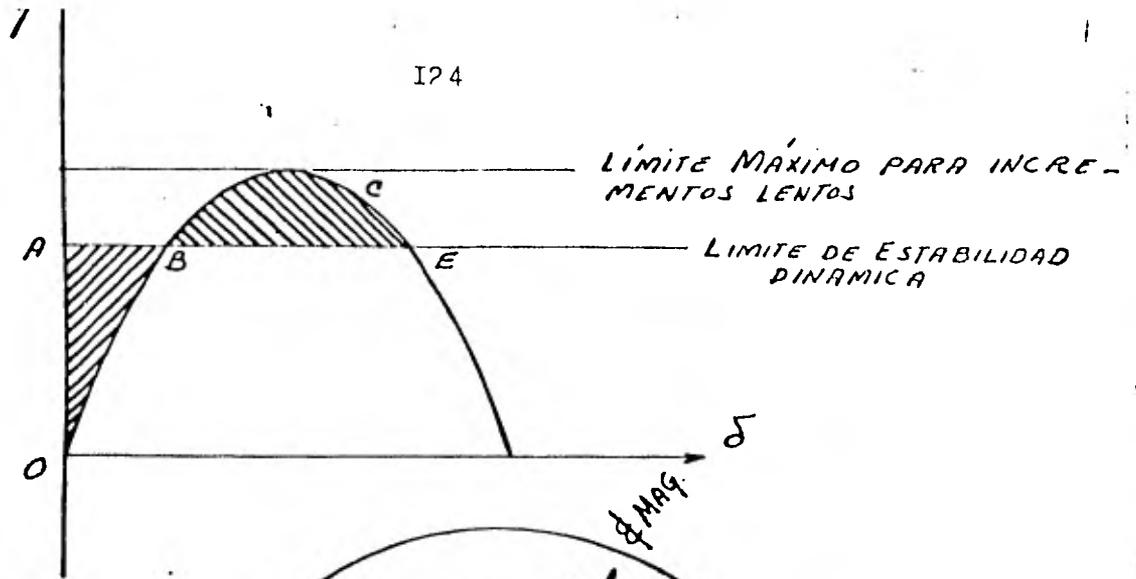


FIG 4-11

PERDIDAS DE LA MAQUINA SINCRONA.

(a) Pérdidas debidas al flujo principal.

Las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault debidas al flujo principal son considerables, el incremento puede ser tan -- elevado como 40 a 60% para la máquina de polos salientes, 30 a -- 40% para las máquinas de 4 polos con rotor cilíndrico y 25 a 50% en las máquinas de 2 polos con rotor cilíndrico.

La onda debida a las aberturas de las ranuras del estator ocasiona corrientes de Foucault de alta frecuencia en la superficie del polo. Estas pérdidas producidas por estas corrientes de Foucault en porcentaje de las pérdidas debidas al flujo principal son aproximadamente: 50 a 70% en las máquinas de polos salientes, 40 a -- 50% en las máquinas de 4 polos de rotor cilíndrico, y 25 a 50% en las máquinas de 2 polos con rotor cilíndrico.

La onda producida por las aberturas de las ranuras del estator -- origina corrientes no solamente en el hierro sino también, en el arrollamiento amortiguador de la máquina de polos salientes. Las corrientes inducidas en las barras amortiguadoras y sus pérdidas vienen a ser considerables, si el paso de ranura de la jaula es -- muy diferente al paso de ranura del estator. Una diferencia de -- hasta 25% en los pasos de ranuras mantiene las pérdidas a un bajo nivel. Las pérdidas son despreciables cuando ambos pasos de ranura son iguales entre sí. (Los pasos de ranura iguales pueden hacerse en los generadores de polos salientes).

(b) Pérdidas debidas a la corriente de carga.

La corriente de carga produce pérdidas I^2R en el arrollamiento -- del estator e incrementa usualmente las pérdidas I^2R del arrollamiento del campo debido a la reacción de armadura.

El flujo transversal en las ranuras produce efecto peculiar que puede incrementar las pérdidas en el cobre considerablemente. De -- ben utilizarse conductores trenzados de forma profunda o conducto -- res especiales (barras roebel) en máquinas grandes, para reducir el efecto peculiar.

Es razonable un incremento del 15 a 20% en las pérdidas I^2R debi -- do al efecto peculiar.

Los flujos armónicos producidos por el arrollamiento del estator producen pérdidas en la superficie del rotor, en la misma forma -- como la onda producida por las aberturas de las ranuras. En la -- máquina de polos salientes, estas pérdidas aparecen en las super -- ficies de los polos; en la máquina de rotor cilíndrico, en la su -- perficie solida del rotor. Debido al entrehierro relativamente -- grande de la máquina síncrona, estas pérdidas son pequeñas usual -- mente; alrededor de 0.05 a 0.15% de la salida.

Como en los motores de inducción grandes, los flujos de dispersión de los cabezales producen pérdidas por corrientes de Foucault en las partes estructurales (Placas finales, Placas de guarda, Pernos, etc.). El uso de hierro no magnético para las placas finales y -- anillos de retención del rotor reduce estas pérdidas

(c) Pérdidas por fricción y ventilación.

La rotación, las pérdidas por fricción en los cojinetes ocurren -- en todas las máquinas. La cantidad de pérdidas por fricción en -- los cojinetes depende de la presión en el cojinete, y el coeficiente de fricción entre cojinete y flecha.

Las pérdidas por ventilación son considerablemente elevadas en los generadores de 2 polos con rotor cilíndrico. El uso del Hidrogeno en lugar de aire como medio refrigerante reduce las pérdidas por - ventilación alrededor de 10% de las que aparecen con aire.

(d) Pérdidas en vacío y en carga; Pérdidas parásitas en carga.

Las pérdidas que aparecen en vacío y en carga, respectivamente, se muestran en las tablas 3 y 4. Las pérdidas adicionales debidas a la carga (párrafos 2, 3 y 4 de la tabla 4) son conocidas como pérdidas parásitas en carga.

(e) Ejemplo de la distribución de pérdidas y rendimiento.

En la tabulación siguiente se muestra la distribución de pérdidas de un generador de polos salientes:

875 Kva, 24 Polos, 60 Hertz, Cos = 0.80, 3 Fases, 300 RPM
230 Volts.

	Watts
Arrolamiento del Estator I^2R	13500
Arrollamiento del rotor I^2R	9000
Pérdidas parásitas en carga	4000
Pérdidas en el hierro (total)	12000
Pérdidas por ventilación y fricción en los cojinetes.	2500
	41000 Watts.

Salida = 875 X 0.8 = 700 Kw

Rendimiento = $100 \frac{700}{700 + 41} = 94.5\%$

TABLA 3 PERDIDAS EN VACIO

Máquinas de polos salientes	Pérdidas en el hierro en el estator debidas al flujo principal.	Pérdidas en la superficie del polo debidas a las aberturas de las ranuras.	Pérdidas en el cobre en el arrollamiento amortiguador debidas a las aberturas de las ranuras.	Pérdidas por ventilación y por fricción en los cojinetes.
Máquinas de rotor cilíndrico	Pérdidas en el hierro en el estator debidas al flujo principal.	Pérdidas en la superficie del rotor debidas a las aberturas de las ranuras.		Pérdidas por ventilación y fricción en los cojinetes.

TABLA 4 PERDIDAS EN CARGA

Máquinas de polos salientes	Pérdidas I^2R en los arrollamientos del estator y del rotor.	Pérdidas por efecto pelicular en el arrollamiento del estator	Pérdidas en la superficie del polo debidas a los flujos armónicos.	Pérdida en partes estructurales debidas a los flujos de dispersión.
Máquinas de rotor cilíndrico	Pérdidas I^2R en los arrollamientos del estator y del rotor.	Pérdidas por efecto pelicular en el arrollamiento del estator.	Pérdidas en la superficie del rotor debidas a los flujos armónicos.	Pérdidas en partes estructurales debidas a los flujos de dispersión.

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

SISTEMAS DE PROTECCION

Apartarrayos, capacitores, relevadores.

A la salida del generador las barras de conexión al transformador de potencia pasan por un cubículo de potenciales desde donde se toman las señales de voltaje de la máquina.

En este cubículo se tienen instalados normalmente los apartarrayos y los capacitores.

Apartarrayos.- Su función es no permitir que una tensión transitoria o una onda de avenida de sobretensión se eleve arriba del 10-- ó 15 por ciento del valor nominal de la tensión de salida. Funcionan como válvula de seguridad, si la tensión se eleva a ese valor permite el paso de la corriente a tierra y drena la onda de llegada evitando su paso por el embobinado del Generador.

Capacitores.- Aún cuando las ondas de sobretensión no tengan un valor muy alto de tensión su pendiente de elevación de tensión puede ser peligroso para el devanado del Generador y provocar falla entre espiras, por lo que los capacitores tienen por objeto reducir la pendiente del frente de las ondas de avenida sobre el Generador.

A P A R T A R R A Y O S
(Definición de las normas I E C)

Es un dispositivo para proteger aparatos eléctricos de altas tensiones transitorias, se encuentra conectado entre línea y tierra; también sirve para limitar la duración y amplitud de la corriente del rayo a tierra. Se puede decir que las funciones de un apartarrayos son:

- 1.- Limitar los sobrevoltajes que se presentan entre sus terminales
- 2.- Presentar una baja impedancia para facilitar el paso de la corriente del rayo a tierra.
- 3.- Auto operarse (restablecerse) después de que la onda ha pasado.

NORMAS PARA APARTARRAYOS

Apartarrayos tipo expulsión:

Es un apartarrayos que tiene una cámara de arqueo en la cual la corriente que sigue al arco es pasada al interior de un contacto que contiene gas o algún otro material extintor, de manera que resulta la limitación de voltaje en la terminal de la línea y la interrupción de la corriente del rayo.

Voltaje de diseño de un apartarrayos:

Es el máximo voltaje de diseño R M S permitido entre línea y terminales de tierra.

Voltaje residual de un apartarrayos:

Es el máximo voltaje que aparece en las terminales de línea y tierra durante el paso de corriente de descarga.

Voltaje de restablecimiento:

Es el voltaje que aparece entre las terminales de un apartarrayos tipo expulsión inmediatamente después de la interrupción de la corriente del rayo.

Identificación de apartarrayos:

Los apartarrayos tipo expulsión deberán ser identificados por la siguiente información mínima:

- a) Clase de apartarrayos
- b) Voltaje de operación (tensión de cebado)
- c) Rango de frecuencias.
- d) Corrientes mínimas y máxima de interrupción.

La información mínima que debe aparecer en la placa de características, es la siguiente:

- Clase de apartarrayos
- Tensión de Operación
- Rango de frecuencias
- Corrientes mínima y máxima de interrupción
- Explosores en serie que se instalarán externamente
(en caso de ser necesario)

Clasificación de los apartarrayos tipo expulsión:

- a) Clase distribución de 30 KA de capacidad de descarga.
- b) Clase distribución de 65 KA de capacidad de descarga.
- c) Clase transmisión.

Capacidades de voltaje normales:

- a) Los voltajes normales de los apartarrayos tipo distribución (KV rms):
3,4,5,6,9,12,15,18,20,25,30,37,40
- b) Los voltajes normales de los apartarrayos tipo transmisión (con protector de expulsión) KV rms
9 18 37 60 97
12 20 40 73 123
15 30 50 90 145

A P A R T A R R A Y O S

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de dos tipos:

1. Sobretensiones de origen atmosférico.
2. Sobretensiones por fallas en el sistema.

Sobretensiones de origen atmosférico:

Apartarrayos. El apartarrayos es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico.

Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo si no le tiene protegido correctamente; para la protección del mismo se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Descargas directas sobre la instalación
2. Descargas indirectas.

De los casos anteriores el más interesante, por presentarse con mayor frecuencia, es el de las descargas indirectas.

El apartarrayos, dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema, opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores cuya separación está determinada de antemano de acuerdo con la tensión a la que va a operar.

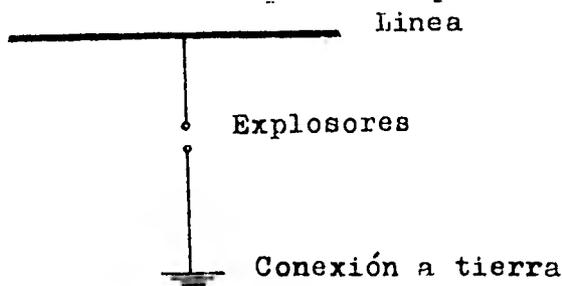


Fig. 5-I

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el principio general de operación; por ejemplo, los más empleados son los conocidos como "apartarrayos tipo autovalvular" y apartarrayos de resistencia variable".

El apartarrayos tipo autovalvular consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representa una gran seguridad de operación.

Actualmente el tipo de pararrayos universalmente usado en los sistemas eléctricos de potencia es el conocido como pararrayos autovalvular, que está formado por una serie de explosores conectados en serie con: discos hechos de una mezcla de carburo de silicio y un aglutinante, moldeados a presión y cocidos, que constituyen el elemento valvular del pararrayos. Estos discos se comportan como una resistencia variable tal que para voltajes bajos su resistencia es muy alta y para voltajes altos su resistencia es muy baja. Todos estos elementos van protegidos por una cubierta de porcelana, que permite instalar el pararrayos a la intemperie.

La característica eléctrica del material cerámico que constituye el elemento valvular, está dada por la siguiente expresión.

$$I^a R = C$$

Donde R es la resistencia variable del elemento valvular, I es la corriente que circula por él, a y c son constantes. Si el valor de "a" fuese igual a uno, la caída de voltaje a través del pararrayos sería constante, ya que la resistencia variaría en proporción inversa a la corriente.

En la práctica el valor de "a" es del orden de 0.83, lo que significa que la caída de voltaje a través del pararrayos, que es dada por el producto IR, aumenta ligeramente al aumentar la corriente. Como puede verse en la figura 5-2.

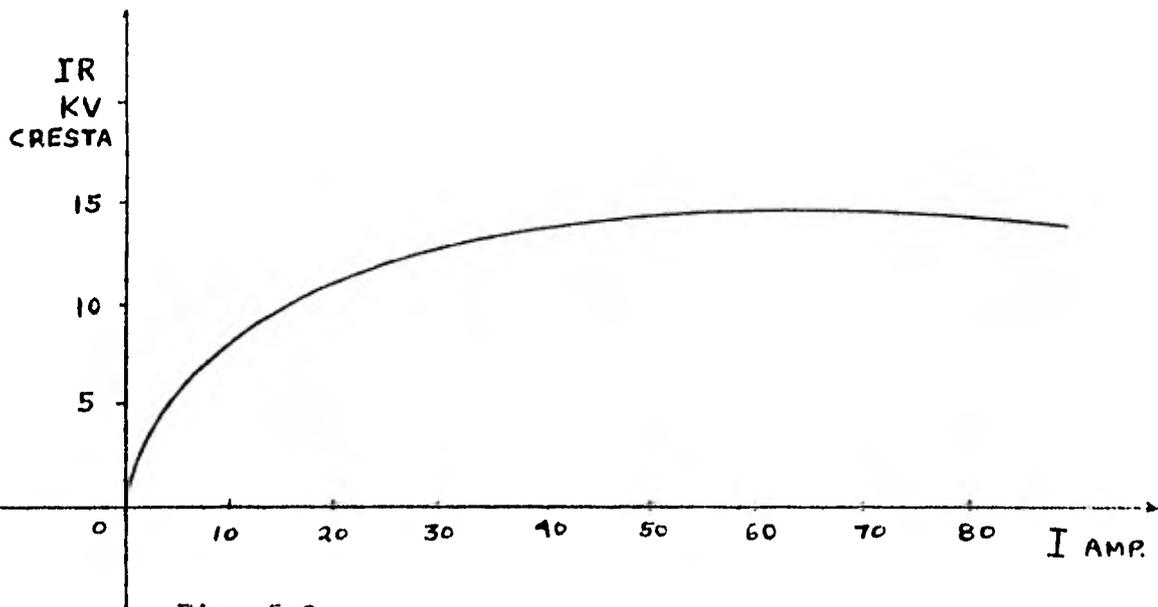


Fig. 5-2

Característica eléctrica de las resistencias de material cerámico usado en los pararrayos.

En la fig.5-3 se muestra la característica de operación de un pararrayos autovalvular. El pararrayos se comporta como un aislador hasta que el voltaje alcanza un valor suficiente para producir el cebado o flameo de los explosores. A partir de ese momento se convierte en conductor, la característica de resistencia variable del elemento valvular limita la caída de voltaje a través de pararrayos y produce una característica de descarga bastante plana.

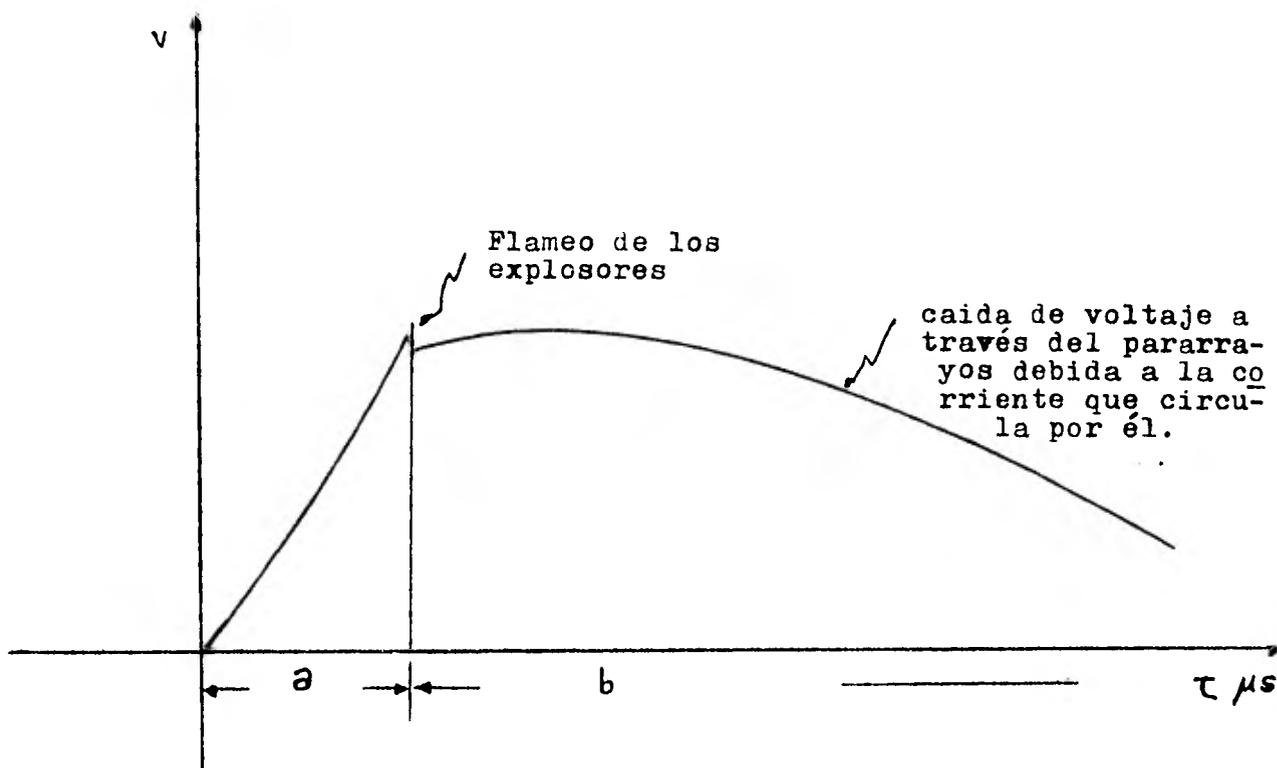


Fig. 5-3 característica de operación de un pararrayos.

En el intervalo de tiempo "a" no hay corriente de descarga a través del pararrayos. Este se comporta como aislador.

En el intervalo "b" sí hay corriente de descarga a través del pararrayos. Este se comporta como una resistencia variable.

El apartarrayos de resistencia variable funda su principio de operación en el principio general, es decir, con dos explosores, y se conecta en serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y -- tiene mucha aceptación en sistemas de distribución.

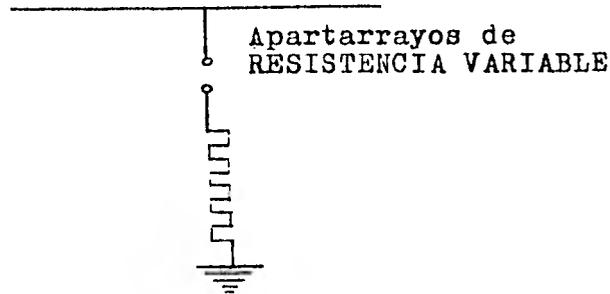


Fig. 5-4

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión -- presentadas durante las descargas atmosféricas, sino limitar su magni-- tud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema.

Las ondas que normalmente se presentan son de 1.5 X 40 microseg. (onda americana) y 1 X 40 microseg. (onda europea). Esto quiere decir que al canza su valor de frente en 1.5 a 1 microseg. (tiempo de frente de onda):

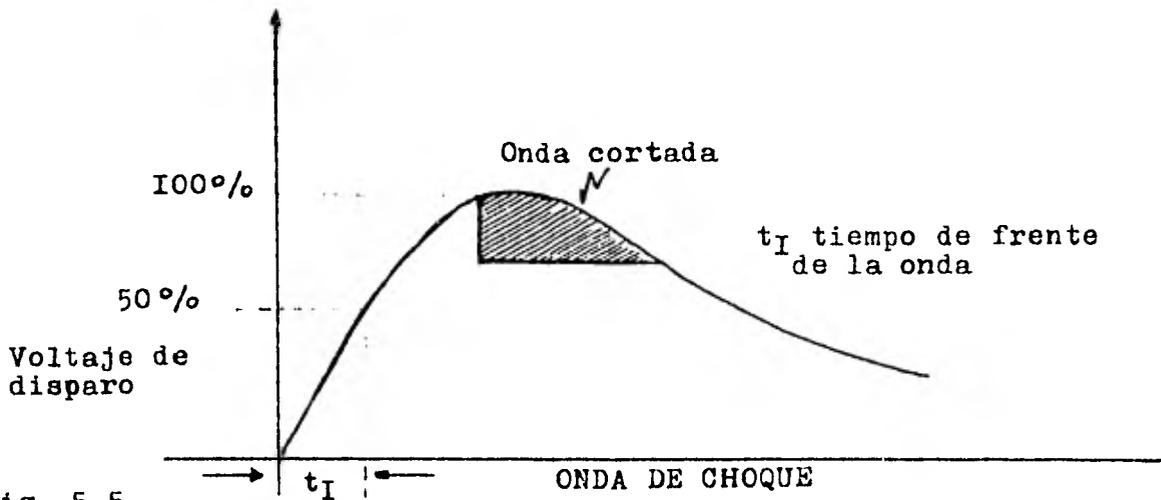


Fig. 5-5

La función del apartarrayos es cortar su valor máximo de onda (aplanar) la onda).

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que se almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.

Coordinación del aislamiento.

La coordinación del aislamiento de un sistema eléctrico consiste en combinar las características de operación de los pararrayos con las curvas de voltaje-tiempo de los aislamientos, de manera que se tenga una protección efectiva y económica contra los sobrevoltajes --- transitorios.

En la fig. 5-6 se ilustra este concepto de coordinación. La curva I representa la característica de operación de un pararrayos que define el nivel de protección proporcionado por él; la curva 2 es la curva voltaje tiempo de un aislamiento. Para tener una protección efectiva, la curva 2 debe quedar siempre sobre la curva I, por un margen de seguridad adecuado.

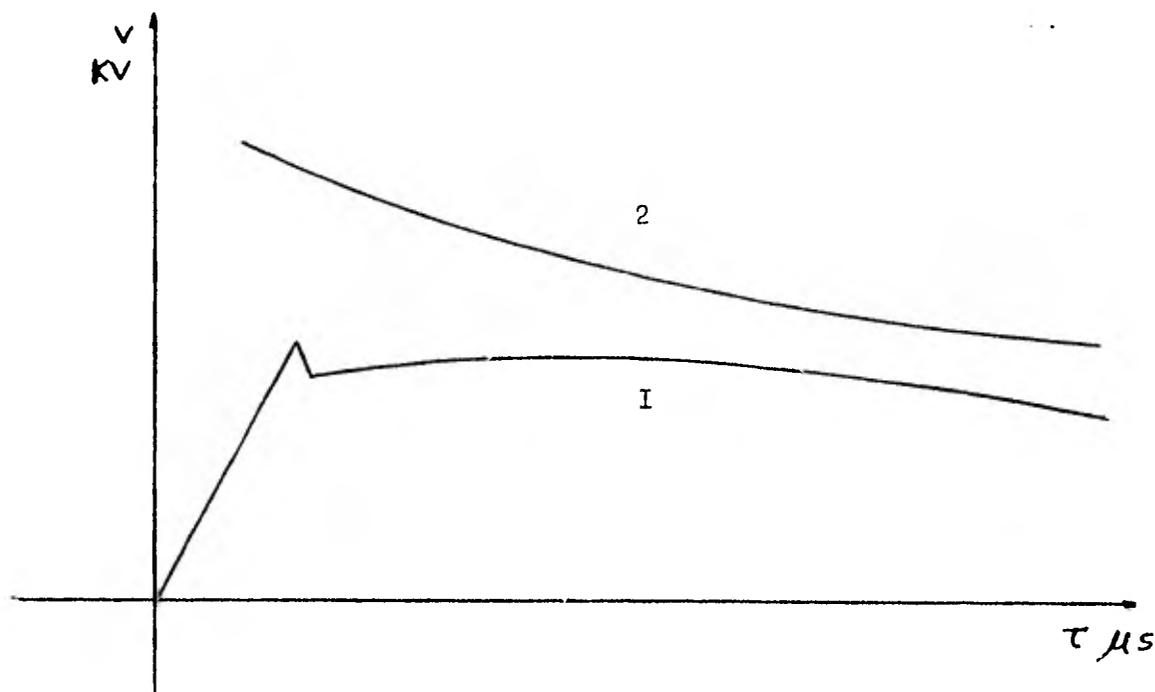


Fig. 5-6 coordinación entre la característica de operación de un pararrayos y la curva voltaje-tiempo de un aislamiento.

T A B L A N.º 5

1 Clase de aislamiento KV	2 Nivel básico de aislamiento al impulso completo. KV	3 Nivel básico de aislamiento al impulso redondo KV
5	75	
8.7	95	
15	110	
23	150	
34.5	200	
46	250	
69	350	
92	450	
115	550	450
138	650	550
161	750	650
230	1050	900
287		1050
345		1300
400		1425
500		1550

Los niveles de aislamiento al impulso indicados en la columna 2 de la -
 tabla 5 se fijarán inicialmente independientemente de la forma en que
 estuviesen conectados los neutros de los sistemas.

Estos niveles de aislamiento quedan coordinados con el uso de pararra--
 yos de 100 por ciento, o sea pararrayos de un voltaje nominal igual al
 máximo voltaje entre hilos de operación del sistema.

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tiene un cierto radio de protección. Para dar mayor seguridad a las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.

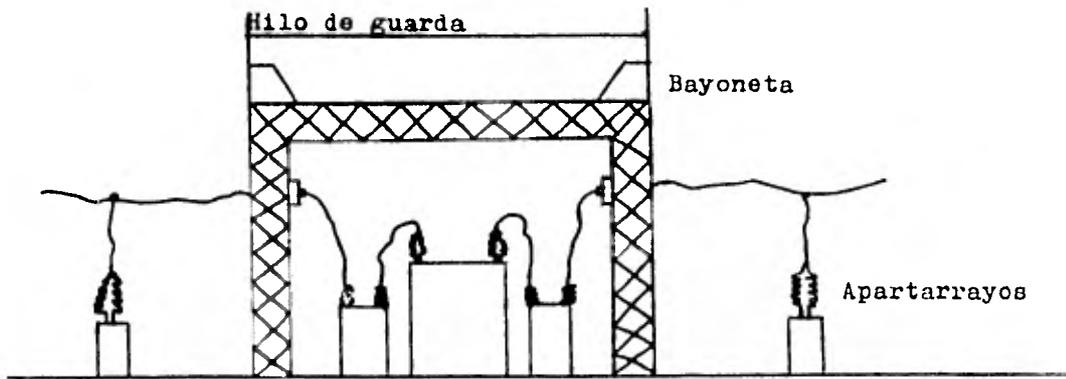


Fig. 5-7

La tensión a que operan los apartarrayos se conoce técnicamente como -- tensión de cebado del apartarrayos.

Localización de los apartarrayos.

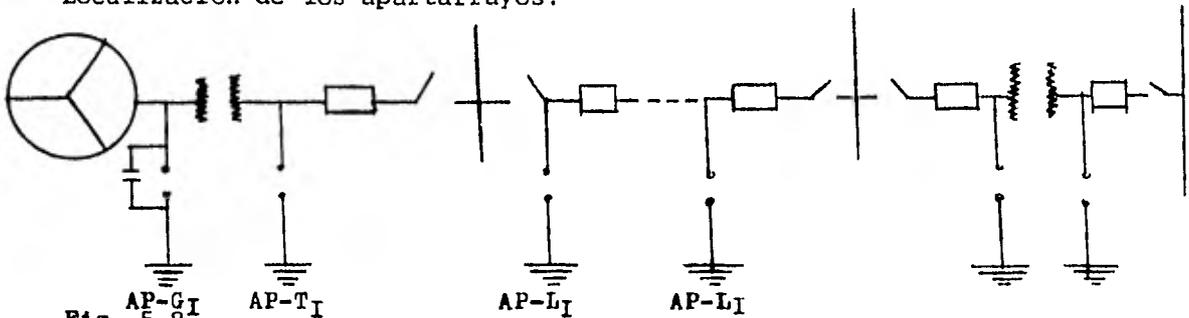
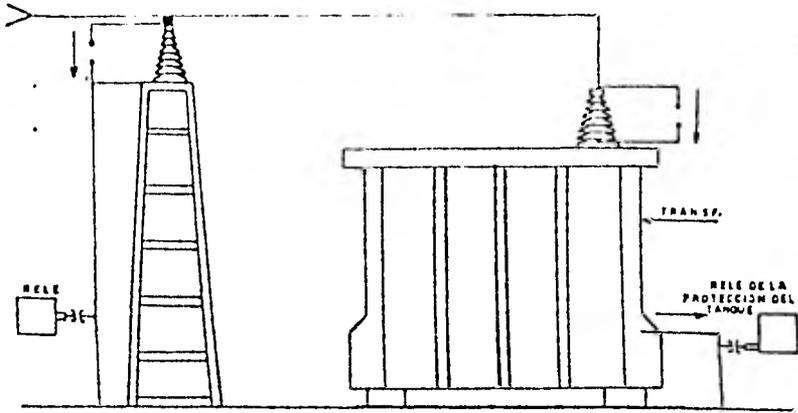


Fig. 5-8

El condensador se emplea como filtro con los apartarrayos de los generadores.



Protección contra sobretensiones

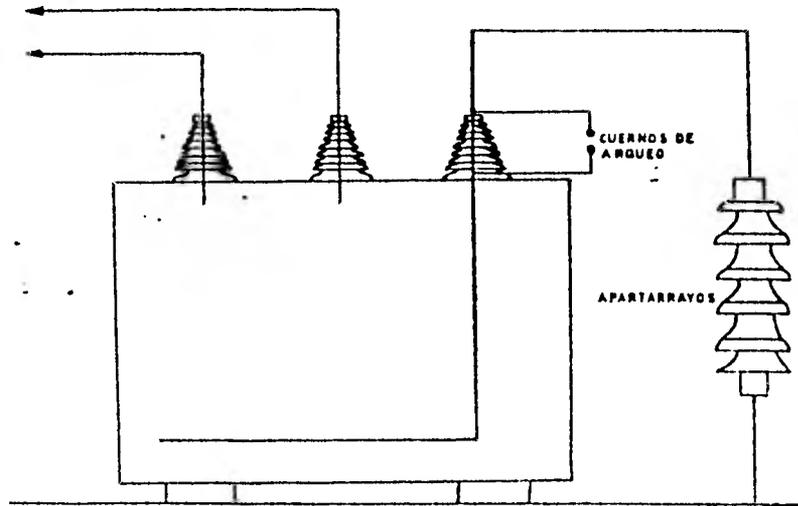


FIG. 5-9 Protección contra sobrevoltaje de origen atmosférico.

Se puede decir que el pararrayos moderno es la solución más sencilla al problema de la protección contra sobretensiones; pero es necesario no confiar exclusivamente en él y adoptar otras medidas que corroboren y complementen su acción, como se indica en seguida:

1. Conexión de neutro a tierra directamente de los generadores que van unidos a líneas de transmisión o locales, expuestas a descargas atmosféricas, sin transformador intermedio.
2. Empleo de pararrayos conectados a la máquina lo más cerca de esta - que sea practicable.
3. Empleo de reactores apropiados entre la máquina y barra o línea; o en su defecto un tramo de línea de diferente impedancia homopolar - para facilitar la reflexión de las olas que vengan de afuera.
4. Conexión de capacitores en paralelo con la máquina.
5. Empleo de otros pararrayos antes del tramo de diferente impedancia y en su unión con la línea principal.

Es posible estudiar experimentalmente cual es la mejor colocación de los pararrayos y el número más conveniente de ellos, utilizando un circuito en miniatura que sea una reproducción a escala de la instalación del equipo real, con sus interruptores, barras, etc., y un generador especial que simula descargas semejantes a los rayos.

De éste modo haciendo medidas y observaciones se toman en cuenta todas las reflexiones posibles que una ola eléctrica puede sufrir en una estación de varias unidades.

PROTECCION CON RELEVADORES ELECTRICOS.

Todo sistema eléctrico debe estar protegido mediante uno o varios sistemas que sean prácticos.

Para que un sistema fuera protegido en forma perfecta tendrían que usarse protecciones de protecciones, ya que el sistema de protección puede fallar también; sin embargo, desde un punto de vista práctico y económico no se puede llegar más que a ciertos límites establecidos por los relevadores generalizados que se fabrican en forma normal. A medida que se descubren métodos más seguros, se abandonan los que resultan ser complicados y costosos.

Las características esenciales de un sistema eléctrico son voltaje, corriente, frecuencia, fase, polaridad, potencia, factor de potencia, etc., las cuales se alteran al suceder una falla en el sistema.

Los relevadores tienen conocimiento de una o varias características y están arreglados para mantenerse inactivos mientras éstas no varían. Al ocurrir una falla, el relevador detecta y selecciona la característica del sistema que el conviene y actúa sobre otro sistema aparte cerrando o abriendo algún contacto que pertenezca al circuito de apertura o cierre del interruptor que corresponda para el aislamiento de la falla de la parte del sistema donde se creó. Así, por ejemplo, un relevador de sobrecorriente actúa sobre un contacto del circuito de disparo de un interruptor de una línea, cuando las condiciones de corriente de esta línea pasa de ciertos límites o varían entre ciertos valores indeseables. Si hay una inversión de potencia en una región de un sistema y se tienen colocados relevadores de potencia direccional, éstos, debido al acoplamiento de sus bobinas de corriente y potencial, actúan sobre un contacto que cierra el circuito de apertura de un interruptor para cortar la comunicación indeseable.

Hay un elemento intermedio entre los relevadores y el sistema por proteger; se trata de los transformadores de instrumento, que son de dos clases: transformadores de corriente y transformadores de potencial. La existencia de este eslabón es necesaria debido a las elevadas corrientes y los altos voltajes de los sistemas que hay que proteger, y no sería práctico que los relevadores fueran diseñados para soportar esos voltajes y esas corrientes. Con el fin de normalizar el voltaje y la corriente de los relevadores, se ha llegado poco a poco a establecer un voltaje de 120 volts para los elementos de potencial y 5 amperes para los elementos de corriente de estos aparatos protectores.

Si un circuito, por ejemplo, lleva 500 amperes, a 7,200 volts los transformadores de instrumentos deberán ser de una relación 500/5 amperes y 7,200/120 volts, o sea 100:1 y 60:1.

Descripción general de relevadores eléctricos.

Un relevador eléctrico es un dispositivo que, colocado en un circuito eléctrico, produce cambios en otro o en su propio circuito. Un relevador del tipo sencillo consta de una bobina y un contacto conectados en la forma siguiente:

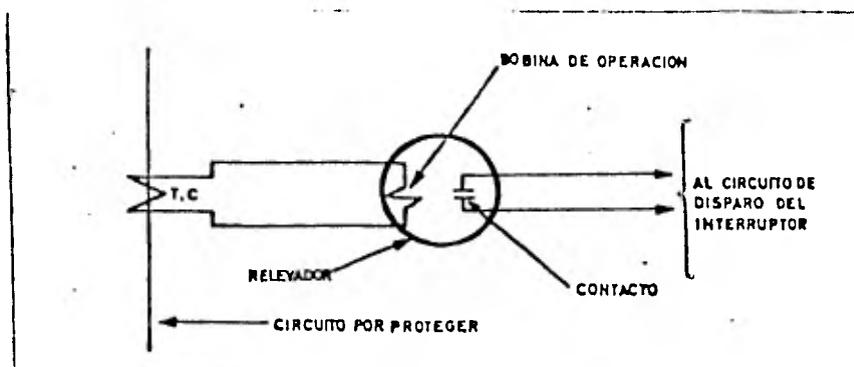


FIG. 5-10

Principios en que se basan los relevadores.

