



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**PRACTICAS DE  
LABORATORIO DE  
MAQUINAS  
SINCRONAS**

**JOSE MENDEZ TELLEZ GIRON**

**DIVISION DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA**

**FI/DIME/84-018**

PRACTICAS DE LABORATORIO, CORRESPONDIENTES AL CURSO  
DE MAQUINAS SINCRONAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**G- 610775**

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

El presente trabajo ha sido desarrollado al nuevo programa de máquinas sin cronas, tomando como base los apuntes de laboratorio elaborados por el Ing. Guillermo Aguilar Campuzano y el suscrito para las materias anteriormente denominadas Conversión de Energía Electromecánica I, II y III. En algunos casos como en el de la práctica de "regulación de voltaje para un generador sincrónico" fue necesario desarrollar totalmente su contenido debido a su reciente inclusión, en algunas otras como en el de "sincronización de generadores", se incluyeron algunos temas para hacer que su contenido estuviera más acorde con el equipo que actualmente se dispone en el laboratorio, como lo es el sincronizador automático y el osciloscopio.

Es la intención que el contenido de estos apuntes sirva como elemento de preparación y guía a los alumnos, para lo cual se incluyen algunos conceptos teóricos que complementados con la misma clase de teoría, deberán facilitar el ejercicio de laboratorio.

Se pretende estar consiente que este documento siempre será perfectible a través de las opiniones de los maestros y de los mismos alumnos que lleguen a utilizarlo, por lo tanto se agradecerán todas las opiniones que al respecto se le trasmitan al suscrito, tanto para corregir los errores encon

trados como para enriquecer y facilitar su contenido.

Reitero mi agradecimiento al Ing. Guillermo Aguilar Campuzano por anuencia a utilizar sus apuntes en este documento.

.M . A . M . U

FAKULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE

ING. JOSE MENDEZ TELLEZ GIRON  
PROFESOR DE ASIGNATURA "B"  
MAQUINAS ELECTRICAS

DEPARTAMENTO DE MAQUINAS ELECTRICAS  
DISEÑO MECANICO

ENERO DE 1983.

... para facilitar su contenido

... a utilizar sus apuntes en este documento.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

INSTRUMENTOS

1983

PRACTICA No.: 1.

CURVAS DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS MAGNETICAS.

ENERO DE 1983

estieny eb ox H = N  
CURVA DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS EN VACIO PARA UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

Se in to las razones anteriores a los efectos de la siguiente:

La determinación de las curvas de saturación en vacío se obtienen a partir de las siguientes consideraciones:

Refiriéndose inicialmente a la curva de magnetización en su forma original:

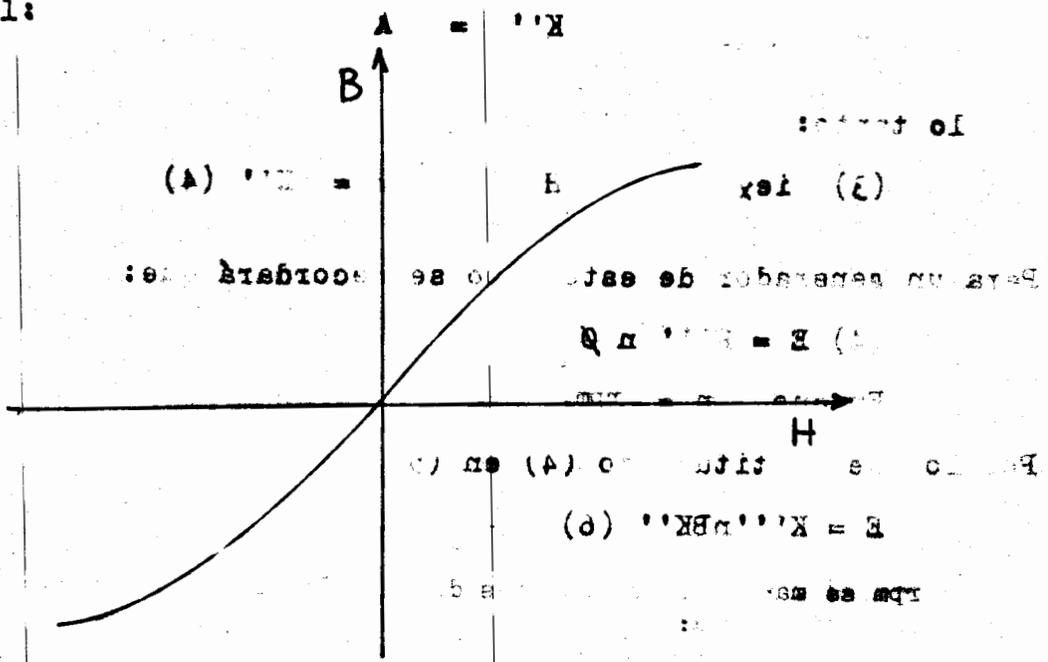


Fig. 1

En que: H = Intensidad de campo magnético  
B = Densidad de flujo.

Los perímetros de la anterior curva pueden transformarse:

Así, deberá recordarse que:

$$1.- H = \frac{N i}{l} \quad \text{y} \quad 2.- B = \frac{\phi}{A}$$

En nuestro caso específico los siguientes parámetros permanecen constantes debido a que ya no es posible modificarlos al menos durante la prueba, en el generador en cuestión.

$N$  = Número de vueltas  
 $l$  = Longitud del conductor del campo de excitación.  
 $A$  = Sección del hierro por donde circula el campo magnético.

Según esto las expresiones anteriores adoptarán la siguiente forma:

$$H = \frac{iexc}{K'} \quad B = \frac{\phi}{K''}$$

En que:  $K' = \frac{l}{N}$        $K'' = A$

Por lo tanto:

$$(3) \quad iexc = K'H \quad \phi = BK'' \quad (4)$$

Para un generador de este tipo se recordará que:

$$(4) \quad E = K''' n \phi$$

En que  $n = \text{rpm.}$

Por lo que sustituyendo (4) en (5)

$$E = K''' n BK'' \quad (6)$$

Si las rpm se mantienen constantes durante la prueba la expresión (6) tomará la siguiente forma:

$$E = K^{IV} B \quad (7)$$

En que:  $K^{IV} = K''' n K''$

Por lo tanto la curva de magnetización original podrá expresarse en función de  $iexc$  y  $E$  afectandolos valores de  $H$  y  $B$  por  $K'$  y  $K^{IV}$  respectivamente.

Se obtiene entonces así la curva de saturación:

$$E = K^{IV} B \quad \text{y} \quad H = K' iexc$$

En la curva de magnetización original los valores de  $H$  y  $B$  se reemplazan por  $K' iexc$  y  $K^{IV} E$  respectivamente.

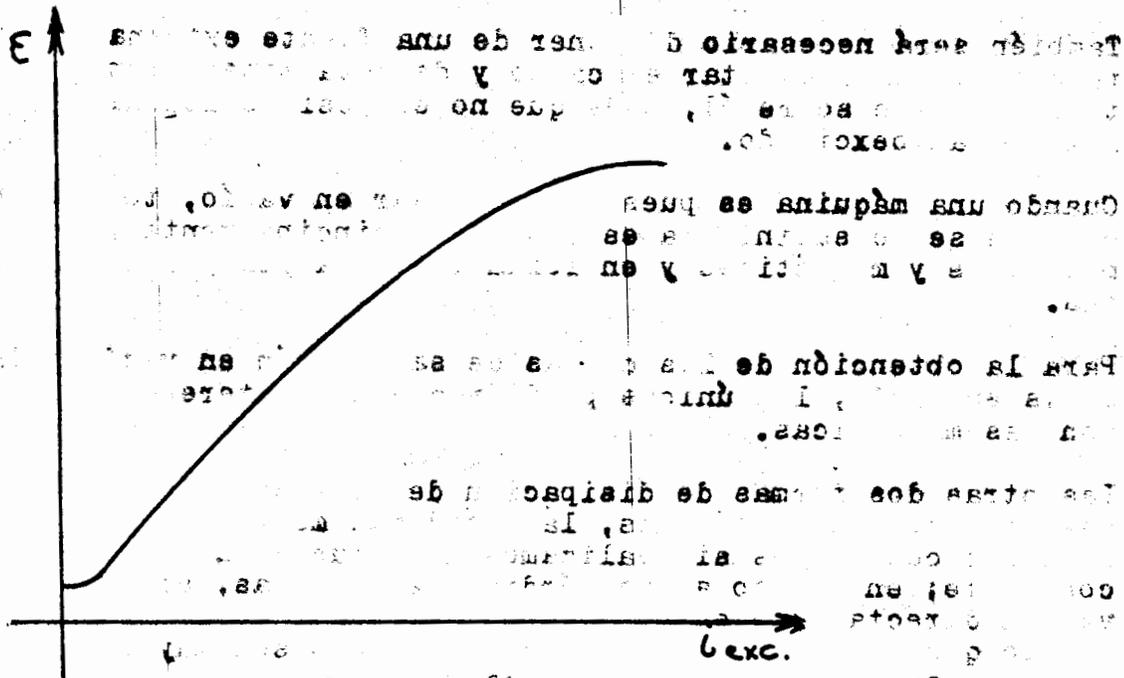


Fig.2

Es por lo tanto necesario, como condición durante la prueba mantener las RPM a un valor constante. Así mismo también se requiere que la curva se vaya obteniendo siempre en valores ascendentes o descendentes, ya que de esta manera se elimina el efecto de histéresis. De otra manera se podría obtener algo como lo mostrado en la figura siguiente:

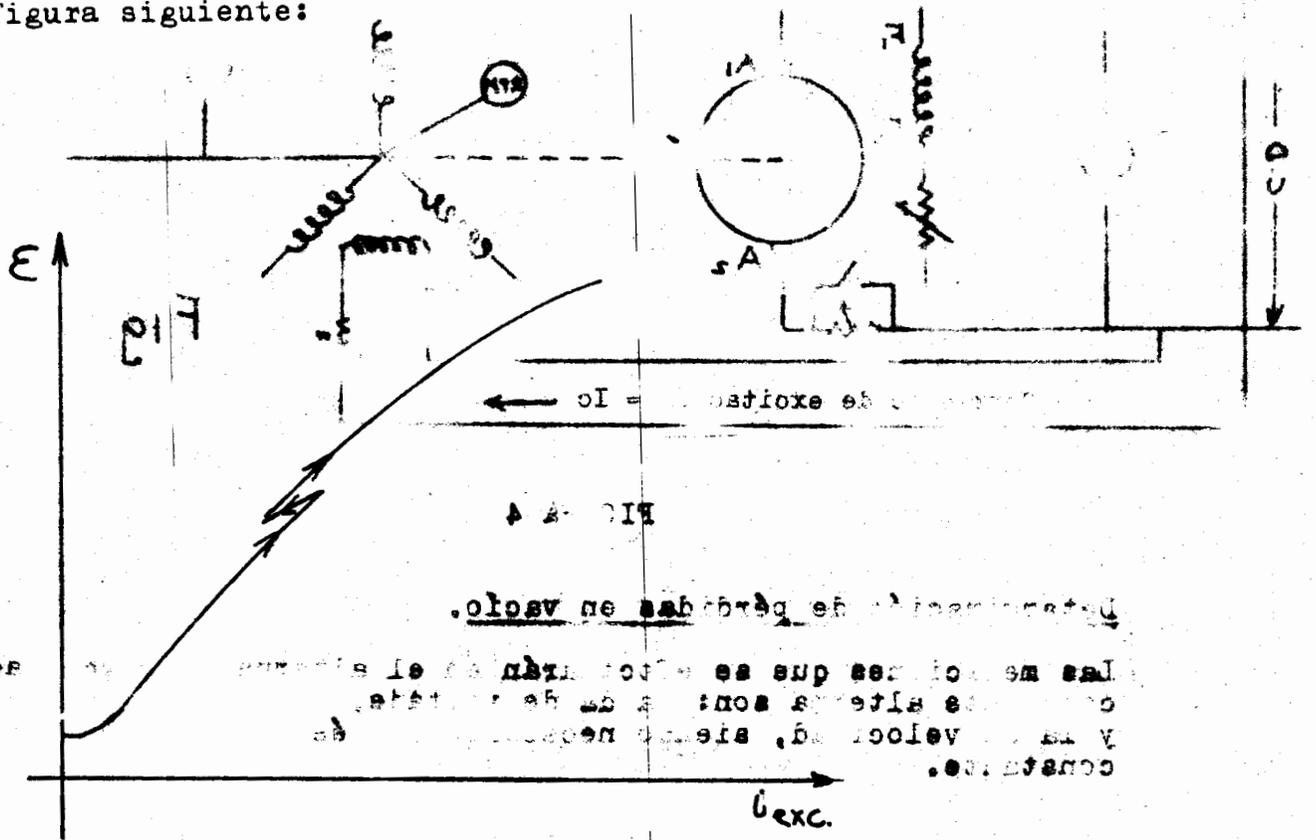


Fig.3

También será necesario disponer de una fuente externa de corriente directa para excitar el campo y de esta manera tener un control completo sobre él, cosa que no es posible lograrla en un generador autoexcitado.