Los principios fundamentales en los que se basa la operación de los relevadores son los siguientes:

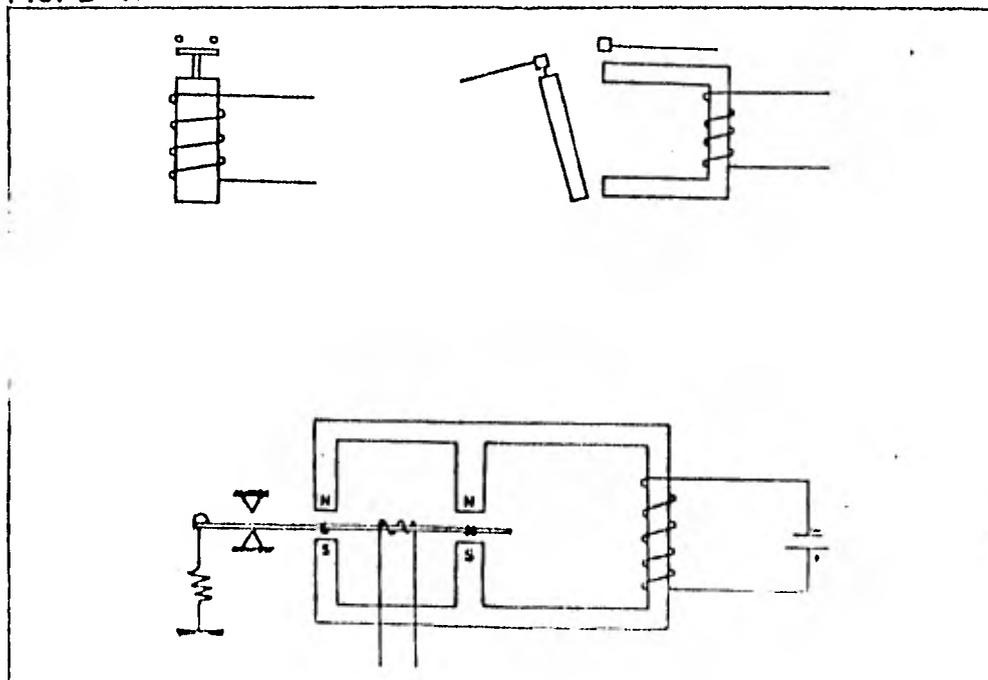
Atracción electromagnética.

Inducción electromagnética.

El primero consiste en un vástago dentro de un solenoide o una pieza magnética atraída por un electroimán.

Ejemplo:

FIG. 5-11



3
Apoyándose en el principio de inducción se han construidos dos clases originales de relevadores eléctricos:

1.- Los que actúan debido a una sola fuente de señales.

2.- Los que lo hacen debido a dos o más fuentes.

Un ejemplo de los primeros es el que se describe a continuación:

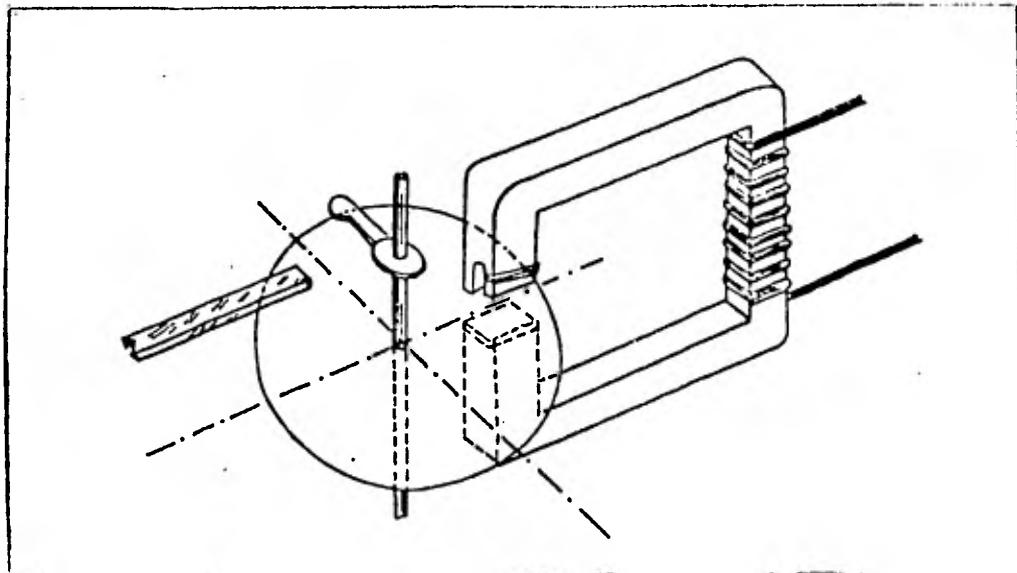


FIG. 5-12

Es un disco de inducción sobre el cual se cierra un circuito magnético con una sola bobina.

El núcleo esta dividido en dos regiones:

Una por la que circula el flujo resultante de la corriente de la bobina, y otra ode se ha devanado y puesto en-
corto circuito un embobinado o una sola espira que defasa
una parte del flujo que atraviesa el entrehierro.

De esta manera una sola señal hace actuar al disco en pre
determinadas condiciones.

Otro ejemplo es el de un relevador de sobrecorriente con características de tiempo inverso, como el siguiente:

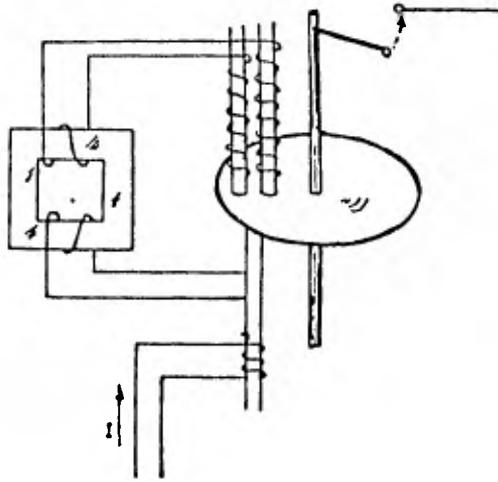


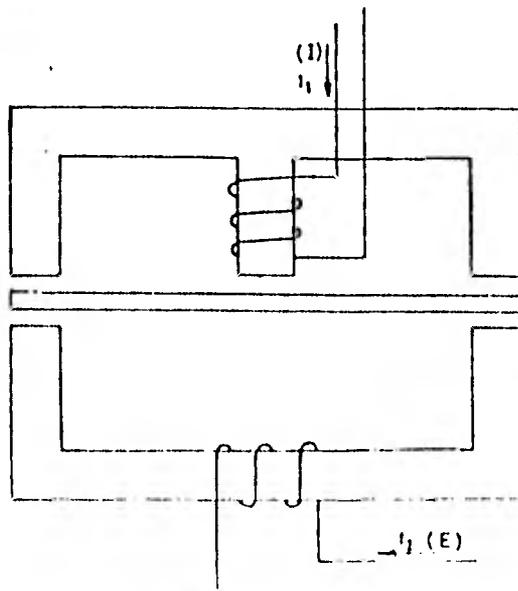
FIG. 5-13

Lleva una bobina sobre el núcleo interior, que es la única fuente de señales y esta corriente crea otra por medio de un acoplamiento magnético sobre las bobinas del núcleo superior, lo cual produce una fuerza actuante en el disco, debido al defasamiento final de los flujos.

La segunda clase de relevadores es la que pone en juego dos bobinas sobre un solo núcleo o sobre dos núcleos separados, como por ejemplo el ya conocido como núcleo de un watt-hourímetro. Sobre una bobina se pueden mandar las señales de corriente producidas por un transformador de corriente, y sobre la segunda las señales de corriente tomadas desde un transformador de potencial.

De esta manera, también con dos corrientes de fuentes distintas se hace operar el relevador

FIG. 5-14



C A R A C T E R I S T I C A S

Es conveniente tener un conocimiento de sus propiedades generales y -- particulares, con el fin de aprovecharlas en la solución de los problemas que implica la protección de un sistema eléctrico.

Entre las características principales de los relevadores se encuentra el tiempo de operación, y aún más la facilidad de ajustarlo.

Esta ha sido una de las propiedades que más han contribuido al desarrollo tan amplio de la protección con relevadores, ya que se puede lo---grar una coordinación perfecta en tiempo de apertura de los interruptores, de tal manera que se aíslan las regiones afectadas por fallas o -- las que convengan para la mejor operación.

La sensibilidad de un relevador es la propiedad que tiene de reconocer las fallas que puedan dañar la buena operación del sistema. Puede aparecer un grupo de señales en el relevador y éste sólo debe responder a la que conviene al sistema.

Un relevador de sobrecorriente no debe, por ejemplo, operar debido a la sobrecarga de un transformador, a menos que ésta pase de ciertos limites y que dure un tiempo fuera de lo previsto.

Seguridad. En su operación ésta es una característica, puesto que no puede permitirse que el relevador falle en el momento preciso. Para -- ello es necesario que sean suficientemente robustos sus contactos y -- que sus bobinas sean capaces de llevar las corrientes que por ellos -- puedan circular. Y no solamente implica la buena construcción del aparato mismo y sus protecciones propias, como las cajas, sino los aparatos y sistemas auxiliares o asociados al relevador, como por ejemplo -- la alimentación de corriente, que puede no estar en condiciones de trabajar cuando es preciso. Algunos relevadores y equipos de protección operan raras veces, quizá una vez al año, y sin embargo deben estar -- prontos a operar en el momento que sean necesarios; en cambio otros lo hacen tan frecuentemente que su mantenimiento debe ser constante. La construcción de estos aparatos debe tener en cuenta que es necesario -- probarlos de tiempo en tiempo, y así hemos visto aparecer cuchillas de prueba en los tableros, y últimamente peines que salen de la misma caja para facilitar las pruebas en caso necesario.

Por último, se puede decir que los relevadores no son para evitar fallas en el sistema, sino que hacer operar mecanismos que hagan disminuir los efectos de las fallas cuando éstas aparezcan.

Clasificación de Relevadores protectores.

Si se toma como base la magnitud que hace funcionar un Relevador y la manera como esa magnitud produce acción, los relevadores protectores pueden ser clasificados como lo indica el cuadro que sigue:

Clasificación de Relevadores.

Magnitud: Corriente, I; tensión, V; potencia, P; Factor de potencia, -- FP; frecuencia, F; impedancia, Z; temperatura, T; secuencia, - S.

Acción: 1) máxima; 2) mínima; 3) direccional; 4) diferencial; 5) equilibrada; 6) restringida; 7) especial fuera de clasificación.

Tiempo: a) instantáneo; b) alta velocidad; c) inverso; d) muy inverso e) fijo.

Conexión de las bobinas: primaria; secundaria; conexión de los contac--tos: disparo derivado; disparo serie.

Reposición: automática; a mano; a control remoto.

Número de fases: monofásico; polifásico.

Equipo: con indicador; sin indicador.

Número de circuito: unidireccional; duodireccional; multiple, de dos, - tres, etc.

Sensibilidad: normal especial o de consumo bajo.

Definición de algunos conceptos.

Los relevadores de secuencia pueden ser accionados por corrientes o potenciales; pero la base de su operación no es el valor de esas co---rrientes o potenciales, ni el desequilibrio que pueda existir entre e---llos, sino el orden en que ellas o ellos alcanzan su máximo. Se les llama también "de polaridad", su acción es especial.

Máxima es la acción que se produce al subir la magnitud; mínima--la que se ejerce al bajar; direccional la producida al cambiar de signo--la magnitud; diferencial la que proviene de la diferencia de valores ing--tantáneos de dos magnitudes de la misma especie; equilibrada la produci--da por la diferencia de valores eficaces de dos magnitudes, sin distin--ción de argumentos; restringida es la acción que no se produce en tanto--una segunda magnitud, presente en el relevador, no varíe en una forma ---prefijada.

.....

Instantáneo y alta velocidad significa sin RETARDO y, en esta última, con la mayor rapidez posible, usando piezas de inercia mínima; -- inverso es el contacto que dilata más mientras más pequeña es la magnitud operante, muy inverso corresponde a dilaciones con mayor campo de variación; fijo es el contacto que se retarda un tiempo constante, independiente del exceso de magnitud sobre el ajuste.

La conexión primaria es exclusiva de algunos relevadores de corriente máxima. Todos los demás son secundarios, ordinariamente, en líneas de más de 250 volts.

El disparo derivado utiliza corrientes continua o rectificada, casi siempre, y, en ciertos casos, corriente del propio sistema; los relevadores tienen normalmente los contactos abiertos. El disparo serie se hace con la misma corriente operante y los contactos están cerrados normalmente; es exclusivo de relevadores de corriente.

La reposición de un relevador es automática cuando los contactos vuelven a la situación primitiva al desaparecer la causa de la operación, por sí solos.

Se llama "a mano" cuando los contactos quedan indefinidamente en la posición de disparo, hasta que un operador los repone en su posición primitiva.

La reposición a control remoto se hace con un electroimán accionado por una corriente de servicio, controlada desde lejos por un botón.

El indicador es una bandera que aparece tras una ventana cuando cuando el relevador dispara.

Unidireccional es el relevador direccional que cierra sólo un circuito cuando opera; duodireccional es el que puede cerrar uno u otro de dos circuitos de disparo, según el sentido de la magnitud operante. Múltiple es el relevador auxiliar que cierra varios circuitos de disparo a la vez.

Normal es el relevador que opera con 5 amps, o 115 volts; especial es el que opera con 50 por ciento, o menos, de corriente o de potencial.

PROTECCION DE LOS ALTERNADORES

Como es sabido, las partes principales que constituyen un alternador son:

1. Rotor, donde se alojan las bobinas por las que circula corriente continua y que crea el campo magnético giratorio al ser accionado por el primo-motor.
2. Estator, por cuyo devanado circula la corriente producida por inducción; este devanado se conecta a la red a donde se envía la corriente eléctrica.

Como en la mayoría del equipo eléctrico, la parte más delicada del alternador la constituyen los aislamientos, que están sometidos a esfuerzos mecánicos y eléctricos como:

Fuerzas centrífugas sobre los conductores del rotor, vibraciones de los conductores debido a las vibraciones del campo magnético, esfuerzos sobre los conductores por los cambios de temperatura, envejecimiento de los conductores debido a los efectos del calentamiento. Entre los de orden eléctrico se tienen: esfuerzos por sobretensiones atmosféricas y esfuerzos por fallas internas.

Los devanados del estator y el rotor son susceptibles a las siguientes fallas:

a) Estator

- Corto circuito entre fases (dos o más fases) o de fase a tierra.
- Corto circuito entre espiras de una misma bobina.
- Sobretensiones.
- Sobrecargas.
- Desequilibrio de cargas.

b) Rotor

- Falla a tierra sobre el devanado de excitación.
- Apertura accidental del devanado de excitación.

PROTECCION CONTRA LA MOTORIZACION.

La protección contra la motorización tiene como objetivo beneficiar al primotor o al sistema, y no al generador.

Turbinas de vapor. Una turbina de vapor requiere protección contra el sobrecalentamiento cuando se suprime el suministro de vapor y el generador gira como motor. Dicho sobrecalentamiento ocurre debido al insuficiente paso a través de la turbina de vapor que extrae el calor que se produce por la pérdida de ventilación. Las modernas turbinas de condensación se sobrecalientan aun en salidas de menos del 10% de la carga nominal, aproximadamente.

El tiempo en que una turbina se sobrecalienta, cuando se desconecta por completo su vapor, varía de unos 30 seg a 30 min, según el tipo de turbina que se trate. Una turbina de condensación que funciona en forma normal al alto vacío soportará la motorización durante más tiempo que una turbina sin condensación que funciona en forma normal a elevada presión de salida.

Como las condiciones pueden ser tan variadas, no puede indicarse -- ninguna protección que se acostumbre en forma definida. En cada caso, es mejor solicitar las recomendaciones de los fabricantes de la turbina. El fabricante seguramente dispone de accesorios de la turbina tales como alarmas o interruptores que pararán al equipo, según se precise.

Turbinas hidráulicas. -- La protección contra la motorización puede convenir en ocasiones para proteger una turbina hidráulica no atendida contra la cavitación de los álabes. La cavitación ocurre con el flujo bajo de agua que puede resultar, por ejemplo, del bloqueo de las compuertas de hojarasca. Generalmente la protección no se suministra a unidades atendidas. Esta puede proporcionarse por equipo de protección direccional de potencia capaz de funcionar a corriente de motorización un poco menor de 2.5% de la capacidad de plena carga del generador.

Máquinas Diesel. -- Por lo general se requiere la protección contra la motorización en las máquinas diesel. El generador tomará casi 15% o más de su potencia nominal, del sistema, lo que puede constituir una carga indeseablemente elevada para el sistema. Además existe el peligro de incendio o explosión del combustible no quemado. Deberá ser consultado el fabricante de la máquina cuando se quiere omitir la protección contra la motorización.

Turbinas de gas. -- La potencia requerida para motorizar una turbina de gas varía del 10% al 50% de la capacidad de plena carga, dependiendo del diseño de la turbina y de si es un tipo que tiene una turbina de carga separada de la utilizada para manejar el compresor. El suministro de la protección por relevadores deberá hacerse en base a la inconveniencia de imponer la carga de la motorización al sistema. Usualmente, las turbinas no precisan de protección contra la motorización.

PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS DE LOS ARROLLAMIENTOS DEL ESTATOR POR MEDIO DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.

Si los transformadores de corriente no están conectados en los extremos neutros de los arrollamientos del generador conectado en estrella o si sólo se sacan las puntas de salida, los dispositivos de protección pueden accionarse, como en la fig. 5-15, sólo por la corriente de cortocircuito proporcionada por el sistema. Dicha protección es ineffectiva cuando el interruptor principal está abierto, o cuando está cerrado si el sistema no tiene otra fuente de generación.

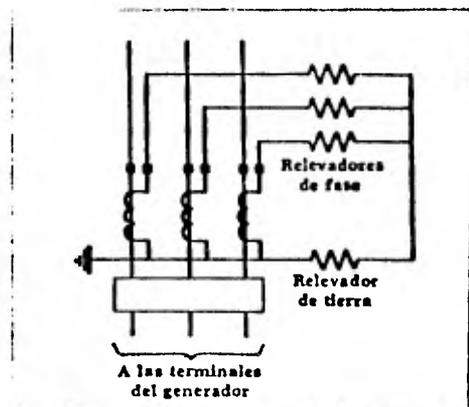


Fig. 5-15 Protección de sobrecorriente del Estator del Generador.

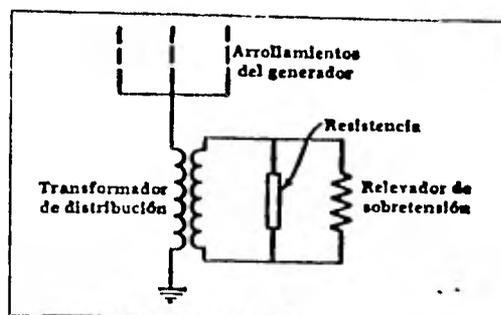


Fig. 5-16 Protección contra fallas a tierra en el estator para unidades generadoras.

PROTECCION CONTRA FALLAS A TIERRA EN EL ESTATOR DE UNIDADES GENERADORAS.

La fig. 5-16, muestra la forma preferida para proporcionar protección - contra falla a tierra para un generador que está funcionando como una unidad con su transformador de potencia. El neutro del generador está puesto a tierra a través del arrollamiento de alta tensión de un transformador de distribución. A través del arrollamiento de baja -- tensión se conectan una resistencia y un relevador de sobretensión.

PROTECCION DE SOBRECALENTAMIENTO DEL ESTATOR.

El sobrecalentamiento general del estator es originado por la sobrecarga o por la falla del sistema de enfriamiento, y puede detectarse en forma completa y fácil. El sobrecalentamiento debido a laminaciones en cortocircuito está muy localizado, y éste es en verdad un asunto de oportunidad si puede ser detectado antes de causar un daño serio.

La práctica es colocar bobinas de detectores de temperatura de resistencia o termopares en las ranuras con arrollamientos del estator -- de generadores mayores de 500 a 1 500 kva. Muchos de estos detectores están localizados en diferentes lugares en los arrollamientos para que pueda obtenerse una indicación de las condiciones de temperatura a través de todo el estator. Varios de los detectores que indican la temperatura máxima se seleccionan para utilizarse con un indicador o registrador de temperatura, que por lo general tiene contactos de alarma; o puede arreglarse el detector que da la máxima indicación para hacer funcionar un relevador de temperatura que haga sonar una alarma.

Los dispositivos suplementarios de temperatura pueden supervisar el sistema de enfriamiento; dicho equipo daría la primera alarma en caso de falla del sistema de enfriamiento, pero se ha palpado por lo general que los detectores de temperatura del estator y los dispositivos de alarma son suficientes.

PROTECCION CONTRA PERDIDA DE LA EXCITACION

Cuando un generador síncrono pierde la excitación, funciona como un generador de inducción, que gira arriba de la velocidad síncrona. Los generadores de rotor redondo no se adaptan a dicho funcionamiento debido a que no tienen arrollamientos amortiguadores que puedan conducir las corrientes inducidas en el rotor. En consecuencia, un rotor de un generador de turbina de vapor se calentará más rápido - debido a las corrientes inducidas que fluyen en el hierro del rotor, en particular en los extremos del rotor donde las corrientes fluyen a través de las ranuras por las cuñas y el anillo de retención, si se usa. La duración del tiempo para alcanzar sobrecalentamiento peligroso del rotor depende del valor del deslizamiento, y puede ser muy corto, unos 2 o 3 min. Los generadores de polos salientes tienen sin excepción arrollamientos amortiguadores, y por lo tanto, no están sujetos a dichos sobrecalentamientos.

El estator de cualquier tipo de generador síncrono puede sobrecalentarse, debido a sobrecorriente en los arrollamientos del mismo, --- mientras la máquina está girando como un generador de inducción. La corriente del estator puede elevarse a unas 2 a 4 veces la nominal, dependiendo del deslizamiento. Este sobrecalentamiento no tiende a ocurrir tan rápidamente como el del rotor.

Algunos sistemas no pueden soportar el funcionamiento continuo de un generador sin excitación. De hecho, si el generador no se desconecta inmediatamente al perder la excitación, puede desarrollarse muy rápidamente una inestabilidad general, y puede ocurrir un paro mayor del sistema. Dichos sistemas son aquellos en los que no se emplean reguladores automáticos de tensión del generador de respuesta rápida. Cuando un generador pierde la excitación, extrae potencia reactiva del sistema, aumentando de 2 a 4 veces la carga nominal del generador. Antes de perder la excitación, el generador podría haber estado entregando potencia reactiva al sistema. De este modo, esta gran carga reactiva desperdiciada de súbito en el sistema, junto con la pérdida de la potencia reactiva de salida del generador, puede originar una reducción general de la tensión, que, a su vez, puede originar inestabilidad, a menos que los otros generadores puedan absorber de inmediato la carga reactiva adicional.

Un sistema en el que a la pérdida de la excitación de un generador - dado pueden seguir serios disturbios, debe estar provisto de equipo automático de protección por relevadores de respuesta rápida para disparar los interruptores principal y del campo. Un operador no tiene tiempo suficiente para actuar bajo dichas circunstancias. Allí donde los trastornos del sistema no sean una secuencia definitiva de la pérdida de la excitación, un operador deberá disponer por lo menos de 2 a 3 min en los cuales actuar en lugar del disparo automático. Algunas veces se cuenta con una fuente de excitación de emergencia y un cambio manual que eviten el retiro del servicio de un generador. Sin embargo, por lo general el operador se reduce a retirar el generador de servicio, a menos de accidentalmente él mismo haya suspendido la excitación. En caso de no reconocer al momento una situación de pérdida de excitación y el generador girase

sin excitación por tiempo desconocido, deberá detenerse y examinarse cuidadosamente debido a posible daño, antes de volverlo al servicio. En los sistemas en que trastornos severos pueden o no suceder a la pérdida de la excitación de un generador, es conveniente disparar a veces el generador aunque el sistema no lo requiera, sólo para asegurarse que el generador se disparará siempre y cuando lo necesite el sistema.

PROTECCION CONTRA EL SOBRECALENTAMIENTO DEL ROTOR DEBIDO A CORRIENTES TRIFASICAS DESEQUILIBRADAS DEL ESTATOR.

Las corrientes trifásicas desequilibradas del estator originan corrientes de frecuencia doble de la del sistema que se inducen en el hierro del rotor. Estas corrientes originan el sobrecalentamiento del rotor en forma rápida y un daño serio si se permite que el generador continúe funcionando con un desequilibrio semejante. Las corrientes desequilibradas también pueden originar una vibración severa, pero el problema del sobrecalentamiento es más agudo.

PROTECCION CONTRA FALLAS A TIERRA EN EL CAMPO.

Debido a que los circuitos del campo funcionan sin puesta a tierra, una sencilla falla a tierra no originará daño alguno o afectará el funcionamiento de un generador en forma alguna. Sin embargo, la existencia de una sencilla falla a tierra aumenta la resistencia a tierra en otros puntos en el arrollamiento del campo cuando se inducen tensiones en éste por transitorios del estator. De este modo, se aumenta la probabilidad de que ocurra una segunda tierra. Si ocurre una segunda tierra, se pondrá en derivación parte del arrollamiento del campo, y se aumentará la corriente a través de la parte restante. Poniendo en derivación parte del arrollamiento del campo se desequilibrarán los flujos del entrehierro, y éstos desequilibrarán las fuerzas magnéticas en lados opuestos del rotor. Dependiendo de la parte del campo que se pone en derivación, este desequilibrio de fuerzas puede ser bastante grande para combar la flecha del rotor, y hacerla excéntrica. Un cálculo de la posible fuerza de desequilibrio para un generador particular dio 40 000 lb (libras). Se han registrado casos donde la vibración resultante ha roto los cojinetes pedestales, lo que ocasionó que el rotor se frotara contra el estator; dichas fallas originaron daños extensos cuya reparación fue muy costosa y que mantuvieron las máquinas fuera de servicio por un largo tiempo.

La segunda falla a tierra puede no poner en derivación suficiente arrollamiento del campo para originar un mal desequilibrio magnético pero el arco en la falla puede calentar en su localidad el rotor y distorsionarlo en forma lenta, originando con eso la excentricidad y la vibración que la acompaña para desarrollarse lentamente desde 30

minutos a 2 horas.

La práctica más segura es utilizar el equipo de protección por relevadores para disparar en forma inmediata los interruptores principal y del campo del generador cuando ocurre la primera falla a tierra, y esta práctica deberá seguirse en verdad en todas las estaciones inatendidas. Sin embargo, muchos en una estación atendida, se arriesgarían más bien a la posibilidad de una segunda falla a tierra con sus posibles consecuencias para mantener la máquina en servicio hasta que sea más conveniente pararla; este grupo utilizaría equipo de protección por relevadores -u otros, si acaso-- sólo para accionar una alarma o una indicación cuando ha ocurrido la primera falla a tierra.

Si se va a permitir que un generador funcione con una falla a tierra sencilla en su campo, se le deberá proveer al menos de equipo automático para disparar en forma inmediata los interruptores principal y del campo a una amplitud de vibración anormal, pero no a amplitud -- mayor que la necesaria para evitar el funcionamiento indeseado en -- transitorios de sincronización o de cortocircuitos. Dicho equipo -- reducirá la duración severa de la vibración si ocurriera la segunda falla a tierra en una localidad crítica; es evidente, que no puede pararse la vibración en forma instantánea porque toma tiempo para -- que decaiga el flujo, pero esto es lo mejor que puede hacerse en esas circunstancias; sin embargo, se ha sabido que el daño ocurre en forma inmediata cuando se presenta la segunda falla y antes que pueda hacerse cualquier cosa para impedirlo. El equipo de detección de la vibración deberá estar en servicio continuamente y no ponerse en servicio en forma manual después que ha ocurrido la primera falla a tierra, porque las dos fallas pueden ocurrir juntas o en rápida sucesión. En adición, sería deseable al menos una alarma, y de preferencia el disparo automático de acción retardada de los interruptores principal y del campo, a una amplitud de vibración más baja aún. Este equipo de ajuste bajo de acción retardada reduciría la amplitud de la vibración originada por la distorsión del rotor debida al calentamiento localizado. Si se previó este equipo de ajuste más bajo, el equipo de vibración de ajuste elevado podría permitir el paro del primomotor lo mismo que disparar los interruptores principal y del campo. El equipo de ajuste bajo no deberá de preferencia parar el primomotor; si la vibración está siendo originada por la excentricidad del rotor debida al calentamiento local, la amplitud puede aumentar a una cantidad peligrosa a medida que disminuye la velocidad del rotor, debido a que muchos generadores tienen una velocidad crítica por debajo de la normal en la que la vibración puede ser peor que a la velocidad normal; en lugar de esto, sería preferible disparar los interruptores principal y del campo y mantener girando el rotor a la velocidad normal durante 30 min a una hora para enfriar el rotor y dejar que se enderece el mismo.

A pesar de sabido riesgo de sufrir un daño extenso y la subsecuente salida del servicio por largo tiempo, se tiene a muchos generadores en servicio sin protección automática o incluso alarma para tierras del campo, y la mayoría de los restantes sólo tienen equipo de indicación de tierra. Esto sólo puede significar que, durante el tiempo que está funcionando un generador con una tierra en su campo, es remota la posibilidad de que ocurra una segunda tierra y en una localidad tal que pueda originar daño inmediato antes que un operador

pueda actuar para corregir la condición. Esta posibilidad existe, sin embargo, y se deberá evitar en todo lo posible tal modo de operar.

El tipo del equipo de protección por relevadores preferido se muestra en la fig. 5-17 Puede aplicarse cualquier tensión de c-a o c-d entre el circuito del campo y tierra a través de un relevador de sobretensión. Una tierra en cualquier parte del circuito del campo pondrá en trabajo el relevador. Si se utiliza corriente directa, el relevador de sobretensión puede ser más sensible que si se utili-

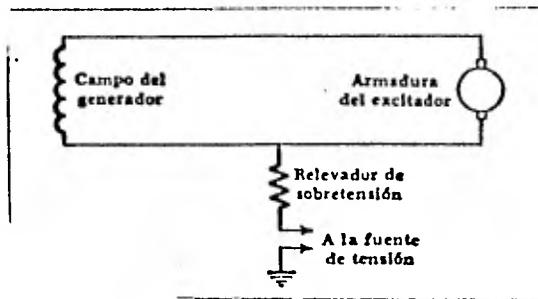


Fig. 5-17 Protección contra fallas a tierra en el campo del generador.

za corriente alterna; con corriente alterna, el relevador no debe ponerse en trabajo con la corriente que fluye en forma normal a través de la capacidad electrostática a tierra, y debe tenerse cuidado para evitar la resonancia entre ésta capacidad y la inductancia del relevador.

Puede ser necesario proporcionar una escobilla sobre la flecha del rotor que pondrá a tierra en forma efectiva a éste, en especial cuando se aplica una tensión de c-a. No se deberá confiar en la trayectoria a tierra a través de la capa de aceite del cojinete por dos razones: (1) la resistencia de esta trayectoria puede ser bastante elevada para que el relevador no funcione si el campo se puso a tierra, y (2) una magnitud muy pequeña de la corriente que fluye en forma continua por el cojinete puede corroer aun la superficie y destruir el cojinete. Probablemente se requiera una escobilla con una turbina de vapor que tenga sellos de vapor. La escobilla deberá estar instalada donde no ponga en derivación el aislamiento del cojinete pedestal que se proporciona para impedir el flujo de las corrientes de la flecha. Se deberá consultar al fabricante de la turbina antes de decidir no emplear dicha escobilla.

SISTEMA FUNDAMENTAL DE PROTECCION PARA MAQUINAS

Sistema fundamental de proteccion la fig.5-18 muestra los 4 componentes usados en la proteccion básica de una máquina rotatoria. El apartarrayos A_L limita la elevación de V en las terminales de la máquina y el segundo apartarrayos A_M limita la magnitud del voltaje de las terminales de la máquina a la carcasa.

El apartarrayos A_L es de fabricación normal. La capacitancia es usualmente un capacitor en el caso de que la máquina no tenga cable de potencia, pero si lo tiene puede ser la capacitancia del mismo cable.

A_M es usualmente un apartarrayos de diseño especial con voltaje de descarga controlado.

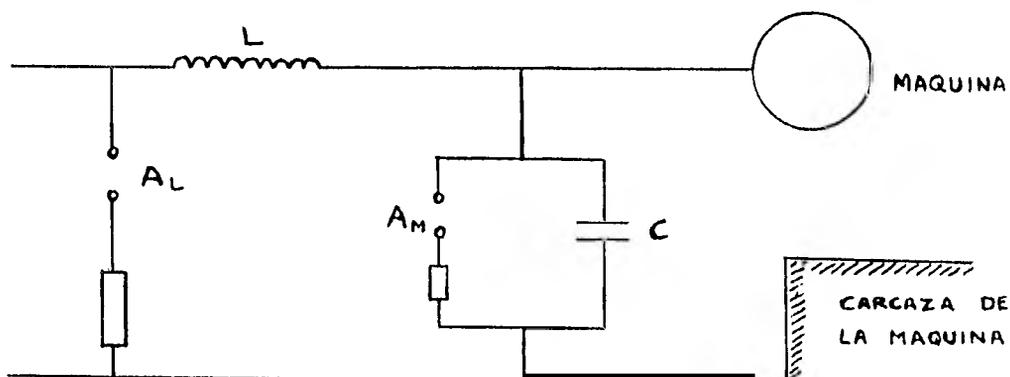


FIG. 5-18

PROTECCION AL NEUTRO DE LA MAQUINA.

En la mayoría de los casos no se requiere protección al neutro contra ondas viajeras sin embargo es posible que pudiera ocurrir sobrevoltaje al neutro.

Existen dos formas de proporcionar protección al neutro.

1.-Si el neutro es accesible puede ser protegido aplicando un capacitor y un apartarrayos al neutro como lo muestra la fig. 5-19

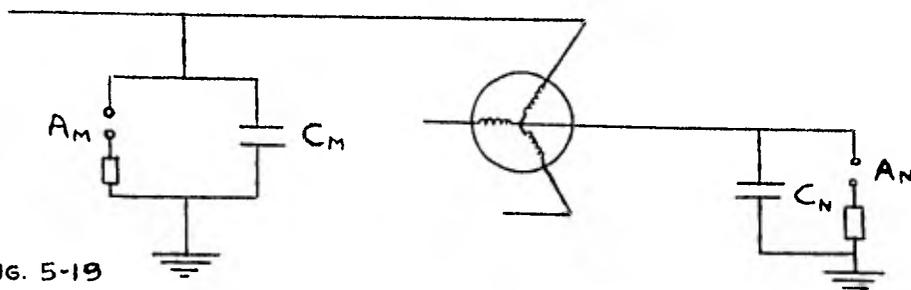


FIG. 5-19

2.-Donde el neutro no sea accesible o la protección al neutro sea expansiva, entonces la capacitancia normal de la máquina se puede tomar 2 veces como lo muestra la fig. 5-20

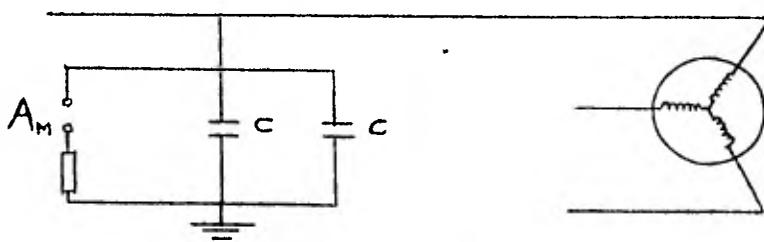


FIG. 5-20

La inductancia considerada en el circuito representativo de la máquina dependiendo del lugar donde está la protección puede ser la propia del generador; o bien generador y transformador elevador y cable.

CONEXIONES A TIERRA.

El complemento de una buena dotación de interruptores y relevadores de protección, así como de pararrayos y aparatos de seguridad, en general, es un buen sistema de "tierras", compuesto de electrodos, barras de tierra y conductores de conexión entre las barras y el equipo.

A - Electrodos.

Los más usados son varillas de cobre de 2.40 metros de largo y 12.7mm. de diámetro, por lo menos hundidos verticalmente en el terreno, hasta el extremo, y colocados a 3 metros de distancia mínima uno de otro. = También se puede usar placas o cables de cobre enterrados a profundidad suficiente para quedar rodeados por humedad permanente. Las tuberías continuas de agua, cuando son subterráneas, constituyen buenos -- electrodos. Es posible usar tubos de fierro galvanizado, de 30 mm. de diámetro exterior y 3 metros de largo; pero la duración útil es menor que en el caso del cobre. El acero inoxidable puede ser empleado con buen éxito.

El número de electrodos debe ser suficiente para que la resistencia total, entre la barra de tierra y el terreno, no exceda de un ohm, para -- estaciones importantes, pudiendo ser un poco mayor para estaciones pequeñas. Como la resistencia de contacto a tierra de un solo electrodo varía alrededor de 15 ohms en terrenos húmedos, se deduce que, en condiciones medias, el número de electrodos debe ser mayor de 15 en plantas importantes, no debiendo ser, en ningún caso, menor de 3.

La localización de los electrodos se hace sobre la idea de cubrir la -- mayor superficie posible de terreno y de aumentar el contacto con tierra en las esquinas de la malla que se forma al unir los electrodos -- disponiendo un par extra de estos en dichas esquinas, separados convenientemente. Es muy común que los electrodos estén en la parte externa del edificio de la planta, alineados paralelamente a los muros.

B - Barra de tierra.

Está constituida por una o varias soleras y cables de cobre, de sección mayor de 100 mm. cuadrados, unida a cada electrodo por soldadura autogena u otro medio que produzca una conexión perfecta y permanente a prueba de corrosión. El calibre de la barra no debe ser menor que el conductor más grueso conectado en derivación a ella y procedente del equipo o estructuras. Es conveniente que la barra pueda ser dividida -- en dos o tres partes, por medio de eslabones atornillados, para facilitar la medida periódica de la resistencia de contacto de los electrodos a tierra, según el procedimiento de "tres tierras" u otro, pero -- esos eslabones deben estar situados de manera de ser fácilmente revisados con frecuencia y mantenidos en perfecto estado y libres de corrosión. Es conveniente que la barra forme un anillo, cerrando el principio con el fin por medio de uno de los eslabones citados.

Como ya se dijo, generalmente la barra de tierra ocupa el perímetro de la estación y tiene las conexiones transversales suficientes para servir a cualquiera parte del equipo; pero, por motivos de seguridad, se prefiere conectar las terminales de los cables de guarda de la línea y de los pararrayos de estación a la parte periférica de la barra, direc

tamente, sin usar las transversales para ese objeto.

En caso de haber numerosas conexiones formando red dentro del perímetro, no es practicable la división de la barra en dos o tres partes. La prueba periódica deberá ser efectuada con ayuda de tierras externas y separadas de la estación convenientemente.

C - Conexiones a tierra.

Los conductores usados para conectar las estructuras de interruptores, transformadores, desconectados, armazones o tanques de T.P. y de T.C., neutros de generador o transformador, etc., deben tener capacidad momentánea de corriente igual a la intensidad de falla a tierra, y, en general, tener un calibre no menor que el de los conductores primarios correspondientes, con objeto de que, en caso de falla, no sea el conductor a tierra el que actúe como fusible, aumentando el peligro existente.

T.P. ; TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

T.C. ; TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

CAPITULO VI
MANTENIMIENTO Y PRUEBAS

MANTENIMIENTO Y PRUEBAS.

Mantenimiento Preventivo.

El Generador Síncrono con enfriamiento de Hidrógeno es -
practicamente un dispositivo libre de mantenimiento ya
que por ser hermético no tiene problemas de ensuciamien-
to.

En el caso de las máquinas hidráulicas se tienen más pro--
blemas y es muy importante mantenerlas limpias libres -
de aceite, polvo y humedad.

Sin embargo durante los Mantenimientos Mayores de cada
dos años se recomienda lo siguiente:

1. Efectuar Pruebas de Megger a cada fase y alta ten--
sión.
2. Revisión del estado de los amarres de los cabezales
de las bobinas.
3. Revisión si no hay ensuciamiento por aceite.
4. Revisión de cuñas sin sacar el rotor.
5. Revisión y limpieza de enfriadores.
6. Revisión de terminales.
7. Revisión del Rotor, pruebas de Megger y limpieza
de anillos.
8. Limpieza y apriete de conexiones de Excitatriz.
9. Revisión de Detectores de temperatura.
10. Revisión y prueba de Hermeticidad.

En operación se reduce el mantenimiento al cambio de escobillas, revisión de el aislamiento de las chumaceras, revisión de la escobilla de tierra y detección - de fugas de Hidrógeno si aumenta su consumo.

La supervisión en operación desde luego como ya se dijo observa las temperaturas de operación del hidrógeno, devanados del estator y rotor; y vigila que se trabaje dentro de la capacidad de la máquina.

Cada diez años es conveniente:

1. Desarmar completamente extrayendo el rotor.
2. Revisar cuñas y reponerlas si están flojas así como sus amortiguadores.
3. Reamarrar cabezales.
4. Efectuar pruebas de aislamiento de CD y CA.
5. Revisión del sistema de Sellos.
6. Revisión de ajuste de campanas del Rotor.
7. Revisión de separadores del Rotor
8. Revisión de conexiones de bushings de salida.
9. Verificación y rectificación de conmutadores de las excitatrices.
10. Verificación de desgaste de anillos, apriete de conexiones, portaescobillas y sistemas de Excitación.

PRUEBAS MEGGER

El megger es un instrumento que se emplea para medir la resistencia de las aislaciones, como la resistencia entre los bobinados y carcasas de máquinas eléctricas, y la resistencia de la aislación de cables, aisladores y casquillos. El megger consta de dos partes 1) - una dinamo accionada a mano (magneto) o una batería de alto voltaje "B", que suministra la tensión para hacer la medición y 2) un tipo especial de dispositivo móvil.

Antes de emplear el megger se verifica la tensión del circuito para cerciorarse de que no circula corriente, porque el megger sólo se puede usar en circuitos sin corriente. Entonces se conectan los dos terminales del instrumento a tierra para asegurar una buena conexión a tierra y el buen funcionamiento del mismo. Seguidamente se conecta el megger con el circuito que se va a probar y se acciona la manivela, generándose un alto voltaje en los terminales del megger. A raíz de esto pasa corriente por el circuito a la aislación que se está probando. Este flujo de corriente se mide en el dispositivo móvil como en el óhmetro, pero, a diferencia a éste, el megger está calibrado para medio megohms. La resistencia normal para un circuito aislado de tierra es de varios cientos de megohms. Si el instrumento acusa valor bajo, hay contacto a tierra y es menester reemplazar el circuito.

El contacto a "tierra" sirve de punto de referencia para las mediciones de voltaje y resistencia en los circuitos eléctricos. Todos los grandes objetos metálicos (como cajas de motores, cajas de interruptores y cajas de transformadores) relacionados con los equipos eléctricos, están conectados directamente a tierra. El megger determina si cualquiera de los conductores interiores de un motor o transformador ha entrado en contacto con la caja metálica (ha hecho "tierra") o si corre peligro de hacerlo.

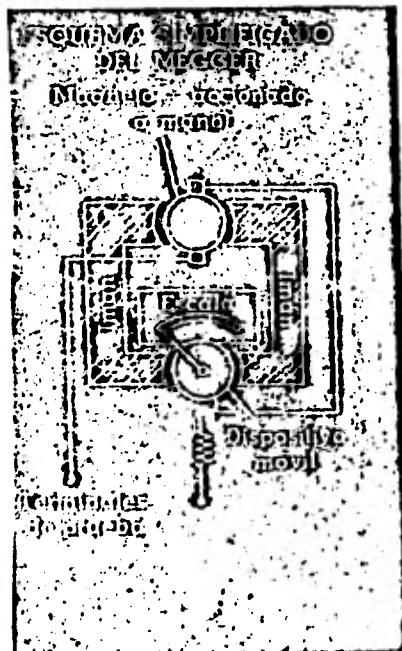


FIG. 6-1

A veces la humedad de la aislación reduce la resistencia del aislante hasta un megohm. La humedad puede eliminarse secando la aislación con estufas, juegos de lámparas o corriente de aire caliente. Las bobinas de campo pueden secarse haciéndose pasar corriente.

Para probar las filtraciones de aislación o bobinas con contacto a masa en máquinas de corriente continua, se conectan los electrodos del megger con la carcasa y los terminales externos. Se acciona la manivela del megger a velocidad constante y moderada. Si el megger indica varios megohms o más, la aislación está en buen estado. Si indica menos de un megohm, parte de la aislación es defectuosa y se debe localizar la filtración. Los terminales del campo deben desconectarse del inducido y probarse por separado.

El método para hacer las pruebas es el que aparece en la figura 6-2 para probar el campo se conecta el megger con uno de los lados del campo y con la carcasa. Para probar la armadura, se conecta el instrumento entre el árbol y las delgas del colector. Si el megger indica varios megohms quiere decir que la aislación tiene una resistencia normal, pero si indica menos de dos megohms, por ejemplo, la filtración es excesiva y eventualmente la aislación se deteriorará. Por supuesto, si el megger indica cero significa que la aislación está rota y que la bobina hace cortocircuito con la carcasa de la máquina.

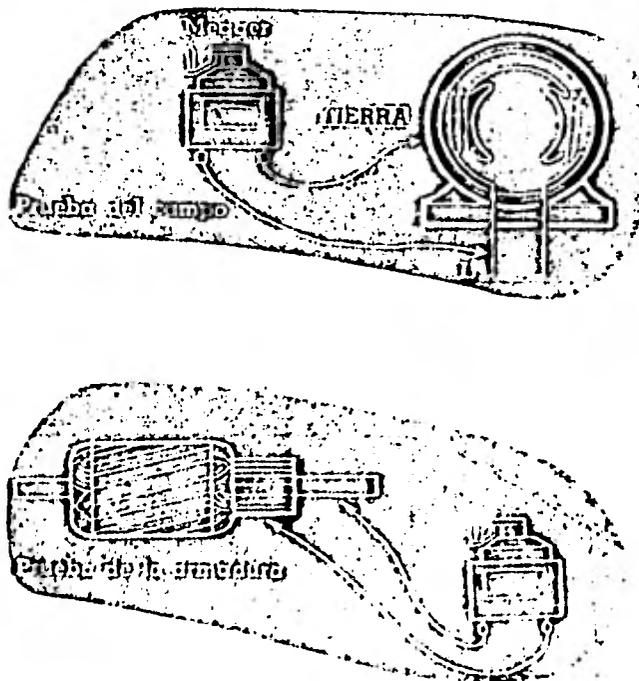


FIG 6-2

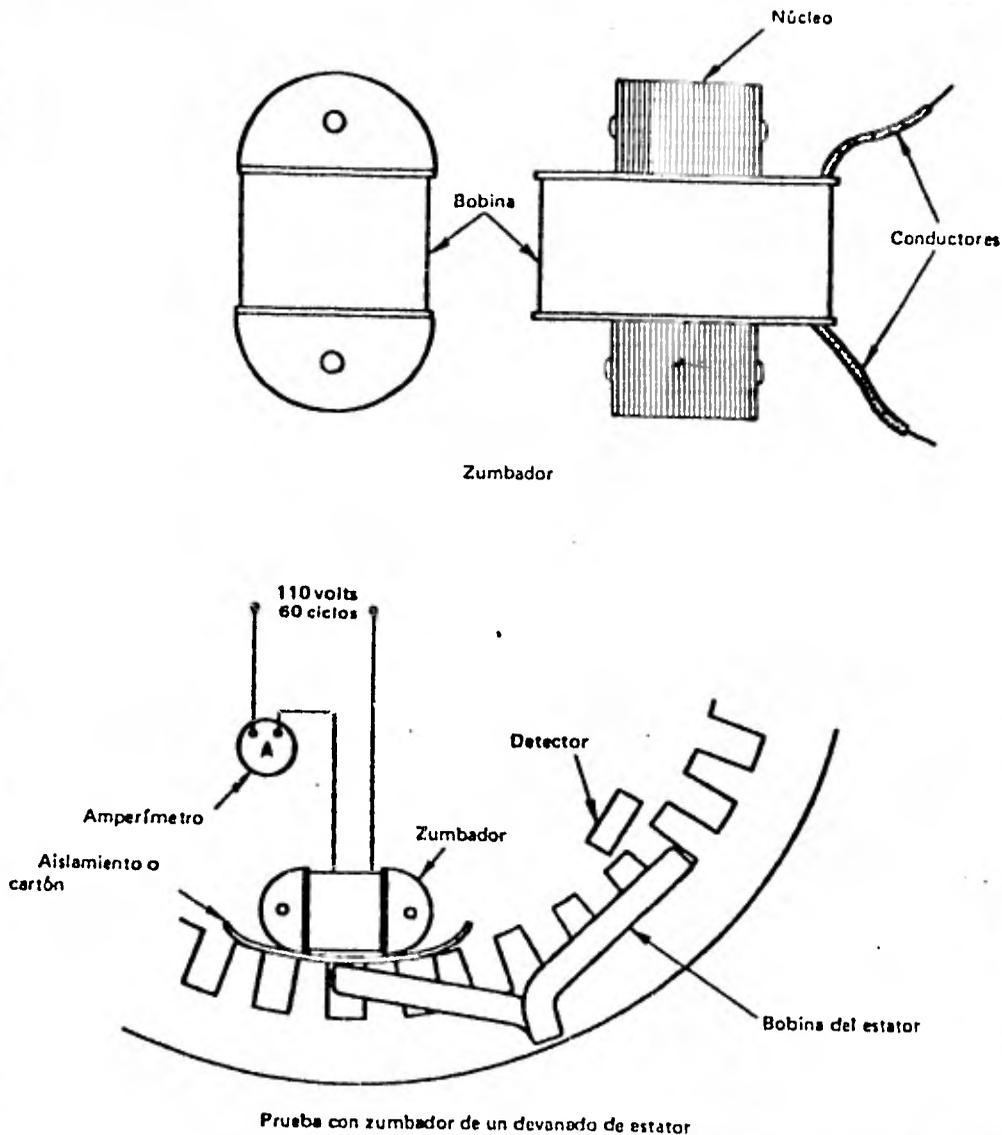


FIG. 6-3

Mediante pruebas de continuidad se descubren con facilidad circuitos de bobina abiertos, ya sea en los rotors o en los estatores. Las bobinas en corto circuito se localizan más fácilmente mediante la utilización de un "zumbador". Este instrumento consiste en un yugo y un devanado electromagnético excitado por una fuente de c-a. Se coloca el yugo sobre cualquier parte del devanado sometido a prueba, formando un puente entre el yugo y una sección de las ranuras que contienen al devanado puesto a prueba. En estas condiciones, el devanado del yugo hace las veces de devanado primario de un transformador y el devanado sometido a prueba actúa como el secundario. La figura 6-3 ilustra esta prueba.

Si una espira está en corto circuito se elevará la corriente del circuito (yugo) y lo indicará al amperímetro. Si se permite que esta corriente subsista un corto tiempo, la espira o bobina defectuosa puede identificarse por el calor que desprende el punto defectuoso. Los devanados del estator, tanto de alternadores como de motores, pueden probarse empleando este método.

PRUEBAS DE IMPULSO.

Debido a que todo el equipo estará sometido durante su operación a sobrevoltajes causados por descargas atmosféricas, operaciones de maniobra (switchero), etc., es necesario hacer sobre tal equipo pruebas que indiquen la capacidad de estos para soportar los sobrevoltajes durante su operación normal.

Las pruebas no reproducirán las condiciones de operación exactamente, pero pueden proveer un criterio basado en experiencias acumuladas para saber que tan satisfactorio puede ser el servicio esperado de un equipo.

La prueba normalizada en la actualidad para demostrar la capacidad de un equipo eléctrico a sobrevoltajes, es la de la Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC), que recomienda una onda de $1.2/50 \mu \text{ seg.}$ Esta onda reproduce la mayoría de los efectos más severos por sobrevoltajes debido a descargas atmosféricas, un frente de onda rápido que da una distribución de voltaje no lineal, y una larga cola de onda que conduce a reflexiones de voltaje que produce altos voltajes en algún equipo.

La onda normalizada de prueba de la IEC de $1.2/50 \mu \text{ seg}$ ha sido usada por muchos años, considerando que la principal causa de sobrevoltajes en el equipo eléctrico eran las descargas atmosféricas; sin embargo, en los últimos años con el incremento de voltaje en los sistemas, los sobrevoltajes por operaciones de maniobra han venido a incrementar los problemas.

Como existe un gran rango de ondas de voltaje por operaciones de maniobra, no ha sido normalizada una forma de onda para determinar la capacidad de un equipo para soportar los sobrevoltajes por switchero, entonces, la prueba en este caso está basada en una onda de $1.2/5- \mu \text{seg}$, y la capacidad para soportar sobrevoltajes por switchero en el equipo eléctrico se ha estimado entre 75 y 85 o/o del valor de $1.2/50 \mu \text{seg}$.

La dificultad en la especificación de una onda de switchero para prueba se puede observar en los siguientes diagramas:

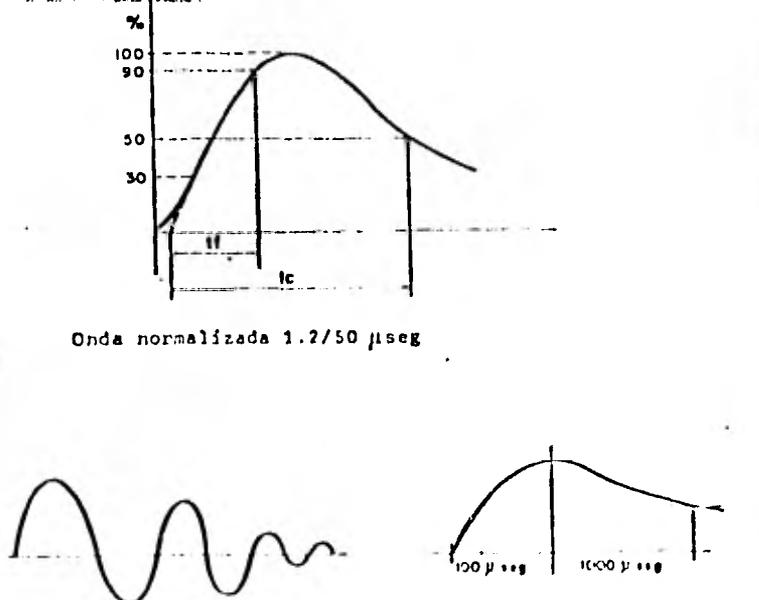


FIG. 6-4 FRECUENCIA 200 C/SEG - 10 KC/SEG

PRUEBAS DE CORRIENTE DIRECTA.

Pruebas dieléctricas. El propósito que se persigue en las pruebas dieléctricas es cerciorarse de que el aislamiento de la máquina en cuestión es capaz de soportar las cargas de voltaje que se le han de imponer durante la operación en condiciones normales y, posiblemente, también anormales.

La aplicación del alto voltaje de corriente directa que se necesita para la ejecución de la prueba dieléctrica encierra serios peligros, ya que el alto voltaje de esta corriente no solamente puede causar la perforación o el deterioro del aislamiento, sino que también puede provocar quemaduras intensas en el laminado de la máquina misma; porque la capacidad necesaria para la prueba de máquinas grandes es tal que, en caso de una falla, el arco que se forma es seguido por el desarrollo de energía en grandes proporciones. A pesar de esto, el riesgo que implica la prueba tiene en muchos casos menor importancia que un paro prolongado como consecuencia de una falla de aislamiento durante el proceso de trabajo, al impulsar alguna maquinaria de importancia vital.

El voltaje de prueba aplicable a máquinas nuevas, o a las bobinas de máquinas cuyo devanado y materiales aislantes han sido renovados en su totalidad y que está especificado por los estándares del AIEE y ASA, equivale al doble de voltaje de régimen más 1 000 --- volts sostenido durante 60 seg, exceptuando los devanados del campo magnético de los motores sincrónicos, a los que se les aplica un voltaje de prueba 10 veces mayor que el voltaje de la excitatriz, pero no menor de 1 500 volts. Para máquinas en uso, o para máquinas reparadas, no se han prescrito estándares; pero en la práctica se ha establecido la aplicación de voltajes de prueba de corriente al terna equivalentes al 65 y 75% del voltaje de prueba para devanados nuevos. El porcentaje menor se emplea para embobinados más viejos.

Durante los años recientes se ha ido generalizando el empleo de corriente directa de alto voltaje para pruebas. Esta tiene numerosas ventajas sobre la corriente alterna para la práctica de pruebas. La capacidad necesaria es pequeña y el efecto de la prueba para localizar el aislamiento debilitado es comparable al de la prueba con la corriente alterna. La unidad que se utiliza es mucho más pequeña que el transformador de pruebas; el equipo que se requiere para la revisión de máquinas grandes en corriente directa puede transportarse con comodidad en un automóvil, mientras que para el transporte del transformador es necesario un camión grande. El dispositivo es del sistema electrónico y consiste básicamente en un circuito de rectificación de alto voltaje. Instrumentos especiales se encargan de medir la corriente y el voltaje. Otra ventaja de primordial importancia es que, en caso de una falla del aislamiento durante la prueba, no resultarán quemaduras en los núcleos de hierro a consecuencia de la baja capacidad de potencia que se emplea. El equipo de prueba se conecta a la red de alumbrado -

de 60 ciclos. Se han establecido valores de prueba en los que se ha aplicado un voltaje de corriente directa 60% mayor que el empleado por lo general en pruebas hechas con corriente alterna. Probablemente se ha generalizado en la actualidad el método de prueba a base de corriente directa, ya que el equipo correspondiente es muchos menos costoso, sobre todo si se le compara con el valor de un transformador de pruebas con capacidad suficiente para probar el embobinado de máquinas grandes, mientras que el mismo dispositivo de corriente directa sirve para probar el devanado de las máquinas más pequeñas hasta las más grandes.

PRUEBA DE ALTA TENSION DE CD.

Esta prueba se realiza aplicando diferentes escalones de tensión de C.D. al embobinado partiendo de valores bajos hasta alcanzar valores mayores que el nominal.

Entre escalón y escalón se deja un tiempo predeterminado con objeto de que la capacitancia del embobinado se cargue y se mida el valor de corriente de fuga por la resistencia únicamente.

La prueba por tanto después de cada escalón al dividir la tensión aplicada entre los micro amperes de fuga nos dará un valor de resistencia el cual se va graficando.

La prueba debe suspenderse cuando se alcance el valor de la mitad de la resistencia que se tuvo inicialmente.

Entonces se observa la aparición de una rodilla la cual indica presencia de efecto corona pronunciado en los huecos del aislamiento. En ocasiones si el aislamiento es muy bueno no aparecerá tal rodilla, o aparecerá siendo productos de las fugas por los cabezales.

Se anexan pruebas efectuadas al estator del Generador No. 2 de Valle de México de 150 MW y 150 KV.

PRUEBA DE ALTA TENSION DE CORRIENTE DIRECTA.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 DIVISION TERMICA IXTAPANTONGO
 PLANTA VALLE DE MEXICO
 UNIDAD No. 2

FECHA Julio 11 de 1974
 TEMP. DEVARADO 26 °C
 EQUIPO A PROBAR ESTATOR DE GEN.
 PARTE PROBADA FASE A T1-T4

TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MEG-OHMS	TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MEG-OHMS
0'	5			(1H)2'	13	2.5	5.200
0'15"	5	6	833.3	4'	13	2.5	5.200
0'30"	5	5	1,000	6'	13	2.5	5.200
0'45"	5	3	1,666	7'	13	2.5	5.200
1'	5	2.5	2,000	7'15"	15	7	2,142
1'30"	5	2	2,500	7'30"	15	6	2,500
2'	5	1.5	3,333	8'	15	4	3,750
3'	5	1.5	3,333	8'30"	15	4	3,750
5'	5	1.5	3,333	12'	15	2.5	6,000
8'	5	1.5	3,333	13'	15	2.5	6,000
10'	5	1	5,000	14'	15	2.5	6,000
INDICE DE POLARIZACION				16'	15	2.5	6,000
11'	5	1	5,000	18'	15	2.5	6,000
12'	5	1	5,000	20'	15	2.5	6,000
13'	5	1	5,000	20'15"	17	6	2,125
14'	5	0.9	2,222	20'30"	17	5	3,400
16'	5	1	5,000	21'	17	4	4,250
18'	5	1	5,000	21'30"	17	3.5	4,557
20'	5	0.6	6,250	22'	17	3.5	4,857
22'	5	0.9	5,555	23'	17	3.5	4,857
24'	5	0.8	6,250	24'	17	3.5	4,857
26'	5	0.8	6,250	26'	17	3.5	4,857
28'	5	0.8	6,250	28'	17	3	5,666
30'	5	0.8	6,250	29'	17	3	5,666
30'15"	9	3	3,000	29'15"	19	4	4,750
30'30"	9	2.5	3,600	29'30"	19	4	4,750
31'	9	2	4,500	30'	19	3.5	5,428
31'30"	9	2.5	3,600	30'30"	19	3.5	5,428
32'	9	2.5	3,600	32'	19	3	6,333
33'	9	2	4,500	33'	19	3	6,333
34'	9	2	4,500	34'	19	3.5	5,428
35'	9	2	4,500	36'	19	3	6,333
36'	9	2	4,500	38'	19	3	6,333
38'	9	2	4,500	DESCARGA			
40'	9	1.5	6,000	0'15"	10	170	50.52
42'	9	1.5	6,000	0'30"	5	70	71.42
44'	9	1.5	6,000	0'45"	1	30	33.33
46'	9	1.5	6,000	1'	0.1	15	6.66
48'	9	1.5	6,000	2'	0.05	5.5	9.09
50'	9	1.3	6,923	3'	0.05	3.5	14.28
50'15"	13	5	2,600	4'	0.05	2.8	17.85
50'30"	13	4	3,250	5'	0.05	2	25.0
51'	13	3.5	3,714	6'	0.05	1.5	27.77
51'30"	13	3	4,333	7'	0.04	1.6	25.0
52'	13	3	4,333	8'	0.03	1.2	25.0
54'	13	3	4,333	9'	0.02	1.1	18.18
56'	13	3	4,333	10'	0.01	1	10
58'	13	3	4,333				
60'	13	2.5	5,200				

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 DIVISION DE INVESTIGACIONES FÍSICO-QUÍMICAS
 LABORATORIO DE INVESTIGACIONES EN FÍSICA
 UNIDAD No. _____

PROYECTO DE INVESTIGACION No. _____
 EQUIPO A PROBAR No. _____
 PAPER PROBADA No. B _____

TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MES-ONS	TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MES-ONS
0'	5			(1H)2'	13	2.5	4.714
0'15"	5	5	1,000	4'	13	2	6.500
0'30"	5	3.5	1,422	6'	13	2	6.500
0'45"	5	2.5	2,000	7'	13	2	6.500
1'	5	2	2,500	7'15"	15	3	3,000
1'30"	5	1.5	3,333	7'30"	15	4	3,750
2'	5	1.2	4,166	8'	15	3.5	3,947
3'	5	1.1	4,545	8'30"	15	3	5,000
5'	5	0.8	6,233	12'	15	3.5	4,200
8'	5	0.6	8,333	13'	15	3.5	4,285
10'	5	0.5	10,000	14'	15	3.5	4,285
INDICE DE POLARIZACION				16'	15	3	5,000
11'	5	0.5	10,000	18'	15	3	5,000
12'	5	0.5	10,000	20'	15	3	5,000
13'	5	0.3	16,666	20'15"	17	6	2,833
14'	5	0.3	16,666	20'30"	17	5	3,400
16'	5	0.3	16,666	21'	17	5	3,400
18'	5	0.3	16,666	21'30"	17	5	3,400
20'	5	0.4	12,500	22'	17	5	3,400
22'	5	0.4	12,500	23'	17	5	3,400
24'	5	0.4	12,500	24'	17	4	4,250
26'	5	0.3	16,666	26'	17	4.5	3,777
28'	5	0.3	16,666	28'	17	4	4,250
30'	5	0.3	16,666	29'	17	4.5	3,777
30'15"	9	3	3,000	29'15"	19		
30'30"	9	2	4,500	29'30"	19		
31'	9	1.5	6,000	30'	19		
31'30"	9	1	9,000	30'30"	19		
32'	9	1	9,000	32'	19		
33'	9	1	9,000	33'	19		
34'	9	0.9	10,000	34'	19		
35'	9	0.9	10,000	36'	19		
36'	9	0.8	11,225	38'	19		
38'	9	0.8	11,225				
40'	9	0.7	12,857				
42'	9	0.6	15,000	DESCARGA			
44'	9	0.7	12,857	0'15"	10	170	58.82
46'	9	0.6	15,000	0'30"	5	65	76.60
48'	9	0.6	15,000	0'45"	1	40	25.00
50'	9	0.5	18,000	1'	0.1	20	5.0
50'15"	13	4	3,250	2'	0.05	5	10.0
50'30"	13	3	4,333	3'	0.05	3	16.6
51'	13	2.5	4,714	4'	0.05	2	25.0
51'30"	13	2	4,714	5'	0.05	1.9	26.31
52'	13	1.5	4,714	6'	0.05	1.5	33.33
54'	13	1.2	4,714	7'	0.04	1.1	36.36
56'	13	1	4,714	8'	0.03	1	30.0
58'	13	0.8	4,714	9'	0.02	1	20.0
60'	13	0.7	4,714	10'	0.01	1	10.0

FIG. 6-6

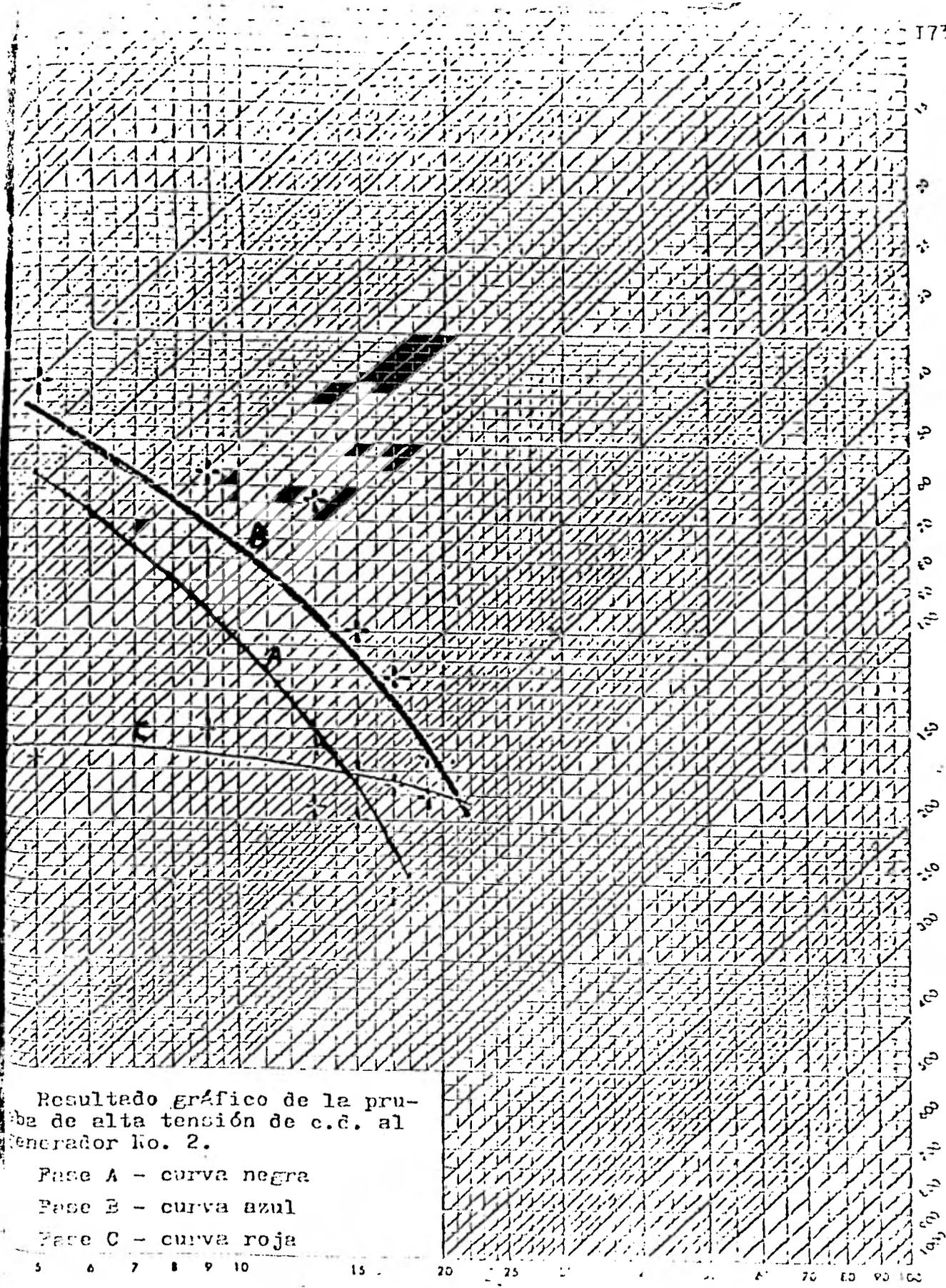
PRUEBA DE ALTA TENSION DE CORRIENTE DIRECTA.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 COMISION TECNICA INDEPENDIENTE
 CIUDA VALLARTA DE MEXICO
 CADA No. 2

FECHA: Julio 12 de 1974
 TEMP. DEVALUADO 25 °C
 EQUIPO A PROBAR ESTADOR DE GEN.
 PARTE PROBADA FASE C T2 - 05

TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MEG-OHMS	TIEMPO MIN.	VOLTAJE KV.	MICRO-AMP.	MEG-OHMS
15"	5	6	633	(1H)2'	13	0.8	16,250
30"	5	4	1250	4'	13	0.8	16,250
45"	5	3	1600	6'	13	0.8	16,250
	5	2	2500	7'	13	0.8	16,250
	5	1.5	3333	7'15"	15	5	3,000
30"	5	1	5000	7'30"	15	2.2	6,818
	5	0.8	6250	8'	15	2	7,500
	5	0.6	8250	8'30"	15	1.5	10,000
	5	0.8	6250	12'	15	2	7,500
	5	0.8	6250	13'	15	1.5	10,000
	5	0.8	6250	14'	15	1.5	10,000
DICE DE POLARIZACION				16'	15	1.5	10,000
	5	0.8	6,250	18'	15	1.5	10,000
	5	0.6	8,333	20'	15	1.5	10,000
	5	0.5	10,000	20'15"	17	3	5,666
	5	0.3	16,666	20'30"	17	3	5,666
	5	0.3	16,666	21'	17	2.8	6,070
	5	0.3	16,666	21'30"	17	2	8,500
	5	0.3	16,666	22'	17	2	8,500
	5	0.3	16,666	23'	17	2	8,500
	5	0.3	16,666	24'	17	2	8,500
	5	0.3	16,666	26'	17	2	8,500
	5	0.2	25,000	28'	17	2	8,500
	5	0.2	25,000	29'	17	2	8,500
0'15"	9	2	4,500	29'15"	19	6	3,166
0'30"	9	2	4,500	29'30"	19	5	3,800
	9	1.5	6,000	30'	19	4	4,750
30"	9	1	9,000	30'30"	19	4	4,750
	9	1	9,000	32'	19	4	4,750
	9	1	9,000	33'	19	4	4,750
	9	1	9,000	34'	19	4	4,750
	9	1	9,000	36'	19	3.5	5,428
	9	1	9,000	38'	19	3.5	5,428
	9	0.6	11,125				
	9	0.6	11,125				
	9	0.8	11,125	0'15"	10	160	62.5
	9	0.8	11,125	0'30"	5	75	66.6
	9	0.8	11,125	0'45"	1	30	33.3
	9	0.7	12,857	1'	0.1	17	5.83
	9	0.7	12,857	2'	0.05	5	10.0
15"	13	3	4,333	3'	0.05	3.5	14.28
30"	13	2	6,500	4'	0.05	2.4	20.83
	13	1.5	8,666	5'	0.05	2	25.0
30"	13	1	13,000	6'	0.05	1.6	31.25
	13	1	13,000	7'	0.04	1.2	33.33
	13	1	13,000	8'	0.03	1.0	30.00
	13	1	13,000	9'	0.02	1.0	20.00
	13	1	13,000	10'	0.01	0.9	11.1
	13	0.6	16,250				

FIG. 6-5



Resultado gráfico de la prueba de alta tensión de c.d. al generador No. 2.

- Fase A - curva negra
- Fase B - curva azul
- Fase C - curva roja

KILOVOLTS

FIG. 6-8

PRUEBAS DE A.T. DE CORRIENTE ALTERNA.

En la fábrica específica C. F. E. que las bobinas sean probadas cuando menos a tres veces la tensión nominal entre fases de la máquina por minuto con C. A.

Con el embobinado completo montado en fábrica se le debe aplicar una tensión de $2 V_{nom} + 1\ 000$ Volts a 60 Hz.

Cuando se monta en la Central el Generador y antes de entrar en servicio nuevo, estando seco y con pruebas de Megger aceptables se probará al 85% del valor de fábrica por un minuto.

Es posible efectuar esta prueba con corriente directa en vez de corriente alterna con un factor de conversión de 1.7

O sea si se prueba con C.D. el valor de C.A. deberá multiplicarse por 1.7

Para pruebas de fábrica de C.A.: para el rotor deben ser de 10 veces la tensión de excitación sin que sea menor de 1 500 Volts.

OPRUEBAS DE F.P.

Se consideran que estas pruebas en un futuro cercano - nos darán información más profunda del estado de los - devanados. Se tienen ya probadores de 10 KV pero --- presentan graves problemas porque por la gran capaci-- tancia del Generador al aplicarle C.A. se le debe poner un reactor en resonancia para que la medición sea más precisa y que la capacidad del aparato alcance.

Sin embargo por el momento se tiene en la etapa de im plementación y experimentación.

Montaje de cojinetes

Debe ejercerse mucho cuidado al montar los cojinetes sobre los ejes o en las chumaceras para que no se haga daño alguno. Se recomiendan guidores de cojinetes siempre que sea posible. Cuando se presionan o colocan los cojinetes sobre los ejes o dentro de las chumaceras, se recomiendan guidores, como los que se muestran en la fig. 6-9. Estos guidores alinean al cojinete a escuadra con el agujero o con el eje, haciendo mucho más fácil la instalación. Los guidores previenen el entallado de las pistas de rodamiento o de los rodillos, y evitan que las jaulas sufran daño. Debe tenerse cuidado de ver que el guidor, ya sea el mostrado en la ilustración o bien una barra de acero, no haga contacto con la jaula o separador del cojinete. La jaula, que está hecha de acero blando, se doblará o distorsionará fácilmente. Cualquier distorsión de la jaula causará que los rodillos se inclinen o pierdan su alineamiento, con lo que resultará una falla prematura del cojinete. Guidores similares a los mostrados pueden adquirirse de varios proveedores.