Cuando una máquina es puesta a trabajar en vacío, toda la potencia que se le suministra es disipada principalmente por pérdidas mecánicas y magnéticas y en forma reducida por pérdidas eléctricas.

Para la obtención de las curvas de saturación en vacío y las pérdidas en vacío, las únicas pérdidas que nos interesarán realmente son las magnéticas.

Las otras dos formas de disipación de potencia es necesario que sean controladas. Así pues, las pérdidas mecánicas las podremos mantener constantes si realizamos las pruebas a una velocidad constante; en cuanto a las pérdidas eléctricas, sabemos que estas varían directamente en proporción del cuadrado de la corriente, por lo que si los incrementos de corriente son muy pequeñas, las podremos considerar despreciables.

S. p. 17

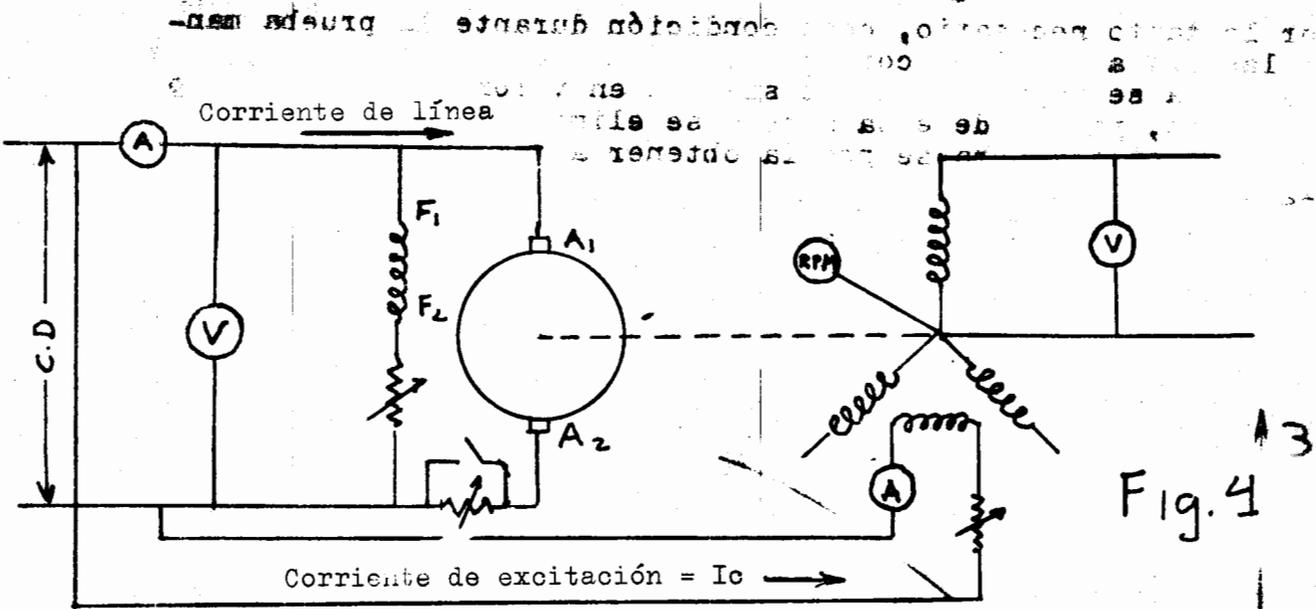


FIGURA 4

Determinación de pérdidas en vacío.

Las mediciones que se efectuarán en el alternador o generador de corriente alterna son: La de voltaje, la de corriente de campo y la de velocidad, siendo necesario que ésta última permanezca constante.

dxp

S. p. 17

Las mediciones que realizaremos en el motor de corriente continua serán de voltaje y corriente y a partir de estas podremos calcular la potencia.

Al inicial las mediciones iniciales tendremos que:

$$W_1 = \text{Pérdidas Eléctricas (campo motor)} + \text{Pérdidas Eléctricas (armadura motor)} + \text{Pérdidas Mecánicas (motor y generador)} + \text{Pérdidas Magnéticas (motor)}$$

$$I = VI \text{ (voltaje de alimentación al motor por corriente de línea del motor).}$$

En este punto inicial no se alimenta  $I_{exc}$

Cuando se incrementa la  $I_{exc}$  el voltaje del alternador sube, al realizar las mediciones para este segundo punto encontramos:

$$W_2 = \text{Pérdidas Eléctricas (campo motor)} + \text{Pérdidas Eléctricas (armadura motor)} + \text{Pérdidas Mecánicas (motor y generador)} + \text{Pérdidas Magnéticas (motor)} + \text{Pérdidas magnéticas (generador)}$$

Las pérdidas mecánicas y pérdidas eléctricas en el campo del motor, son iguales al permanecer la velocidad y voltaje constantes, por este motivo las pérdidas magnéticas en el campo del motor no varían.

$$W_2 - W_1 = \text{Pérdidas magnéticas (generador)} + I_a^2 R_a - I_a^2 R_a ; I_a = \text{corriente de armadura.}$$

La diferencia de estas últimas cantidades se puede considerar despreciables, por lo tanto:

$$W_2 - W_1 = \text{Pérdidas magnéticas.}$$

La tabulación de los valores se hará de la manera siguiente:

$E_o$	$I_c$	$P_{r,m}$	$V$	$I$	$W$	$W_i - W_1$	
$V_{rem}$	0	Cte.	$V_1$	$I_1$	$W_1 = V_1 I_1$		
$E_1$	$I_1$		$V_2$	$I_2$	$W_2 = V_2 I_2$	$W_2 - W_1$	$W_a$
$E_2$	$I_2$		$V_3$	$I_3$	$W_3 = V_3 I_3$	$W_3 - W_1$	$W_b$

Las mediciones que realizamos en el motor de corriente alterna se hacen de la siguiente manera:

Al inicio de las mediciones se debe tener en cuenta que:

$$W_1 = \text{Potencia consumida en el motor} + \text{Potencia consumida en el generador} + \text{Potencia consumida en el motor} + \text{Potencia consumida en el generador}$$

En el punto de partida no se tiene en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

En el punto de partida se debe tener en cuenta la potencia consumida en el generador.

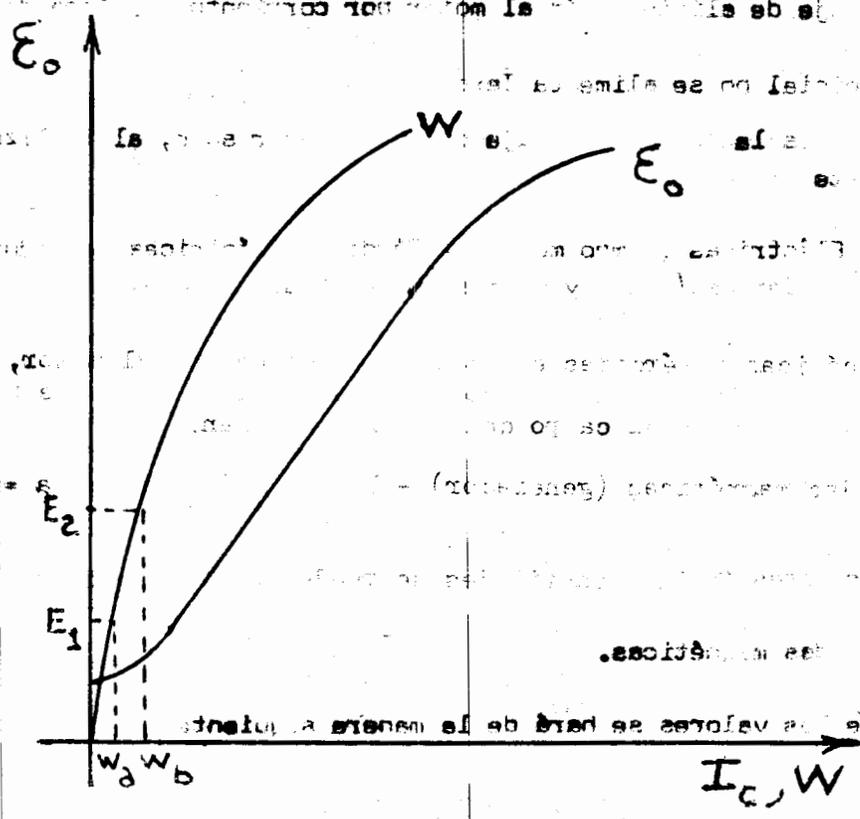


Fig. 5

	$W - W_1$		$V$	$W$	$I_c$	$I_a$
$E_1$	$W_1 - W_2$	$I_1 V = W_1$	$V_1$			$I_1$
$E_2$	$W_2 - W_3$	$I_2 V = W_2$	$V_2$			$I_2$
$E_3$	$W_3 - W_4$	$I_3 V = W_3$	$V_3$			$I_3$

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 2.

CURVAS DE SATURACION EN CORTO CIR -  
CUITO, PERDIDAS ELECTRICAS Y OBTEN -  
CION DE LA IMPEDANCIA SINCRONA NO -  
SATURADA.

CURVA DE SATURACION EN CORTO CIRCUITO, CURVA DE PERDIDAS DE CARGA Y OBTENCION DE LA IMPEDANCIA SINCRONA NO SATURADA, PARA UN ALTERNADOR.

CURVA DE CORTO CIRCUITO

La característica de corto circuito muestra la relación entre la corriente de armadura de corto circuito y la corriente de excitación.

La magnitud de la corriente de corto circuito de un generador síncrono al valor de su excitación y de su tamaño. Esta corriente cuyo valor va de  $\frac{1}{2}$  a 4 veces el valor de la corriente nominal es limitada por la impedancia síncrona no saturada de la máquina y cuyo valor será determinado en la segunda parte de esta práctica.

Es importante hacer notar que bajo condiciones de corto circuito instantáneas y que llegan a ocurrir en los generadores por accidente, la corriente transitoria llega a tener valores de 10 a 30 veces el valor de la corriente nominal. En este caso el valor de la impedancia es más bajo que el de la impedancia síncrona no saturada y para estos estudios intervienen los valores de reactancia transitoria y subtransitoria cuyas consideraciones salen fuera de este curso.

En este caso las condiciones de corto circuito se producirán desde el principio de la prueba y por lo tanto no intervendrán en los absoluto las condiciones transitorias antes mencionadas.

La característica de corto circuito será siempre una línea recta aún sobre el rango de saturación al cual es posible llevarlo. Lo anterior ocurre aunque la corriente de campo llegue a ser muy elevada, dado que el campo resultante, cuyo valor depende de la diferencia vectorial entre el campo original y la reacción de armadura, es muy pequeño. Esto es originado principalmente porque en estas condiciones la reacción de armadura esta practicamente en oposición con el campo original. Esta exposición llegará a ser más clara cuando se analicen los diagramas vectoriales al final de esta practica y en la siguiente.

DETERMINACION DE LA CURVA DE CORTO CIRCUITO

De manera similar a la forma que encontramos la curva de saturación en vacío podemos encontrar la curva de saturación en corto circuito. La única diferencia en las conexiones - como lo muestra el diagrama - es que las terminales del alternador, antes abiertas son puestas en corto circuito.