Se recomienda el calentamiento de los conos de cojinete para facilitar el montaje. La expansión de las pistas de rodamiento permitirá que se las coloque sobre los ejes con mucha facilidad. Debe tomarse una precaución, y es la de ver que después de que la pista se ha enfriado, no se retire del apoyo como puede ser su tendencia. Si se retirase, se la debe golpear contra el apoyo. Esto se hace mientras se está enfriando el cojinete, y será fácil lograr que la pista de rodamiento quede sólidamente colocada contra el apoyo. El calentamiento de los cojinetes puede hacerse por medio de una lámpara infrarroja, como se muestra en la fig. 6-10. Otros dispositivos para el calentamiento son las estufas eléctricas de varios tipos o un baño de aceite caliente. Tanto con el aceite caliente como con el calentador de tipo de estufa debe utilizarse control termostático. Es importante que la temperatura de los cojinetes no exceda nunca de 300°F (149°C). Por encima de los 300°F los cojinetes comenzarán a templarse o a reventarse.

Para hacer más fácil el montaje de las pistas de rodamiento exteriores, particularmente con los ajustes muy apretados utilizados en las chumaceras de aluminio o de magnesio, se recomienda el congelamiento de la taza o pista exterior. Este congelamiento o contracción de las pistas se logra en un congelador de baja temperatura, como el mostrado en la fig. 6-11 o en un baño de hielo seco y alcohol. Algunas veces, con ajustes muy apretados, puede ser necesario calentar la chumacera además de congelar la pista de rodamiento para facilitar el montaje.

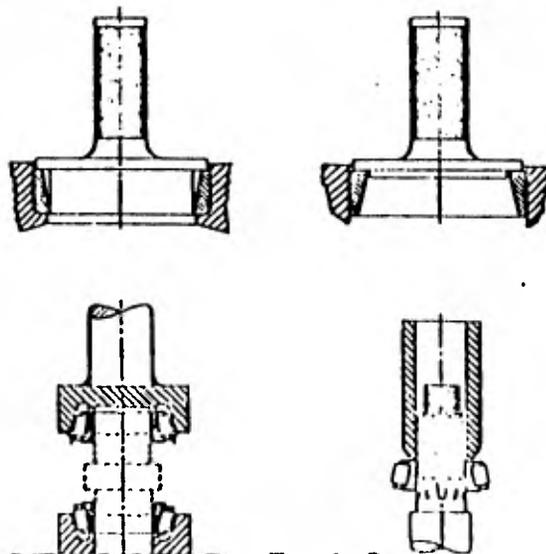


FIG 6-9

Diseño de guidores para tazas y conos de cojinetes



FIG. 6-10 Calentamiento de pistas por medio de rayos infrarrojos.

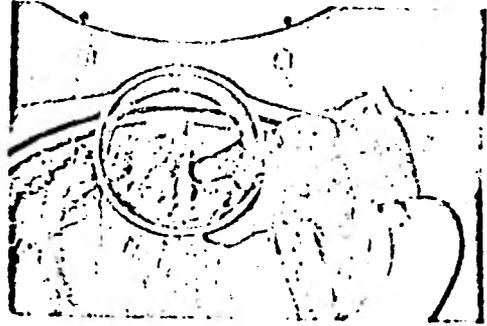


FIG. 6-11 Unidad de congelación a baja temperatura para contraer pistas de rodamiento.

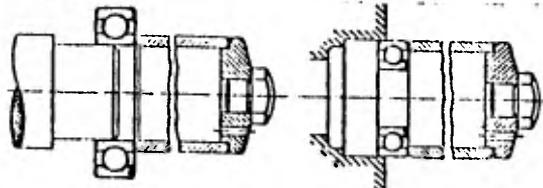
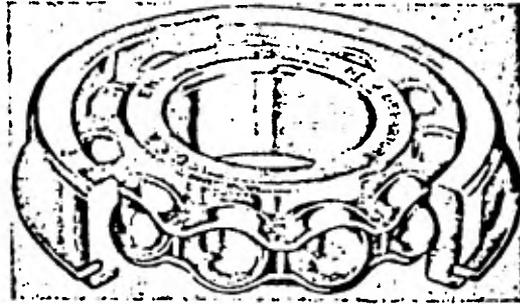


FIG 6-12 Aplicación de fuerza contra el anillo interior, en el montaje, por medio de un tubo.

CABALLOS DE FUERZA			
Servicio	1/4 - 7 1/2	10-40	50-150
Ligero	7 años	5 años	3 años
Normal	5 años	2 años	1 año
Pesado	3 años	1 año	6 meses
Muy pesado	6 meses	3 meses	3 meses

TABLA N.º 6

FIG 6-13 Cortesía de New Departure
División de General Motors Corporation

LUBRICACION.

Los motores se lubrifican empleando varios métodos importantes. Los motores pequeños con cojinetes lisos están provistos de agujeros para aceitado, con tapa de resorte, y se les ha de aceitar periódicamente con un aceite mineral de buena calidad. Se recomienda aceite que tenga una viscosidad de 200 segundos Saybolt, que corresponde, más o menos, al aceite número 10 SAE.

Los cojinetes de los motores y generadores grandes a menudo están provistos de un anillo aceitador que encaja holgadamente en una ranura del anillo y toma el aceite de un depósito colocado debajo del anillo. El aceite de los motores debe cambiarse cuando menos una vez al año, o antes si las condiciones son desfavorables. En otros motores provistos de cojinetes con empaquetadura debe añadirse aceite a intervalos de 1,000 horas. En todos los casos debe evitarse lubricación excesiva. La falta de aceite puede arruinar un cojinete, pero el exceso puede deteriorar el aislante de los devanados.

Otros motores se lubrican con grasa. Se recomienda el cambio de grasa a intervalos regulares, pero las reglas respecto al tiempo para el cambio no son fáciles de determinar debido a las aplicaciones distintas y a los diferentes periodos de uso continuo. En general, la grasa debe cambiarse siempre que tenga que hacerse un ajuste general, o antes si prevalecen condiciones severas de funcionamiento.

La grasa puede quitarse utilizando un disolvente o un aceite mineral ligero, calentado a 165°F (74°C) o utilizando tetracloruro de carbono.

Si se utiliza tetracloruro de carbono debe ponerse mucho cuidado en mantener el disolvente lejos del aislante, y el proceso de enjuague debe llevarse a cabo en un cuarto con buena ventilación.

COJINETES DE BOLAS.

Los cojinetes de bolas deben engrasarse de nuevo a intervalos que se indican en la TABLA N.º 6

Es de suma importancia que los cojinetes de bolas tengan la cantidad correcta y el tiempo adecuado de grasa. Demasiada grasa puede producir calentamiento y otros efectos dañinos. Los rotores de menos de un caballo de fuerza contienen a menudo cojinetes sellados. En servicio normal, estos cojinetes necesitan que se les engrase de nuevo en un periodo de dos años. A estos intervalos se les debe proveer de grasa nueva siguiendo las especificaciones e instrucciones del fabricantes.

Otros motores con cojinetes de bolas están provistos de unos adaptadores de presión que se utilizan con una pistola engrasadora. Con los distintos tipos de motor se emplean diferentes procedimientos de engrase.

C A P I T U L O V I I
F A L L A S E L E C T R I C A S

FALLAS ELECTRICAS.

En operación.

Pueden ser debidas a períodos de calentamiento indebido en los embo-
binados por falla de supervisión.

Pérdida de excitación por apertura de quebradora de campo que provo-
ca que el Generador salga de sincronismo y trabaje como máquina a---
síncrona o de inducción lo que provocara calentamiento de rotor muy-
fuerte y puede dañarlo seriamente. Esto es debido a que el rotor de-
los turbogeneradores es una pieza maciza de acero y no está laminado
Luego no puede tolerar que lo corten las líneas de flujo magnético -
permanentemente.

Apertura de una fase, provoca que se presente un balanceo muy inten-
so y una componente de secuencia negativa elevada que afectará al --
rotor calentándolo pues inducirá un flujo magnético rotando al doble
de la frecuencia con respecto al rotor e induciendo corrientes pará-
sitas muy elevadas, éstas calientan en exceso el rotor.

Motorización.- Se presenta cuando la turbina se dispara y el Genera-
dor queda conectado al sistema. Puede provocar desplazamientos de la
flecha indebidos en el turbogenerador.

Rechazos de carga, se presentan al abrirse o dispararse el interrup-
tor de máquina y estaba a plena carga, el riesgo es que se desboque-
la unidad si no se cierran las válvulas de vapor y que a los auxilia-
res se les aplique esta frecuencia.

En el estator.

Las fallas en el estator pueden ser por falla a tierra de una bobina
por falla entre fases de dos bobinas, y éstas pueden ser a su vez en
ranura o en cabezales contra los detectores de temperatura o contra-
la laminación directa.

La falla puede afectar varias laminaciones superficialmente o profun-
damente.

Por esto durante las pruebas de Megger y A.T. los detectores de temperatura deben aterrizar.

El punto más débil del devanado es la salida de la ranura porque en cortos circuitos ahí tienden los cabezales a enderezarse.

Las fallas de estator son sumamente graves y su reparación puede --- llevar de 2 a 6 meses.

En el rotor

Las fallas a tierra en el rotor por el contrario no son graves en -- tanto sean solo un contacto a tierra. Como en un sistema aislado un contacto a tierra no provoca ningún problema y normalmente se detecta con un relevador y éste sólo manda una alarma.

Sólo que se presenten dos fallas a tierra en distinta polaridad en - el rotor se provocará disparo por pérdida de excitación pero ésta -- contingencia es muy remota.

FALLAS EN OPERACION DE GENERADORES
(PROTECCIONES)

a) Sobrevelocidad.

En todos los generadores manejados por primotores se recomienda la protección contra sobrevelocidad. El elemento de sobrevelocidad deberá responder de la velocidad de la máquina por conexiones mecánicas, ó eléctrica equivalente; si es eléctrica, el elemento de sobrevelocidad no deberá estar afectado en forma adversa por la tensión del generador.

El elemento de sobrevelocidad puede proporcionarse como parte del primotor, o de su gobernador de velocidad o bien del generador; deberá hacer funcionar el gobernador de velocidad, o en cuanto esté provisto otro medio de paro, parar el primotor. Disparará también el interruptor del generador; esto con objeto de impedir el funcionamiento en sobrefrecuencia de las cargas conectadas al sistema alimentado por el generador, y también para impedir el posible funcionamiento en sobrefrecuencia del generador mismo a partir del sistema de c-a. El dispositivo de sobrevelocidad deberá disparar también el interruptor de los auxiliares de donde se toma la potencia de los auxiliares de las puntas del generador. En ciertos casos, puede ser adecuado un relevador de sobrefrecuencia para proporcionar ambas formas de protección. Sin embargo, se refiere un interruptor centrífugo conectado directamente.

El elemento de sobrevelocidad debe ajustarse por lo general para funcionar de 3% a 5% arriba de la velocidad de rechazo de plena carga. Se precisa la protección suplementaria de sobrevelocidad para algunos tipos de turbinas de gas. El fabricante deberá especificar si es necesaria dicha protección para cualquier turbina dada, y cuál deberá ser su ajuste.

b) Sobrecalentamiento del cojinete.

Si sobrecalentamiento del cojinete puede detectarse por un relevador accionado por un bulbo tipo termómetro insertado, en un agujero en el cojinete, o por un relevador detector de temperatura de resistencia, tal como el descrito para la protección de sobrecalentamiento del estator, con el detector alojado en el cojinete. o bien, puede controlarse la temperatura del aceite, donde se hace circular el aceite de lubricación a presión a través del cojinete a condición que el sistema tenga un dispositivo para dar la alarma si el aceite deja de fluir. Dicha protección debe suministrarse en todos los generadores inatendidos cuyo tamaño o importancia lo justifica. En el caso de generadores atendidos, por lo general la protección sólo hace sonar una alarma.

c) Pérdida del sincronismo.

No es probable que un generador pierda el sincronismo con otros generadores en la misma estación a menos que pierda la excitación, para la que por lo general se provee la protección. Si una estación tiene uno o más generadores, y si ésta pierde el sincronismo con otra estación, el disparo necesario para separar los generadores que están fuera de paso. (sincronismo) se hace por lo general en el sistema de transmisión que las interconecta. No es la práctica usual proporcionar protección contra la pérdida de sincronismo en un generador manejado por un primotor; sin embargo, se dispone del equipo de protección contra la pérdida de sincronismo para utilizarlo en una estación generadora si se desea todos los convertidores de frecuencia inducción sincros para la interconexión de dos sistemas deberán tener protección contra pérdida de sincronismo en el lado sincrónico de la máquina. Con grupos sincros-sincros, puede requerirse dicha protección en ambos lados.

d) Sobretensión.

La protección de sobretensión se recomienda para todos los generadores hidroeléctricos o de turbinas de gas que están sujetos a sobrevelocidad y en consecuencia a sobretensión en pérdida de carga. Por lo general no se requiere cuando se trata de generadores de turbina de vapor. Esta protección se proporciona a menudo mediante el equipo de regulación de la tensión. Si no es así, debería proporcionarse mediante un revelador de sobretensión de c-a.

Este relevador tendrá una unidad de acción retardada con puesta en trabajo de casi 110% de la tensión nominal, y una unidad instantánea con puesta en trabajo de casi 130% a 150% de la tensión nominal. Ambas unidades de relevadores se compensarán contra el efecto de la variación de la frecuencia. El relevador estará alimentado de un transformador de potencial distinto al utilizado para el regulador automático de tensión. Su funcionamiento debería, de preferencia, originar primero resistencia adicional que va a insertarse en el circuito del campo del generador o del excitador. Si persiste la sobretensión, se dispararán después el interruptor principal del generador y el del campo de éste o del excitador.

FALLAS DE CONDUCCION:

En los generadores y excitadores, causadas por desconexión de juntas soldadas, bajo la acción de un gran esfuerzo y alta temperatura local; falta de presión en las zapatas terminales, como consecuencia de dilataciones y contracciones repetidas; descompostura de portacarbonos o falta de presión sobre los anillos o el conmutador; ruptura de cables sometidos a flexión repetida; destrucción de elementos del reóstato de campo por sobrecarga, falta de ventilación, etc; apertura indebida de interruptores de campo.

Se deduce del examen anterior que las fallas de conducción son originados por "causas mayores", accidentes, desgaste y desajuste o deterioro lento bajo la acción del oxígeno, humedad, compuestos nitrosos formados por corona, alta temperatura, etc. y que la falta de revisión y detención oportuna permiten su evolución natural. De ellas solo la falta de campo puede causar sobre-intensidad en generadores en paralelo.

FALLAS DE OPERACION:

En generadores y excitadores, causadas por falta o exceso de corriente de campo, con desincronización o factor de potencia baja; inversión de la energía con motivo de regeneración en ferrocarriles o malacates; desconexión de una sección en paralelo o apertura de la del ta; operación monofásica por apertura indebida de un desconectador o fusible; auto-excitación con la corriente capacitiva de una línea larga, o conjunto de cables subterráneos, por inadaptación del regulador de potencial o disparidad entre máquina y la línea; carga desequilibrada más allá de cierto margen, con vibración y reacción de inducido como resultado; rotación contraria por intercambio de fases; falta de impulso mecánico.

El análisis de las fallas de operación indica que su origen radica en accidentes, errores, imprevisión, variaciones irremediables de carga, etc., y que sus efectos son en gran parte de sobrecarga o disminución de eficiencia y calidad en el servicio; pero sólo unas cuantas se manifiestan con fuertes incrementos de corriente, como en el caso de fallas de aislamiento, con las que pueden ser confundidas.

Las fallas de operación se manifiestan por:

- Fuertes aumentos o disminuciones de intensidad, potencial o energía.
- Cambios de sentido de la potencia.
- Desequilibrio en las fases.
- Aumentos de temperatura.

En consecuencia las fallas de operación tienen características semejantes a las de aislamiento y solamente el aumento de temperatura puede distinguirlas de las demás.

Las Fallas de Aislamiento ocurren:

- a) Entre el devanado de un generador y su armazón o núcleo, causadas por destrucción del aislamiento debido a: fricción entre estátor y rotor, sea directamente, o con piezas desprendidas; vibración de las bobinas en las ranuras; exceso de presión en los extremos de la ranura por acción electromagnética anormal; corona en las partes libres de las bobinas; doblez excesivo o repetido de los cables terminales; deterioro progresivo por exceso de temperatura local; sobretensiones prolongadas o repetidas, inducidas en estátor o rotor o de origen externo; humedecimiento de los materiales y disminución de su rigidez dieléctrica abajo del nivel de potencial de trabajo; nitrificación oxidación de materiales aislantes comunes.
- b) Entre polos opuestos de generador, causadas por destrucción del aislamiento entre cabezales de distinta fase o entre costados de una misma ranura, pero de fase distinta, por motivos mecánicos o calentamiento excesivo y prolongado; entre anillos de conexión serie-paralelo de fases distintas; o bien algunas de las causas de falla a tierra cuando la máquina no está puesta a tierra y la causa se extiende a dos fases.
- c) Entre bobinas o entre espiras, de una misma fase, de un generador polifásico, causadas por deterioro mecánico, térmico, humedecimiento, o transformación química de los materiales aislantes usados entre espiras y entre cabezal y cabezal de las bobinas; falta de precaución al soldar las uniones de bobinas en serie; diseño defectuoso de los apoyos de los cabezales; vibración, corona y algunas otras mencionadas = en el inciso número 5.

Después de hacer el análisis de las fallas de aislamiento y darse cuenta de su gran variedad, resaltan los hechos siguientes:

Las fallas a tierra son numerosas y se presentan en todas las partes del sistema, como resultado de accidentes, causas "de fuerza mayor" o desequilibrio entre la rigidez dieléctrica de los aislamientos y la tensión aplicada, sea por disminución de aquella o por aumento de esta; la disminución proviene del deterioro o desgaste, carbonización y nitrificación de las fibras orgánicas, humedad, resequedad, agrietamiento, etc. El aumento corresponde a rayos, olas eléctricas, resonancia y sobre-tensiones en general.

Las fallas de polo a polo, o trifásicas, ocurren en las líneas aéreas con motivo de cruzamientos y rayos y, en las barras descubiertas o mal separadas, en ocasión de un contacto accidental.

Una parte de ellas comenzó por ser falla a tierra y evolucionó hasta envolver dos o tres fases. También se presentan en transformadores y generadores, aunque con menos frecuencia que en líneas y barras, y están sujetas a evolución semejante.

Las fallas de espira a espira son exclusivas de las máquinas y tienen la particularidad de no producir en muchos casos alteración considerable de la corriente, por lo cual pasan inadvertidas en un principio, y cuando se las descubre ya los daños son extensos y profundos.

C A P I T U L O VIII

CALCULO DEL DIAGRAMA FASORIAL DE LA UNIDAD 2 (GENERADOR-SINCRONO) DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE TULA, HIDALGO.

DIAGRAMA FASORIAL.

Es importante conocer la regulación de la tensión, porque demuestra como puede un alternador mantener la tensión en distintas condiciones de trabajo, que van desde la marcha en vacío -- hasta plena carga.

La regulación de un alternador, puede calcularse con precisión partiendo de datos obtenidos con ensayos en circuito abierto o en corto circuito, que exigen muy poca aportación de potencia -- y no necesitan ningún dispositivo para absorber la del alternador. Se utilizan corrientemente cinco métodos para determinar la regulación: el método general; el de la impedancia sincrónica, ó método de la f.e.m.; el método de la f.m.m.; el AIEE (American Institute Of Electrical Engineers) de 1925; y el método de la ASA (American Standards Association).

A continuación se calcula el diagrama fasorial del generador -- síncrono No. 2 de la Termoeléctrica de Tula Hidalgo, con una capacidad de potencia de 346 MVA, marca Mitsubishi, conexión estrella con neutro a tierra, para el cálculo se utiliza el método de la fuerza magnetomotriz (f.m.m.).

La Termoeléctrica de Tula Hidalgo inicio el 18 de Marzo de 1976, con una capacidad inicial de 600 000 KW, para llegar a una capacidad total de generación de 1 200 000 KW. Cuenta con cinco generadores marca Mitsubishi, accionados por turbinas de vapor de 3600 R.P.M.; los excitadores son del tipo sin escobillas su capacidad es de 1200 KW, 375 Volts y 3200 Ampers la unidad completa: excitador - generador. - Turbina se acopla por un solo eje, el generador esta hermeticamente cerrado y enfriado por hidrógeno.

Los generadores se encuentran en el primer nivel de una nave de 20 mts. de altura por 40 mts. de largo (a la altura de 10 Mts.). La capacidad de salida establecida es:

Para las unidades 1 y 2 se acopló un Transformador de 20 / 113 KVA.

Para las unidades 3, 4 y 5 se acopló un Transformador de 20/230 KVA (estas últimas unidades son llevadas a una subestación elevadora de 230 KVA a 430 KVA para transmitir energía hasta el norte del país).

Para el ciclo de generación de vapor se cuenta con un área de almacenamiento de aceite combustible compuesta por cinco tanques de 25 000 000 litros; el combustible se bombea hacia el área de quemado por bombas de 6000 HP, el agua que se transforma en vapor es tratada (agua desmineralizada) para no dañar los sistemas de tubería, una vez transformada en vapor se envía a la Turbina y al salir es condensada y bombeada a las Torres de Enfriamiento por bombas de 6500 HP. y vuelta a reprocesar, la planta es de ciclo combinado.

La Termoeléctrica de Tula Hidalgo, es una de las plantas que cuenta con los generadores más modernos el control de la planta de generación está en el mismo nivel que los generadores, se compone de 2 consolas semicirculares que indican F.P., voltaje nominal, corriente, velocidad, etc. Todos los parametros a controlar y 3 tableros para control de los auxiliares de la estación: bombas de agua, de aceite, etc.

CALCULO DEL DIAGRAMA FASORIAL DEL GENERADOR NO. 2
DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA DE TULA

DATOS:

GENERADOR SINCRONO NO. 2.

CONEXION	ESTRELLA CON NEUTRO A TIERRA.
MARCA	MITSUBISHI.
POTENCIA	346 MVA.
FACTOR DE POTENCIA	90%
FASES	3
POLOS (LISOS)	2
HERTZ	60
RPM	3600
REFRIGERANTE	HIDROGENO (3 Kg./cm ²).
TENSION	20 KV
CORRIENTE	9988 A.
IMPEDANCIA	-----
(a 75°C) TRANSITORIA	X=0.3051Ω
	r=0.001063Ω
NUMERO DE RANURAS	27
CONDUCTORES POR RANURA	2
CORRIENTE DE EXCITACION	2905 A.
VOLTAJE DE EXCITACION	375 V.

Cálculo del diagrama del Generador a Potencia nominal.

$$S = 346 \text{ MVA}$$

$$V_{ab} = 20 \text{ KV}$$

$$F_p = 0.9 \text{ atrazado} \quad \theta^{-1} = \cos 0.9 = 25.8^\circ$$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} V_{ab}} = \frac{346 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 9988.15 \text{ Amp.}$$

$$P_{\text{máx}} = S F_p = 346 \times 10^6 (0.9) = 311.4 \text{ MW}$$

$$V_{\text{an}} = \frac{V_{\text{ab}}}{\sqrt{3}} = \frac{20 \text{ KV}}{\sqrt{3}} = 11547 \text{ V.}$$

Para calcular el diagrama fasorial en cualquier estado de carga es necesario calcular la reacción de armadura A a capacidad nominal (lo que implica corriente F_p nominal) se calcula simulando una prueba de corto circuito. La reacción de armadura en estado de carga dado es proporcional a la reacción de armadura en cualquier otro estado de carga:

$$A_{\text{nom.}} = \frac{3}{2} K_b K_p N_a \sqrt{2} I_{L \text{ nom.}}$$

como K_b , K_p , N_a son constantes, el producto de $\frac{3}{2} K_b K_p N_a \sqrt{2}$ es una constante:

$$A_{\text{nom.}} = \text{Cte } I_{L \text{ nom.}}$$

$$A_x = \text{Cte. } I_{Lx}$$

$$\text{de donde } \frac{I_{\text{nom.}}}{I_{\text{carga}_x}} = \frac{A_{\text{nom.}}}{A_{\text{carga}_x}}$$

Siendo A_x la reacción de armadura en cualquier estado de carga e I_{Lx} - la corriente de línea correspondiente.

Según la curva de corto circuito $I_{L \text{ nom.}}$ se alcanza con $I_c = 1858 \text{ A}$. Este es el valor que corresponde a F , por otra parte, si la máquina está en corto circuito.

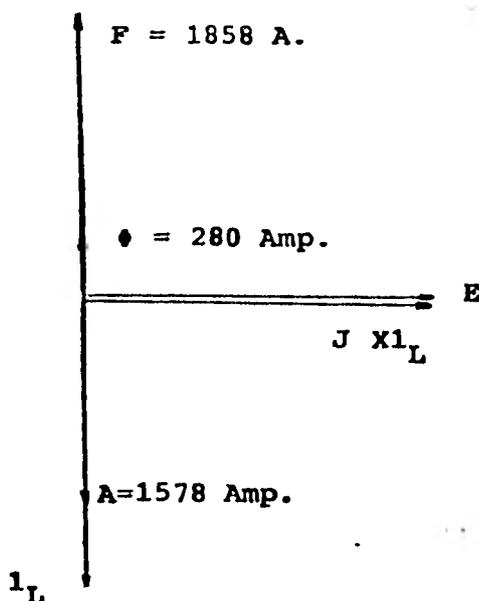
$$E = \Delta V = I_{Lx}$$

$$\Delta V = 9988 \times 0.3051 = 3047 \text{ V.}$$

Como la curva de saturación está en función del voltaje entre fases:

$$V_{ab} = \sqrt{3} \Delta V = \sqrt{3} (3057) = 5294.8 \text{ Volts.}$$

Para este valor de tensión, la curva de saturación de $I_{\text{campo}} = 280 \text{ AMP}$ este valor es el valor que corresponde a ϕ .



$$A = F - \phi$$

$\phi = 280$ Amperes de excitación.

$F = 1858$ Amperes de excitación.

$A = 1578$ Amperes de excitación.

Los flujos magnéticos se dan en amperes de excitación para evitar el cálculo de la reluctancia del circuito magnético.

Así 1578 A es la reacción de armadura que provoca I_L nominal.

La caída de tensión en X y en r son:

$$I_L X = 9988 (0.3051) = 3047 \text{ v.}$$

$$I_L r = 9988 (0.001063) = 10 \text{ v.}$$

HEMOS OBTENIDO.

Reacción de Armadura	A = 1578 Amp' de excitación.
Corriente de línea	I = 9988 Amp. $\angle -25.8^\circ$
Tensión Terminal	Van = 11547 Volts. $\angle 0^\circ$
Caída Reactiva de Dispersión	JIX _a = 3047 Volts. $\angle 64.2^\circ$
Caída Resistiva	Ir _a = 10 Volts. $\angle -25.8^\circ$

Construimos el diagrama fasorial:

a) Mediante Van + JIX_a + Ir_a = E_{an} obtenemos E_{an}

$$E_{an} = 11547 + 3047 \cos 64.2^\circ + J3047 \sin 64.2^\circ$$

$$= 11547 + 3047 \times 0.4352 + J3047 \times 0.9003$$

$$= 11547 + 1326.14 + J2743$$

$$E_{an} = 12873 + J2743$$

$$E_{an} = \sqrt{12873^2 + 2743^2} \times 10^2 \text{ Ang Tan } 2743/12873$$

$$E_{an} = \sqrt{16571 + 752.4} \times 10^2$$

$$E_{an} = \sqrt{17323.4} \times 10^2 = 13161 \angle 12.02^\circ$$

b) Conociendo los valores de los flujos magnéticos en términos de Amperes de excitación tenemos:

$$A = 1578 \angle -25.8^\circ$$

♦ Se obtiene de la curva de excitación en vacío considerando

$$E_{ab} = 1.73 \times 13161 = 22768.5 \text{ V.}$$

Entrando con este valor la curva de saturación nos da:

$$\phi = 1600 \text{ Amp.} \angle 12.02^\circ + 90^\circ$$

$$\phi = 1600 \angle 102.02^\circ \text{ Amp' de excitación.}$$

Sumando vectorialmente:

$$\vec{\phi} = \vec{F} + \vec{A}$$

$$\vec{F} = \vec{\phi} - \vec{A}$$

$$\vec{F} = 1600 \times \cos 102.2^\circ - 1578 \cos -25.8^\circ$$

$$+j1600 \sin 102.2^\circ - j1578 \sin -25.8^\circ$$

$$\vec{F} = 2881 \angle 129^\circ \text{ Amp.}$$

La potencia que estamos generando es 346 MVA con F.P.=0.9 o sea 311.4 MW.

Queremos verificar la fórmula de la Potencia en función del ángulo δ .

$$\delta = 39^\circ$$

Para obtener Eaf. utilizamos un incremento proporcional:
de la curva de saturación.

$$\frac{13161}{1600} = \frac{Eaf}{2900}$$

$$Eaf = \frac{2900}{1600} \times 13161 = 23850$$

$$X_s = \frac{1}{SCR} \quad \text{relación de corto circuito.}$$

$$X_s = X_A + X_a$$

$$P = 3 \cdot \frac{Eaf \cdot V}{X_s} \cdot \text{Sen } \delta$$

$$Eaf = 23850 \text{ V.}$$

$$V = 11547 \text{ V.}$$

$$SCR_{\text{sat}} = \frac{1400 \text{ A}}{1858 \text{ A}} = .753$$

$$X_s = \frac{1}{SCR} = \frac{1}{.753} = 1.3271$$

$$Z_B = \frac{KV_B^2}{S_B} = \frac{20^2}{346} = 1.156 \Omega$$

$$X_s = 1.156 \times 1.327 = 1.534 \Omega$$

$$\text{Sen } 39^\circ = .62$$

$$P = 3 \left(\frac{23.85 \times 11547}{1.534} \right) \times .62$$

$$P = 333 \text{ MW.}$$

La regulación del alternador será, del Diagrama Fasorial:

$$\% \text{ REG} = \frac{13161 - 11547}{11547} \times 100$$

$$\% \text{ REG} = \frac{161400}{11547} = 13.97$$

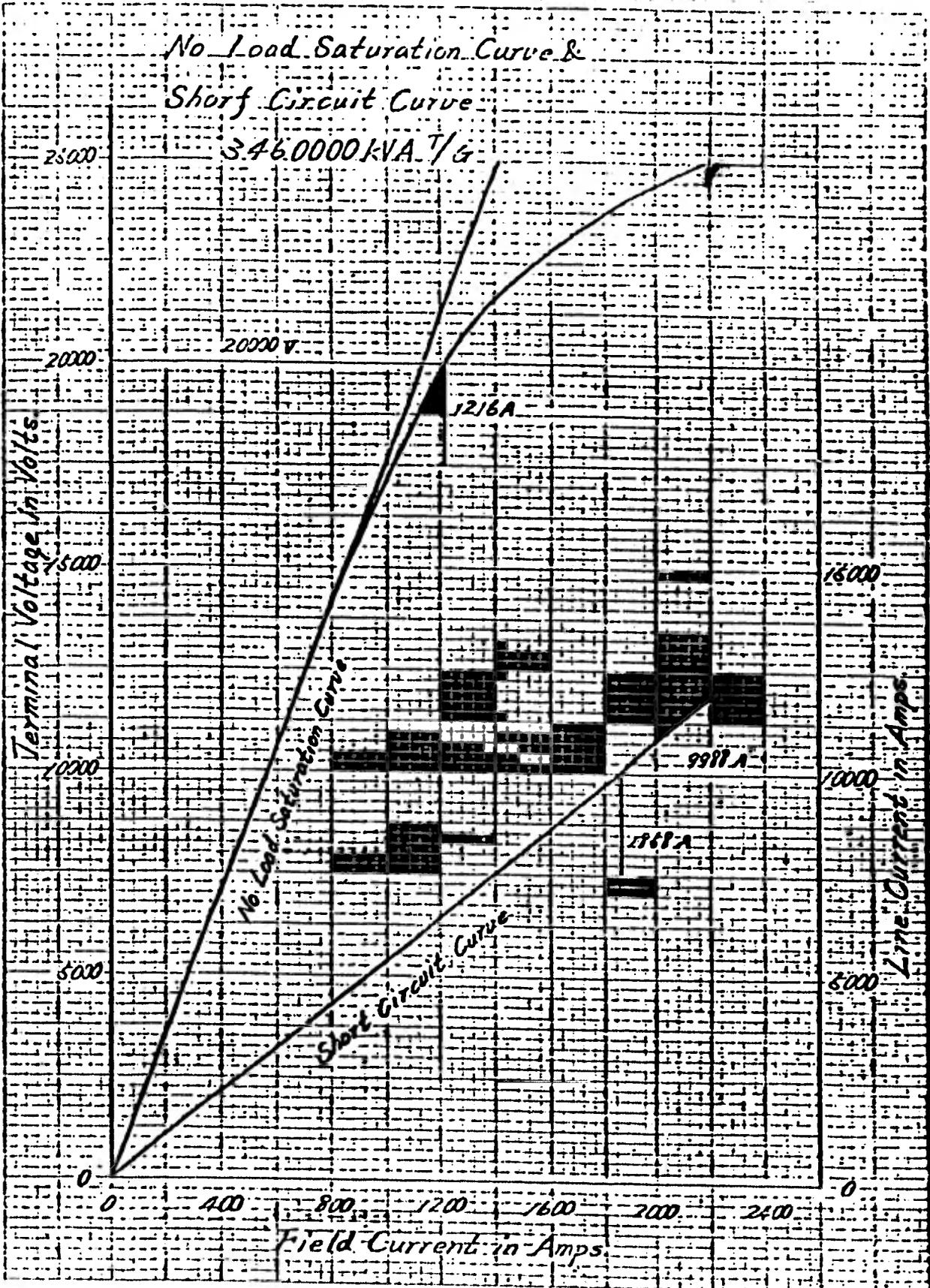


FIG-8-1

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

A través del desarrollo de este seminario pude constatar la importancia de tener un conocimiento más a fondo de los principios de funcionamiento de las máquinas eléctricas. El generador síncrono es una pieza importante en el desarrollo de -- cualquier país. Debido a su capacidad de transformar energía mecánica a eléctrica.

En este seminario se estudia el generador síncrono: sus condiciones de operación y características

actualmente cada día se construyen generadores de capacidades muy grandes, en 1922 se contaba con una capacidad de generación de 20 MW a 3000 R.P.M., actualmente se logran capacidades de potencia de 660 MW a 3600 R.P.M., y la carrera continua, debido a la exigencia cada vez mayor de energía eléctrica.

ANEXO NO. 1

MANUAL DE OPERACION Y SERVICIO

incluyendo información sobre

INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO

DE LOS

GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA TIPO
CAMPO GIRATORIO SIN ESCOBILLAS.

IDENTIFIQUE SU GENERADOR CON LOS SIGUIENTES NUMEROS:

NUMERO DE SERIE

**TIPO
MODELO**

Los dibujos listados a continuación se incluyen como una ayuda para la instalación, operación y mantenimiento de su generador. Téngalos en todo momento junto con este manual de instrucciones:

Dibujo de Conexiones de Cables Terminales:

El propósito de este manual es suministrar al usuario de los generadores POTENCIA 14 y 18, la información requerida para instalar, operar y mantener el generador.

-AVISO-

EN TODO ESTE MANUAL LAS FRECUENCIAS SE EXPRESAN EN HERTZ, EN VEZ DE CICLOS POR SEGUNDO (CPS):

60 Hertz = 60 CPS

-PRECAUCION-

CONECTE LAS LINEAS DE CARGA Y CABLES DENTRO DE LA CAJA DE TERMINALES. DESPUES, AISLE Y ENCINTE LAS CONEXIONES ANTES DE PONER EN MARCHA EL EQUIPO GENERADOR. CONSULTE EL DIAGRAMA CORRECTO PARA LAS CONEXIONES ELECTRICAS EN LAS PAGINAS 14 Y 15 SI NO SE OBSERVA ESTA PRECAUCION, SE PUEDE PRODUCIR UN CORTO CIRCUITO ELECTRICO.

GENERADORES POTENCIA SERIE 14 Y 18

Este Manual contiene las instrucciones para instalación, Operación y Mantenimiento de los generadores POTENCIA síncronos, sin escobillas. Los generadores se fabrican en uno y dos rodamientos. Los generadores de un rodamiento están diseñados para acoplamiento directo a motores de combustión interna, mientras que los generadores de dos rodamientos están diseñados para acoplamientos, a través de bandas o coples flexibles, a los motores eléctricos u otros tipos de máquinas motrices. Esta Serie está disponible en capacidades de 10 a 150 kilowatts. El generador POTENCIA 14 y 18 incluye un excitador rotatorio, integral, sin escobillas, y un regulador de voltaje del tipo estado sólido. El regulador de voltaje está montado en la caja de terminales del generador. Un potenciómetro para ajuste manual de voltaje es estándar de fábrica, y permite el ajuste manual del voltaje de salida.

La Serie POTENCIA ofrece confiabilidad, El diseño sin escobillas y el uso de un regulador de voltaje del tipo de estado sólido, elimina todos los contactos y escobillas móviles. La ausencia de escobillas y contactos susceptibles de desgastarse, asegura una máxima duración en servicio, con un mínimo de mantenimiento preventivo periódico. Los rodamientos son del tipo de bola prelubricados, de gran tamaño. No se requiere lubricación periódica de grasa.

En general, el generador POTENCIA requiere muy poco mantenimiento, fuera de conservarlo limpio.

Para asegurar un mejor rendimiento y máxima duración en servicio, los siguientes aspectos son de especial importancia:

CERCIORARSE DE QUE EL GENERADOR ESTA CORRECTAMENTE ACOPLADO CON LA MAQUINA IMPULSORA.

CERCIORARSE DE QUE EL GENERADOR ESTA CORRECTAMENTE CONECTADO PARA LA DEMANDA O CARGA QUE DEBE ABASTECER.