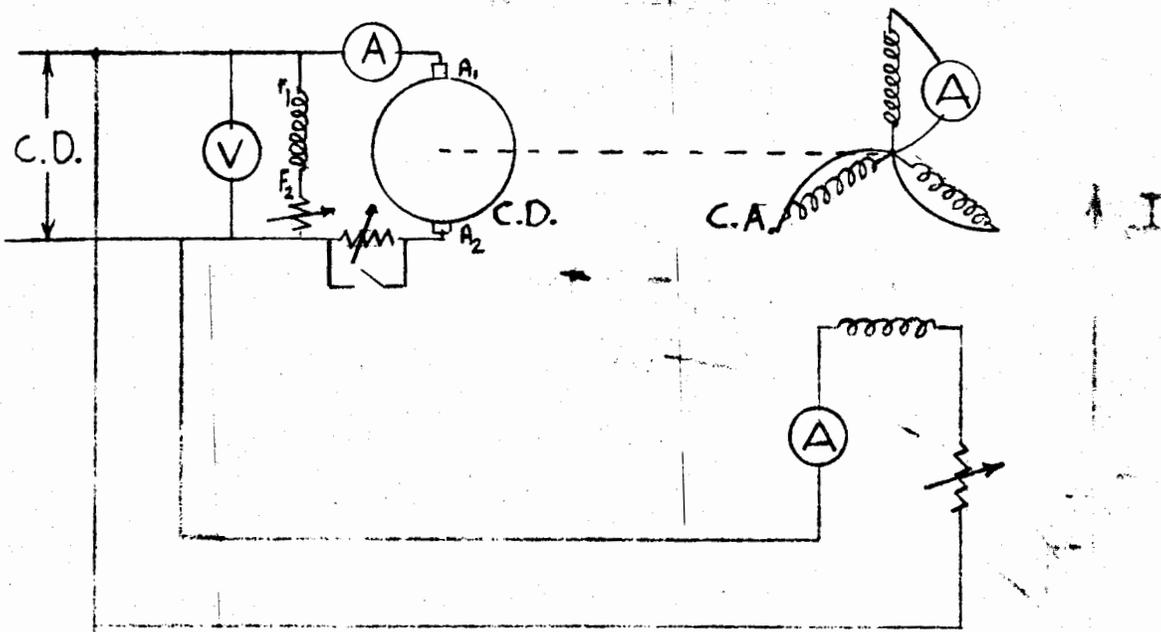


Fig.1

Las mediciones que nos interesan en el alternador son ahora las corrientes de campo y de circuito corto, así como que la velocidad se mantenga constante a su valor nominal para suministrar también la frecuencia nominal.

En el motor de corriente directa son las mismas variables que en el caso anterior las que nos interesan.

En forma semejante a la prueba anterior, podría demostrarse que la diferencia de potencias que consume el motor de una a otra lectura, representan practicamente - las pérdidas eléctricas de la máquina síncrona, ya que en este caso al tener un - valor de excitación muy reducida las pérdidas magnéticas serán despreciables. Así mismo las pérdidas mecánicas del alternador al ser constantes se elimina al efectuar la diferencia de lecturas de potencia en el motor, situación que también ocurrirá con las propias pérdidas del motor.

Los valores los tabulamos de la manera siguiente:

ALTERNADOR			MOTOR DE C.D.				
$I_c$	$I_{armadura}$	RPM	V	I	W	$W_1 - W$	
0	0	Cta.	$V_1$	$I_1$	$W_1$		
$I_2$	$I_2$		$V_2$	$I_2$	$W_2$	$W_2 - W_1$	$W_a$
$I_3$	$I_3$		$V_3$	$I_3$	$W_3$	$W_3 - W_1$	$W_b$

Las curvas que tendremos son del siguiente tipo:

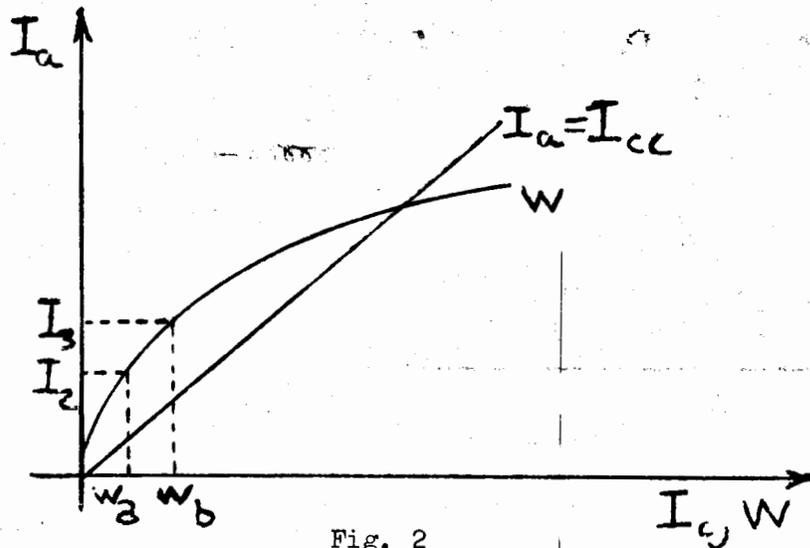


Fig. 2

#### DIAGRAMA VECTORIAL DEL GENERADOR SINCRONO

El diagrama vectorial que se representará a continuación es aplicable enteramente al caso de generadores con polos lisos, sin embargo, por efectos de la reacción de armadura deberá considerarse como una aproximación cuando se aplica a generadores con polos salientes. No obstante en algunos casos los resultados obtenidos en este diagrama para estos últimos generadores llegan a ser satisfactorios.

Sea:

- $\bar{F}$  = Fuerza magnetomotriz original (F.M.M.) debida a la corriente de excitación.
- $\bar{A}$  = Reacción de armadura.
- $\bar{R}$  = Campo resultante

Cuando la máquina opera en vacío la tensión inducida es:  $e_o = - \frac{N d \phi}{dt}$   
(Ley de Faraday)

Según la anterior ecuación, puede establecerse que la tensión inducida se encuentra en cuadratura con el flujo, el cual a su vez estará en fase con la F.M.M.



Fig. 3

Si a la máquina se le aplica carga, aparecerá de inmediato la reacción de armadura  $\bar{A}$ .

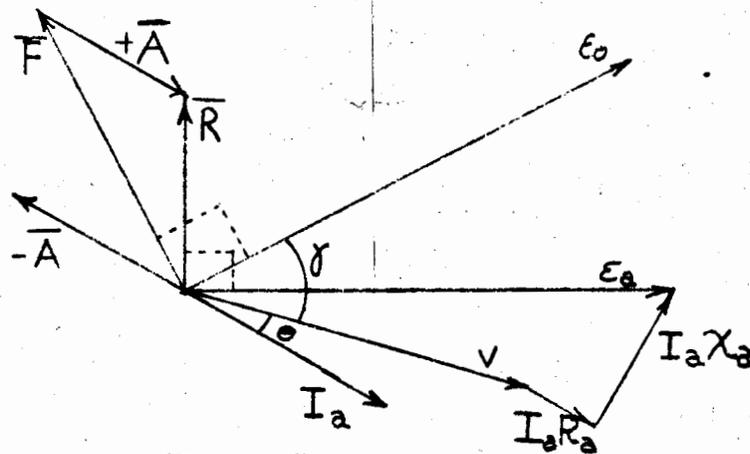


Fig. 4

La tensión inducida  $E_a$  y la tensión terminal  $V$  difieren en la caída ohmica y la caída reactiva, siendo  $R_a$  la resistencia de armadura y  $X_a$  la reactancia de dispersión de la armadura, al igual que en el transformador todos los valores deben estar referidos a una fase.

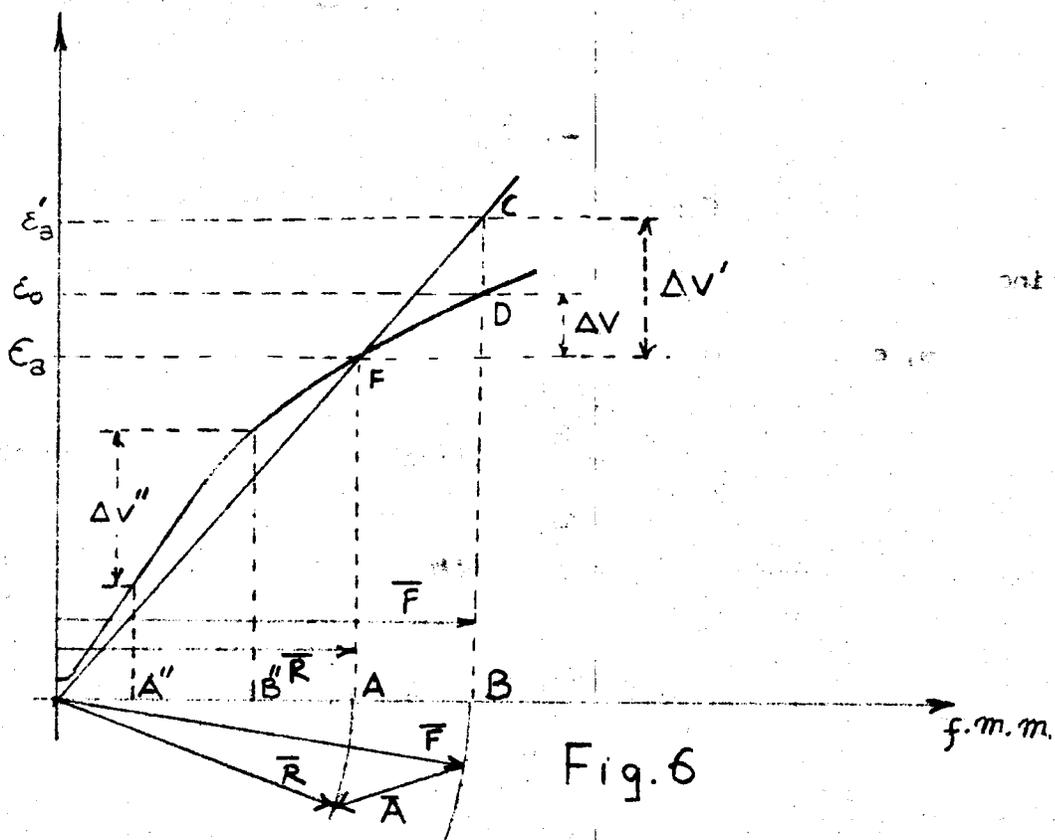
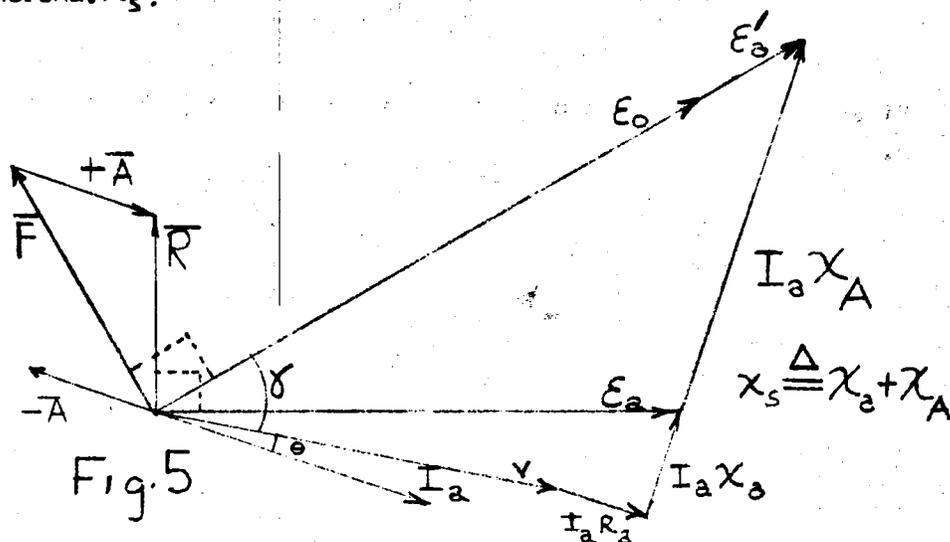
La fuerza electromotriz inducida  $E_a$  deberá ser normal a la fuerza magnetomotriz resultante  $\bar{R}$  que es la suma de  $\bar{F}$  y  $\bar{A}$ .

En el diagrama fasorial anterior se muestra también el ángulo de potencia  $\delta$  formado entre las tensiones terminales con carga o en vacío.

REACTANCIA SINCRONA

Volviendo a la figura 4, se observa que la diferencia entre la tensión inducida en vacío  $E_0$  y la de carga  $E_a$ , es debida a la reacción de armadura.

Con el objeto de poder trabajar con un diagrama de tensiones exclusivamente y no mixto, el efecto de la reacción de armadura sobre las tensiones, que es precisamente la diferencia arriba mencionada, puede sustituirse por una caída reactiva equivalente que en la figura 5 está señalada por la  $X_A$  y que representa la caída de tensión que produciría  $\bar{A}$  actuando sola. De esta manera a la suma de  $X_a + X_A$  se define como la reactancia sincrónica:  $X_s$ .



Para las condiciones señaladas en la figura 6 la reacción de armadura, estará produciendo realmente solo la diferencia de tensiones  $\Delta V$  entre  $E_a$  y  $E_o$  y no  $\Delta V^1$  ( $E_a$  y  $E_a^1$ ).

Esto es debido a que  $X_s$  que es la reactancia síncrona, correspondiente al estado real de saturación de la máquina cuando hay carga y actúa  $\bar{R}$ . Obsérvese que esa condición de misma saturación para ese punto es mantenido a lo largo de toda línea que une el origen con el punto  $F$  por lo que de mantenerse hasta el punto  $C$  se obtendría la diferencia de potencial teórica  $\Delta V^1$  y no la real  $\Delta V$ . Por lo tanto el valor que obtiene empleando dicha  $X_s$  para el cálculo de la tensión de vacío tendrá que ser corregido, ya que en vacío la saturación es otra y estará determinada por  $F$ .

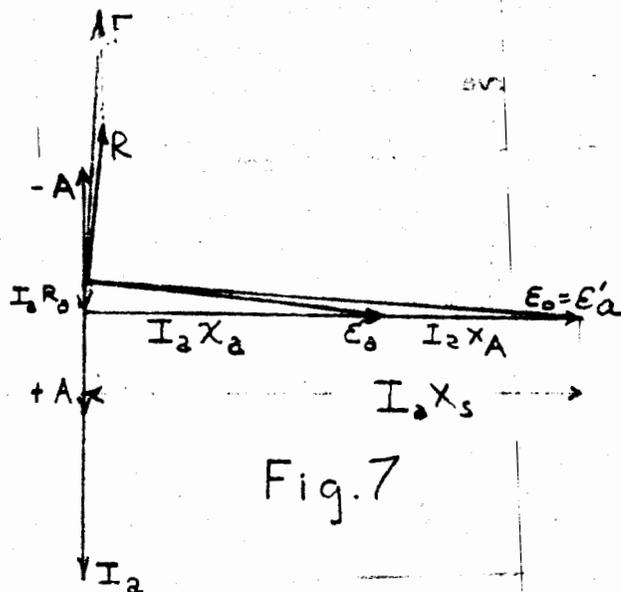
Así:  $E_a^1 = \overline{BC}$  = Tensión terminal si la saturación existente en  $E_a$  se conservara en vacío.

$E_o = \overline{BD}$  = Tensión real en vacío.

Puede interpretarse también, que cuando la diferencia entre las magnitudes  $\bar{F}$  y  $\bar{R}$   $AB$  actúa sobre una parte del circuito menos saturado su efecto sería mayor así si  $A''B'' = AB$  el valor de  $\Delta V''$  será mayor que  $\Delta V$ . Como  $X_A$  sustituye el efecto de  $\bar{A}$  (reacción de armadura), su valor tiene que disminuir con la saturación y por lo tanto el del valor de la reactancia síncrona: (Conclusión: Sat  $\downarrow X_s$ ).

#### REACTANCIA E IMPEDANCIA SINCRONA NO SATURADAS

Al obtener la curva de saturación de cierto circuito, en el laboratorio podrá establecerse un diagrama fasorial como el representado por la figura 7.



La interpretación del diagrama anterior se basa en que al no existir voltaje terminal y por lo tanto carga externa, la única limitación de la corriente será la impedancia interna, sin embargo en el caso de los generadores síncronos, así como en otra máquina eléctrica el valor de  $X_s$  es varias veces mayor que  $R_a$  (alrededor de 10) por lo que el valor de la carga interna será prácticamente reactiva y con un ángulo de factor de potencia muy atrasado.

Lo anterior conduce a tener a la reacción de armadura  $\bar{A}$  prácticamente en oposición con  $\bar{F}$ , que como se mencionaba al principio de esta práctica, produce un valor muy bajo de  $\bar{R}$  aún con valores altos de excitación  $\bar{F}$ ; más aún en los rangos de obtención de la curva de corto circuito al no tenerse carga externa, el valor de corriente de excitación será muy baja para hacer circular la corriente nominal de carga  $I_a$ , o valores semejantes a ella, por lo que definitivamente puede concluirse que no hay saturación alguna y por lo tanto esta curva se obtiene en forma de línea recta. Bajo estas condiciones  $E_o = E_a'$ .

De esta manera puede partirse a obtener el valor de las reactancia e impedancia síncronas no saturadas como a continuación se indica:

Según la expresión general para  $E_a'$ : (ver figura 5).

$$E_a' = V + I_a (R_a + j X_s)$$

Como en este caso  $V = 0$ ,  $I_a = I_{cc}$  y  $E_a' = E_o$

Se obtendrá:  $E_o = I_{cc} (R_a + j X_s)$

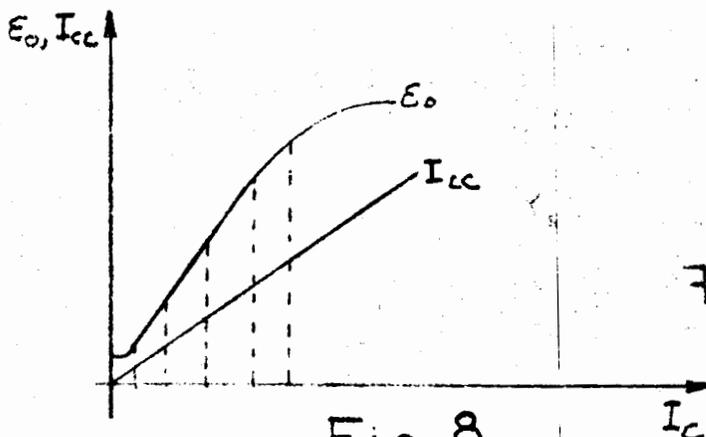
si  $R_a + j X_s = Z_s$  (impedancia síncrona no saturada).

Por lo tanto:

$$Z_s = \frac{E_o}{I_{cc}}$$

Se concluye que el valor de la impedancia síncrona no saturada se puede determinar en función de un valor de tensión en vacío (área de saturación en vacío) y un valor de corriente en corto circuito (curva de saturación de corto circuito).

Además, dibujando en una sola gráfica los valores de ambas curvas:



Dividiendo los valores de  $E_0$  e  $I_{cc}$  por mismos valores de corriente de excitación solo dentro de la parte lineal de la curva de saturación, se podrá determinar el valor de la impedancia síncrona no saturada, representandola como se muestra en la siguiente figura.

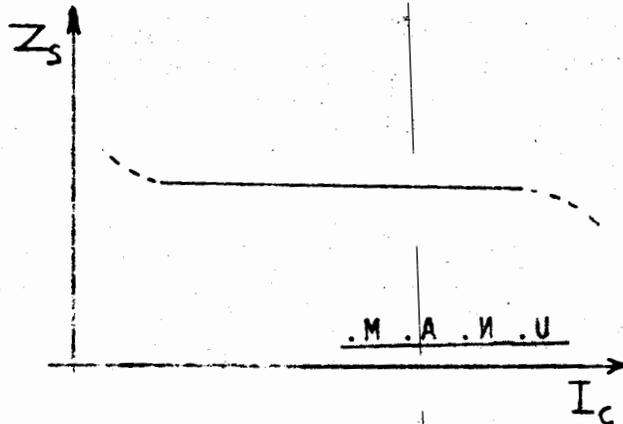


Fig. 9 FACULTAD DE INGENIERIA

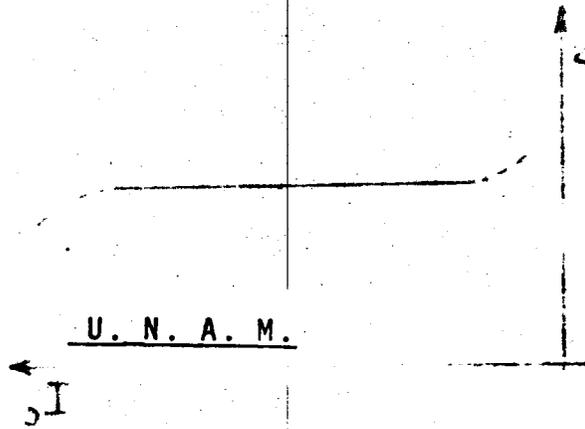
LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

El valor de la impedancia síncrona no saturada es conocido por muchos autores, como el valor optimístico de impedancia síncrona, ya que al ser el mayor que se puede obtener el resultado de corriente de corto circuito bajo tales condiciones será el menor. No obstante como se mencionó el valor de tal impedancia podrá variar a lo largo de la operación del alternador, obteniéndose los valores de impedancia - síncrona saturada, transitoria y subtransitoria, cuyo estudio, al menos el de la primera será motivo de la próxima práctica, no siendo tema de este curso el estudio de las dos últimas.

TE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA CE  
 IMONIA CON CORRIENTE NOMI  
 Y CUALQUIER FACTOR DE POTENCIA

La saturación de la máquina se representa como se muestra en la siguiente figura.

La curva de saturación de la máquina se representa como se muestra en la siguiente figura.



FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

El valor de la impedancia de la máquina se obtiene a partir de la curva de saturación de la máquina con corriente de excitación nominal y factor de potencia cero. La saturación de la máquina se representa como se muestra en la siguiente figura.

PRACTICA No. 3. Saturación de la máquina con corriente nominal y cualquier factor de potencia.

CURVAS DE SATURACION CON CORRIENTE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA CERO. SATURACION CON CORRIENTE NOMINAL Y CUALQUIER FACTOR DE POTENCIA.

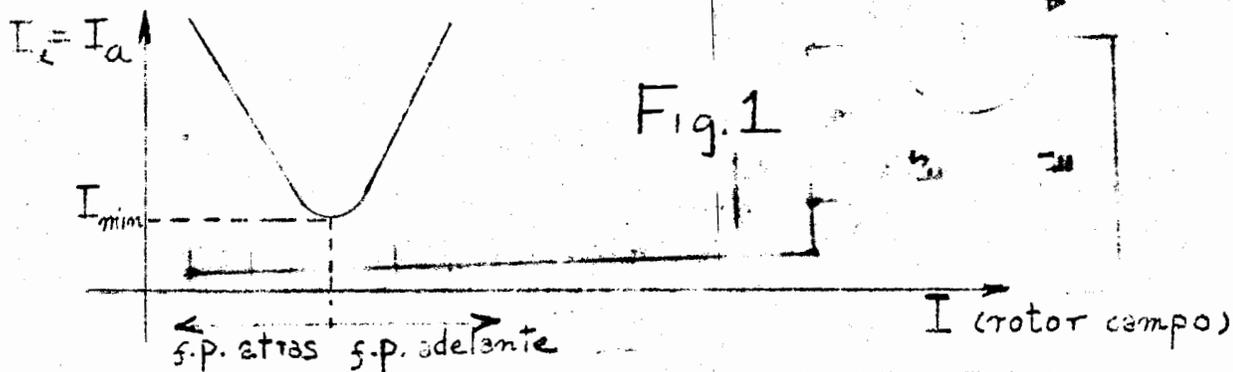
**DETERMINACION DE LAS CURVAS DE SATURACION A CORRIENTE NOMINAL Y FACTOR DE POTENCIA 0 Y 0,9, PARA UN GENERADOR DE C.A.**

---

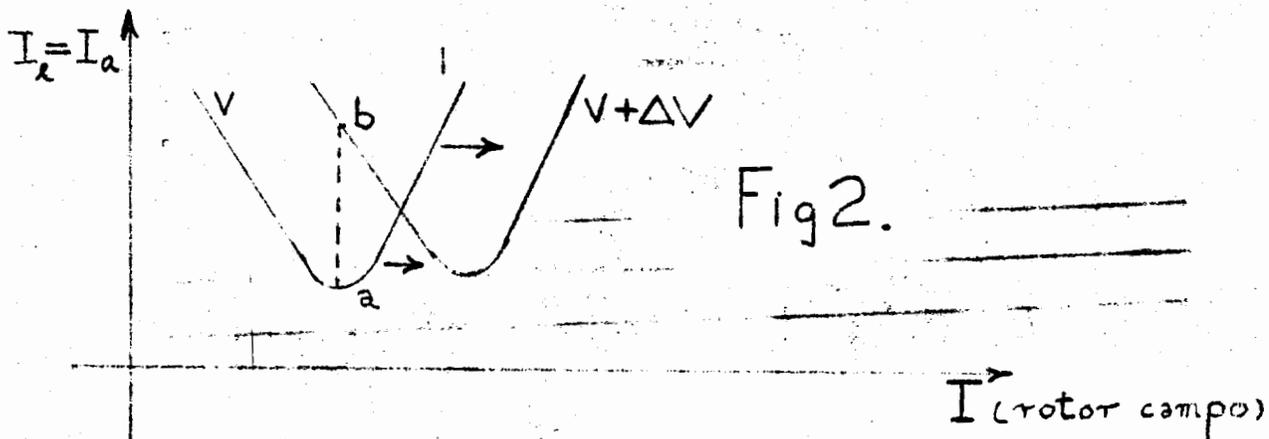
La obtención de la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia 0, requiere de una técnica especial que a continuación se describe. Dicha curva es una herramienta muy útil en la operación y conocimiento del generador de corriente alterna y algunas aplicaciones se describen al final de esta práctica tal como lo es la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia 0,9.