CERCIORARSE DE QUE LA DEMANDA O CARGA NO EXCEDE DE LA CAPACIDAD DEL GENERADOR.

CERCIORARSE DE QUE HAY DISPONIBLE SUFICIENTE AIRE PARA VENTILACION. MANTENER TODOS LOS CONDUCTOS DE AIRE, LIBRES DE POLVO Y CUERPOS EXTRANOS.

CERCIORARSE DE QUE LA VELOCIDAD DEL GENERADOR ES LA CORRECTA. LA FRECUENCIA ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD DEL GENERADOR. EL GENERADOR DEBE FUNCIONAR A 1800 RPM, PARA TENER UNA FRECUENCIA DE SALIDA DE 60 HERTZ.

C O N T E N I D O

SECCION 1 INTRODUCCION Y DESCRIPCION

	PARRAFO	PAGINA
INTRODUCCION	1.1	1
SISTEMA GENERADOR DE CORRIENTE ELECTRICA POTENCIA	1.2	1
GENERADOR POTENCIA	1.3	1
EXCITADOR POTENCIA SIN ESCOBILLAS	1.4	1
REGULADOR DE VOLTAJE POTENCIA REGUTRON 400	1.5	1
ESPECIFICACIONES	1.6	3
POTENCIAS OPCIONALES PARA EL POTENCIA	1.7	4
TEORIA DEL FUNCIONAMIENTO	1.8	4

SECCION 2 INSTALACION

INSPECCION DE RECIBO	2.1	5
DESEMPAQUE Y ALMACENAJE	2.2	5
UBICACION	2.3	5
MONTAJE DE GENERADORES DE UN RODAMIENTO	2.4	5
ACOPLAMIENTO Y ALINEACION DEL GENERADOR CON ACOPLAMIENTO DE DISCO Y ADAPTADOR EN LA MAQUINA MOTRIZ	2.5	6
MONTAJE DE GENERADORES DE DOS RODAMIENTOS	2.6	7
SELECCION DE IMPULSION PARA GENERADORES DE DOS RODAMIENTOS	2.7	7
IMPULSION POR BANDAS INFORMACION GENERAL	2.8	7
BANDAS TRAPEZOIDALES ("V")	2.9	7
BANDAS PLANAS	2.10	7
BANDAS DENTADAS	2.11	10
ACOPLAMIENTO POR ENGRANES Y ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES - INFORMACION GENERAL	2.12	10
IMPULSION POR ENGRANES	2.13	10
INSTALACION Y ALINEACION DE IMPULSION CON ACOPLAMIENTO FLEXIBLE	2.14	10
VIBRACION	2.15	11
USO DE ESPIGAS DE GUIA	2.16	12
DISPOSITIVOS PROTECTORES	2.17	12
CONEXIONES ELECTRICAS	2.18	12

SECCION 3 OPERACION

PRUEBA DEL EQUIPO ANTES DE LA OPERACION	3.1	16
PROCEDIMIENTOS PARA ARRANQUE INICIAL DEL GENERADOR POTENCIA	3.2	16
INSTRUCCIONES PARA OPERACION DE UN SOLO GENERADOR	3.3	16
INSTRUCCIONES PARA OPERACION DE GENERADORES EN PARALELO	3.4	17
SECUENCIA DE FASES	3.5	17
SINCRONIZACION DE GENERADORES EN PARALELO	3.6	17
DIVISION DE CARGA ACTIVA (KW) ELECTRICA ENTRE GENERADORES EN PARALELO	3.7	17
DIVISION DE KVA REACTIVOS ENTRE GENERADORES EN PARALELO	3.8	17
INTERRUPTOR DE MARCHA MINIMA DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	3.9	18

SECCION 4 MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO PREVENTIVO	4.1	18
INFORMACION PARA LUBRICACION DE RODAMIENTOS	4.2	18
LIMPIEZA	4.3	19
PROTECCION PARA LOS EMBOBINADOS	4.4	19
PRUEBA DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	4.5	19
SECADO DE EMBOBINADOS	4.6	19
PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS DEL EXCITADOR SIN ESCOBILLAS CON UN OHMETRO	4.7	20
PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS DEL EXCITADOR SIN ESCOBILLAS CON UNA LUZ DE PRUEBA	4.8	20

C O N T E N I D O CONT.

	PARRAFO	PAGINA
PRUEBA DEL PROTECTOR CONTRA SOBREVOLTAJE CON LUZ DE PRUEBA	4.9	20
RESTAURACION DEL MAGNETISMO RESIDUAL	4.10	21
PRUEBA DE COMPONENTES DEL REGULADOR DE VOLTAJE	4.11	21
DESMONTAJE DE RODAMIENTOS	4.12	22
INSTALACION DE RODAMIENTOS	4.13	22
LOCALIZACION DE DEFECTOS O FALLAS	4.14	22
INSTRUCCIONES PARA DESARMAR EL GENERADOR POTENCIA DE DDS RODDAMIENTOS	4.15	22
INSTRUCCIONES PARA DESARMAR EL GENERADOR POTENCIA DE UN RODAMIENTO	4.16	25

LISTA DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1-3	CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR	1
FIGURA 1-4	CONJUNTO DE ROTOR DEL GENERADOR Y ARMADURA DEL EXCITADOR	1
FIGURA 1-1	GENERADOR POTENCIA 14 DE CORRIENTE ALTERNA	2
FIGURA 1-2	GENERADOR POTENCIA 18 DE CORRIENTE ALTERNA	2
FIGURA 1-5	REGULADOR ESTATICO REGUTRON 400	3
FIGURA 1-6	DIAGRAMA DE BLOQUE, SISTEMA DE GENERACION POTENCIA	4
FIGURA 2-1	COMPROBACION DE JUEGO LONGITUDINAL DE BALERO	7
FIGURA 2-2	DIMENSIONES PARA ACOPLAMIENTO ENTRE MOTOR Y GENERADOR	8
FIGURA 2-3	MEDICION DE LAS DISTANCIAS DESDE EL ADAPTADOR DEL GENERADOR HASTA LOS DISCOS DE IMPULSION DIMENSION "Y" ..	8
FIGURA 2-4	COMPROBACION DE DESVIACION DE CUBIERTA DEL VOLANTE	8
FIGURA 2-5	COMPROBACION DE DESVIACION DEL VOLANTE DEL MOTOR	8
FIGURA 2-6	ALINEACION DEL GENERADOR Y EL MOTOR CON TORNILLOS DE GUIA (PILOTOS)	8
FIGURA 2-7	MONTAJE DEL GENERADOR EN LA BASE	9
FIGURA 2-8	COMPROBACION DE DESVIACION DE FLECHA DEL GENERADOR	9
FIGURA 2-9	VISTA SECCIONAL DE LOS DISCOS DE IMPULSION Y DEL VOLANTE ..	9
FIGURA 2-10	PRUEBA DE ALINEACION ANGULAR DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR	10
FIGURA 2-11	PRUEBA DE ALINEACION ANGULAR DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR DESPUES DE INSTALAR EL ACOPLAMIENTO	11
FIGURA 2-12	PRUEBA DE LA ALINEACION PARALELA DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR	11
FIGURA 2-13	PRUEBA DE LA ALINEACION PARALELA DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR DESPUES DE INSTALAR EL ACOPLAMIENTO	11
FIGURA 2-14	DIAGRAMA DE CONEXION DEL INTERRUPTOR DE MARCHA MINIMA DEL MOTOR	13
FIGURA 2-15	DIAGRAMA DE CONEXIONES - DELTA 1 SERIE 3 FASES, 3 HILOS, 254V.	14
FIGURA 2-16	DIAGRAMA DE CONEXIONES - DELTA 2 PARALELO: 3 FASES, 3 HILOS, 127 V.	14
FIGURA 2-17	DIAGRAMA DE CONEXIONES - ESTRELLA 1 SERIE: 3 FASES Y NEUTRO 4 HILOS, 440/254 V.C.A.	15
FIGURA 2-18	DIAGRAMA DE CONEXIONES - ESTRELLA 2 PARALELO. : 3 FASES, Y NEUTRO 4 HILOS, 220/127 V.C.A.	15
FIGURA 3-1	SINCRONIZACION DE GENERADORES EN PARALELO CON LAMPARAS DE SINCRONIZACION	18
FIGURA 3-2	REGULADOR DE VOLTAJE REGUTRON 400	18
FIGURA 4-1	PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS CON OHMETRO	20
FIGURA 4-2	LAMPARA DE PRUEBA	20
FIGURA 4-3	RECTIFICADOR POTENCIA 14	20

LISTA DE ILUSTRACIONES CONT.

	PAGINA	
FIGURA 4-4	RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA P 18	20
FIGURA 4-5	ESQUEMA DE TRANSISTORES BIPOLARES	21
FIGURA 4-6	DESMONTAJE DE BALERO	22
FIGURA 4-7	VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA DE DOS RODAMIENTOS	27
FIGURA 4-8	VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA DE UN RODAMIENTO	27
FIGURA 4-9	VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA 18 DE DOS RODAMIENTOS	29
FIGURA 4-10	VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA 18 DE UN RODAMIENTO	29

LISTA DE TABLAS

TABLA A	DESVIACION PERMISIBLE DEL VOLANTE Y DEL REBAJO PARA LOS DISCOS DE IMPULSION	9
TABLA C	CUÁDRO PARA PRUEBA DE TRANSISTORES	21
TABLA D	23
TABLA E	DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-8, GENERADOR POTENCIA 14 DE DOS RODAMIENTOS	26
TABLA F	DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-9, GENERADOR POTENCIA 14 DE UN RODAMIENTO	26
TABLA G	DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-10, GENERADOR POTENCIA 18 DE DOS RODAMIENTOS	28
TABLA H	DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-11, GENERADOR POTENCIA 18 DE UN RODAMIENTO DE DISCOS FLEXIBLES CON ACOPLAMIENTO	28
TABLA B	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	30

SECCION 1 INTRODUCCION Y DESCRIPCION

1.1 INTRODUCCION

1.1.1 La Serie POTENCIA

es un sistema generador de corriente completo, que incluye generador de corriente alterna (CA), excitador sin escobillas y regulador de voltaje del tipo estado sólido, diseñado y construido con peso ligero para moverlo con facilidad, y lo bastante robusto para darle duración y flexibilidad en cualquier parte de una instalación fija.

1.1.2 El regulador de voltaje del tipo de estado sólido incluye características tales como 2% de regulación, reforzado para darle capacidad para corrientes de cortocircuito, y excelente capacidad para arranque de motores eléctricos. Es robusto y sencillo de diseño.

1.1.3 El generador y regulador de voltaje POTENCIA ha sido diseñado como un sistema generador completo de corriente; por tanto, se puede asegurar la compatibilidad de los componentes.

1.1.4 Este Manual de Instrucciones se ha preparado con el fin de suministrar los procedimientos para recibo e inspección; precauciones y recomendaciones para su acoplamiento con la máquina motriz, y la ubicación para operación; instrucciones para arranque inicial, y operación y recomendaciones para mantenimiento de rutina. El generador POTENCIA con mantenimiento y operación correctos, dará muchos años de servicio sin problemas.

1.2 SISTEMA GENERADOR DE CORRIENTE ELECTRICA POTENCIA

1.2.1 El sistema generador de corriente eléctrica POTENCIA se puede dividir en tres componentes básicos: el generador de CA, excitador sin escobillas, y regulador estático. Cada componente ha sido diseñado y construido para asegurar máxima confiabilidad, sin sacrificio de la calidad del rendimiento.

1.3 GENERADOR POTENCIA

1.3.1 El generador POTENCIA significa, en una palabra, versatilidad. Se puede manufacturar en dos tipos diferentes, para acoplarlo a la máquina impulsora. El tipo con un rodamiento se puede usar cuando la flecha (o eje) de salida de la máquina impulsora sirva de apoyo del rotor del generador. Los generadores POTENCIA del diseño de doble rodamiento, utilizan un rodamiento en cada extremo de la flecha, para soportar el rotor. El generador del tipo de dos rodamientos se puede usar con bandas trapezoidales, cople flexible, etc.

1.3.2 El Generador POTENCIA del tipo de un rodamiento, en el cual un extremo del rotor está soportado por el volante de la máquina impulsora, y el armazón o carcasa a la campana del motor, se pueden surtir para acoplarlos con cualquier volante y campana de volante dentro de las normas SAE en su gama de tamaños. También se puede efectuar la adaptación sobre pedido a varios tipos de motores, que no están bajo normas SAE, de uso común. Con las unidades de un rodamiento se suministra un acoplamiento semiflexible de discos, de soporte de peso, para acoplamiento directo con la máquina impulsora.

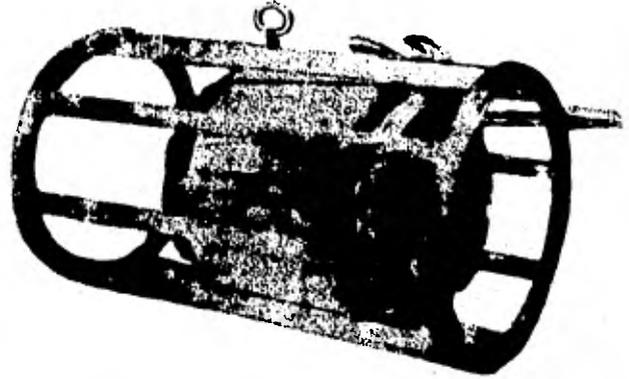


FIGURA 1.3 CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR

1.4 EXCITADOR POTENCIA SIN ESCOBILLAS

1.4.1 El Excitador POTENCIA sin Escobillas es un generador de alta frecuencia, trifásico, de armadura rotatoria; la salida es rectificadora por un puente rectificador montado directamente en la flecha principal del generador. La armadura (inducido) del excitador se coloca a presión en la flecha principal del generador. El estator del excitador está sujeto en la tapa del generador. El propósito del excitador es proveer energía eléctrica para alimentar al campo (inductor) principal del generador.

1.4.2 Con el uso del diseño sin escobillas, se han eliminado componentes tales como arillos colectores, conmutador, escobillas o cualquier forma de contactos deslizables, así como la necesidad del mantenimiento periódico. Los rectificadores utilizados en el puente rectificador son de un tipo que tiene autoprotección contra fallas producidas por altos voltajes momentáneos.



FIGURA 1.4 CONJUNTO DE ROTOR DEL GENERADOR Y ARMADURA DEL EXCITADOR

1.5 REGULADOR DE VOLTAJE POTENCIA REGUTRON 400

1.5.1 El generador sin escobillas utiliza un excitador para controlar la corriente producida por el generador. El regulador suministra corriente al campo del excitador y varía en forma automática la excitación del campo, a fin de mantener el voltaje de salida del generador a un nivel casi constante, sin que haya variación en la demanda o carga.

GABINETE PARA MEDIDORES
(OPCIONAL)

SE FABRICAN EN TIPO DE UN
SOLO BALERO CON ADAPTA-
DOR Y ACOPLAMIENTO DEL TI-
PO DE DISCO FLEXIBLE, ADAP-
TABLE A CUALQUIER MOTOR
DE COMBUSTION INTERNA Y
EN TIPO DE DOS BALEROS PA-
RA ACOPLAMIENTO CON BAN-
DAS O ACOPLAMIENTO POR
ENGRANES O COPLE FLEXI-
BLE,

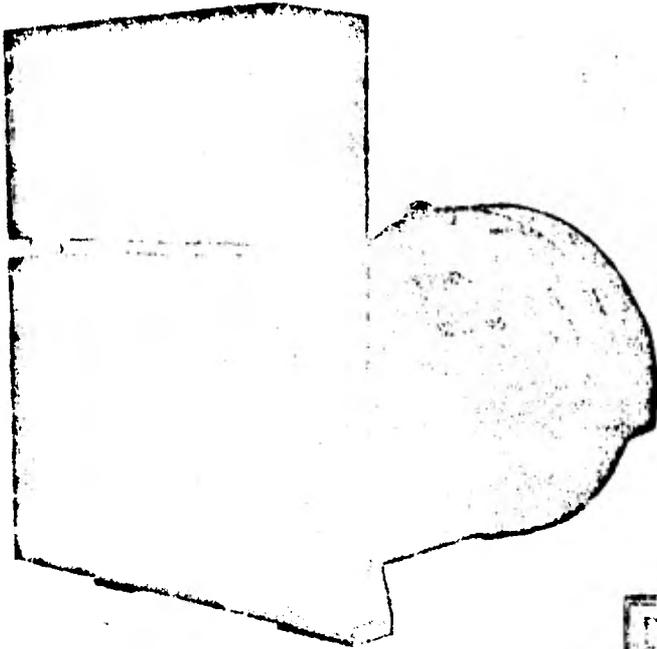


FIGURA 1-1 GENERADOR POTENCIA 14
DE CORRIENTE ALTRNA

REGULADOR DE VDLTA-
JE MONTADO EN ESPACIO-
SA CAJA DE TERMINALES
CON LUGAR ADECUADO
PARA INTERRUPTORES EN
AIRE.

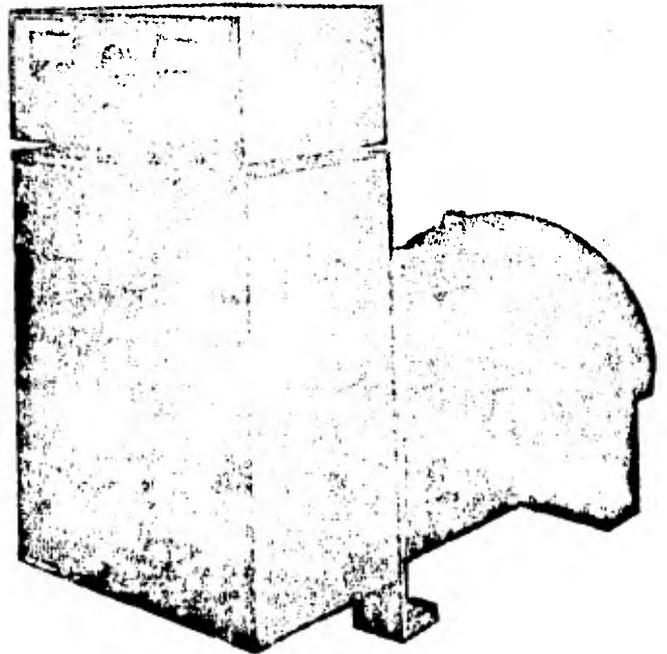


FIGURA 1-2 GENERADOR POTENCIA 18
DE CORRIENTE ALTRNA

1.5.2 El regulador está diseñado para mantener el voltaje de salida del generador dentro de un 2% del valor preestablecido, desde el funcionamiento sin carga hasta sus KW máximos de régimen, y es capaz de proveer una corriente de 200% para las cargas de arranque de motores. El regulador obtiene la energía, voltaje y corriente de la salida del generador.

1.5.3 El Regulador REGUTRON 400 un sistema constituido por resistores de cartón depositado, capacitores de políester metalizado y electrolíticos, transistores bipolares y monojuntura de silicio, diodos rectificadores y zeners de silicio, potenciómetro de alambre y transformador.

Una salida de corriente alterna del generador se detecta, se rectifica y filtra, y se compara con una referencia fija. La misma señal de corriente alterna se rectifica a través de un puente de SCR's, el cual conduce cuando el valor de detección es menor que la referencia, y no conduce en caso contrario.

1.5.4 Las características, eléctricas de trabajo del regulador REGUTRON 400, son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA

Entrada L, N	120 VAC
Corriente máxima continua	1.5 Amperes
Frecuencia	50/60 Hertz
Número de Fases Sensadas	1

CARACTERÍSTICAS DE SALIDA

Salida F+, F-	
Voltaje nominal	60 VDC
Voltaje forzado	90 VDC
Corriente máxima continua	1.5 Amperes
Resistencia de campo mínima	35 ohms
Resistencia de campo máxima	400 ohms
Rango de ajuste de voltaje	10% del nominal
Regulación de voltaje con 5% máximo de desbalanceo de carga. (a frecuencia nominal)	2% de vacío a Plena carga.
Tiempo de respuesta	Menor a 16 milisegundos.

PRINCIPIO DE OPERACION

1.- Una salida del generador, junto con el neutro, (127 VAC) se conectan al primario del transformador T, cuyo voltaje secundario es conectado a un puente rectificador de onda completa D11, D12, D13, D14.

Se conecta el capacitor C7, para reducir rizo en la señal. Una fracción de voltaje directo se conecta a la entrada inversora de un amplificador diferencial, mientras la entrada no-inversora se mantiene fija; así como el voltaje a la salida del generador aumenta, la salida del diferencial disminuye; decrece en el caso contrario.

2.- A través del puente rectificador formado por D5, D6, Q3, Q4, la señal de T1-N, se rectifica y alimenta el campo del generador. Cada vez que dicha señal cruza por cero volts, los SCR's (Q3, y Q4), dejan de conducir y se mantienen así hasta que aparece un pulso de voltaje en sus compuertas.

3.- El voltaje de polarización del zener D8, del transistor Q2 y del monojuntura Q1, es cero cuando el voltaje AC es cero; se mantiene fijo a 20 volts, cuando la señal L N aumenta; cuando alcanza este valor, el capacitor C1, se carga a través de Q2, (que se comporta como potenciómetro controlado por su voltaje en la base); cuando alcanza aproximadamente 14 volts, Q1 conduce y aparece un impulso de voltaje de 20 milisegundos en Rz. El pulso de voltaje hace que conduzcan Q3 y Q4.

4.- Cuando el voltaje de salida es alto, Q2 presenta una alta impedancia y así el impulso en Rz aparece lejos del cruce por cero; aparecerá cerca cuando el voltaje en la salida sea bajo y así Q2, tenga baja impedancia. D7 sirve para descargar el campo cuando Q3 y Q4 no conduzcan.

5.- Astronic, S.A., ha implementado un relevador de estado sólido normalmente cerrado, el cual, auxiliado con el voltaje residual del generador, excita el campo cuando se inicia la operación del regulador.

6.- El capacitor C4, sirve para atenuar las deformaciones en la forma de onda del generador.

7.- Cuando por exceso de carga en el generador se demanda gran corriente en el campo excitador, pueda producir daños irreversibles en el devanado del mismo, por lo que se adiciona un fusible F, de 2 amperes con el fin de proteger al sistema de sobrecorrientes.



FIGURA 1-6 REGULADOR ESTÁTICO REGUTRON 400

1.6 ESPECIFICACIONES DE POTENCIA

1.6.1 Los Generadores POTENCIA 14, y 18, están disponibles en tamaños de 10 KW a 150 KW, con factor de potencia de 0,8, monofásico o trifásico, para 60 hertz. La potencia de la máquina motriz para impulsar el generador debe suministrar aproximadamente 2 HP por KW de capacidad del generador, a una velocidad de 1800 RPM.

El generador POTENCIA, normalmente, tiene una especificación de potencia para régimen continuo. Además, estas unidades se pueden operar un máximo de 2 horas con una sobrecarga de 10% sobre la capacidad del generador. Se debe interpretar que las 2 horas de duración de la sobrecarga, ocurren una vez en cualquier periodo de 24 horas.

1.6.2 En caso de falla por cortocircuito en la carga, el generador POTENCIA suministrará un mínimo del 200% de la corriente de régimen para asegurar el funcionamiento del interruptor o fusibles protectores.

1.7 POTENCIAS OPCIONALES

1.7.1 Los generadores POTENCIA 14 Y 18 se puede operar en una amplia gama de voltajes, en los tipos monofásico y trifásico. La capacidad para los generadores monofásicos y trifásicos de 60 hertz aparece en la placa de identificación. Cuando se opere a 50 hertz, se debe tener cuidado de reducir la carga a 5/6 de la especificada para 60 hertz.

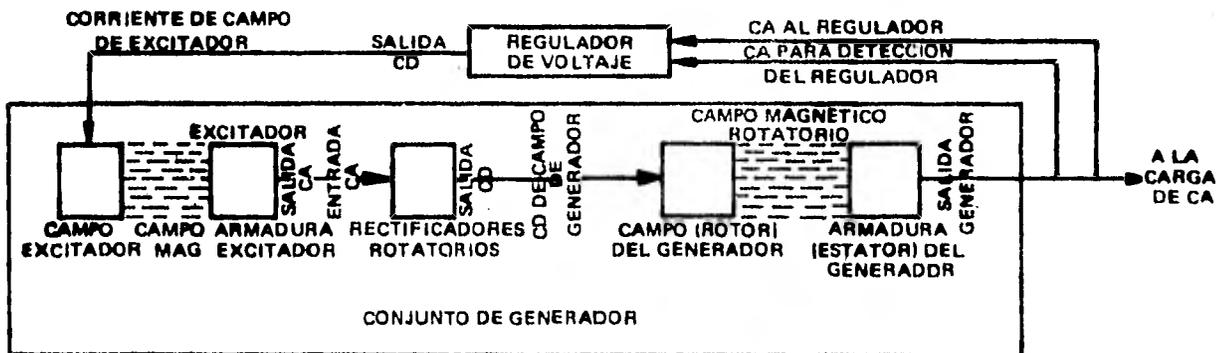
1.7.2 Los generadores POTENCIA son máquinas para voltajes múltiples. Al efectuar las conexiones eléctricas correctas, pueden producir la mayoría de los voltajes monofásicos o trifásicos más usuales. Las conexiones eléctricas que se deben efectuar, así como los voltajes disponibles, se describen en la Sección 2, bajo el título CONEXIONES ELECTRICAS.

1.8 TEORIA DEL FUNCIONAMIENTO

1.8.1 El voltaje de salida del generador se produce con el estator del generador. El voltaje se induce en el embobinado del estator mediante un campo magnético rotatorio, producido por el rotor o campo giratorio del generador.

1.8.2 A fin de que se magnetice el campo del generador y produzca un campo magnético rotatorio, se debe alimentar un voltaje de corriente directa (excitación) a los campos del generador, y el rotor debe estar en rotación.

1.8.3 El excitador suministra el voltaje para excitación. Los polos de los campos del excitador retienen cierto magnetismo remanente, con lo cual producen un campo magnético en el excitador. Cuando se pone en marcha el generador, se induce voltaje en el embobinado de la armadura del excitador; después, se alimenta a los rectificadores rotatorios, en donde se rectifica y alimenta al campo del generador. Con esto, el rotor del generador se magnetiza y produce un campo magnético rotatorio. El control del grado de magnetización del campo del generador y, por tanto, el voltaje inducido en los embobinados del estator, dependen del voltaje suministrado por el excitador. Este voltaje se controla con la regulación del campo del excitador, mediante el control de la corriente de campos alimentada al excitador. El regulador de voltaje suministra y controla la corriente alimentada al campo del excitador.



1-6 DIAGRAMA DE BLOQUE, SISTEMA DE GENERACION POTENCIA

SECCION 2 INSTALACION

2.1 INSPECCION DE RECIBO

2.1.1 El generador POTENCIA se prepara cuidadosamente y se embarca fuera de México, D. F. en jaulas, y puede soportar la mayoría de los golpes que se reciben en tránsito. Antes de aceptar el embarque del transportador, examine cuidadosamente la caja o huacal para determinar si han ocurrido daños en tránsito. Desempaque la unidad como se indica en el párrafo 2.2 y, luego, examine con cuidado el bastidor y cubierta de lámina y la cubierta del generador para ver si tienen señales de daños. Quite la tapa de la caja de terminales y examine si el interior de la caja tiene señales de daños a los cables y componentes. Inspeccione si hay componentes flojos y la presencia de humedad. Inspeccione y determine que se han sacado de la máquina cualesquiera cuerpos extraños tales como clavos de la jaula, tornillos flojos o material de empaque que pudieran haber caído en ella. En las máquinas de dos rodamientos, gire el rotor con la mano para cerciorarse de que gira libre y sin trabarse. Si se nota algún daño, determine su cuantía y presente de inmediato la reclamación al transportador; notifique a Potencia Industrial, S. A. Incluya todos los detalles con exactitud al informar de algún daño.

2.2.2 Si se va a almacenar el generador, cierre la jaula o caja. Los procedimientos recomendados para el almacenamiento, aparecen en el párrafo 2.2.

2.2 DESEMPAQUE Y ALMACENAJE

2.2.1 Si se recibe el generador cuando hace un frío excesivo, deje que la unidad se caliente lentamente hasta la temperatura ambiente antes de abrir la jaula o caja y quitar el material de empaque. Esta precaución reducirá al mínimo la condensación de humedad en las superficies de los embobinados, lo cual eliminará las posibilidades de que haya embobinados y material aislante húmedos, lo cual podría ocasionar falla prematura del generador.

2.2.2 Desempaque el generador con cuidado, para evitar daños. Muévelo al lugar en que se va a montar, conectando un montacargas de cadena en las argollas (tornillos de ojo) instalados en el bastidor del generador. Determine que el montacargas, si se utiliza, sea de suficiente capacidad para soportar en forma adecuada el peso del generador. El montacargas y sus cables deben tener una capacidad no menor de 2.5 veces el peso del generador.

PRECAUCION

TENGA SIEMPRE UN CUIDADO EXTREMO AL MOVER EL GENERADOR, PARA QUE NO GOLPEE ALGUNA PERSONA U OTROS OBJETOS. NUNCA APLIQUE FUERZA PARA ELEVACION EN PUNTOS ESTRUCTURALES QUE NO SEAN LAS ARGOLLAS (TORNILLOS DE OJO).

2.2.3 Si el generador no se va a instalar en su lugar tan pronto como se reciba, se debe almacenar en un lugar limpio y seco, que no esté sujeto a cambios repentinos en la temperatura o la humedad. Si es posible, se debe tener en un lugar de temperatura templada constante. Las unidades que no se puedan almacenar en un lugar de temperatura templada constante, y que van a estar almacenadas por un período mayor de 6 meses, se deben preparar para el almacenamiento como sigue.

- a. Coloque bolsas con desecante debajo de la tapa del generador y dentro de la caja de terminales; selle la unidad al vacío con una envoltura de polietileno.
- b. Marque la unidad para tener la seguridad de que se saquen las bolsas con desecante, antes de poner a funcionar el generador.

2.3 UBICACION

2.3.1 El Generador POTENCIA se puede instalar en cualquier lugar bien ventilado, que permita suficiente accesibilidad para operación y mantenimiento de la unidad y permita una circulación suficiente y sin restricciones del aire para enfriamiento. Evite los lugares en que el generador esté sometido a excesos de humedad, polvo, vapor de agua y vapores de ácidos, álcalis u otros productos corrosivos. Si no se puede evitar esa exposición, establezca un rígido programa de mantenimiento preventivo periódico. El efecto adverso de la humedad excesiva, por lo general, se puede eliminar o reducir en forma considerable con el uso de calefactores de espacio o de tiras. Si se han mojado los embobinados del generador, compruebe la resistencia del aislamiento y, si es baja, seque los embobinados antes de poner a funcionar el generador. Consulte los párrafos 4.5 y 4.6.

2.3.2 Los cimientos o soportes para montaje del generador y la máquina motriz deben estar rígidos, nivelados, y tener tamaño y capacidad suficientes para soportar el peso del generador y de la máquina motriz. Aunque, por lo general, una base o cimiento de concreto reforzado es lo mejor para maquinaria pesada, el generador y la máquina motriz se pueden colocar sobre cualquier material estructural de concreto, acero o de otro tipo, que soporte en forma adecuada el peso de la unidad. Las capacidades de carga de los materiales estructurales se pueden obtener en manuales de ingeniería civil.

2.4 MONTAJE DE GENERADORES DE UN RODAMIENTO

2.4.1 El generador se puede montar en una extensión de la base de la máquina motriz o sobre un cimiento separado, que esté debidamente alineado y nivelado con el cimiento para la máquina motriz. Instale calzas (lainas) según sea necesario entre la base del generador y la superficie de montaje, para alinear y nivelar correctamente el generador con la máquina motriz.

2.5 ACOPLAMIENTO Y ALINEACION DEL GENERADOR CON ACOPLAMIENTO DE DISCO Y ADAPTADOR EN LA MAQUINA MOTRIZ

2.5.1 El acoplamiento de disco consiste en dos discos de acero, atornillados en el rotor del generador y en el volante de la máquina motriz. Debido a que se mantienen tolerancias muy precisas en la manufactura de los componentes de la máquina motriz, armazón del generador y discos de acoplamiento, los únicos procedimientos para alineación que normalmente se requieren, son: Cerciorarse de que la flecha del rotor y el volante de la máquina motriz estén bien alineados y de que el rodamiento del generador tenga un juego longitudinal nominal de: Juego longitudinal total del cigüeñal de máquina motriz más 1.6 mm (1/16"). Para asegurar una alineación correcta, compruebe las dimensiones indicadas en los pasos siguientes.

NOTA: Limpie las acumulaciones de mugre o grasa de las superficies de montaje, antes de comprobar las dimensiones, o de acoplar el generador con el motor.

1. Quite la envoltura del generador y la tapa de la caja de terminales.
2. Compruebe el juego longitudinal del rodamiento del generador y la alineación del campo del excitador y la armadura del excitador. La dimensión a' , Fig. 2-1, debe coincidir con la dimensión que aparece en el instructivo INS-2-70A, que se entrega con el generador. El campo del excitador y la armadura del excitador deben estar alineados en sentido horizontal.
3. Compruebe la distancia desde la superficie de montaje en la cubierta del volante de la máquina motriz y el rebajo para los discos de impulsión (dimensión C, Fig. 2-2), y compruebe la distancia desde la superficie de montaje del anillo de extremo del generador hasta la superficie externa de los discos de impulsión (dimensión Y, Fig. 2-2). La dimensión "Y" debe ser igual a la dimensión "C".

NOTA: La flecha del rotor del generador debe estar paralela con el armazón del generador, al comprobar la dimensión "Y".

4. Compruebe el diámetro de los discos de impulsión y el alojamiento para los discos en el volante, dimensiones S y S', Fig. 2-2. Si los discos son de mayor o menor tamaño, se deben devolver a la fábrica. "No intente esmerillar los discos."
5. Compruebe que los centros de los agujeros para tornillos en el disco de impulsión y en el rebajo para los discos en el volante, sean de la misma medida, dimensiones B y B', Fig. 2-2. Devuelva los discos a la fábrica e indique los datos del volante si los discos no coinciden con las dimensiones del volante. "Nunca intente taladrar otros agujeros ni agrandar los existentes en el disco."
6. Con la base del micrómetro de carátula montada en el volante, y con el botón del micrómetro en la cubierta del volante como se ilustra en la Fig. 2-4, haga girar el cigüeñal de la máquina motriz una vuelta completa. La lectura máxima total del micrómetro no debe exceder de 0,076 mm por cada 304,8 mm (0,003" por pie) de diámetro de la cubierta del volante. Ver TABLA A. Si la desviación excede de los límites, consulte a Potencia Industrial, S.A., y solicite las recomendaciones del fabricante de la máquina motriz. Indique la medida de la cubierta del volante y la desviación que se encontró.
7. Con la base del micrómetro de carátula montada en la cubierta del volante, y con el botón del micrómetro en el rebajo para el disco en el volante, como se ilustra en la Fig. 2-5, haga girar el cigüeñal de la máquina motriz una vuelta completa. La lectura máxima total del micrómetro no debe exceder de 0,076 mm por cada 304,8 mm (0,003" por pie) de

diámetro del volante. Ver TABLA A. Si la desviación excede de los límites, consulte a Potencia Industrial, S.A., y solicite las recomendaciones del fabricante de la máquina motriz. Indique la medida del volante y la desviación que se encontró.

2.5.2 Cuando las dimensiones sean satisfactorias, acople el generador a la máquina motriz, como se describe a continuación.

NOTA: El generador se ensambla a la máquina motriz introduciendo tornillos desde el lado del generador, y apretándolos en los agujeros roscados en el volante y cubierta del volante. Los tornillos deben ser de la longitud correcta para que enroquen en forma adecuada en los agujeros en el volante y en la cubierta del volante.

1. Elabore dos tornillos de gufa descabezando dos tornillos de la medida correcta. Empezce a colocarlos en los agujeros en el volante y la cubierta del volante, sobre una línea que pase a través del centro de las superficies de montaje, como se ilustra en la Fig. 2-6.
2. Instale roldanas de presión en los tornillos que van del arillo de extremo del adaptador del generador a la cubierta del volante. Instale roldanas de presión en los tornillos que van del disco de impulsión al volante.

NOTA: Si no hay suficiente profundidad en los barrenos en el volante para permitir el montaje y ajuste de los tornillos que sujetan los discos de acoplamiento al volante, el uso de espaciadores, como se ilustra en la Fig. 2-9, usualmente corregirá este problema.

3. Los ventiladores están hechos en dos mitades. Estos ventiladores se pueden desarmar para tener mayor espacio de trabajo.

NOTA: El ventilador se ajusta en la fábrica con una separación entre el ventilador y la tolva (bóveda) que permita máxima eficiencia del ventilador. Antes de aflojar y mover el ventilador, marque la posición del ventilador en la flecha. Instale el ventilador en la posición marcada. Una separación de unos 13 mm (1/2") entre el ventilador y la tolva es normal.

4. Soporte el generador con una garrucha o montacargas, y muévalo horizontalmente a su lugar. Cerciórese de que los discos de acoplamiento quedan bien colocados en el escalón para los discos en el volante.
5. Instale los tornillos del volante. Apriételos alternada y uniformemente (en cruz). Quite el tornillo de gufa, e instale el tornillo restante.

PRECAUCION

Cerciórese de que los tornillos no sean de longitud excesiva, de modo que puedan llegar a fondo en el volante antes de que queden apretados contra los discos de impulsión.

6. Instale los tornillos de la cubierta del volante. Apriételos alternada y uniformemente (en cruz), Fig. 2-7. Quite el tornillo de guía e instale el tornillo restante.

PRECAUCION

Cerchiórese de que los tornillos no lleguen a fondo, antes de que el adaptador para el generador quede firmemente sujeto contra la cubierta del volante.

7. Vuelva a apretar todos los tornillos en círculo, tanto en el disco de impulsión como en el adaptador para el generador.
8. Utilice un calibrador de hoja para determinar si hay abertura entre las patas de montaje del generador y la base de montaje del mismo. Agregue las calzas (laminas) necesarias entre las patas y la base del generador y, luego, atornille el generador a la base.
9. Si el espacio lo permite, coloque un micrómetro de carátula en el adaptador para el generador, con el botón del micrómetro contra la flecha del generador, como se ilustra en la Fig. 2-8. Haga girar el cigüeñal de la máquina motriz una vuelta completa. La lectura máxima total del micrómetro no debe exceder de 0.127 mm (0.006").

NOTA: SE DEBE MOVER EL VENTILADOR PARA PODER COLOCAR EL MICROMETRO DE ESFERA

10. Cuando la alineación esté correcta, coloque en su lugar el ventilador, y apriete los tornillos.

NOTA: Antes de aflojar y mover el ventilador, marque la posición del ventilador en la flecha. Instale el ventilador en la posición marcada. Una separación de unos 13 mm (1/2") entre el ventilador y la tolva, es normal.

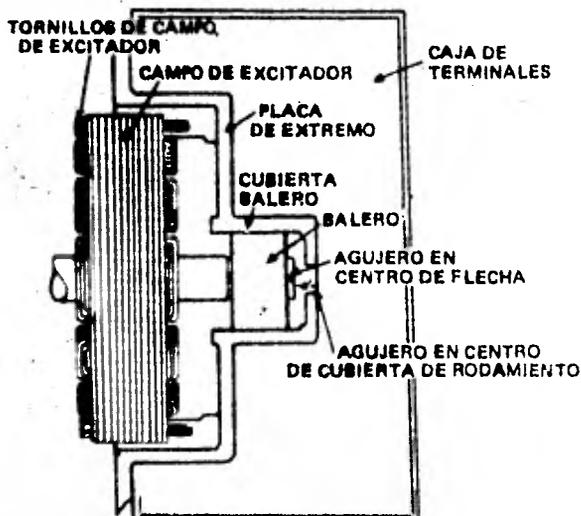


FIGURA 2-1 COMPROBACION DE JUEGO LONGITUDINAL DE BALERO

(Consultar Instrucciones INS-2-70A, que se surten con el generador).

2.5.3 Después de terminar el acoplamiento y alineación del generador con la máquina motriz; pero, antes de poner a funcionar el generador, compruebe el entrehierro u holgura entre las partes estacionarias y rotatorias del generador, en especial el campo del excitador y la armadura del excitador. Instale todas las tapas y protectores antes de poner a funcionar el generador.

2.6 MONTAJE DE GENERADORES DE DOS RODAMIENTOS

2.6.1 Los generadores de dos rodamientos, impulsados por banda (correa) se pueden montar en una extensión de la base de la máquina motriz o en una base o cimiento separado. Los generadores de dos rodamientos que se van a conectar a la máquina motriz con acoplamientos sólidos o flexibles o con impulsión por engranes, se deben montar en una base rígida. Esta base deberá servir para el montaje, tanto de la máquina motriz como del generador. La base se debe colocar sobre una cimentación plana, y debe estar bien sujeta antes de alinear la máquina motriz y el generador. Consulte los párrafos 2.7 hasta 2.16.

2.7 SELECCION DE IMPULSION PARA GENERADORES DE DOS RODAMIENTOS

2.7.1 El funcionamiento satisfactorio del generador dependerá de la selección cuidadosa de los acoplamientos para impulsión. En general, no se recomiendan los acoplamientos sólidos, excepto cuando el generador y la máquina motriz están conectados directamente; no se deben usar bandas cuando la velocidad de la banda excede de 1500 metros (5000 pies) por minuto.

2.8 IMPULSION POR BANDAS INFORMACION GENERAL

2.8.1 La alineación y tensión correctas de bandas, son esenciales. La alineación y tensión incorrectas aumentarán el desgaste de las bandas, a la vez que aumentarán las cargas sobre los rodamientos y la vibración. Seleccione las bandas de acuerdo con las especificaciones del fabricante de las bandas. Cerchiórese de que el generador y la máquina motriz estén montados rígidamente. En general, no se recomiendan bandas cuando la velocidad de la banda excede de 1500 metros (5000 pies) por minuto.

2.9 BANDAS TRAPEZOIDALES ("V")

2.9.1 Utilice las bandas sólo por juegos completos, y evite el uso de poleas y bandas con paso mínimo. Las bandas deben entrar y salir de las poleas sin flexión lateral. Deben estar apretadas justamente lo preciso para evitar el patinaje a plena carga. Nunca aplique grasa ni cosmético en las bandas.

2.10 BANDAS PLANAS

2.10.1 La selección de bandas y poleas de suficiente anchura reducirá la cantidad de tensión requerida para evitar el patinaje con plena carga. Una tensión más baja en las bandas reduce las cargas sobre los rodamientos y el desgaste de las bandas.

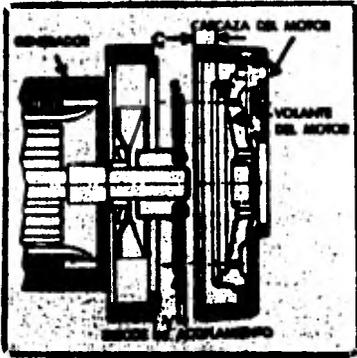


FIGURA 2-2 DIMENSIONES PARA ACOPLAMIENTO ENTRE MOTOR Y GENERADOR



PUNTO "B"
 SUPERFICIE MAQUINADA
 CON AGUJEROS PARA
 TORNILLOS
 DISCOS DE IMPULSION
 REGLA DE ACERO
 PUNTO "A"
 BORDE INTERNO DE
 BARRA DE ACERO

FIGURA 2-3 MEDICION DE LAS DISTANCIAS DESDE EL ADAPTADOR DEL GENERADOR HASTA LOS DISCOS DE IMPULSION, DIMENSION "Y"

NOTA: Medir en dos lugares aproximadamente a 180° uno del otro, Punto "A" y Punto "B". Sumar las dos dimensiones y dividir las entre dos. Medir desde la superficie maquinada con los agujeros para tornillos hasta el borde interno de la barra de acero.



FIGURA 2-4 COMPROBACION DE DESVIACION DE CUBIERTA DEL VOLANTE

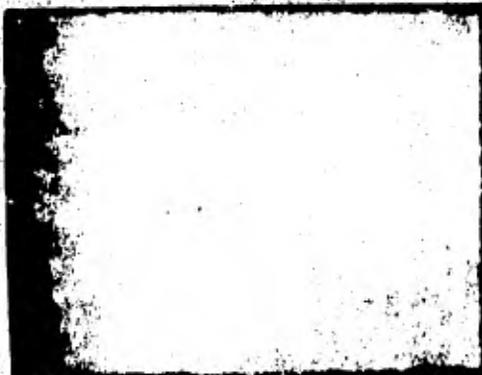
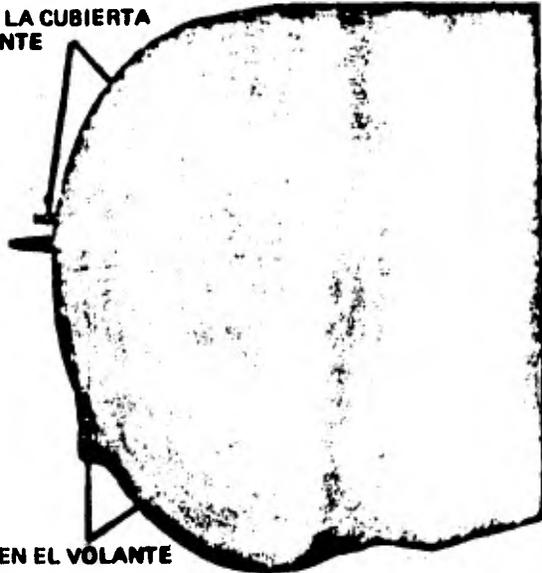


FIGURA 2-5 COMPROBACION DE DESVIACION DEL VOLANTE DEL MOTOR

ESPIGA EN LA CUBIERTA DEL VOLANTE



ESPIGA EN EL VOLANTE

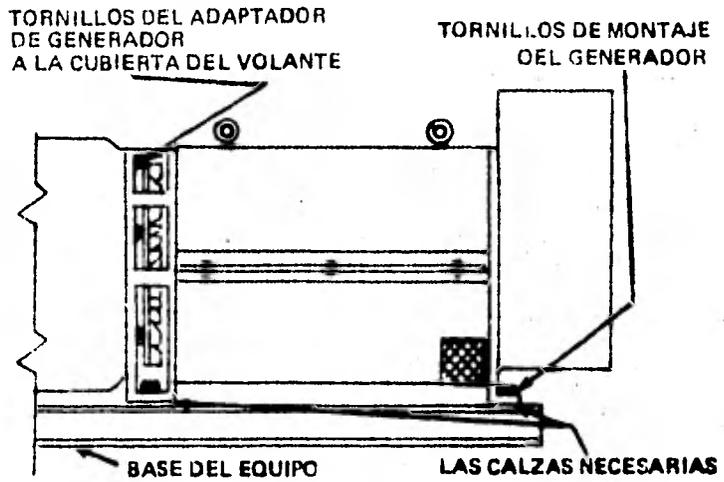
FIGURA 2-6 ALINEACION DEL GENERADOR Y EL MOTOR CON TORNILLOS DE GUIA (PILOTOS)

TABLA A

DESVIACION PERMISIBLE DEL VOLANTE Y DEL REBAJO PARA LOS DISCOS DE IMPULSION

REBAJO EN EL VOLANTE PARA DISCOS DE IMPULSION		
Diámetro de Guía cm (Pulg.)	Diám. Nominal de Embreque cm (Pulg.)	Desviación Máxima Permisible mm (Pulg.)
18.5 (8.500)	21.5 (8.500)	0.060 (0.002)
19.0 (7.500)	24.1 (9.500)	0.060 (0.002)
20.3 (8.000)	26.3 (10.375)	0.050 (0.002)
25.4 (10.000)	31.4 (12.375)	0.076 (0.003)
29.2 (11.500)	33.9 (13.375)	0.076 (0.003)
36.5 (14.000)	46.6 (18.375)	0.101 (0.004)
40.6 (16.000)	51.7 (20.375)	0.127 (0.005)
45.7 (18.000)	57.1 (22.500)	0.127 (0.005)
53.3 (21.000)	67.3 (26.500)	0.152 (0.006)
60.9 (24.000)	73.3 (28.875)	0.177 (0.007)

DESVIACION DEL VOLANTE		
No. de Cubierta SAE	Diám. Interior de Cubierta, cm (Pulg.)	Máxima Permisible mm (Pulg.)
6	26.6 (10.500)	0.060 (0.002)
5	31.4 (12.375)	0.076 (0.003)
4	36.1 (14.250)	0.076 (0.003)
3	40.3 (16.125)	0.101 (0.004)
2	44.7 (17.625)	0.101 (0.004)
1	51.1 (20.125)	0.127 (0.005)
1/2	56.4 (23.000)	0.127 (0.005)
0	64.7 (25.500)	0.152 (0.006)
00	73.7 (31.000)	0.177 (0.007)



NOTA: CERCIORARSE DE QUE LOS TORNILLOS NO LLEGAN A FONDO EN EL VOLANTE Y LOS DISCOS QUEDAN FLOJOS EN EL VOLANTE.

FIGURA 2-7 MONTAJE DEL GENERADOR EN LA BASE

NOTA: USE ESPACIADORES SOLAMENTE SI LA HOLGURA INSUFICIENTE NO PERMITE APRETAR LOS TORNILLOS.

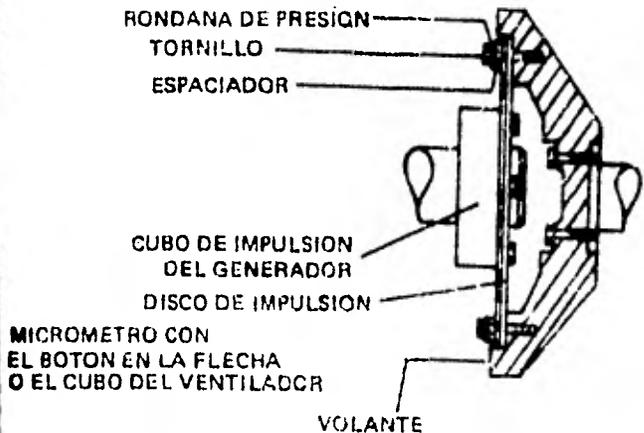


FIGURA 2-8 VISTA SECCIONAL DE LOS DISCOS DE IMPULSION Y DEL VOLANTE

FIGURA 2-8 COMPROBACION DE DESVIACION DE FLECHA DEL GENERADOR

2.10.2 Las poleas se deben colocar de modo que las coronas estén en el mismo plano. Cerciórese de que las flechas de la máquina motriz y del generador estén paralelas. Observe los límites indicados por el fabricante o recomendados por NEMA para los tamaños de las poleas.

2.11 BANDAS DENTADAS

2.11.1 En general, la instalación de las bandas dentadas (bandas de distribución) es la misma que para las bandas planas. Se deben tomar las siguientes precauciones al instalar una impulsión con bandas dentadas:

- Las bandas dentadas se deben instalar con una tensión intermedia, ni muy flojas ni muy apretadas. No es necesaria una elevada tensión inicial; pero, cuando la torsión es sumamente alta, una banda que está floja puede "saltar" las ranuras. Si la banda "salta" las ranuras, se debe aumentar gradualmente la tensión, hasta que se logre un funcionamiento satisfactorio.
- Cerciórese de que las flechas estén paralelas, y de que las poleas estén alineadas. En una impulsión de mucha longitud entre centros, debido a la tendencia de la banda a moverse contra una ceja, en ocasiones es aconsejable decentrar la polea mandada para compensarlo.
- En una impulsión de mucha longitud entre centros, es indispensable que la combadura de la correa no permita que los dientes en el lado holgado acoplen con los dientes en el lado tenso.
- Es importante que tanto la máquina motriz como el generador estén montados rígidamente para evitar variaciones en la tensión de las bandas.
- Aunque la tensión de las bandas requiere poca atención después de la instalación inicial, se debe proveer algún medio para ajustar la distancia entre centros, para mayor facilidad al instalar o quitar las bandas. Las bandas no se deben pasar a la fuerza sobre la ceja de la polea.

2.12 ACOPLAMIENTO POR ENGRANES Y ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES. INFORMACION GENERAL

2.12.1 Cuando se instalen de estos tipos en lugar de bandas, se deben alinear cuidadosamente la flecha de salida de la máquina motriz y la flecha de entrada del generador, después de la alineación, el motor y el generador se deben montar firmemente en una base rígida para evitar la desalineación de las flechas durante el funcionamiento. La desalineación excesiva puede ser causa de vibración, funcionamiento ruidoso, desgaste excesivo del acoplamiento o los engranes, y de falla prematura de los bateros.

2.13 IMPULSION POR ENGRANES

2.13.1 La alineación exacta y el montaje rígido son esenciales para el funcionamiento satisfactorio con impulsión por engranes. El diámetro de paso y la anchura deben quedar

dentro de las recomendaciones de NEMA. Evite el uso de acoplamientos que impongan empuje excesivo contra los rodamientos.

2.13.2 En todos los casos, los dientes de los engranes deben estar centrados entre sí. Las caras de los engranes deben estar paralelas, y se debe mantener la distancia correcta entre centros de las flechas. Evite que los dientes engrenen a tal profundidad que se puedan trabar o desviar. Consulte las especificaciones de National Gear Manufacturers Association.

2.13.3 Pruebe si la alineación está correcta haciendo girar las flechas con la mano. Determine si hay juego muerto entre dientes girando las flechas, cuando menos, una vuelta completa. Después de apretar los tornillos de montaje, compruebe el juego muerto y el paralelismo de las caras de los engranes. Instale o quite calzas debajo de las patas de montaje para que las caras de los engranes queden paralelas.

2.14 INSTALACION Y ALINEACION DE IMPULSION CON ACOPLAMIENTO FLEXIBLE

2.14.1 Los procedimientos descritos a continuación son para alinear impulsiones con acoplamientos flexibles. Observe las tolerancias especificadas por el fabricante del acoplamiento, si son menores a las indicadas en este manual.

2.14.2 Instale los cubos de acoplamiento en las flechas de la máquina motriz y del generador de acuerdo con las instrucciones suministradas por el fabricante del acoplamiento. Luego, compruebe si hay desalineación angular, haciendo una marca de referencia con pintura en el cubo del acoplamiento, en donde se coloca el botón del micrómetro de carátula, para marcar su posición en el cubo. Haga girar ambas flechas simultáneamente y mantenga el botón del micrómetro en las marcas de referencia en el cubo del acoplamiento. Observe la lectura del micrómetro cada cuarto de revolución. Consulte la instalación del micrómetro en la Fig. 2-10.

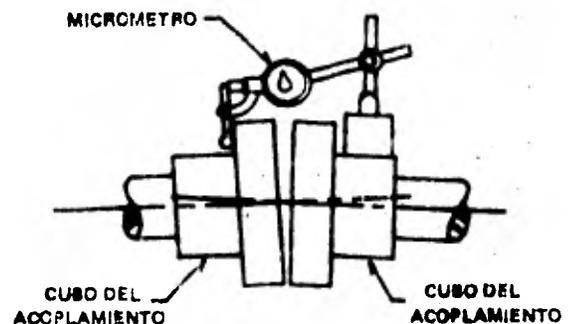


FIGURA 2-10 PRUEBA DE ALINEACION ANGULAR DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR

LA DESALINEACION ANGULAR DE LA FLECHA DE SALIDA DE LA MAQUINA MOTRIZ Y DE LA FLECHA DE ENTRADA DEL GENERADOR NO DEBE EXCEDER DE 0.025 mm POR CADA 25.4 mm (0.001" POR PULGADA) DE RADIO DEL CUBO DEL ACOPLAMIENTO.

2.14.3 Si la desalineación angular es excesiva, afloje los tornillos de montaje de la máquina motriz y del generador y ponga calzas ranuradas debajo de las caras de montaje de la máquina motriz y el generador, según se requiera, para corregir la alineación. Vuelva a comprobar la alineación. Instale o quite calzas debajo de las caras de montaje hasta lograr la alineación.

NOTA: Si se cambia de lugar la unidad generadora, compruebe la alineación paralela con el micrómetro como se ilustra en la Fig. 2-13; luego, gire las flechas y compruebe la alineación como se describe en el párrafo 2.14.4.

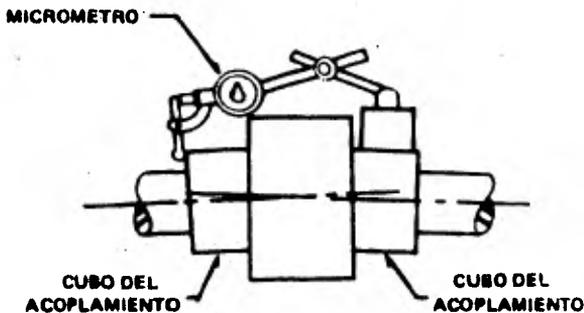


FIGURA 2-11 PRUEBA DE ALINEACION ANGULAR DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR DESPUES DE INSTALAR EL ACOPLAMIENTO.

2.14.4 Compruebe si hay desviación de las flechas, haciendo una marca de referencia con pintura en el diámetro pulido del cubo del acoplamiento en el lugar en donde se coloca el botón del micrómetro de carátula. Haga girar ambas flechas simultáneamente y mantenga el botón del micrómetro en las marcas de referencia en el cubo. Observe la lectura del micrómetro cada cuarto de revolución. Consulte la instalación del micrómetro en la Fig. 2-12.

LA DESVIACION TOTAL ENTRE LOS CUBOS NO DEBE EXCEDER DE 0.050 mm (0.002").

2.14.5 Si la desviación entre los cubos es excesiva, instale o quite calzas debajo de las caras de montaje de la máquina motriz o del generador; vuelva a comprobar la alineación. Agregue o quite calzas hasta que las flechas estén paralelas. Después de la alineación angular y paralela, apriete los tornillos de montaje de la máquina motriz y del generador. Compruebe que los tornillos de montaje de la base estén apretados. Vuelva a comprobar la alineación antes de hacer funcionar la unidad.

NOTA: Si se cambia de lugar la unidad generadora, compruebe la alineación paralela con el micrómetro como se ilustra en la Fig. 2-13; luego, gire las flechas y compruebe la alineación como se describe en el párrafo 2.14.4.

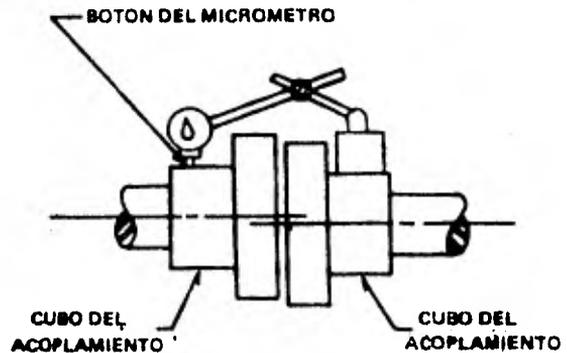


FIGURA 2-12 PRUEBA DE LA ALINEACION PARALELA DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR.

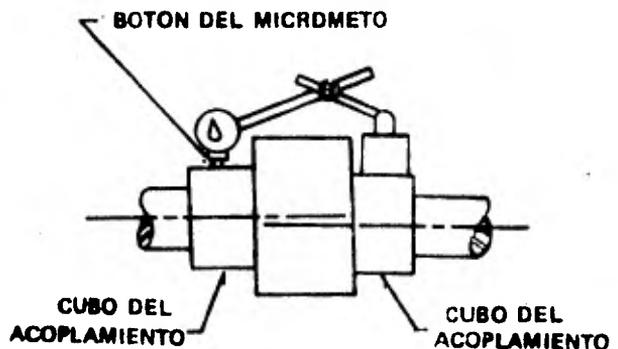


FIGURA 2-13 PRUEBA DE LA ALINEACION PARALELA DE LAS FLECHAS DEL MOTOR Y DEL GENERADOR DESPUES DE INSTALAR EL ACOPLAMIENTO.

2.15 VIBRACION

2.15.1 Después de haber efectuado la alineación de la máquina motriz y el generador, haga funcionar la unidad sin carga y observe si hay vibración excesiva. (Consulte Instrucciones para Operación, Sección 3). Si la vibración es excesiva, afloje ligeramente uno de los tornillos de montaje de la máquina motriz, y si disminuye la vibración, agregue calzas hasta que al volver a apretar el tornillo, se reduzca o se elimine la vibración. Repita esta operación en todos los tornillos de montaje de la máquina motriz.

2.15.2 Cuando la vibración y la alineación de la máquina motriz estén dentro de los límites, haga funcionar la unidad con una carga baja y vuelva a comprobar si hay vibración. Si es excesiva, agregue calzas debajo de las caras de montaje del generador, de la misma manera que en el motor. Vuelva a comprobar la alineación después de cualquier cambio en las calzas, para controlar la vibración.

2.16 USO DE ESPIGAS DE GUIA

2.16.1 El uso de espigas de guía en los equipos generadores evitará el movimiento de las unidades durante el funcionamiento si llegan a aflojarse ligeramente los tornillos de montaje. Instale las espigas como sigue:

- a. Compruebe la alineación después de que el equipo generador ha trabajado alrededor de 40 horas. Si la alineación no es satisfactoria, corríjala como se indica en los párrafos anteriores.
- b. Taladre agujeros pasantes en la base en caras opuestas de montaje del generador. Los agujeros deben tener un diámetro ligeramente menor que el de la espiga de guía.
- c. Rime (escarie) los agujeros al diámetro correcto para las espigas, limpie las virutas e instale las espigas.
- d. Repita este procedimiento para instalar las espigas en la unidad motriz.

NOTA: Instale las espigas en la máquina motriz (motor de combustión o eléctrico) que no sean fabricados por P.I.S.A., de acuerdo con las instrucciones suministradas por el fabricante de la máquina motriz.

2.17 DISPOSITIVOS PROTECTORES

2.17.1 Los generadores impulsados por motores de combustión interna se deben proteger con gobernadores adecuados en el motor, y con dispositivos contra sobrevelocidad. Consulte los reglamentos sobre los requisitos eléctricos mínimos para el equipo generador. La salida del generador POTENCIA a la demanda (carga) siempre se debe proteger con un dispositivo de protección contra sobrecarga, sea interruptor termomagnético o fusibles.

2.18 CONEXIONES ELECTRICAS

2.18.1 Antes de conectar el generador a la demanda, consulte las características eléctricas en la placa de identificación del generador, y conéctelo exactamente como se indica en los diagramas de conexiones. Consulte los reglamentos en cuanto a las especificaciones de calibre de alambres, conduits y dispositivos protectores.

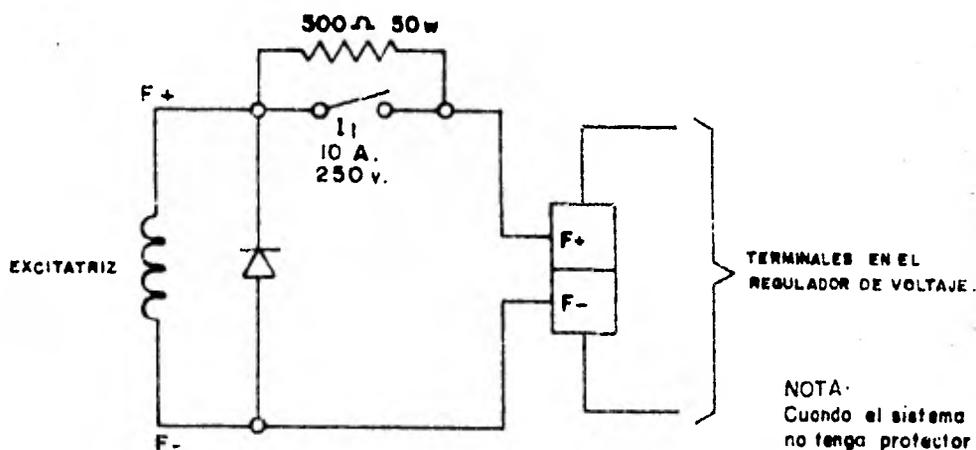
2.18.2 Los diagramas de conexiones para los generadores POTENCIA aparecen en las Figs. 2-15 hasta 2-18.

2.18.3 Al conectar para un voltaje diferente, quite la cinta aislante y desconecte. Vuelva a conectar como se indica en el diagrama correspondiente. Cerciórese de que todas las conexiones estén firmes. En las Figs. 2-15 hasta 2-18 se indican las diversas conexiones monofásicas y trifásicas.

PRECAUCION

LAS CONEXIONES FLOJAS EN LA CAJA DE TERMINALES PUEDEN PRODUCIR SERIOS DAÑOS AL GENERADOR POTENCIA Y A LA DEMANDA QUE ABASTECE.

DESPUES DE VOLVER A CONECTAR EL GENERADOR POTENCIA, Y DE HABER EXAMINADO CUIDADOSAMENTE LAS CONEXIONES, VUELVA A ENCINTARLAS CON CINTA AISLANTE ELECTRICA DE ALTA CALIDAD. USE SIEMPRE CINTA NUEVA; NO VUELVA A USAR LA CINTA QUE QUITO DE LAS CONEXIONES VIEJAS.



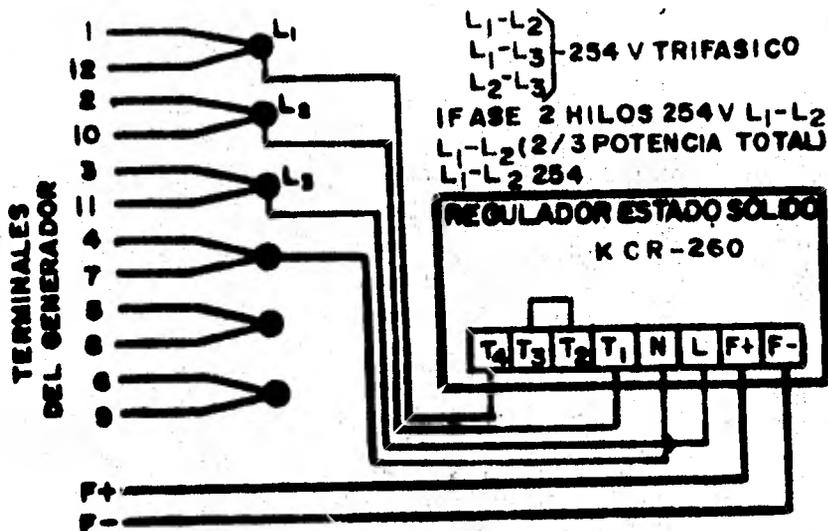
NOTA:

Cuando el sistema de regulación no tenga protector contra bajas velocidades, y se trabaje el sistema a menos de un 10% de la velocidad de sincronía del generador, abrir el interruptor I₁ de la figura 2-14. Cuando se trabaja a velocidad de sincronía, cerrar el interruptor.

FIGURA 2-14 DIAGRAMA DE CONEXION DEL INTERRUPTOR DE MARCHA MINIMA DEL MOTOR
Se ilustra el interruptor en la posición abierta (marcha)

DIAGRAMA DE CONEXIONES

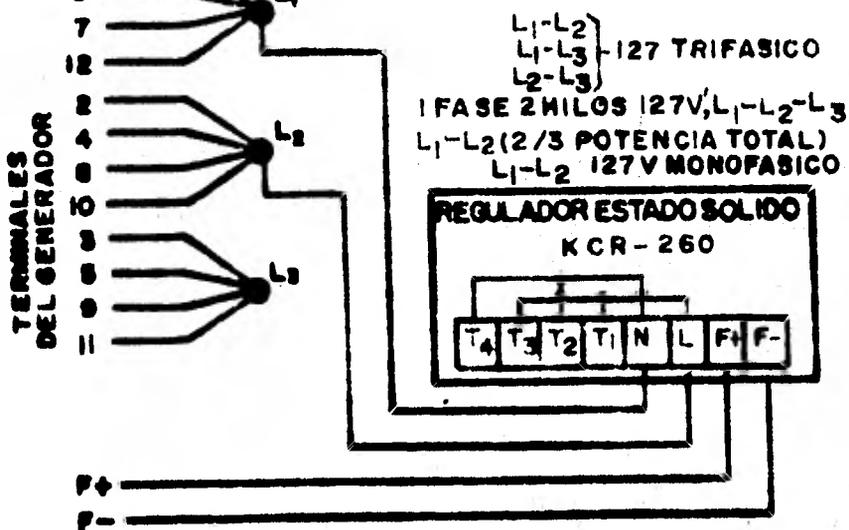
DELTA 1 SERIE
3 FASES 2 HILOS 254V



PUB-PI-166 FIGURA 2-15

DIAGRAMA DE CONEXIONES

DELTA 2 PARALELO
3 FASES 3 HILOS 127VCA



NOTA: ASEGURESE QUE SU REGULADOR EN ESTA SOLA CONEXION LLEVE LOS PUENTES MOSTRADOS

FIGURA 2-16

DIAGRAMA DE CONEXIONES

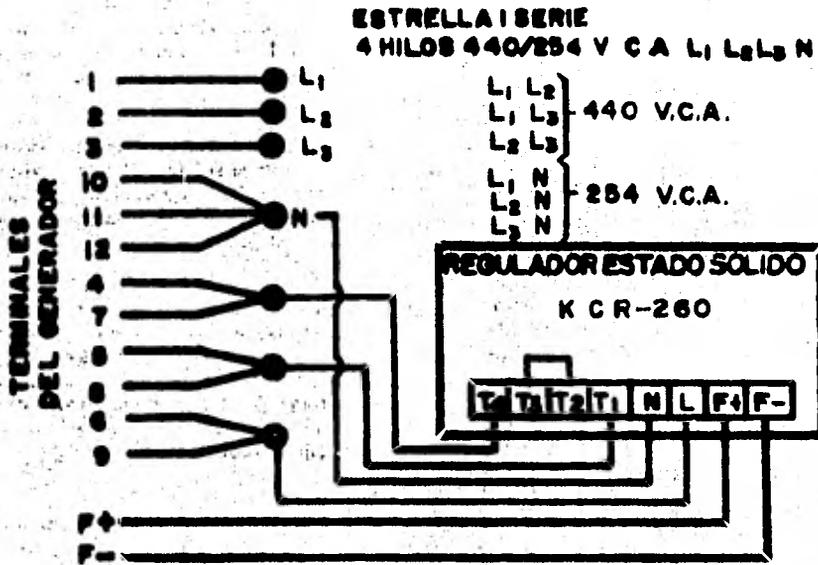


FIGURA 2-17

DIAGRAMA DE CONEXIONES

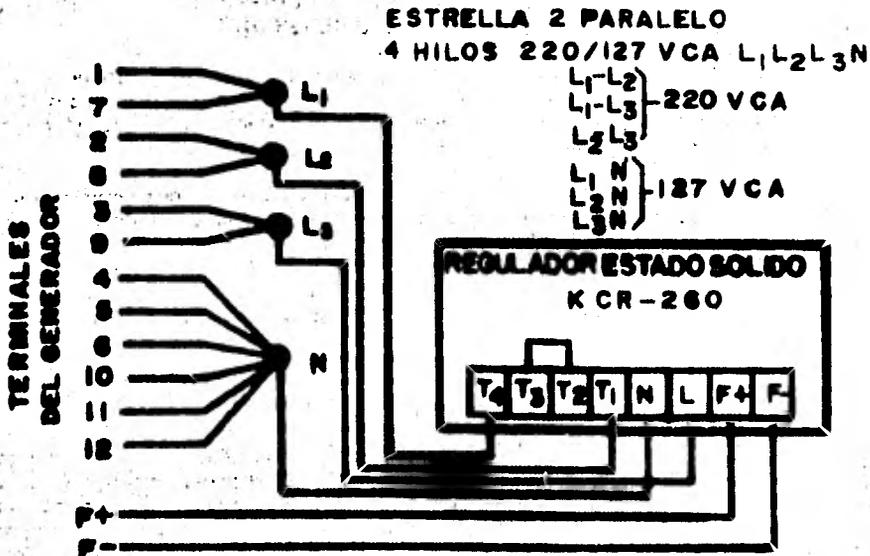


FIGURA 2-18

SECCION 3 OPERACION

3.1 PRUEBA DEL EQUIPO ANTES DE LA OPERACION

3.1.1 Después de haber instalado y conectado completamente el generador POTENCIA; pero, antes de operar la unidad por primera vez, efectúe una comprobación del equipo, como sigue:

- a. Si el generador ha estado sometido a una humedad extrema durante el embarque o almacenamiento, puede ser necesario secar los embobinados antes de poner a funcionar la unidad. Consulte los procedimientos para probar la resistencia del aislamiento de los embobinados y los procedimientos para secarlos, que se describen en la Sección 4 de este Manual. Los generadores que se pongan a funcionar después de haber estado sometidos a temperaturas muy bajas, se deben calentar lentamente para evitar la condensación.
- b. Compruebe que todos los alambres conexiones estén de acuerdo con los diagramas de conexiones (Sección 2, Figs. 2-15 hasta 2-18). Cerciórese de que las conexiones estén aisladas y encintadas.
- c. Cerciórese de que no hay cuerpos extraños alojados en el generador. Quite todas las herramientas, trapos, etc., de las inmediaciones del equipo.
- d. Cerciórese de que estén instaladas todas las tapas y protectores.

3.2 PROCEDIMIENTOS PARA ARRANQUE INICIAL DEL GENERADOR POTENCIA

3.2.1 Después de que la instalación esté completa y se hayan efectuado todas las comprobaciones señaladas en el párrafo 3.1.1, efectúe el arranque y pruebas iniciales de funcionamiento del equipo, como se indica en las siguientes instrucciones generales:

- a. Abra el interruptor de Salida para desconectar el generador de la demanda (carga).
- b. Gire el potenciómetro de Ajuste Manual de voltaje a la posición de mínimo voltaje máxima resistencia (totalmente hacia la izquierda).

NOTA: Si se usa interruptor de marcha mínima para el motor de combustión interna, abra el interruptor cuando el generador esté a su velocidad especificada.

- d. Pare la unidad. Compruebe la rotación conforme la unidad va desacelerando hasta pararse.

- e. Vuelva a poner en marcha el generador, y acélerelo hasta la velocidad especificada. Mientras vigila el voltaje de salida con un voltímetro, gire lentamente hacia la derecha el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje para obtener el voltaje deseado, Fig. 3-2.
- f. Ponga en marcha y pare el generador varias veces, y observe si hay cualquier condición anormal, tal como ruido o vibraciones excesivos. Deje pasar suficiente tiempo entre cada arranque, para que enfríe el generador.
- g. Cierre el interruptor de Salida y aplique una carga ligera. Gradúe el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje para obtener el voltaje deseado de salida. Aumente lentamente la carga hasta llegar al valor de factor de potencia especificado con plena carga. Gradúe el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje según sea necesario para obtener el voltaje deseado de salida.
- i. Durante el funcionamiento, observe el generador a intervalos regulares, para poder corregir cualesquiera condiciones anormales antes de que ocurran daños serios.
- j. Con un factor de potencia especificado a plena carga, compruebe la corriente en cada línea. Utilice un amperímetro para pruebas, si el equipo generador no tiene amperímetro.
- k. Compruebe el voltaje de línea. En los generadores trifásicos, entre fases 1 y 2, fases 2 y 3 y fases 1 y 3. En los monofásicos, L1 y L2, L1 a N y L2 a N.