La máquina en prueba es aquella de alterna perteneciente al grupo MG II, y las conexiones necesarias se muestran en el siguiente diagrama de la figura número tres y en otra alternativa en la figura 3<sup>1</sup>. En caso de utilizar el diagrama de conexión de la figura 3, deberá observarse que el motor-generador I (MGI) sirve exclusivamente para sobre-alimentar el campo de la máquina en prueba.

Para que la máquina trabaje a factor de potencia cero, a plena carga utilizamos un motor síncrono como carga, para lo cual será necesario recordar la curva característica del motor síncrono mostrada en la figura número 1 de la cual se deriva que variando la excitación ( $I$  rotor de campo) puede variarse el factor de potencia aún -trabajando la máquina en vacío.



Con el incremento de voltaje, sobre-excitando al generador en prueba, se provoca el desplazamiento de la curva del motor síncrono hacia la derecha, como lo muestra la figura número 2, por lo tanto el efecto neto que se obtiene al sobreexcitar al generador cuando el factor de potencia es igual a 1 ( punto a es pasar al punto b ) es de factor de potencia muy atrasado; ésto desde luego siempre y cuando no se modifique la excitación del motor síncrono.



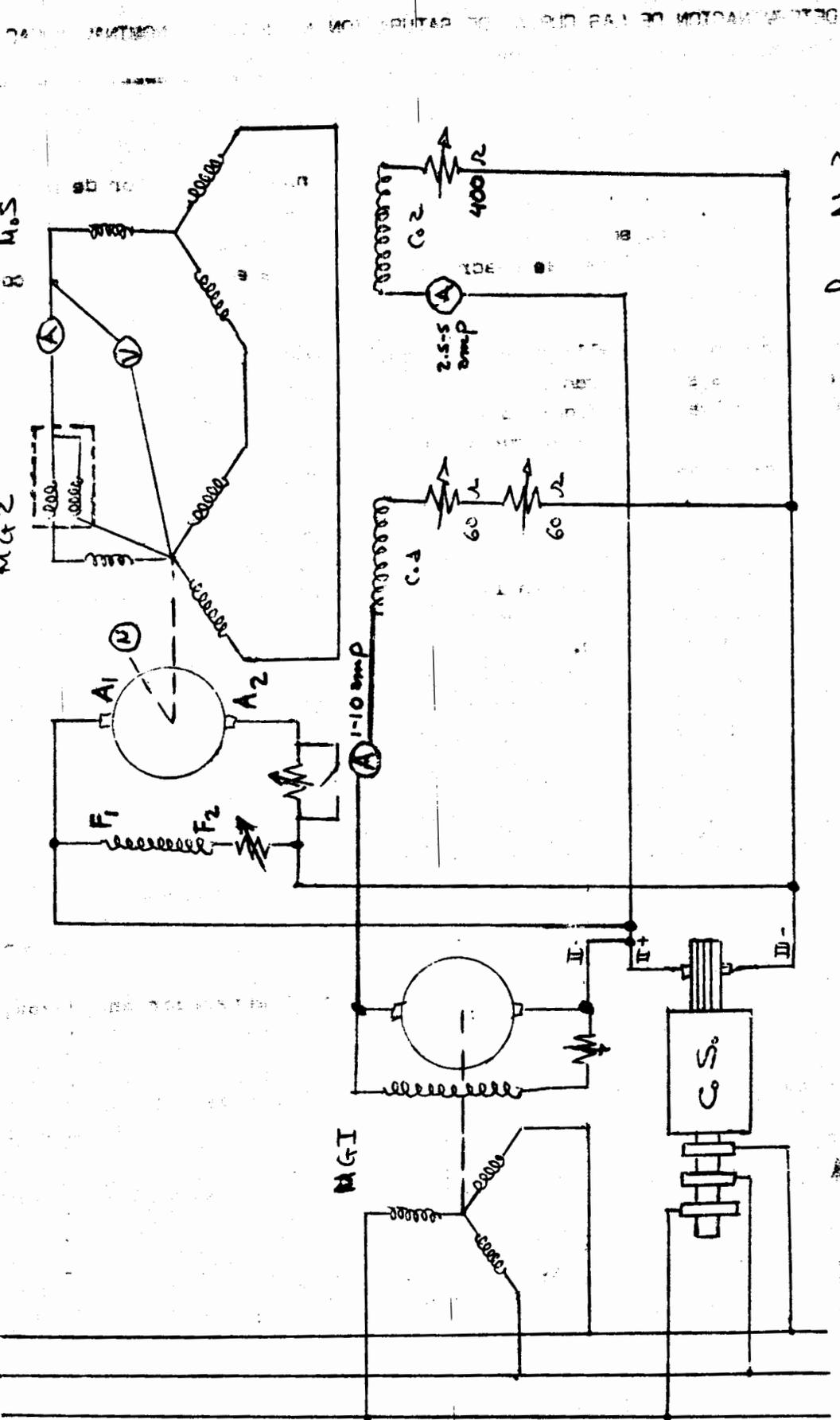


Diagrama de Conexiones -

Fig No 3

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

DIAGRAMA DE CONEXIONES

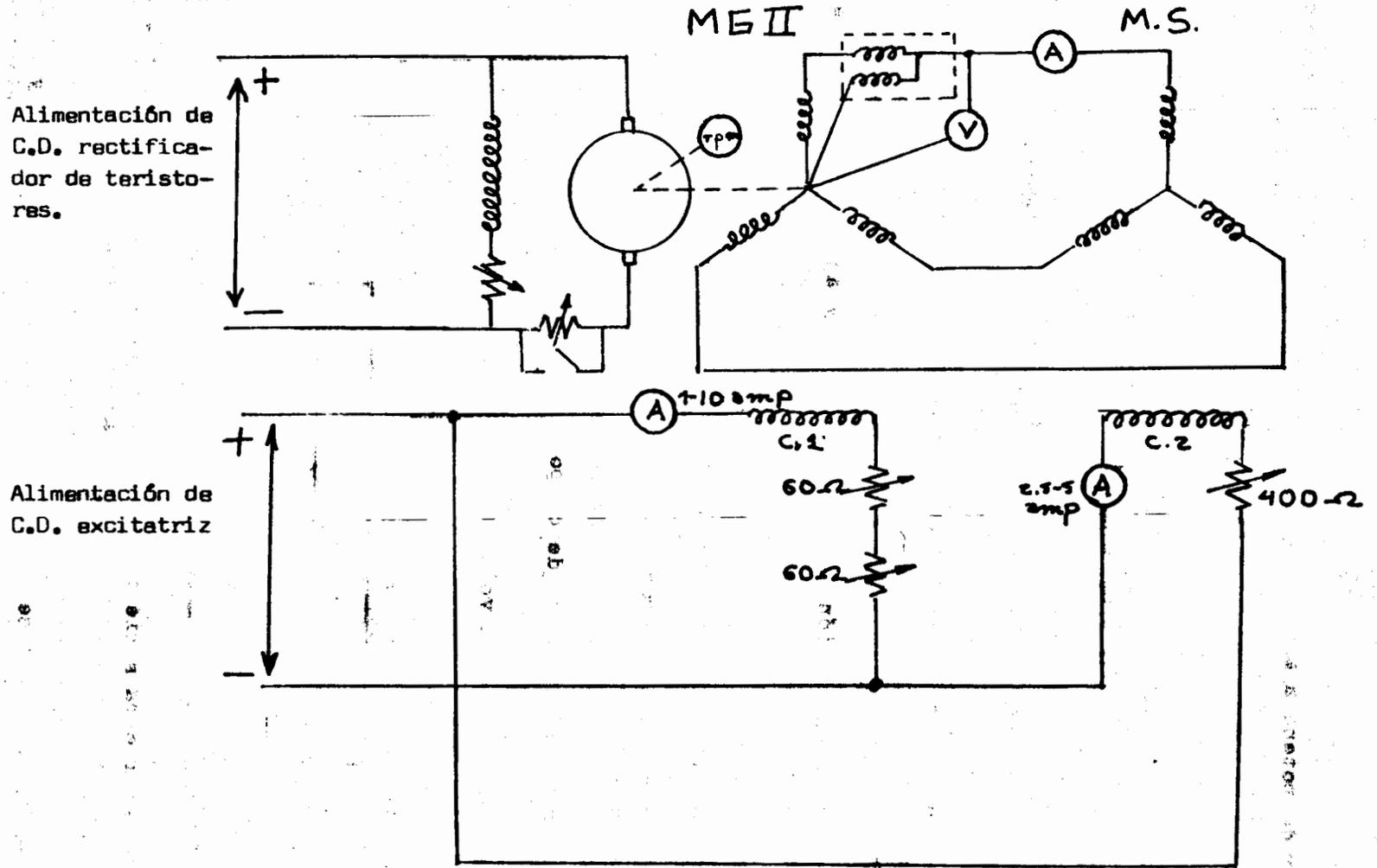


Fig. 3'

El factor de potencia mínimo que podemos obtener en el laboratorio es de 0.15 por las condiciones del equipo existente, ya que existe siempre cierta resistencia que no se puede despreciar, aunque de hecho la curva a obtener se ha venido denominando factor de potencia = 0.

La corriente a carga plena será de 10.45 amp. que es la corriente nominal de la máquina en prueba.

La secuencia de las operaciones a realizar es la siguiente:

- 1.- Operar el alternador a las revoluciones de placa y al voltaje nominal (MG-II).
- 2.- Poner a trabajar al motor síncrono (MS) sin excitación.
- 3.- Conectar la excitación del M.S. (campo 2) y ajustar su factor de potencia a la unidad ( $fp = 1$ ) de la gráfica de la figura número uno se observa que esto ocurre cuando la corriente de línea es mínima ( $I_1$  mín.).
- 4.- Sobre-excitar el alternador hasta alcanzar 190v. Con esto se obtiene el punto mas alto de la curva; las mediciones se hacen de valores crecientes a decrecientes, para evitar el sobre calentamiento; al sobre-excitar la curva "V" se desplaza hacia la derecha por lo que el factor de potencia es atrasado.
- 5.- Ajustar con el reostato de campo el M.S. el valor de la corriente de la línea a 10.45 amp.
- 6.- Anotar los datos del volómetro, del amperímetro en la línea y del wáttmetro.

Alternador

RPM	$I_1$	$V_G$	$I_o$	W
1000	10.45	190	$IC_1$	$W_1$
Ctes.	Ctes.	↓	↓	↓

- 7.- Para tomar otra serie de lecturas, se baja la excitación del generador. Con el reostato del M.S. se ajusta nuevamente  $I_1$ .
- 8.- Se repiten sucesivamente las operaciones seis y siete.
- 9.- El penúltimo punto se obtiene abriendo el campo del M.S. y se ajusta el valor de  $I_1$  a 10.45 con el voltaje del generador (reostato de campo del generador).
- 10.- El último punto de la curva de saturación a plena carga y factor de potencia cero, se obtiene de la curva de corto circuito fijo (reporte anterior) de la siguiente manera: Se toma en el eje de las ordenadas el valor de la corriente a plena carga (10.45 amp.) y en el -

eje de las abscisas se lee el valor de la correspondiente  $I_c$ , (dimensión - "X") siendo ese el punto buscado y que corresponde el punto inicial ( $V = 0$ ) de la curva que se ha determinado (ver figura No.6)

Al fin y al cabo se recordará que en la curva de corto circuito se obtiene un factor de potencia muy atrasado o practicamente igual a 0.

Para determinar la curva de saturación a factor de potencia = 0.9 nos auxiliamos de la curva de saturación en vacío (reporte anterior), y de la curva a factor de potencia 0, como se muestra en las figuras número cuatro y cinco.