3.3 INSTRUCCIONES PARA OPERACION DE UN SOLO GENERADOR

3.3.1 Si los embobinados del generador están húmedos, compruebe la resistencia del aislamiento, y séquelos antes de poner en marcha el generador. Consulte la Sección 4, párrafos 4.5 y 4.6.

3.3.2 Arranque y opere el equipo generador de acuerdo con las siguientes instrucciones generales:

- a. Ponga en marcha el equipo generador de acuerdo con las especificaciones de la máquina motriz. Acélerelo hasta la velocidad especificada.
- b. Cuando se ha ajustado el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje para proveer el voltaje deseado de salida, no se requiere ajuste adicional de ellos antes de poner en operación el equipo generador. Si no se conoce la graduación previa del voltaje, gire el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje a una posición intermedia antes de poner en marcha el generador. Durante el funcionamiento, gire

el potenciómetro de Ajuste Manual de Voltaje para obtener el voltaje deseado de salida.

NOTA: Si no se puede obtener el voltaje deseado, el potenciómetro de Ajuste de Gama de Voltaje puede necesitar ajuste. Al girar los potenciómetros hacia la derecha, se aumenta el voltaje porque se disminuye la resistencia; al girarlos hacia la izquierda, se reduce el voltaje porque se aumenta la resistencia.

- c. Compruebe la regulación del voltaje con el factor de potencia especificado aplicado. Si la regulación o el voltaje de salida no son satisfactorios, consulte los procedimientos descritos en el párrafo 3.2.1.
- d. Durante el funcionamiento, observe el generador a intervalos regulares para poder corregir cualesquiera condiciones anormales antes de que ocurran daños serios.
- e. Pare el equipo generador de acuerdo con las especificaciones de la máquina motriz.
- f. Cuando se utilice el equipo generador para caso de emergencia, abra el interruptor de Salida después de parar el equipo.

3.4 INSTRUCCIONES PARA OPERACION DE GENERADORES EN PARALELO

3.4.1 El regulador de voltaje REGUTRON POTENCIA se puede equipar para funcionamiento en paralelo, ya sea como opción en la fábrica, o por un técnico del representante. Con la opción para paralelo, se pueden paralelizar con éxito dos o más generadores, sin que importe su capacidad, siempre y cuando cada uno de ellos no abastezca una demanda que exceda de su capacidad especificada en KW con plena carga. No intente operar en paralelo ningún generador POTENCIA que no tenga la opción de paralelizarlos. Además no intente paralelizar un generador POTENCIA con las líneas de corriente comerciales.

PRECAUCION

NO CIERRE EL INTERRUPTOR DE CARGA DEL GENERADOR QUE SE VA A PARALELIZAR CON EL QUE ESTA EN LA LINEA, HASTA QUE SE HAYA COMPROBADO LA ROTACION CORRECTA DE FASES Y SE HAYA AJUSTADO LA SINCRONIZACION DE LOS GENERADORES COMO SE DETALLA EN LOS PARRAFOS SIGUIENTES.

3.5 SECUENCIA DE FASES

3.5.1 Antes de poner dos o más generadores trifásicos en paralelo, cerciórese de que los generadores tienen la misma rotación de fases. Esto se puede lograr conectando un motor trifásico, de inducción en cada uno de los generadores y determinando la rotación del motor. Se debe tener cuidado de cerciorarse de que las terminales del motor estén conectadas a las terminales correspondientes del generador o la

barra colectora. La rotación de fase será la misma si el motor gira en la misma dirección al conectarlo a cualquiera de los generadores.

3.5.2 Si el motor gira en la dirección correcta al conectarlo a uno de los generadores, invierta dos de los tres conductores del generador (excepto las líneas neutras). Vuelva a comprobar la rotación del motor, y siga las pruebas hasta que el motor de inducción gire en la dirección correcta.

3.6 SINCRONIZACION DE GENERADORES EN PARALELO

3.6.1 No intente poner en paralelo generadores hasta que se haya comprobado la rotación correcta de fase de cada máquina, y hasta que se haya ajustado cada generador al voltaje requerido en el sistema, con el interruptor de línea abierto.

3.6.2 Si no se cuenta con un sincroscopio, los generadores se pueden sincronizar con el uso de lámparas incandescentes conectadas en el circuito de carga como se ilustra en la Fig. 3-1. Cerciórese de que el voltaje total de las lámparas en serie sea igual al voltaje especificado del generador.

3.6.3 Sincronice los generadores variando la velocidad del generador que va a entrar, hasta que la fluctuación de las lámparas sea muy lenta. Cuando no enciendan las lámparas, cierre el interruptor de línea. Se debe tener cuidado de cerrar el interruptor de línea en el momento en que se apaguen las lámparas.

PRECAUCION

TENGA UN CUIDADO EXTREMO AL USAR ESTE METODO DE SINCRONIZACION DE GENERADORES, PARRA NO EXPONERSE A VOLTAJES PELIGROSOS.

3.7 DIVISION DE CARGA ACTIVA (KW) ENTRE GENERADORES EN PARALELO

3.7.1 Ajuste los gobernadores de los motores de acuerdo con las instrucciones del fabricante del motor. La división de la carga activa o en kilowatts entre los generadores que funcionan en paralelo, es prácticamente independiente de la excitación del generador. No intente variar la cantidad de carga en kilowatts entre los generadores en paralelo, haciendo ajustes en el regulador de voltaje.

3.8 DIVISION DE KVA REACTIVOS ENTRE GENERADORES EN PARALELO

3.8.1 La división de los KVA reactivos entre los generadores en paralelo, depende de la excitación de los generadores individuales si toman una parte mayor o menor que sus KVA reactivos, son la adición de controles para compensación de corriente cruzada o de caída de voltaje en el circuito del regulador de voltaje.

3.8.2 El ajuste del réostato para corriente cruzada o caída de voltaje se debe graduar, por lo general, de modo que haya justamente la resistencia suficiente en el circuito para dar un funcionamiento estable de los generadores en condiciones de carga con KVA reactivos.

3.8.3 Ponga a funcionar el generador y aplique el factor de carga conductiva y compruebe la caída de voltaje. La máxima caída de voltaje, desde sin carga hasta plena carga se obtienen al aplicar toda la resistencia para caída de voltaje. Con frecuencia se emplea una caída de 4% a 6%. Ajuste cada generador que se va a paralelizar, para una caída idéntica.

3.8.4 Acelere todos los generadores a la velocidad correcta, y ajuste todos los voltajes de salida a valores idénticos. Sincronice y ponga en paralelo los generadores. Aplique carga a los generadores paralelizados, y compruebe si hay una división satisfactoria de las corrientes de carga. Corrija ajustando los reóstatos para ajuste de voltaje y las resistencias de control de caída.

3.8.5 El regulador de voltaje debe llevar la opción de conexión en paralelo.

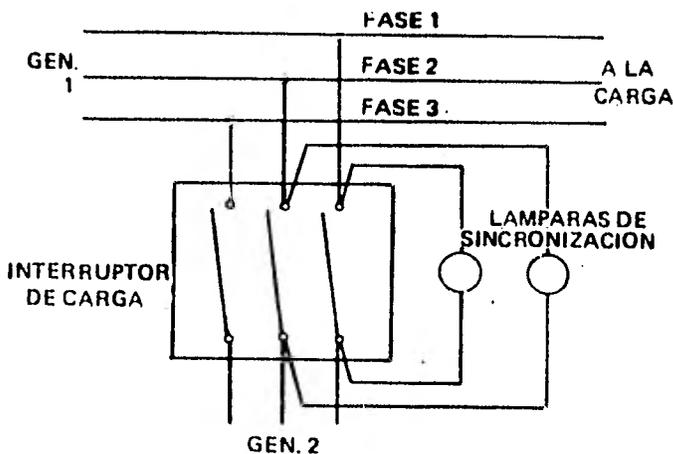


FIGURA 3-1 SINCRONIZACION DE GENERADORES EN PARALELO CON LAMPARAS DE SINCRONIZACION

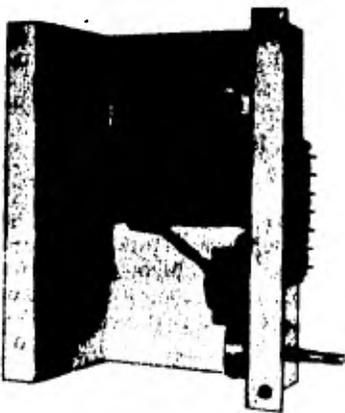


FIGURA 3.2 A REGULADOR DE VOLTAJE REGUTRON 400

3.9 INTERRUPTOR DE MARCHA MINIMA DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

3.9.1 En las aplicaciones en donde el equipo generador está equipado con un interruptor de marcha mínima para el motor de combustión interna, para proteger el generador contra una baja frecuencia, accione el interruptor como sigue:

- Cierre el interruptor (póngalo en la posición de marcha mínima o marcha en vacío) cuando el generador está funcionando a muy baja velocidad; por ejemplo, al calentar el motor en marcha mínima, sin carga. Fig. 2-14
- Abra el interruptor (póngalo en la posición de marcha normal) cuando se acelere el equipo generador a la velocidad especificada. Fig. 2-14

SECCION 4 MANTENIMIENTO

4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.1.1 El mantenimiento preventivo es un método de inspección y limpieza del equipo generador para eliminar pequeñas fallas antes de que se vuelvan serias. Un programa rutinario y regular de mantenimiento preventivo, aplicado en forma constante, asegurará máximo rendimiento, prolongará la duración del generador y eliminará o, por lo menos, reducirá mucho el tiempo perdido por desperfectos.

4.1.2 El programa de mantenimiento preventivo descrito en la Tabla C se ha incluido como una guía para establecer un programa de mantenimiento preventivo para generadores que funcionen en condiciones normales. El usuario del equipo debe analizar las condiciones específicas de operación, y establecer un programa apropiado de mantenimiento preventivo. Cuando la inspección para mantenimiento preventivo indique que es necesario la limpieza del generador, limpie el generador y los controles como se describe en el Párrafo 4.3.1.

4.2 INFORMACION PARA LUBRICACION DE RODAMIENTOS

4.2.1 Los generadores POTENCIA están equipados con rodamientos de bolas blindados. Normalmente, no se requiere reabastecer periódicamente la grasa. El engrase ocasional de los rodamientos puede ser conveniente, dependiendo de la aplicación del generador. Se deben esperar, normalmente, varios años de operación antes de que sea necesario reemplazar o reengrasar los rodamientos. Cuando se efectúe la reparación mayor del generador o de la máquina motriz, es un buen momento para inspeccionar los rodamientos y reemplazarlos o empacarlos, dependiendo de las condiciones en que se encuentren.

4.2.2 Si se van a reengrasar los rodamientos, línelos más o menos hasta la mitad, con una grasa para rodamientos de bolas de alta calidad, recomendada para servicio en motores

eléctricos. La grasa debe ser capaz de retener sus propiedades lubricantes a temperaturas hasta de 116°C (240°F) y, también, a la temperatura ambiente más baja a la cual pueda operar el generador.

4.3 LIMPIEZA

4.3.1 Cuando la inspección determine que es necesaria la limpieza, limpie el generador y los controles como sigue:

- a. Limpie el polvo flojo de las superficies pintadas externas del generador y del tablero de controles del generador, con un trapo limpio. Limpie las acumulaciones de mugre con un detergente o un solvente. Limpie todas las aberturas para ventilación con una aspiradora o use aire comprimido, seco, filtrado, a una presión entre 1.7 y 2.8 kg/cm² (25 a 40 lbs/pulg²).
- b. Limpie el interior del generador con una aspiradora o use aire comprimido, seco, filtrado, a una presión entre 1.7 y 2.8 kg/cm² (25 a 40 lbs/pulg²). Limpie las acumulaciones de mugre y grasa en los embobinados, con un trapo empapado en nafta.

PRECAUCION

TENGA CUIDADO EXTREMO CUANDO USE LA NAFTA. USELA SOLAMENTE EN LUGARES BIEN VENTILADOS EN DONDE NO HAYA FLAMAS NI CHISPAS.

- c. Limpie los contactos eléctricos, tales como los contactos de los relevadores, contactos y terminales de interruptores con un limpiador aprobado para contactos. No limpie los contactos con una lima.

4.4 PROTECCION PARA LOS EMOBINADOS

4.4.1 Los generadores que funcionan de manera intermitente en lugares muy húmedos, se deben proteger con calentadores de espacio. Los generadores que son puestos en marcha después de haber estado a temperaturas muy bajas, se deben calentar lentamente, para evitar la condensación excesiva. La resistencia de los embobinados se debe comprobar antes de poner a funcionar el generador, si los embobinados están húmedos.

4.5 PRUEBA DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

4.5.1 La resistencia del aislamiento de los embobinados se puede comprobar en forma conveniente y segura con un "megger" accionado por manivela de no más de 500 volts. La siguiente fórmula es la aceptada generalmente para medir la resistencia del aislamiento de los embobinados del estator. La resistencia del aislamiento de los embobinados, medida a 500 volts de CD, después de un minuto, no deberá ser menor de:

$$\text{Resistencia en } \frac{\text{Voltaje Especificado de la máquina} \times 1000}{\text{megohms: } 1000}$$

La fórmula anterior es satisfactoria para la mayoría de las comprobaciones. Para mayor información consulte la Norma

No. 43 de AIEE "Prácticas Recomendadas para Pruebas de Resistencia del Aislamiento en Máquina Rotatoria de CA". Al utilizar el "megger" en cualquier embobinado del generador, desconecte todas las conexiones en los componentes asociados tales como regulador de voltaje, puente rectificador o la carga.

4.6 SECADO DE EMOBINADOS

4.6.1 Si el aislamiento no pasa las pruebas especificadas, se puede secar el generador con calor en una estufa de aire caliente, con lámparas de calor o con calentadores de tira. La temperatura no debe exceder de 66°C (150°F). Los embobinados del generador también se pueden secar con la aplicación de calor interno, como se describe en el párrafo 4.6.2.

PRECAUCION

AL SECAR EN UNA ESTUFA, UTILICE ESTUFA CON CIRCULACION FORZADA DE AIRE Y NO DEL TIPO RADIANTE. LAS ESTUFAS U HORNOs RADIANTES SOBRECIENTARAN ALGUNOS COMPONENTES DEL GENERADOR ANTES DE QUE LOS COMPONENTES MAS ALEJADOS DEL CALOR ALCANCEN UNA TEMPERATURA SATISFACTORIA.

4.6.2 El secado del aislamiento de los embobinados del generador con la aplicación de calor interno, consiste en hacer funcionar el generador como se describe en el siguiente procedimiento:

- a. Examine si hay acumulación excesiva (bolsas) de agua en los embobinados del generador. Séquelo lo más posible con aire comprimido antes de aplicar el calor interno.
- b. Quite la tapa de la caja de terminales del generador. Desconecte todos los conductores del estator (1 al 12), de los conductores para el regulador de voltaje y las líneas de carga.
- c. Conecte los conductores del estator uno con otro, para poner los embobinados del estator en corto.
- d. En uno de los conductores del generador, intercale un amperímetro de suficiente capacidad para leer la corriente del generador a plena carga.
- e. Desconecte los conductores del campo del excitador en los terminales F+ y F- en el regulador de voltaje, y conecte una fuente variable de corriente directa en los conductores del campo del excitador.
- f. Haga funcionar el generador a su velocidad normal. Suministre una excitación que sea apenas suficiente para ocasionar que circule la corriente especificada en los embobinados del estator del generador.
- g. Haga funcionar el generador un tiempo suficiente para lograr el secado completo de los embobinados. Esto se puede determinar parando periódicamente el generador y probando la resistencia del aislamiento de los embobinados. Se sugiere comprobar la resistencia del aislamiento a intervalos de una hora.

Concluya el proceso de secado cuando la resistencia medida esté dentro de las normas para prueba (párrafo 4.5) y cambie muy poco en un período de operación de dos a cuatro horas.

4.7 PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS DEL EXCITADOR SIN ESCOBILLAS CON UN OHMETRO

4.7.1 Si se sospecha una falla de los rectificadores, quite la tapa del generador y pruebe los rectificadores con un óhmetro como sigue:

- a. Desuelva el conductor en el rectificador. Quite el rectificador.
- b. Consulte las Figs. 4-1 y 4-3. Luego, conecte los alambres del óhmetro a través del rectificador en una dirección y, luego, en la dirección opuesta. Observe las lecturas del óhmetro, el cual debe registrar una resistencia baja en una dirección, y una resistencia elevada en la dirección opuesta.
- c. Si el óhmetro indica baja resistencia en ambas direcciones, el rectificador está en corto. Una alta resistencia en ambas direcciones indica que el rectificador está abierto.
- d. Reemplace los rectificadores deficientes con rectificadores de las mismas características que los originales. Ordénelos por número de parte e incluya el modelo y tipo del excitador, así como el número de serie del generador.

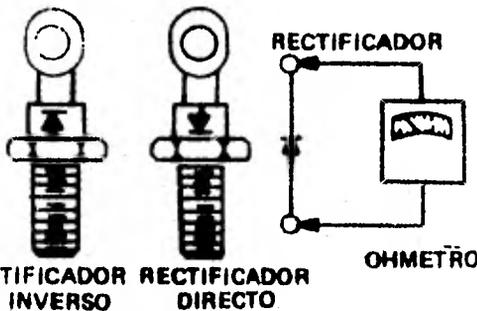


FIGURA 4-1 PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS CON OHMETRO

4.8 PRUEBA DE RECTIFICADORES ROTATORIOS DEL EXCITADOR SIN ESCOBILLAS CON UNA LUZ DE PRUEBA

4.8.1 Si no se cuenta con óhmetro, los rectificadores se pueden probar con una luz de prueba consistente en pilas secas y un foco de linterna, como se ilustra en la Fig. 4-2. Consulte las Figs. 4-3 a 4-5 para identificación y, luego, conecte los alambres de la luz de prueba como sigue:

- a. Desuelva el conductor en el rectificador. Quite el rectificador.
- b. Conecte los alambres del probador a través del rectificador en una dirección y, luego, en la dirección

opuesta. La luz debe encender al colocar los alambres en una dirección, y no debe encender en la dirección opuesta.

- c. Si la luz enciende en ambas direcciones, el rectificador está en corto. Si la luz no enciende en ninguna dirección, el rectificador está abierto.

4.9 PRUEBA DEL PROTECTOR CONTRA SOBREVOLTAJE CON LUZ DE PRUEBA

4.9.1 Desconecte un conductor y pruébelo con la luz de prueba. La luz no debe encender cuando los alambres del probador se coloquen a través del protector, en cualquier dirección. Si se enciende la luz, indica que el protector contra sobrevoltaje está en corto. Reemplaza el protector con otro de las mismas características. Ordénelo por número de parte e incluya el número de serie del generador.

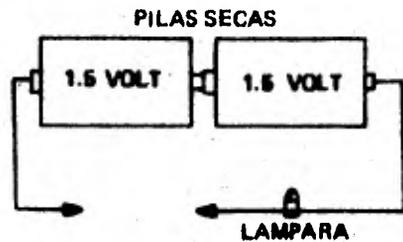


FIGURA 4-2 LAMPARA DE PRUEBA

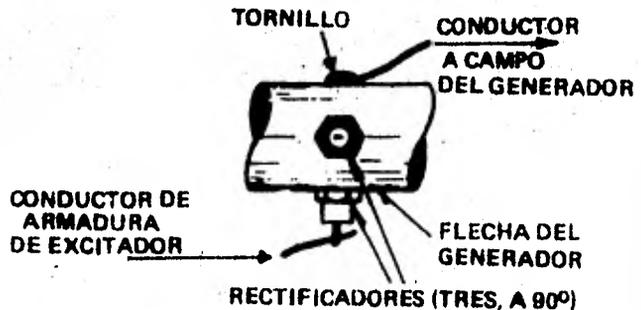


FIGURA 4-3 RECTIFICADOR POTENCIA 14

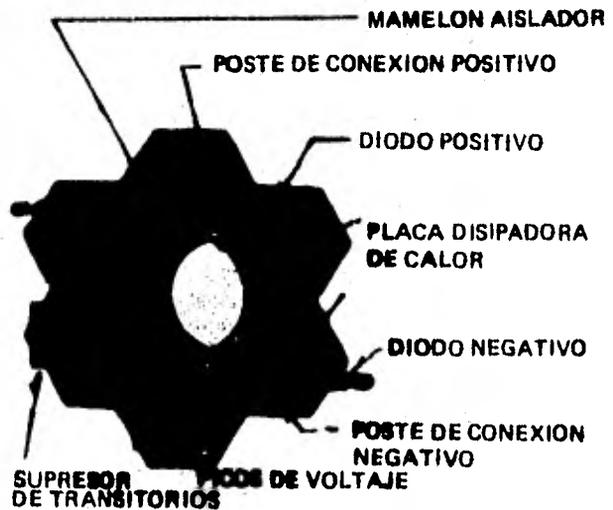


FIGURA 4-4 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA P 18

4.10 RESTAURACION DEL MAGNETISMO RESIDUAL

4.10.1 La corriente directa necesaria para magnetizar el campo del alternador se obtiene en el excitador. Inicialmente, al arrancar el generador, la circulación de corriente y el voltaje se inducen en la armadura del excitador por las líneas magnéticas de fuerza establecidas por el magnetismo residual de los polos del campo del excitador. El magnetismo se debilita por una inversión momentánea de la conexión de campos, por un campo magnético neutralizador intenso desde cualquier fuente o si el generador no ha funcionado durante un largo período de tiempo. Para restaurar la pequeña cantidad de magnetismo residual necesario para comenzar la elevación del voltaje, conecte un acumulador de 6 hasta 32 volts al circuito del campo del excitador. Normalmente, es suficiente con un acumulador de 6 o 12 volts. Cuando los embobinados del campo tienen una resistencia elevada (75-100 ohms), se puede necesitar un acumulador de mayor voltaje. Conecte el acumulador y "polarice" el campo como sigue:

- Desconecte el conductor F2 (F+) del campo del excitador en la terminal F+ del regulador de voltaje. Desconecte el conductor F1 (F-) en la terminal F- en el regulador de voltaje.
- Conecte el positivo del acumulador con el conductor F2 (F+) del campo.
- "Polarice" o magnetice el campo tocando un instante con un cable desde el negativo del acumulador hasta el conductor F1 (f-) del campo. Observe el aumento de voltaje del generador.

NOTA: Desconecte los cables del acumulador al generador, después de 3 a 5 segundos. Si se deja conectado el acumulador mucho tiempo, podrían ocurrir sobrecalentamiento y daños al excitador.

- Repita la "polarización" descrita en los pasos (a) hasta (d) si no aumenta el voltaje de salida del generador.
- Pare la unidad y conecte el conductor F2 (F+) del campo en la terminal F+ del regulador de voltaje. Conecte el conductor F1 (F-) en la terminal F- del regulador de voltaje.

NOTA: Si se invierte la polaridad del excitador al "polarizar" al campo, se puede corregir conectando los cables del acumulador en posición inversa.

4.11 PRUEBA DE COMPONENTES DEL REGULADOR DE VOLTAJE

4.11.1 Los rectificadores se pueden probar como se describe en los párrafos 4.7 y 4.8.

4.11.2 Los capacitores se pueden probar en un puente de capacitores para medir la capacitancia o las fugas. La capacitancia no debe variar más de 10% del valor especificado.

Se puede efectuar una prueba aproximada con un óhmetro graduado en una escala para lecturas de resistencia elevada. El óhmetro debe indicar inicialmente una baja resistencia y, luego, aumentará en forma gradual hasta que el capacitor quede totalmente cargado.

4.11.3 Prueba del Transformador de Potencia: Con el voltaje especificado en el embobinado primario, compruebe los voltajes secundarios. Los voltajes medidos cuando el transformador está descargado, deben ser alrededor de 10% mayores que los existentes cuando el transformador está conectado en el circuito.

Las deficiencias típicas de los transformadores son los cortos entre embobinados y vueltas en corto. Por lo general, se pueden detectar comprobando las resistencias y los voltajes. Cuando se sobrecaliente el transformador y no se pueda saber con seguridad si hay vueltas en corto con la medición de la resistencia, compruebe la corriente alterna sin carga en el embobinado primario. Esta corriente de excitación será excesiva si hay vueltas en corto.

4.11.4 Los potenciómetros y resistencias se pueden probar con un óhmetro. Los potenciómetros y las resistencias ajustables se deben probar en toda su gama de capacidad. Se debe tener cuidado para evitar daños al graduar las bandas ajustables en las resistencias ajustables. La banda ajustable se debe aflojar hasta que se deslice libremente en el tubo de la resistencia.

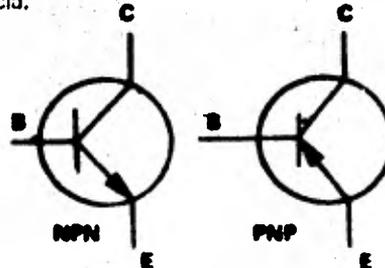


FIGURA 4-5 ESQUEMA DE TRANSISTORES BIPOLARES

NOTA: Las lecturas tomadas con las resistencias conectadas en el circuito, pueden indicar la resistencia del circuito en vez de la unidad de resistencia propiamente dicha.

4.11.5 Prueba de Transistores de Silicio: En la Tabla siguiente aparece el método para probar transistores con una luz de prueba de 3 volts. En la Fig. 4-5 aparece el diagrama de los transistores. Ver TABLA C

TABLA C
CUADRO PARA PRUEBA DE TRANSISTORES

Tipo de Transistor	Alambre Positivo de Luz de Prueba Conectado a:	Alambre Negativo de Luz de Prueba Conectado a:	Indicación de la Luz
PNP	BASE BASE	COLECTOR EMISOR	ENCIENDE ENCIENDE
	COLECTOR EMISOR	BASE BASE	NO ENCIENDE NO ENCIENDE
NPN	BASE BASE	COLECTOR EMISOR	NO ENCIENDE NO ENCIENDE
	COLECTOR EMISOR	BASE BASE	ENCIENDE ENCIENDE

4.12 DESMONTAJE DE RODAMIENTOS

4.12.1 Quite la tapa lateral para tener acceso a los rodamientos. Consulte "Para Desarmar el Generador". Utilice un extractor para sacar el rodamiento de la flecha. Proteja el extremo de la flecha con un casquillo. Si se va a volver a usar el rodamiento, cerciórese de que el extractor aplica presión solamente contra la corredera (pista) interna del rodamiento, Fig. 4-6.

4.13 INSTALACION DE RODAMIENTOS

4.13.1 Caliente el rodamiento a 121° C (250°F) en una estufa con circulación de aire caliente y control de temperatura. Empece a colocar con guantes el cojinete caliente en la flecha. Asiente el rodamiento hasta que quede contra el reborde de la flecha.

4.14 LOCALIZACION DE DEFECTOS O FALLAS

4.14.1 La localización de fallas o defectos es el proceso para reconocer las fallas del sistema, analizar cuidadosamente la falla y efectuar las correcciones necesarias para restaurar el funcionamiento correcto de la unidad.

4.14.2 Esté siempre alerta a cualquier señal de problemas con el generador entre los períodos de mantenimiento preventivo. Los síntomas comunes se listan en la Tabla D. Corrija cualquier pequeña falla de inmediato. Las fallas pequeñas que no se corrijan, pueden causar serios daños, y reparaciones costosas y pérdidas de tiempo.

4.15 INSTRUCCIONES PARA DESARMAR EL GENERADOR POTENCIA DE DOS RODAMIENTOS

4.15.1 Consulte la ubicación de las piezas en la Fig. 4-8 y la nomenclatura en la Tabla E. Desmonte el acoplamiento entre el generador y la máquina motriz y desarme el generador como sigue:

1. Saque los tornillos que sujetan las tapas laterales (3), (17) a la base. Separe el generador de la base.
2. Saque los tornillos de las orejas de levantamiento (14) y los tornillos (15) y tuercas (16). Quite la cubierta (13) del generador.
3. Quite la tapa de la caja de terminales y desconecte los cables de salida del generador y los alambres de campos F- y F+. Quite cualesquiera broches que sujeten los cables del campo del generador al armazón (11) del generador.
4. Saque los tornillos (18) y Roldanas (19) de la placa de extremo (17) de impulsión. Separe la placa, del generador.
5. Saque los tornillos (21) y roldanas (22) del ventilador (20). Quite el ventilador. Al instalarlo, coloque el ventilador a unos 13 mm (1/2") de la tolva (12).
6. Saque los tornillos (1) y roldanas (2) de la placa de extremo (3). Separe la placa, del generador.
7. Si hay que reemplazar el campo (4) del excitador, saque los tornillos (5) y roldanas (6) que sujetan el campo a la placa de extremo (3). Al instalar, coloque el campo con los conductores hacia la placa del extremo.
8. Saque, del conjunto de armazón y estator (11), el conjunto del rotor (10).
9. Si hay que reemplazar los rectificadores (9), desuelde el conductor en los párrafos 4. 8 y 4. 9.
10. Para reemplazar los rodamientos (7) o (23) consulte el procedimiento en los párrafos 4.12 y 4.13.

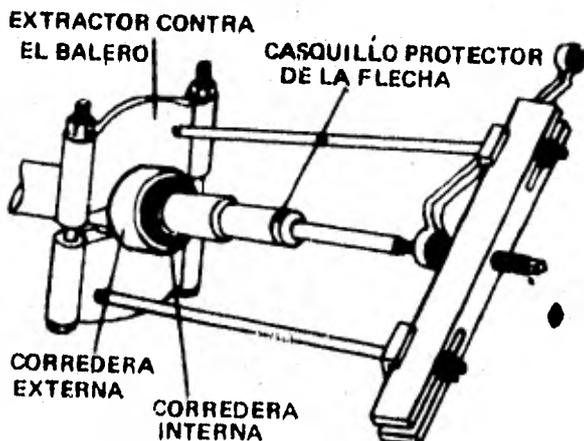


FIGURA 4-6 DESMONTAJE DE BALERO

TABLA D

SINTOMA	CAUSAS PROBABLES	CORRECCION
No Hay Voltaje	<p>Interruptor abierto o fusible fundido (si se mide el voltaje en el lado de carga de los fusibles o interruptor). Interruptor de Marcha Mínima, cerrado</p> <p>Circuito abierto en el campo del excitador</p> <p>Pérdida de magnetismo residual en los polos del campo del excitador</p> <p>Circuito abierto en el embobinado del estator</p> <p>Mal funcionamiento del regulador automático de voltaje</p> <p>Cables de salida del generador, en corto</p> <p>Abertura en los rectificadores rotatorios</p> <p>Abertura en el campo del alternador</p> <p>Abertura en el campo del alternador</p> <p>Armadura del excitador en corto</p> <p>Conductores en corto entre la armadura del excitador y el campo del generador</p>	<p>Comprobarlo. Restablecer interruptor o cambiar fusibles, según el caso. Abrir el Interruptor de Marcha Mínima. NOTA: Si se deja cerrado el interruptor de marcha mínima, el voltaje de salida puede ser bajo o no habrá voltaje, dependiendo de la cantidad de magnetismo residual en el campo del excitador.</p> <p>Probar continuidad del campo en derivación y los conductores al control de voltaje. (Usar óhmetro o puente de resistencias "Wheatstone"). Si hay abertura en los espiras o bobina de campo, desmontar los campos y devolver el conjunto a la fábrica para reparación.</p> <p>Graduar el potenciómetro de ajuste manual a máxima resistencia. "Polarizar" los campos con una conexión instantánea de C.D. a través de las terminales F1 a F2. Ver párrafo 4.10.</p> <p>Probar la continuidad en los embobinados. Devolver a la fábrica para reparación si están abiertos.</p> <p>Consultar el Párrafo 4.11 "Pruebas de los Componentes del Regulador de Voltaje".</p> <p>Eliminar el corto para restaurar el aumento de voltaje</p> <p>Probar rectificadores rotatorios y reemplazarlos si están abiertos.</p> <p>Probar la continuidad. Devolver el rotor a la fábrica para reparación si está abierto el campo.</p> <p>Probar si hay cortos. Reemplazar si están deficientes.</p> <p>Probar si hay cortos. Reemplazar si está deficiente.</p> <p>Probar y reparar lo necesario</p>
Bajo Voltaje	<p>Interruptor de Marcha Mínima del Motor de Combustión Interna, Abierto.</p> <p>Ajuste incorrecto del reóstato de ajuste de voltaje del reóstato de ajuste de gama de voltaje.</p> <p>Carga excesiva.</p> <p>Pérdidas en la línea.</p> <p>Conexión de alta resistencia. Las conexiones estarán calientes.</p> <p>Campo en corto.</p>	<p>Abrir el interruptor. Ver "NOTA" en "No Hay Voltaje".</p> <p>Ajustar los reóstatos. Ver Sección 3 "Procedimientos para Operación.</p> <p>Reducir la carga. Con generadores monofásicos de 3 alambres y trifásicos de 4 alambres, la carga en cada pierna debe estar balanceada con la mayor uniformidad posible, y no debe exceder de la corriente especificada en ninguna de las piernas.</p> <p>Aumentar el tamaño de los conductores para la línea.</p> <p>Hacer mejores conexiones</p> <p>Probar continuidad del campo. Usar óhmetro o puente de resistencias (Wheatstone). Si hay abertura en los campos, desmontar los campos y devolver el conjunto a la fábrica para reparación.</p>

TABLA D (cont.)

SINTOMA	CAUSAS PROBABLES	CORRECCION
Bajo Voltaje (Cont.)	<p>Bajo Factor de Potencia.</p> <p>Campo débil debido a la operación en lugares calurosos.</p> <p>Voltaje y/o frecuencia incorrectos para impulsar el motor eléctrico de impulsión y producen baja velocidad.</p> <p>Baja velocidad debida a ajuste incorrecto de las bandas en generadores impulsados por motor eléctrico y bandas.</p> <p>Velocidad incorrecta del motor de combustión por deficiencias en el gobernador, sistema de ignición o carburador.</p>	<p>Reducir la carga inductiva. Algunos motores de CA consumen aproximadamente la misma corriente, sin que importe la carga. No use motores de caballoje mayor que el necesario para impulsar la carga mecánica.</p> <p>Mejorar la ventilación del generador. Se puede aumentar la corriente de campos, siempre y cuando no se exceda la temperatura especificada en la placa de identificación del generador.</p> <p>Comprobar voltaje de entrada. Corregir las deficiencias. Consultar los valores nominales de operación en la placa de identificación del motor.</p> <p>Alinear y ajustar bandas. Reemplazar si están muy gastadas. Comprobar que la polea sea del tamaño correcto.</p> <p>Comprobar y corregir las deficiencias.</p>
Fluctuación en el Voltaje	<p>Regulador de voltaje (si usa) no funciona correctamente.</p> <p>Fluctuaciones en la velocidad de la máquina matriz.</p> <p>Terminales o conexiones a la carga, flojas.</p> <p>Generador sobrecargado.</p> <p>Fluctuación en el voltaje de CD para excitación.</p>	<p>Comprobar regulador. Reemplazar si está deficiente.</p> <p>Comprobar el voltaje y la frecuencia de la corriente si el generador es impulsado por motor eléctrico. Comprobar el gobernador en los generadores impulsados por motor de combustión interna.</p> <p>Mejorar las conexiones.</p> <p>Reducir la carga al valor especificado.</p> <p>Seguir el circuito de excitación de CD. Corregir cualesquiera deficiencias.</p>
Alto Voltaje	<p>Sobrevelocidad.</p> <p>Conexión incorrecta del generador.</p> <p>Ajuste incorrecto del rebáto de ajuste de voltaje o del rebáto de ajuste de gama de voltaje.</p>	<p>Corregir la velocidad de la máquina matriz.</p> <p>Conectar correctamente el generador. Ver Párrafo 2.18, "Conexiones Eléctricas".</p> <p>Ajustar los rebátos. Ver Sección 3 "Procedimientos para Operación".</p>
Sobrecalentamiento	<p>Rejillas y conductos de aire para ventilación, obstruidos.</p> <p>Baleros secos o deficientes.</p> <p>Acoplamiento desalineado; en generadores impulsados por banda, la banda está muy apretada.</p> <p>Campos del generador en corto o a tierra.</p>	<p>Limpiar todas las rejillas y conductos para aire.</p> <p>Lubricar los baleros secos. Reemplazar los baleros deficientes.</p> <p>Alinear el equipo generador o ajustar la banda.</p> <p>Probar si hay cortos a tierras. Reemplazar el rotor en corto o devolverlo a la fábrica para reparación.</p>

TABLA D (cont.)