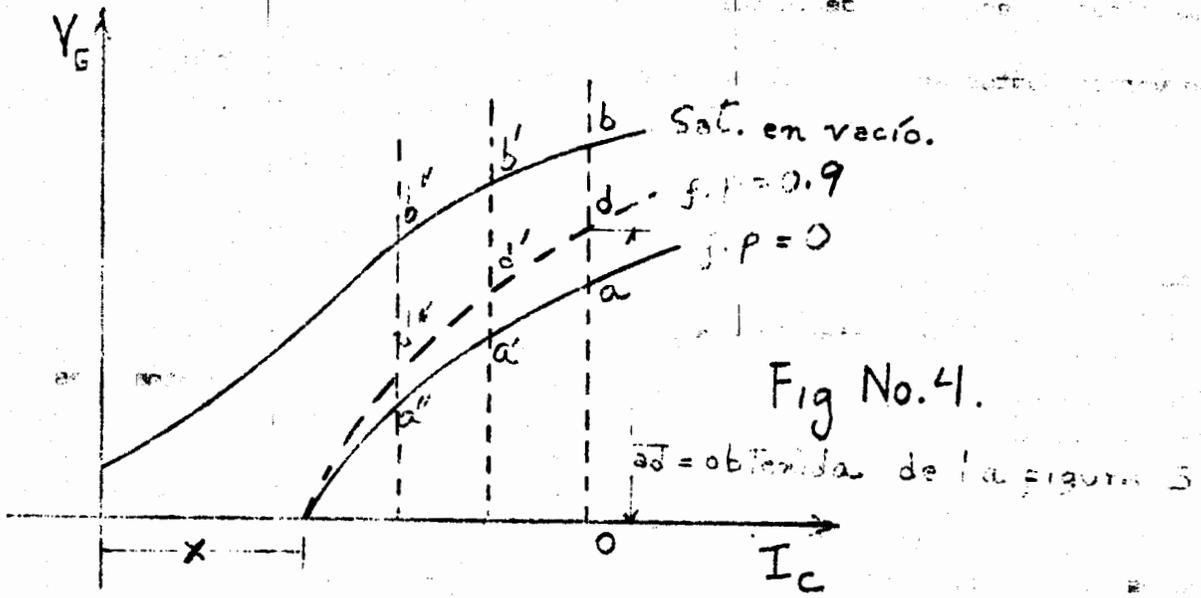


Fig No.4.

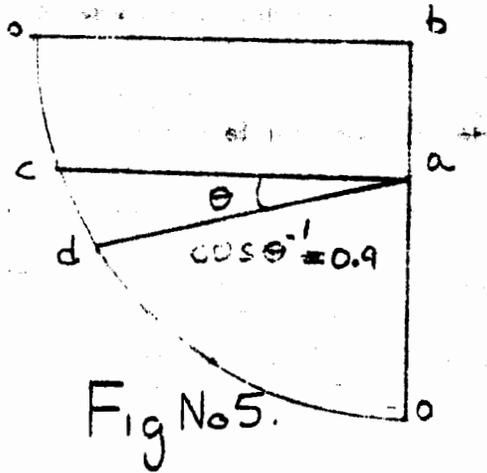


Fig No.5.

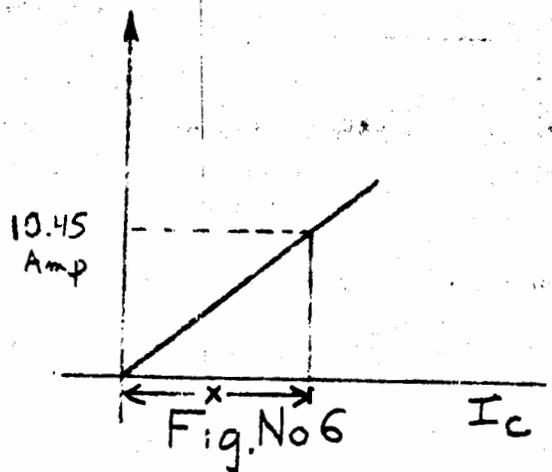


Fig. No 6

Ejemplo:

Donde:  $\theta$  = ángulo  $\cos. 0.9 = 25.89^\circ$   
 $aO$  = Voltaje a plena carga  $fp = 0$   
 $ac$  = Voltaje a plena carga  $fp = 1$   
 $ad$  = Voltaje a plena carga  $fp = 0.9$

Se traza un cuadrante de radio "ob" en su extremo vertical se marca la distancia ab y por el se traza una línea horizontal hasta cortar la circunferencia en "C", a partir de ac se traza el ángulo  $\theta$  ( $fp = 0.9$ ) y se traza la recta "ad" la cual representa la magnitud en ese punto de la curva a factor de pot. = 0.9.

Obteniendo varios puntos se puede trazar la curva a factor de potencia 0.9, a partir de trazar diagramas semejantes para un número determinado de segmentos verticales que se construyen a lo largo de las dos curvas.

#### OTRAS APLICACIONES

##### Curvas a diferente factor de potencia y a diferente carga.

Como es fácil de comprender con los diagramas anteriores, se pueden determinar las características de la máquina trabajando a cualquier factor de potencia. Además nos permiten conocer el voltaje terminal de un generador para carga y factor de potencia cualesquiera que sean a una corriente de excitación dada, ya que la construcción anterior puede hacerse repetitiva para cualquier factor de potencia que se desee; así también puede conducirse nuevamente para otro tipo de carga.

Ejemplo:  $\frac{1}{2}$  carga,  $\frac{1}{4}$  de carga, etc. Con lo anterior puede determinarse el porcentaje de regulación del generador ( $\% Rg. = \frac{V \text{ vacio} - V \text{ carga}}{V \text{ carga}} \times 100$ )

#### METODO DE POTIER PARA LA DETERMINACION DE LA REACTANCIA DE DISPERSION $X_d$ Y LA REACCION DE ARMADURA.

La determinación de este método, impone la necesidad de disponer de la curva de saturación en vacío y de la curva de saturación a corriente nominal y factor de potencia cero, mismas que ya fueron encontradas en el transcurso de estas prácticas.

El voltaje terminal de un generador síncrono bajo carga, difiere del que se obtiene a circuito abierto con la misma corriente de excitación. Lo anterior es ocasionado por 3 efectos: (referirse a la figura 5 de la práctica anterior). La reacción de armadura y las caídas de potencial en la reactancia de dispersión y resistencia de la armadura.

La relativa influencia de los 3 factores depende principalmente del factor de potencia de la carga, lo que se apreciaría mejor si se construye el diagrama fasorial al referirnos a la condición de factor de potencia = 0 y corriente nominal.

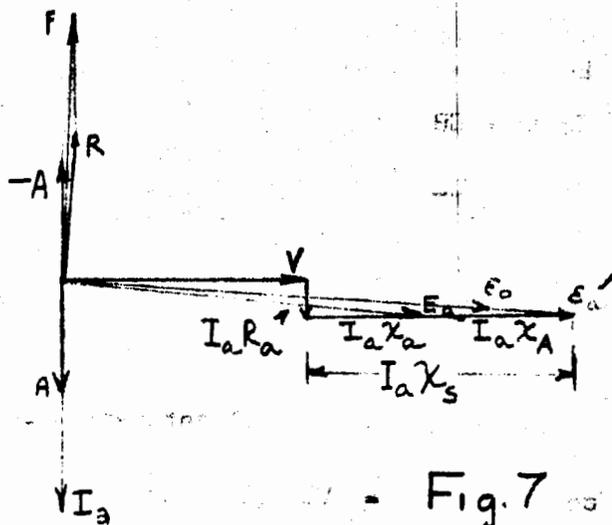


Fig. 7

Según estas condiciones, el decremento en el voltaje terminal es debido prácticamente a la reacción de armadura y a la reactancia de dispersión, ya que el efecto de la resistencia de por sí es pequeño y ahora en cuadratura es prácticamente despreciable. Así el campo resultante  $\bar{R}$  es de hecho igual a la diferencia algebraica entre  $\bar{F}$  y  $\bar{A}$  y el voltaje terminal  $V$  es igual a la diferencia algebraica entre  $E_a$  e  $I_a X_a$ .

Refirámonos ahora a las figuras 8 en la que nuevamente se han reflejado las curvas de saturación en vacío y a corriente nominal y factor de potencia 0. Elijamos dos puntos de las curvas que tengan el mismo grado de saturación; sean ellos  $C$  y  $A$ .

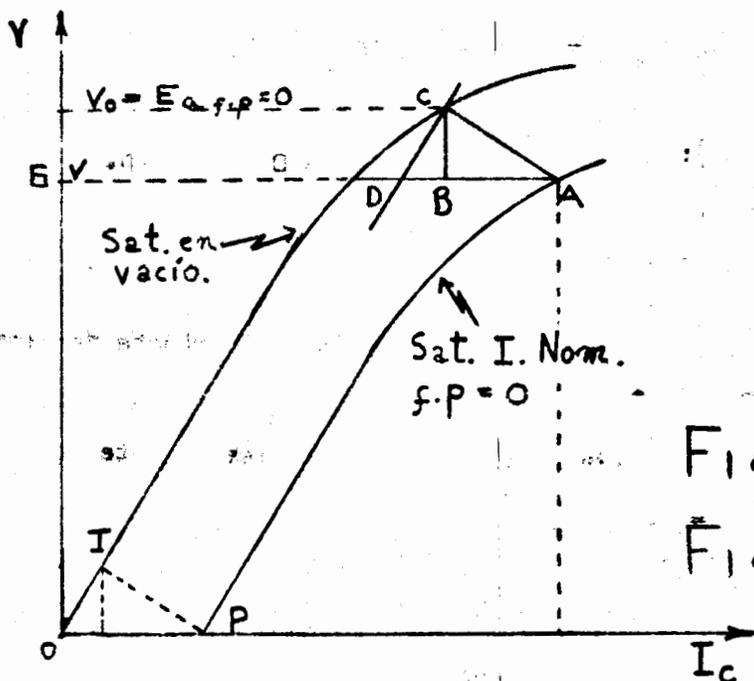


Fig. 8

Fig. 8

Según se indicaba, en este caso la diferencia de voltaje o desplazamiento entre - ambas curvas dependerá: horizontalmente por la reacción de armadura cuyo efecto - proviene de la diferencia algebraica entre  $\bar{F}$  y  $\bar{R}$  para dar  $\bar{A}$  (segmento BA) y verti- calmente por la caída  $I_a X_a$  en la reactancia de dispersión de la armadura (segmen- to CB).

De acuerdo a la figura :  $E_a - V = I_a X_a$

pero:  $I_a X_a = CB$

de donde:  $X_a = \frac{CB}{I_a}$

El porque el segmento BA representa la reacción de armadura se entenderá mejor y - quedará demostrado si nos referimos al siguiente desarrollo.

Como los puntos C y A corresponden a partes de igual saturación se tendrá que:

$$(E_a) \text{ prueba de f.p.} = 0 = V_o \quad (1)$$

Los puntos: G.A. corresponden a la excitación de la máquina a f.p. = 0 y G.B. al punto en excitación en vacío.

Sin embargo:  $E_a \text{ f.p.} = 0 \sim \bar{R}_{\text{f.p.} = 0}$

$V_o \text{ vacío} \sim \bar{F}_{\text{vacío}}$

Puede concluir según (1) que:  $\bar{F}_{\text{vacío}} = \bar{R}_{\text{f.p.} = 0} \quad (2)$

Según la figura 8:  $GA = \bar{F}_{\text{f.p.} = 0}$  y  $GB = \bar{F}_{\text{vacío}}$

Entonces:  $GA - GB = \bar{F}_{\text{f.p.} = 0} - \bar{F}_{\text{vacío}} \quad (3)$

Sustituyendo (2) en (3):  $GA - GB = \bar{F}_{\text{f.p.} = 0} - \bar{R}_{\text{f.p.} = 0} = \bar{A}_{\text{f.p.} = 0}$   
 $BA = \bar{A}_{\text{f.p.} = 0}$

que es lo que se deseaba demostrar.

Como la reacción de armadura es un efecto neto de la corriente de armadura  $I_a$ , se - concluye que:  $\bar{A} = BA = K I_a$

Para otra corriente que no fuera la nominal  $I_a$  llámese a esta corriente  $I$

$$\bar{A} = I \frac{BA}{I_a}$$

Para poder trazar el triángulo de Potier es necesario disponer de algún método para localizar los dos puntos correspondientes a la misma saturación; a continuación se describe uno de ellos.

Refiriéndonos a la figura 8, se observará que ambas curvas son paralelas, por lo tanto el triángulo rectángulo CBA se podrá repetir en cualquier parte entre ellas. De esta manera conduzcase hasta apoyarse en el eje de las abscisas, aquí un nuevo triángulo I OP se formará. Eligiendo el punto A a partir de él, se dibujará un segmento paralelo e igual a OP, lo que conducirá a obtener el punto D, a través de este punto se dibujará un segmento paralelo a la parte inferior de la curva de saturación en vacío, cuya intersección con esta última curva localizará el punto C, equivalente en saturación al punto A de la curva de saturación a corriente nominal y f.p. = 0.

NOTA: El diagrama de Potier aunque permite determinar experimentalmente la reacción de armadura y la reactancia de dispersión, supone condiciones normales de saturación pero a un factor de potencia igual a cero, que nunca se logra en la práctica. Por lo tanto en generadores de polos salientes en que el valor de la reacción de armadura se ve afectada considerablemente por el factor de potencia, dicho valor será más elevado que el real, al determinarse por este método.