SISTEMA	CAUSAS POSIBLES	CORRECCION
Vibración	<p>Baleros secos o deficientes.</p> <p>Desalineación entre el generador y la máquina motriz.</p> <p>Generador montado incorrectamente.</p> <p>Transferencia de vibración de otra fuente al generador.</p>	<p>Lubricar los baleros secos. Reemplazar los baleros deficientes.</p> <p>Alinear el equipo generador.</p> <p>Comprobar el montaje. Corregirlo si es necesario.</p> <p>Aislar el generador de la fuente de vibración instalando amortiguadores de vibración entre la base y el cimiento del equipo generador.</p>

4.16 INSTRUCCIONES PARA DESARMAR EL GENERADOR POTENCIA DE UN RODAMIENTO

4.16.1 Consulte la ubicación de las piezas en la Fig. 4-8 y la nomenclatura en la Tabla F. Desmonte el generador de los tornillos de montaje en el motor, y desarme el generador como sigue:

1. Saque los tornillos que sujetan la tapa lateral (3) y el adaptador (17) a la base. Separe el generador de la base.
2. Saque los tornillos de oreja de levantamiento (14) y los tornillos (15) y tuercas (16). Quite la cubierta (13) del generador.
3. Quite la tapa de la caja de terminales y desconecte los cables de salida del generador y los alambres de campos F- y F+. Quite cualesquiera broches que sujeten los cables de campos del generador al armazón (11) del generador.
4. Saque los tornillos (1) y roldanas (2) de la placa de extremo (3). Separe la placa, del generador.
5. Saque el conjunto de rotor (10), del lado de impulsión del armazón (11) del generador.
6. Si hay que reemplazar el campo (4) del excitador, saque los tornillos (5) y roldanas (6) que sujetan el campo a la placa de extremo (3). Al instalar, coloque el campo con los conductores hacia la placa de extremo.
7. Saque los tornillos (21) y roldanas (22) del ventilador. Quite el ventilador. Al instalarlo, coloque el ventilador a unos 13 mm (1/2") de la tolva (12).
8. Si hay que reemplazar los rectificadores (9), desuelde el conductor y quite el rectificador. párrafos 4.8 y 4.9.
9. Para reemplazar el rodamiento (7), - consulte el procedimiento en los párrafos 4.12 y 4.13.

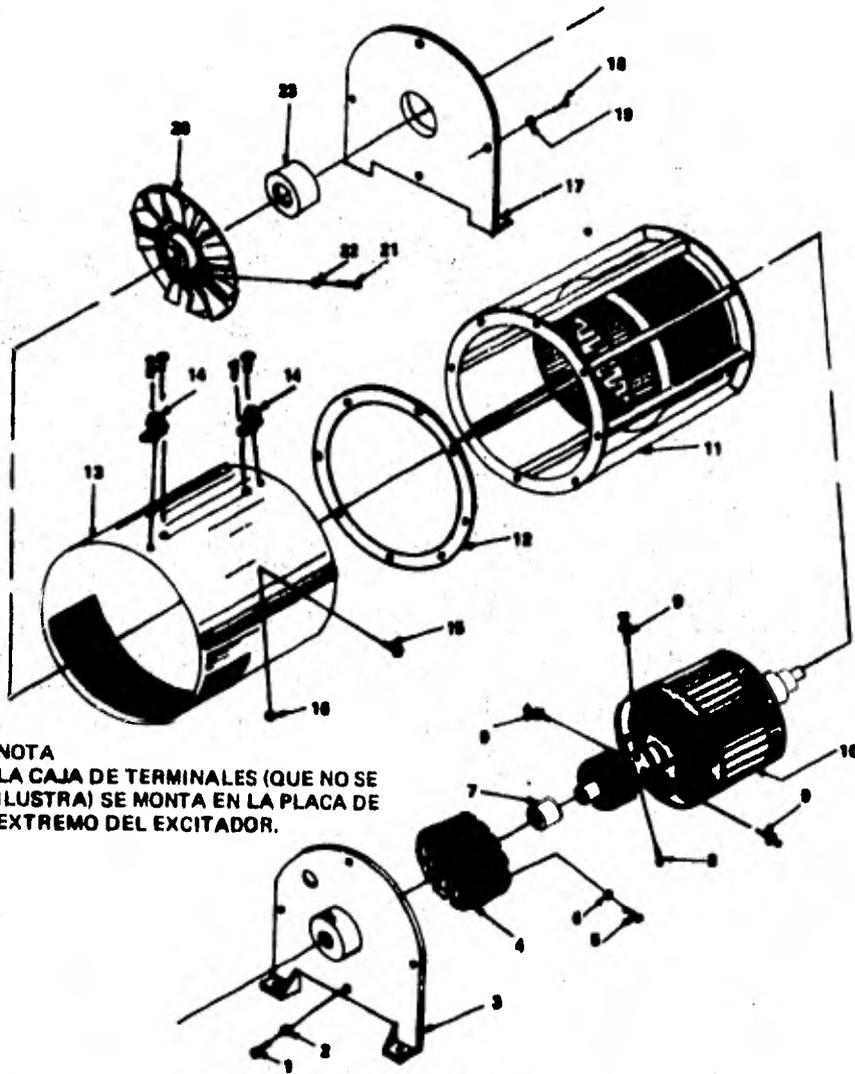
TABLA E
DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-8, GENERADOR POTENCIA 14 DE DOS RODAMIENTOS

REF.	DESCRIPCION	CANTIDAD REQUERIDA
1	TORNILLO, sujeción placa de extremo excitador	4
2	ROLDANA de presión	4
3	TAPA LADO EXCITATRIZ	1
4	CONJUNTO DE CAMPO DE EXCITADOR	1
5	TORNILLO, montaje de campo del excitador	4
6	ROLDANA de presión	4
7	RODAMIENTO, lado del excitador	1
8	TORNILLO, conexión de campo del generador	1
9	RECTIFICADOR	3
10	CONJUNTO DE ROTOR	1
11	CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR	1
12	TOLVA PARA VENTILACION	1
13	CUBIERTA DEL GENERADOR	1
14	OREJAS PARA LEVANTAR	2
15	TORNILLO, cabeza redonda	3
16	TUERCA, hexagonal	3
17	TAPA LADO MOTRIZ	1
18	TORNILLO, sujeción placa de extremo de impulsión	4
19	ROLDANA de presión	4
20	VENTILADOR	1
21	TORNILLO DEL VENTILADOR	2
22	ROLDANA	2
23	RODAMIENTO, lado de impulsión	1

TABLA F
DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-9, GENERADOR POTENCIA 14 DE UN RODAMIENTO CON ACOPLAMIENTO DE DISCOS FLEXIBLES

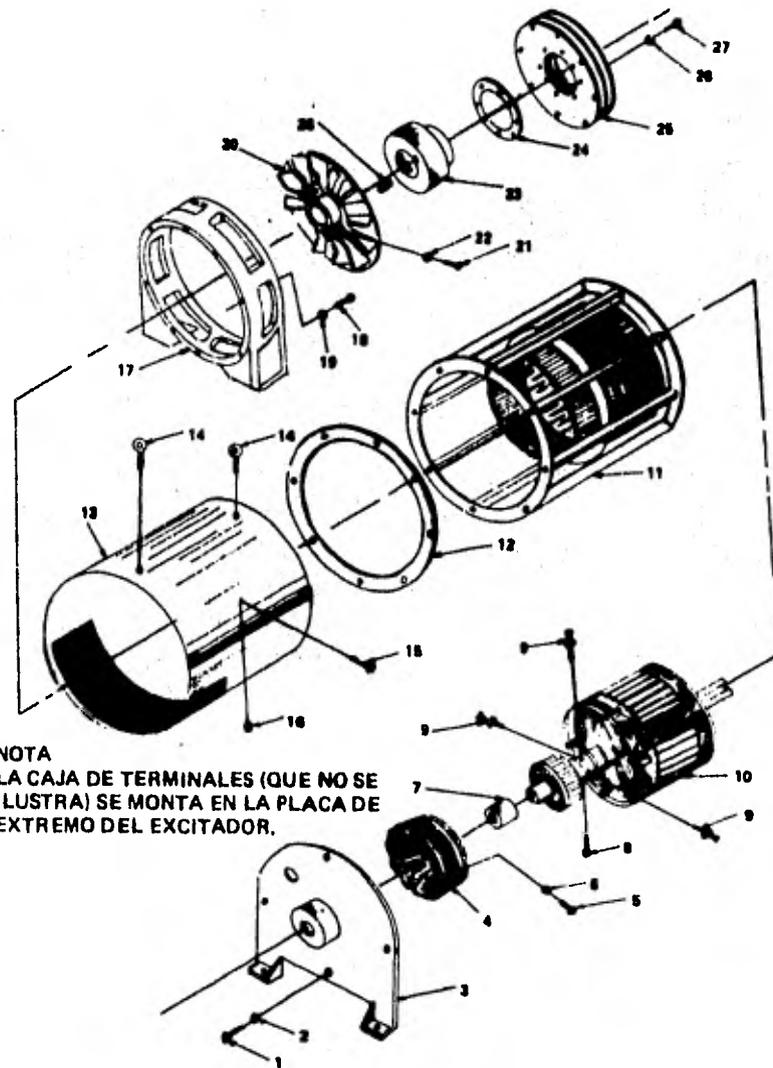
1	TORNILLO, sujeción placa de extremo	4
2	ROLDANA de presión	4
3	TAPA LADO EXCITATRIZ	1
4	CONJUNTO DE CAMPO DE EXCITADOR	1
5	TORNILLO, montaje de campo de excitador	4
6	ROLDANA de presión	4
7	RODAMIENTO, lado del excitador	1
8	TORNILLO, conexión de campo del generador	1
9	RECTIFICADOR	3
10	CONJUNTO DE ROTOR	1
11	CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR	1
12	TOLVA PARA VENTILACION	1
13	CUBIERTA DEL GENERADOR	1
14	OREJAS PARA LEVANTAR	2
15	TORNILLO, cabeza redonda	3
16	TUERCA, hexagonal	3
17	ADAPTADOR	1
18	TORNILLO, sujeción del adaptador	4
19	ROLDANA de presión	4
20	VENTILADOR	1
21	TORNILLO, cabeza hexagonal	2
22	ROLDANA de presión	2
23	CUBO DEL COPLE	1
24	ESPACIADORES	2*
25	DISCOS DE ACOPLAMIENTO	2*
26	ROLDANA de presión	8
27	TORNILLO, sujeción de disco de impulsión	8
28	CUÑA, sujeción del cubo de impulsión	1

231



NOTA
LA CAJA DE TERMINALES (QUE NO SE
ILUSTRA) SE MONTA EN LA PLACA DE
EXTREMO DEL EXCITADOR.

FIGURA 4-7 VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR
POTENCIA DE DOS RODAMIENTOS



NOTA
LA CAJA DE TERMINALES (QUE NO SE
ILUSTRA) SE MONTA EN LA PLACA DE
EXTREMO DEL EXCITADOR.

FIGURA 4-8 VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR
POTENCIA DE UN RODAMIENTO

TABLA G

DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-10 GENERADOR POTENCIA 18 DE DOS RODAMIENTOS

REF.	DESCRIPCION	CANTIDAD REQUERIDA
1	TORNILLO, sujeción placa de extremo excitador	4
2	ARANDELA de presión	1
3	TAPA lado excitatriz de excitador	1
4	RODAMIENTO, lado del excitador	1
5	CONJUNTO DE CAMPO DE EXCITADOR	1
6	TORNILLO, montaje de campo del excitador	4
7	ARANDELA de presión	4
8	CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR	1
9	RODAMIENTO, lado de impulsión	1
10	CONJUNTO DE ROTOR	1
11	RECTIFICADOR	3
12	CUBIERTA DEL GENERADOR	1
13	DIODO PROTECTOR	1
14	TORNILLO	3
15	OREJAS PARA LEVANTAR	2
16	TUERCA, hexagonal	3
17	TOLVA PARA VENTILACION	1
18	VENTILADOR	1
19	TORNILLO DEL VENTILADOR	2
20	ROLDANA	2
21	TAPA LADO MOTRIZ, lado de impulsión	1
22	TORNILLO	4
23	ROLDANA de presión	1

TABLA H

DESCRIPCION DE LAS PARTES DE LA FIGURA 4-11 GENERADOR POTENCIA 18 DE UN RODAMIENTO DE DISCOS FLEXIBLES CON ACOPLAMIENTO

REF.	DESCRIPCION	CANTIDAD REQUERIDA
1	TORNILLO, sujeción placa de extremo	4
2	ROLDANA de presión	4
3	TAPA LAOO EXCITATRIZ de excitador	1
4	RODAMIENTO, lado del excitador	1
5	CONJUNTO OE CAMPO OE EXCITADOR	1
6	TORNILLO, montaje de campo de excitador	4
7	ROLDANA de presión	4
8	CONJUNTO DE ARMAZON Y ESTATOR	1
9	CONJUNTO DE ROTOR	1
10	RECTIFICADOR ROTATORIO	1
11	RECTIFICADOR	3
12	CUBIERTA DEL GENERADOR	1
13	TUERCA, hexagonal	3
14	TORNILLO	3
15	OREJAS PARA LEVANTAR	2
16	DIOOO PROTECTOR	
17	VENTILADOR	1
18	TORNILLO	2
19	ROLDANA de presión	2
20	COPE	1
21	DISCOS DE ACOPLAMIENTO	2
22	ADAPTADOR	1
23	TORNILLO, sujeción del adaptador	4
24	ROLDANA de presión	2
25	TOLVA PARA VENTILACION	1

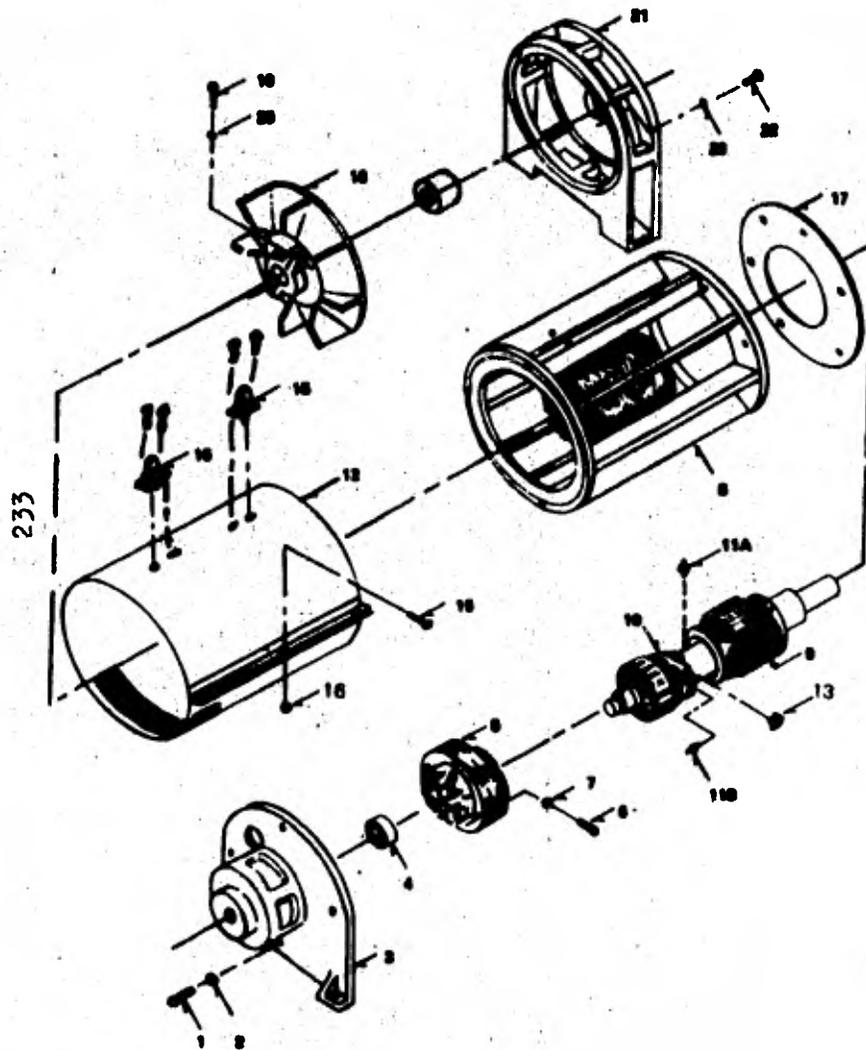


FIGURA 4-9 VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA 18 DE DOS RODAMIENTOS

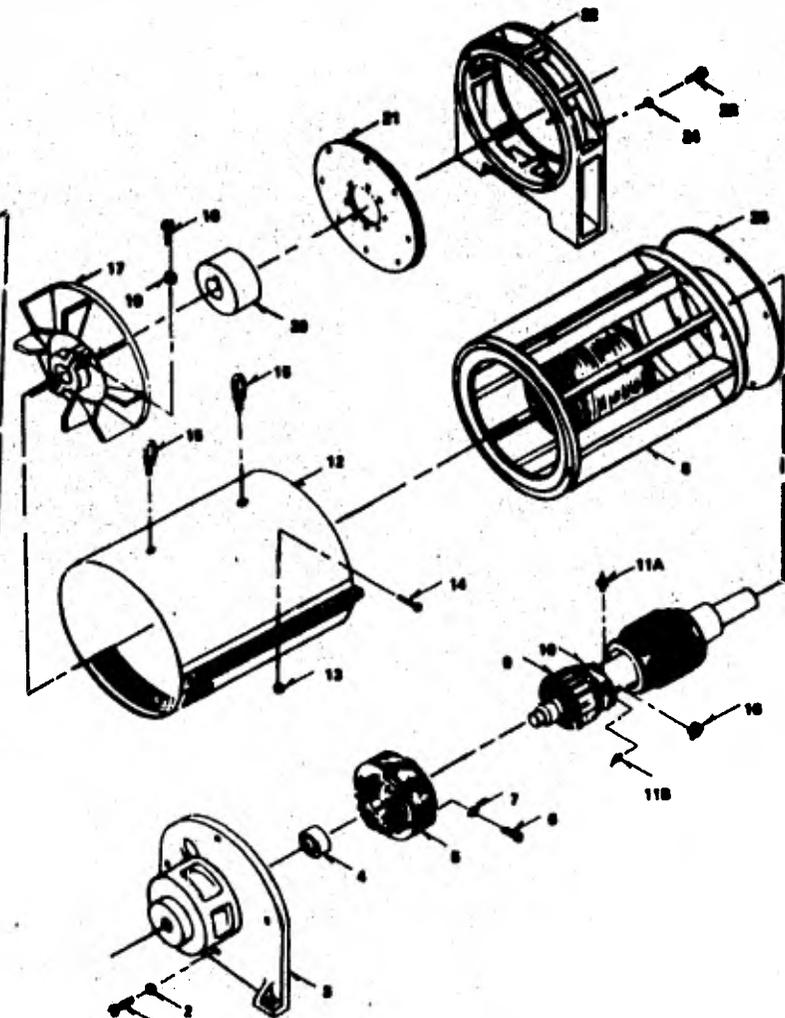


FIGURA 4-10 VISTA DESPLEGADA DE LOS COMPONENTES, GENERADOR POTENCIA 18 DE UN RODAMIENTO

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

FECHA

<p>1. Inspeccionar los conductores y dispositivos de control para ver si tienen aislamiento agrietado y terminales flojas.</p>												
<p>2. Inspeccionar el equipo de control para ver si tiene tornillos flojos, etc.</p>												
<p>3. Inspeccionar los aparatos de control para ver si tienen acumulaciones de polvo, humedad u otros cuerpos extraños.</p>												
<p>4. Limpiar el exterior del generador y las rejillas de ventilación.</p>												
<p>5. Cuando haya polvo o humedad excesivos, limpiar y/o secar el interior del generador.</p>												
<p>6. Con la unidad en marcha, comprobar el ajuste y funcionamiento correctos de los dispositivos de control e indicadores.</p>												
<p>7. Con la unidad en marcha, observe si hay cualquier ruido o vibración anormales. Consultar la Tabla de Diagnóstico de Dificultades para las posibles causas de ruido o vibración.</p>												

234

TABLA 8

A N E X O N o . 2

EL FACTOR DE POTENCIA EN LOS COSTOS DE PRODUCCION

EL FACTOR DE POTENCIA
EN LOS COSTOS DE PRODUCCION

Por el Ing. Antonio Mizuno,
del Departamento Eléctrico de SELMEC

Toda industria que pretenda llegar a un adecuado control económico de su producción, debe vigilar celosamente los llamados "COSTOS DE PRODUCCION".

Los costos de producción pueden ser englobados en dos grandes grupos.

- a) *Cargos fijos* (Que se mantienen constantes para cualquier volumen de producción, si ésta no crece demasiado)
- b) *Cargos variables* (Que dependen fundamentalmente del volumen de la producción).

Con el objeto de enfocar desde un principio el objeto del presente trabajo, solamente citaremos algunos de los factores que en forma importante, constituyen los cargos variables:

Costo de la materia prima
Costo de la mano de obra
Costo de la energía eléctrica empleada en la
producción de trabajo
Otros

Si la energía eléctrica es uno de los factores que afectan o modifican los costos de producción, vale la pena saber si lo que se paga por ella, mes a mes, es lo justo o si estamos siendo objeto de recargos en la tarifa, por conceptos, cuya naturaleza hemos desconocido y que por lo tanto han quedado fuera de nuestro control.

¿Qué es el factor de potencia?

En la mayor parte de las instalaciones eléctricas suelen intervenir: Transformadores, motores, lámparas, hornos, soldadoras, aparatos electrónicos, etc. Dependiendo de la naturaleza del equipo, éste presenta a la línea de suministro una carga resistiva o inductiva resistiva.

Una carga inductiva, también llamada reactiva, es la que presentan todos aquellos dispositivos eléctricos en los que intervienen bobinas. Estos aparatos al ser conectados a su fuente de energía, efectúan el trabajo para el cual fueron diseñados —trabajo productivo—, y otro trabajo —trabajo no productivo—, que tiene como finalidad proporcionar los elementos electromagnéticos necesarios, sin los cuales el trabajo productivo, no tendría lugar.

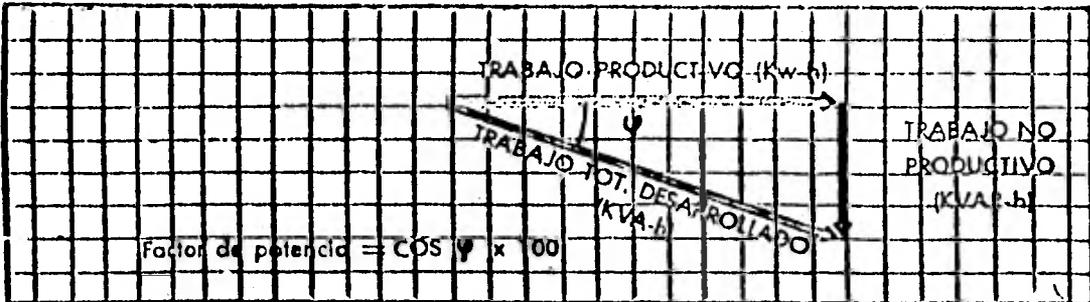
Para facilitar la comprensión de lo anterior nos valdremos del ejemplo más característico de este tema: **EL MOTOR ELECTRICICO.**

El motor transforma la energía eléctrica en energía mecánica capaz de mover una máquina determinada, efectuando así un trabajo: **PRODUCTIVO.**

Para hacer posible lo anterior, fué necesario crear en el motor campos magnéticos, mediante la circulación de corriente al través de sus bobinas. El consumo de la energía gastada en la magnetización del motor da lugar al otro tipo de trabajo: NO PRODUCTIVO.

Si por algún método sumamos el trabajo productivo con el trabajo no productivo, tendremos como resultado: TRABAJO TOTAL DESARROLLADO.

El concepto que nos permite conocer la proporción que guardan entre sí el al trabajo productivo y al total desarrollado, se conoce como FACTOR DE POTENCIA.



Para poder interpretar la información que nos proporciona el recibo de cobro de la Compañía suministradora de energía eléctrica, y conocer nuestro factor de potencia promedio durante un período determinado de tiempo, representaremos los tres conceptos de trabajo por las unidades que los representan en electricidad.

TRABAJO PRODUCTIVO = KW-h (Kilo-Watts-hora)

TRABAJO NO PRODUCTIVO = KVAR-h (Kilo-Volts-Amperes-
Reactivos-hora)

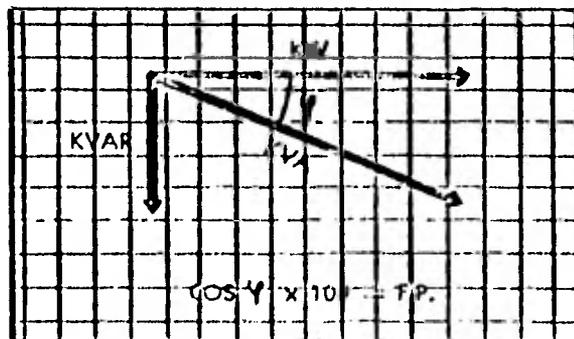
TRABAJO TOTAL DESARROLLADO = KVA-h (Kilo-Volt-
Amperes-hora)

Entonces: $\frac{\text{KW-h}}{\text{KVA-h}} = \text{COS } \psi = \text{FACTOR DE POTENCIA (FP)}$

El F.P. se expresa en por ciento y se obtiene de los recibos de cobro en la siguiente forma:

Los KW-h y los KVAR-h son datos que se obtienen directamente del recibo de cobro.

Con los datos anteriores buscamos el ángulo cuya tangente sea igual a la relación KVAR-h/Kw-h y el coseno de ese ángulo x 100, nos da el valor del F.P. en por ciento.



Si no se dispone de una regla de cálculo con funciones trigonométricas o bien de las tablas correspondientes, el cálculo puede hacerse también en la forma siguiente:

$$KVA \cdot h = \sqrt{(KW \cdot h)^2 + (KVAR \cdot h)^2} \quad \text{y} \quad \frac{KW \cdot h}{KVA \cdot h} = \cos \varphi$$

$$\cos \varphi \times 100 = F.P. \text{ (en por ciento)}$$

¿Por qué debemos conocer mes a mes nuestro factor de potencia?

Para contestar la pregunta anterior tomamos uno de los párrafos de las tarifas aplicables al suministro de energía eléctrica, aparecido en el Diario Oficial de la Federación, el viernes 19 de enero de 1962:

"...En caso de que el factor de potencia del consumidor durante cualquier mes tenga un promedio menor de 85% atrasado, el suministrador tendrá derecho a cobrar al consumidor la cantidad que resulte de multiplicar el monto del recibo correspondiente, por 85% y dividir el producto entre el factor de potencia medio atrasado, en por ciento, observado durante el mes..."

Quiere decir entonces que si operamos con un F.P. inferior a 85%, tendremos un recargo monetario en el monto a pagarse por consumo de energía.

Así por ejemplo:

Si nuestro F.P. es de 76%, tendremos que pagar el monto correspondiente, multiplicado por $85/76 = 1.118$ que representa aproximadamente 12% de recargo que puede evitarse, si el F.P. se lleva hasta un valor por encima de 85%.

ESE SOBRE-PAGO, SI SE EVITA, MEJORA LOS COSTOS DE PRODUCCION.

En toda industria los principales causantes del bajo factor de potencia son los motores de inducción, especialmente si no se encuentran operando a plena carga.

¿Cómo se corrige el F.P. cuando tiene un valor inferior a 85%?

Mucho se ha escrito sobre este particular desde puntos de vista técnicos y económicos, por lo que únicamente diremos que la forma más adecuada de corregir el factor de potencia en las industrias, es mediante la instalación de CAPACITORES.

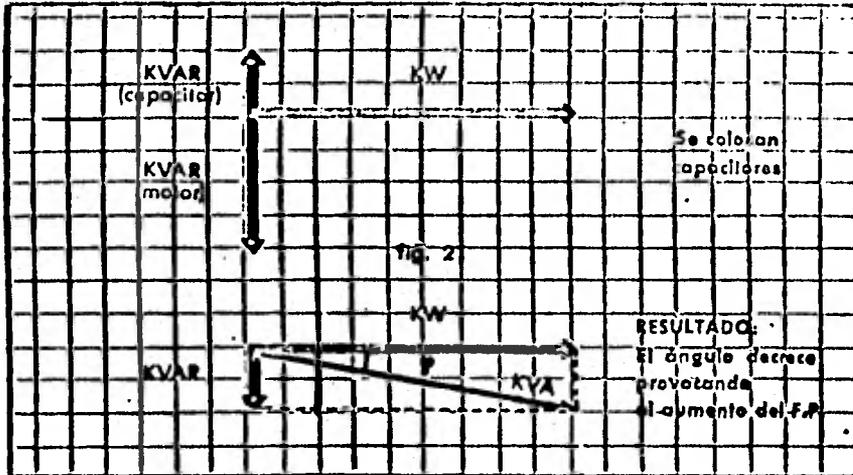
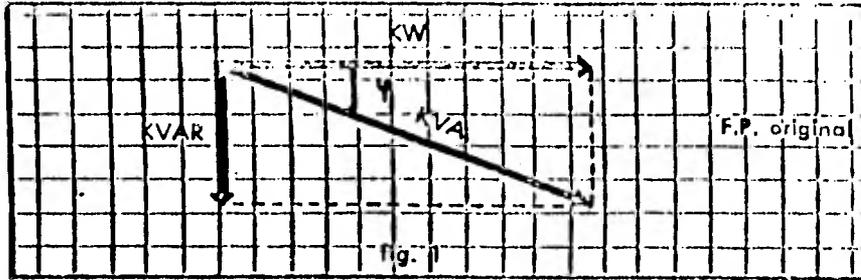
¿Cómo actúa el capacitor?

Los motores al operar, toman de la fuente de alimentación una determinada cantidad de corriente.

Parte de esta corriente está destinada exclusivamente a lograr la adecuada magnetización del motor; se llama corriente inductiva y da lugar a los KVAR del motor.

Un capacitor conectado a la misma fuente del motor, provoca también la circulación de una corriente cuya finalidad es la de mantener un campo electrostático entre las placas del dispositivo y se llama corriente capacitiva, que da lugar a los KVAR del capacitor.

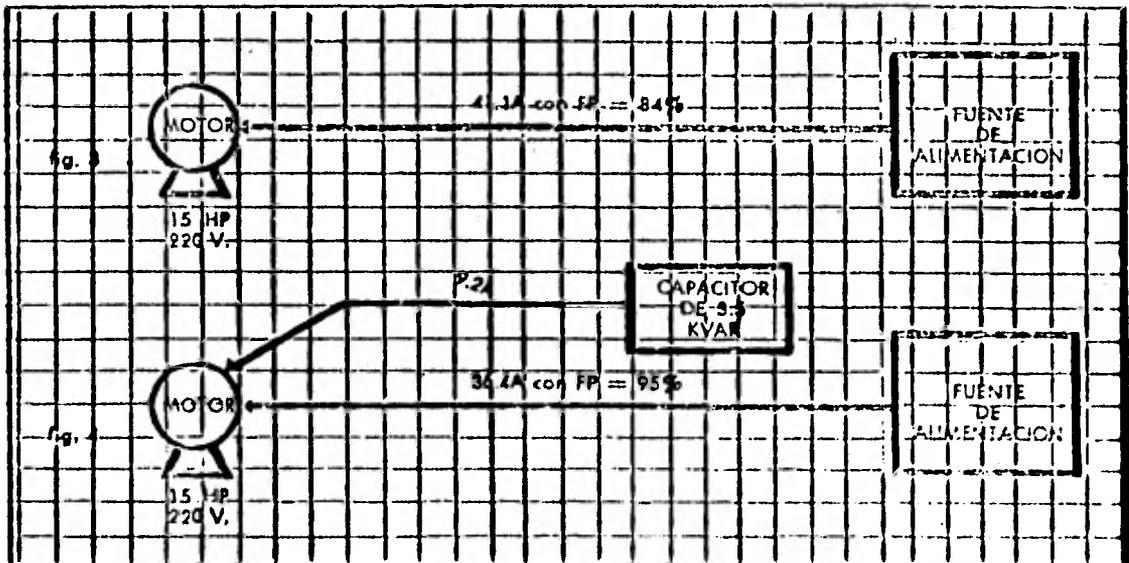
Las corrientes inductivas y capacitivas se encuentran a 180° una de la otra, es decir completamente en oposición, por lo que la mayor anula a la menor dando por resultado que el F.P. se modifique.



Analizando las tres figuras vemos que los KVAR del sistema motor-capacitor decrecieron. ¿Quiere decir lo anterior que el motor toma menos corriente magnetizante?

Desde luego que no, lo que sucede es que el motor ya no toma toda su corriente magnetizante de la línea pues es el capacitor el que se encarga de proporcionarle una buena parte de ella.

Esto puede verse más claramente con el siguiente ejemplo:



SE AHORRA DINERO EN LA INSTALACION

1a. Si mejoramos el F.P. donde se esté provocando, entonces, no serán necesarios alimentadores capaces de llevar las corrientes de plena carga de los motores.

2a. Si la instalación ya está trabajando, al corregirse el F.P., la carga en Amps. conectada a ella se reduce y entonces puede aceptar la instalación de otros motores que pueden ser motivo de alguna ampliación y que sin el F.P. corregido, hubieran provocado una sobre carga en la instalación, en los transformadores o bien podían haber motivado gastos adicionales de instalación.

3a. Al disminuirse la corriente en las líneas de distribución y en los transformadores, se reducen las pérdidas en el cobre (I²R) y por consiguiente la temperatura de operación de los equipos. Esto se traduce en incremento en la eficiencia de los equipos y en la vida de sus aislamientos.

Es evidente que operar con un buen factor de potencia tiene sus ventajas, sobre todo por que nos permite reducir nuestros costos de producción.

No había tocado el punto "COSTO DE LOS CAPACITORES" ya que la práctica normal nos ha enseñado que si éstos se encuentran bien localizados, bien calculados y su alta calidad nos arroja un elevado índice de confiabilidad, lo que decimos "SU COSTO" en la mayoría de los casos se ve amortizado en un periodo aproximado de 4 a 6 meses.

Es importante que la aplicación de capacitores esté siempre respaldada por expertos en la materia puesto que habrá casos especiales que ameritan estudios más complejos como el uso de bancos de capacitores, capacitores en alta tensión, valor económico del factor de potencia, etc.

**CORRECCION
DEL FACTOR
DE POTENCIA**

FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL	Factor de Potencia Deseado				
	100%	85%	80%	65%	50%
50%	1.732	1.403	1.248	1.118	0.866
51	1.687	1.356	1.202	1.067	0.820
52	1.643	1.311	1.158	1.023	0.800
53	1.600	1.271	1.116	0.980	0.780
54	1.558	1.230	1.074	0.938	0.800
55	1.516	1.189	1.034	0.896	0.780
56	1.475	1.150	0.995	0.855	0.760
57	1.437	1.113	0.957	0.815	0.681
58	1.400	1.078	0.920	0.775	0.654
59	1.364	1.044	0.884	0.745	0.618
60	1.331	1.011	0.849	0.715	0.583
61	1.299	0.979	0.815	0.679	0.549
62	1.268	0.947	0.781	0.646	0.515
63	1.238	0.916	0.748	0.613	0.480
64	1.209	0.885	0.716	0.581	0.445
65	1.180	0.854	0.685	0.549	0.410
66	1.152	0.824	0.654	0.518	0.375
67	1.125	0.794	0.624	0.486	0.340
68	1.098	0.765	0.594	0.455	0.305
69	1.072	0.736	0.564	0.425	0.270
70	1.047	0.707	0.535	0.394	0.235
71	1.022	0.679	0.507	0.372	0.211
72	1.000	0.652	0.480	0.344	0.186
73	0.978	0.626	0.453	0.316	0.160
74	0.957	0.600	0.427	0.289	0.135
75	0.937	0.575	0.401	0.263	0.110
76	0.917	0.550	0.376	0.237	0.085
77	0.898	0.525	0.351	0.211	0.060
78	0.879	0.500	0.326	0.185	0.035
79	0.860	0.475	0.301	0.160	0.010
80	0.842	0.451	0.276	0.135	0.000
81	0.824	0.427	0.251	0.110	
82	0.806	0.403	0.226	0.085	
83	0.788	0.379	0.201	0.060	
84	0.770	0.355	0.176	0.035	
85	0.752	0.331	0.151	0.010	
86	0.734	0.307	0.126	0.000	
87	0.716	0.283	0.101		
88	0.698	0.259	0.076		
89	0.680	0.235	0.051		
90	0.662	0.211	0.026		

Multiplicar la cantidad de la columna y el deseado por los KWatts de demanda y dividirlo por KWAtt del capacitor necesario para obtener el número de capacitores a instalar.
NOTA: Este número cambia de forma con la potencia de demanda medida mensual cuando el factor de potencia medido sea el valor mensual.

B_I_B_L_I_O_G_R_A_F_I_A.

- Fundamentos de instalaciones
Eléctricas de mediana y alta tensión
de; Gilberto Enriquez Harper
Editorial Limusa.
- Motores Sincronos
Pablo Vargas Prudente
Instituto Politecnico Nacional
- Redes Eléctricas, Tomo II
Jacinto Viqueira Landa
Representaciones y Servicios de
Ingenieria, S. A.
- Mecánica de fluidos y Máquinas
Hidráulicas.
Claudio Mataix
Editorial Harla
- Electricidad Tomo 6
Harry Mileaf
Editorial Limusa
- Estudio de Sobretensiones
Transitorias en Sistemas
Eléctricos y Coordinación
del Aislamiento
Vólumen II
G. Enriquez Harper
Editorial Limusa
- Tratado de Electricidad
Tomo II
Chester L. Dawes
- Teoria de las Máquinas de Corriente Alterna
Langsdorf
Mc Graw-Hill
- Electricidad
Tomo 7
Harry Mileaf
Editorial Limusa
- Máquinas de Corriente Alterna
Michael Liwschitz - Garik
Clyde C. Whipple
Editorial C.E.C. S.A.

Electricidad
Tomo 5,
Van Valkenburgh
Editorial C.E.C. S.A.

Máquinas y Circuitos Eléctricos,
Lister, Eugene C.

Curso de Máquinas Hidráulicas,
Miguel Reyes Aguirre.

Plantas Eléctricas,
Teoría y Proyecto
Carlos Luca M.
Editorial: Representaciones y
Servicios de Ingeniería, S. A.

Energía Hidroeléctrica,
Turbinas y Plantas Generadoras
Viejo Zubicaray y Alfonso
Editorial: Limusa.

Curso de Máquinas Hidráulicas
Miguel Reyes Aguirre
Facultad de Ingeniería: U.N.A.M.

Energía Mediante Vapor, Aire ó Gas
Editorial: Reverte, S.A.