#### Reactancia síncrona saturada.

Como se demostró en la práctica anterior el valor de reactancia síncrona decrece conforme aumenta la saturación, así el valor de la reactancia bajo condiciones de saturación es llamada reactancia síncrona saturada. Su valor puede determinarse prácticamente, utilizando el diagrama de Potier y las curvas de saturación en vacío y saturación a corriente nominal, con factor de potencia igual a cero.

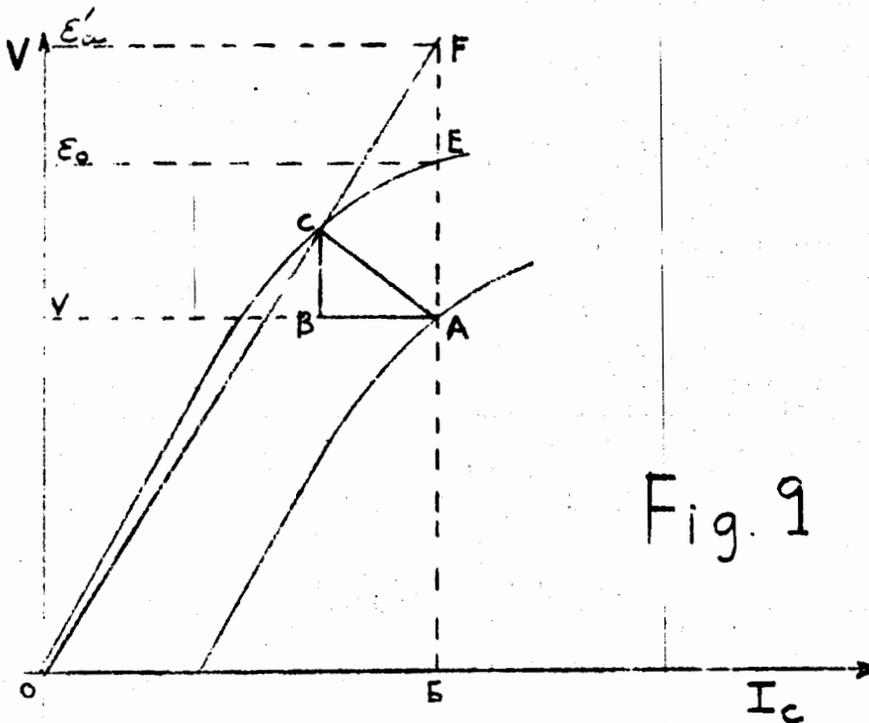


Fig. 9

En el anterior diagrama, si la corriente a cero factor de potencia fuera removida, sin alterar la excitación de la máquina OG, el voltaje terminal "V" se incrementaría de GA a GE (valor  $E_0$ ), sin embargo en este cambio la saturación ha aumentado. El segmento AE que representa el cambio de voltaje anterior, estará ocasionado por la caída debida a la reactancia de dispersión  $X_d$ , más otra caída producida por el cambio del flujo causado por el efecto de reacción de armadura y que ha sido sustituido por el elemento reactivo  $X_s$  (referirse a la práctica anterior). En resumen esta caída representa el efecto total de la reactancia denominada síncrona  $X_s = X_d + X_a$  (referencia Figura 7).

Sin embargo esta caída en el diagrama vectorial de la fig. 7 no es coincidente con el voltaje terminal en vacío  $E_0$ , ya que según dicho diagrama, la caída reactiva producida por  $X_s$  estará representada por la que produce  $X_d$  y por la caída producida por el efecto de la reacción de armadura  $X_a$  siempre y cuando la saturación hubiera permanecido igual a la condición de corriente nominal, lo cual se cumple en el segmento AF de la figura 9 y que se representa la  $X_s$  de la figura 7. Esto es cierto ya que la saturación que se mantenía en "A", bajo la condición de corriente nominal y que es la misma que en "C" se mantuvo constante a través de este punto al trazar la línea OCF. En este punto el voltaje terminal en vacío hubiera sido  $E_a$  y no  $E_0$  cuyo valor del primero, estará representado por GF.

En estas condiciones se tendrá:

$$X_s = \frac{AF}{I_a}$$

$I_a$  = Corriente nominal de armadura

En todo caso será necesario trabajar siempre bajo las condiciones de la saturación impuestas por la corriente nominal, ya que siempre la construcción de diagramas fesoriales supone condiciones de saturación constantes.



DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN ALTERNADOR POR EL METODO DE PERDIDAS.

La medida directa de la eficiencia de un alternador mediante la aplicación de una carga real, presenta las dificultades de suministrar la potencia necesaria y de encontrar una carga conveniente y costosa en muchas ocasiones, es de ahí que utilizamos la forma más fácil que es el método de pérdidas; en forma semejante al procedimiento utilizado para determinar la eficiencia de un generador de C.D. en el curso anterior.

Pérdidas de un alternador (fig. 1)

a).- Pérdidas eléctricas en el rotor - (campo)

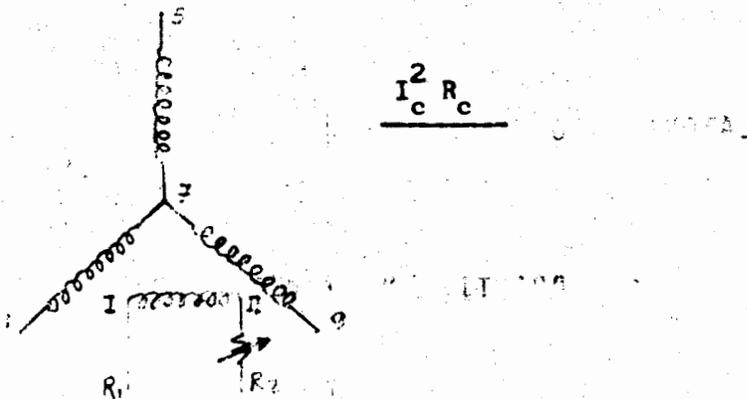


Fig. 1. PERDIDAS EN EL ROTOR DEL ALTERNADOR

b).- Pérdidas en el reostato (propio de la planta)

$I_c^2 R_{reost.}$

c).- Pérdidas eléctricas en las escobillas (algunos casos es despreciable).

d).- Pérdidas eléctricas en el estator (armadura).

1.- Por carga =  $3 I_A^2 R_{c.d.}$

2.- Por corrientes parásitas  $cu = 3 I_A^2 R_{ef.} - 3 I_A^2 R_{c.d.}$

En que Ref. es la resistencia efectiva al paso de la corriente alterna.

e).- Pérdidas magnéticas tanto en el rotor como en el estator.- Son debidos a las pérdidas histéresis y pérdidas por corrientes parásitas en el hierro, prácticamente proporcionales al voltaje aplicado al cuadrado.

f).- Pérdidas mecánicas.- Chumaceras, escobillas, ventilación.  
Estas pérdidas son proporcionales a la velocidad.

g).- Otras pérdidas adicionales:

- Excitador o excitatriz.
- Excitador piloto.

DIAGRAMA EMPLEADO EN EL LABORATORIO PARA LA OBTENCION DE PERDIDAS

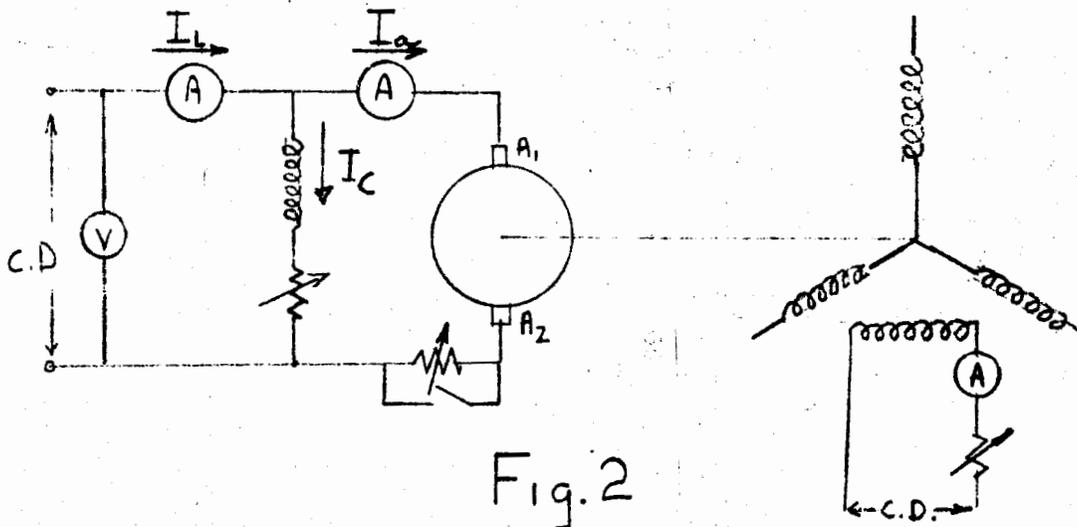


Fig. 2

Pérdidas eléctricas.

Pérdidas eléctricas en el campo =  $I_C^2 R_{c.d.}$  a 75°C recordando que:

$$\frac{R_{75^\circ}}{R_{amb}} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + T_{amb}}$$

En que el valor de la corriente de campo se obtendrá de la lectura obtenida para ella en la prueba de excitación en circuito abierto (fig. 7).

Pérdidas eléctricas en el estator: Carga =  $3 I_A^2 R_{c.d.}$

Pérdidas por corrientes parásitas =  $3 I_A^2 R_{e.f.} - 3 I_A^2 R_{c.d.}$

En que  $3 I_A^2 R_{e.f.}$  = Pérdidas eléctricas eficaces.

En todos los casos se deberá que  $I_A$  = Corriente nominal de placa del alternador.

Para obtener las pérdidas eficaces se cortocircuita la armadura del generador y se hace circular la corriente nominal por los enbobinados de armadura.

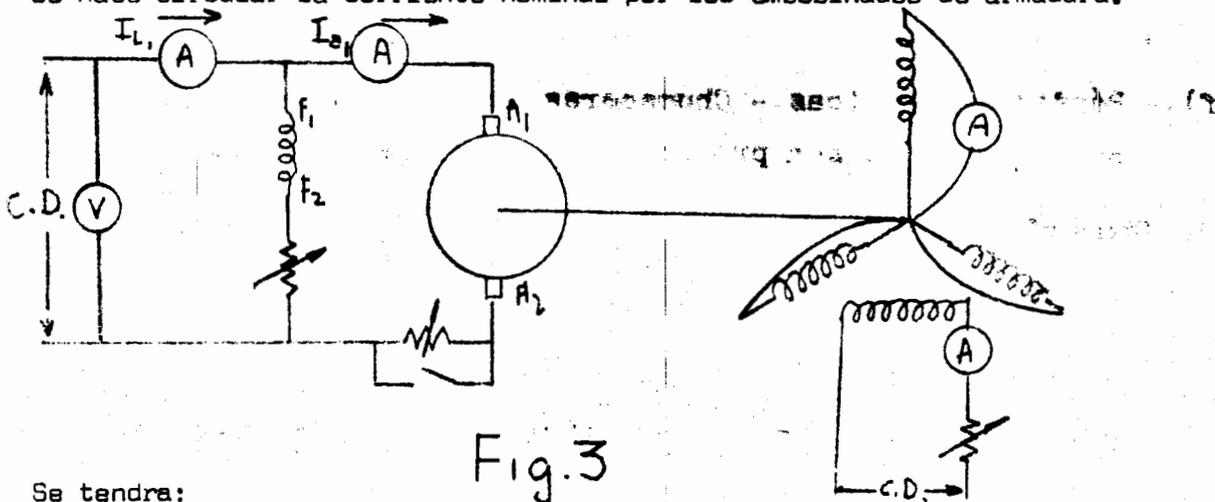


Fig. 3

Se tendrá:

Refiriéndonos a la figura 3, operando al alternador al valor de la corriente nominal, se obtiene para la potencia de entrada al motor:

$$W_1 = I_{a_1} V = \text{Pérd. Mecs. Motor}_1 + \text{Pérd. Mags. Motor}_1 + \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_1$$

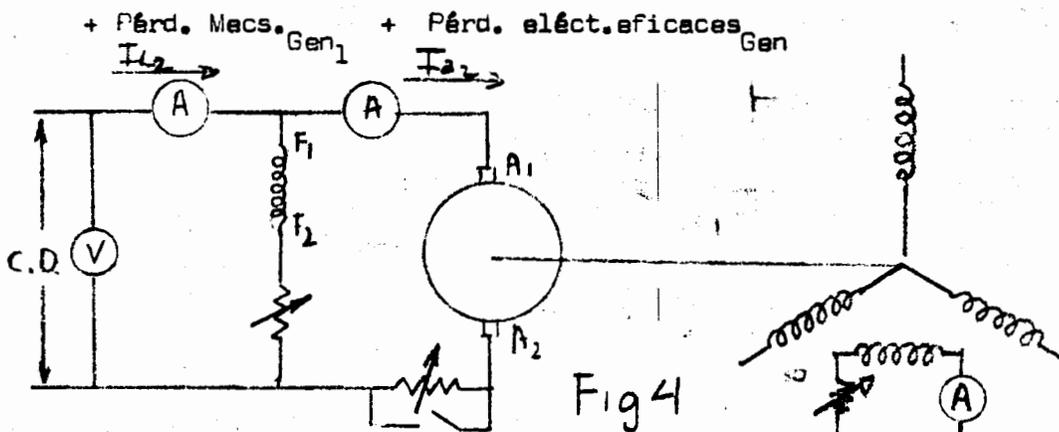


Fig. 4

por otro lado, según la figura 4, si ahora desconectamos la excitación del alternador, cesarán de suministrarse las pérdidas eléctricas al alternador teniendo ahora:

$$W_2 = I_{a_2} V = \text{Pérd. Mecs. Motor}_2 + \text{Pérd. Mags. Motor}_2 + \text{Pérd. eléct. Arm Motor}_2 + \text{Pérd. Mecs. Gen}_2$$

Restando  $W_1$  y  $W_2$ , se obtiene:

$$W_1 - W_2 = \text{Pérd.eléct.eficaces}_{\text{Gen}} + \text{Pérd.eléct.}_{\text{Arm Motor}_1} - \text{Pérd.eléct.}_{\text{Arm Motor}_2}$$

Lo anterior es cierto ya que las pérdidas mecánicas de ambas máquinas y las - pérdidas magnéticas del motor se mantienen constantes en ambas situaciones, al no variar la velocidad y el voltaje aplicado al motor. El valor de las pérdidas eléctricas en la armadura, no se mantiene constante, ya que la corriente en este caso varía conforme se suministran o no las pérdidas eléctricas del generador.

Pero: Pérdidas eléctricas en la armadura =  $I_a^2 R_a$

Sustituyendo en la Ec. anterior:

$$W_1 - W_2 = \text{Pérd.eléct.eficaces}_{\text{Gen}} + R_a (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)$$

Despejando pérdidas eléctricas eficaces Gen tenemos:

$$\text{Pérd.eléct.eficaces}_{\text{Gen}} = W_1 - W_2 - R_a (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)$$

Pueden considerarse despreciables, ya que la diferencia entre las corrientes es mínima.

Así:

$$\text{Pérd.eléct.eficaces}_{\text{Gen.}} = W_1 - W_2$$

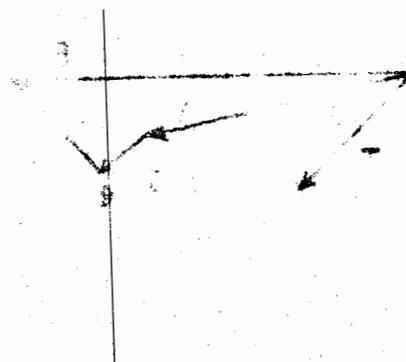
$$\text{Pérdidas por corrientes parásitas} = \text{Pérrds. eléctrs. eficaces} - 3 I_A^2 R_{\text{c.d.}}$$

El valor de la resistencia se determinará, con la lectura de un puente.

Deberá calcular posteriormente el valor de las pérdidas eléctricas eficaces a 75°C según se señalan las normas A.S.A.

$$\text{Así: } 3 I_A^2 R_{\text{c.d. } 75^\circ\text{C}} = \frac{234.5 + 75}{\text{av}}$$

$$3 I_A^2 R_{\text{c.d. temp. de prueba}} = \frac{234.5 + \text{temp. de prueba}}{\text{de prueba}}$$



$$\underline{\text{Pérd. corrientes parásitas } 75^{\circ}\text{C}} = \underline{234.5 + \text{temp. de prueba.}}$$

$$\text{Pérd. corriente parásita temp. de prueba} = 234.5 + 75$$

Nótese que las pérdidas ( $3 I_A^2 R_{c.d.}$ ) son proporcionales al incremento de temperatura y las pérdidas por corrientes parásitas, inversamente - proporcionales a dicho incremento.

Finalmente:

$$\text{Példs. eléctrs. eficaces } 75^{\circ}\text{C} = 3 I_A^2 R_{c.d.} 75^{\circ}\text{C} + \text{Példs. corrientes parásitas } 75^{\circ}\text{C}$$

Del valor de pérdidas eléctricas eficaces, puede determinarse la resistencia - efectiva de la armadura que será necesaria para determinar el valor de las pérdidas magnéticas.

$$\text{Así: } Re = \frac{\text{Pérdidas eléctricas eficaces}}{3 I_{\text{nominal}}^2}$$

Como esta resistencia debe extrapolarse a  $75^{\circ}\text{C}$  deberá hacerse en forma aproximada como a continuación se indica:

$$\frac{Re_{75}}{Re_{\text{tamb.}}} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + \text{Tamb.}}$$

En este caso el efecto superficial de la corriente alterna en los conductores se desprecia.

#### Pérdidas magnéticas.

Para la obtención de dichas pérdidas se requiere conocer la tensión inducida bajo carga, ya que como se observa de la figura 5 (diagrama fasorial de un generador de C.A.) la tensión inducida y el voltaje terminal son diferentes, dependiendo - de la diferencia de ambos, de la corriente de línea, el factor de potencia y del valor de la resistencia  $Re$  y  $Xa$

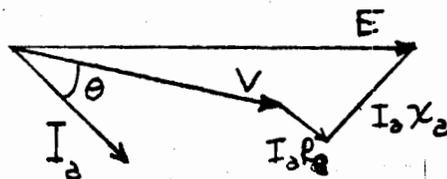


Fig. 5

Sin embargo, para poder calcular la tensión inducida se siguen las normas de la A.S.A. para este caso, las cuales nos indican que debe considerarse un factor de potencia = 1. Sin tomar en cuenta, la reactancia (X).

Así:

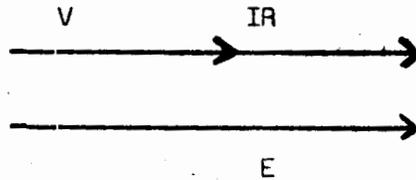


Fig. 6

$$E = V + IR_{\text{efectiva}}$$

V = Voltaje de placa  
 I = Corriente de placa  
 R efectiva a 75°C

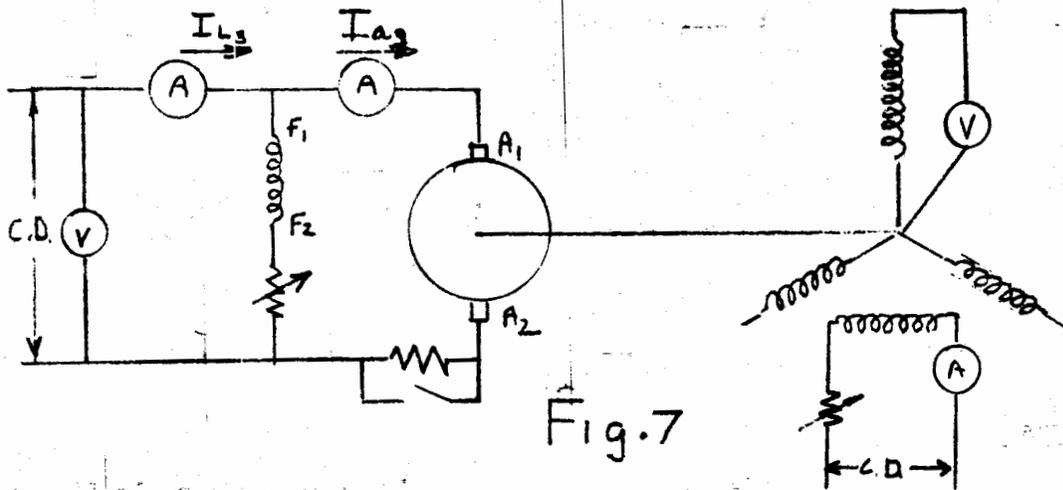


Fig. 7

Refiriéndonos a la figura 7 operando al alternador al valor de la tensión inducida arriba indicada se obtiene para la potencia de entrada al motor:

$$W_3 = I_{A3} V = \text{Pérrds. mecs. Motor}_3 + \text{Pérrd. magn. Motor}_3 + \text{Pérrds. eléct. Arm Motor}_3$$

$$+ \text{Pérrds. mecs. Gen}_3 + \text{Pérrds. mags Gen}$$

Por otro lado; según la figura 4, en esta conexión no se suministrarán las pérdidas magnéticas así:

$$W_2 = I_{A2} V = \text{Pérrds. mecs. Motor}_2 + \text{Pérrds. mags. Motor}_2 + \text{Pérrds. eléct. Arm Motor}_2$$

$$+ \text{Pérrds. mecs. Gen}_2$$

Restando  $W_3$  y  $W_2$  tenemos:

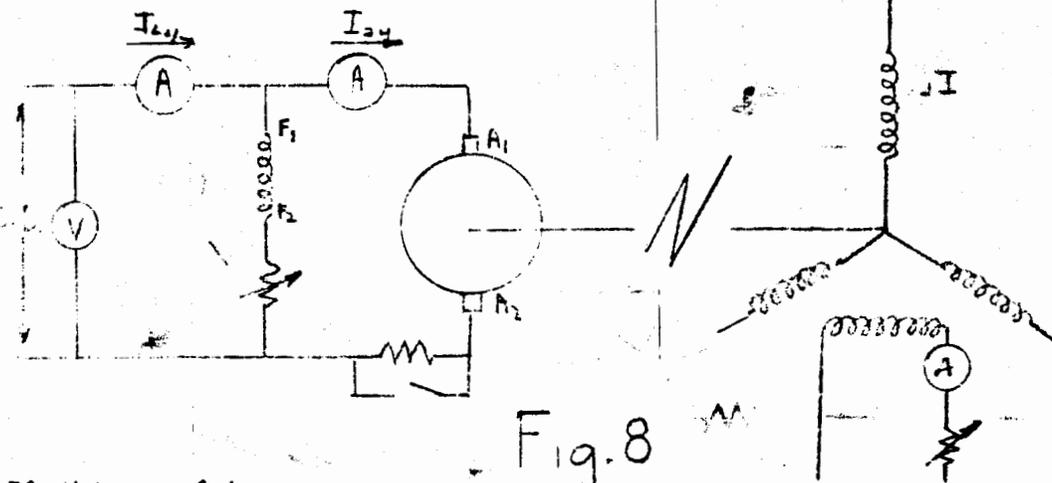
$$W_3 - W_2 = \text{Pérrds. mags.}_{\text{Gen}} + \text{Pérrds. eléctrs.}_{\text{Arm Motor}_3} - \text{Pérrds. eléctrs.}_{\text{Arm Motor}_2}$$

Al igual que en la determinación de pérdidas eléctricas eficaces.

Así:

$$\text{Pérrds. eléctrs.}_{\text{Arm Motor}_3} - \text{Pérrds. eléctrs.}_{\text{Arm Motor}_2} = \text{Valor despreciable}$$

$$W_3 - W_2 = \text{Pérrdas magnéticas Gen.}$$



Pérrdas mecánicas.

Para su obtención desacoplamos el primotor; según se muestra en la figura 8. Bajo estas condiciones, puede fácilmente comprobarse que si se efectúa la diferencia de potencias de  $W_2$  menos  $W_4$ , representando esta última el valor de la potencia con el alternador desacoplado, lo que se determinaría serán las pérdidas mecánicas del de este último, ya que en la condición de  $W_2$ , lo único que - proporcionará el motor al alternador serán justamente sus dichas pérdidas mecánicas.

Lo anterior será posible, al considerar en forma semejante, como en los casos anteriores, constantes las pérdidas del motor y despreciable la diferencia -  $R_a (I_{a2}^2 - I_{a4}^2)$

Así si  $W_4 = V I_{a4}$

$$W_2 - W_4 = \text{Pérrdas mecánicas.}$$

Como no tenemos excitador no consideramos sus pérdidas. Finalmente calcularemos la eficiencia.

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Pot. salida + pérdidas}} \times 100$$

Donde:

Pot. de salida es la de placa. Como la potencia de un alternador generalmente se expresa en terminos de potencia aparente (KVA) deberá suponerse un factor de potencia para determinar la capacidad real en KW, - de ahí que en este caso el factor de potencia supuesto de operación será igual a 0.9.

Pérdidas = Pérd. mags. + Pérd. mec. + Pérd. en el campo<sub>75°C</sub>

+ Pérd. elects. armadura<sub>Ef. 75°</sub>

DE 0. 10A7

DE 10 01°



## ACOPLAMIENTO EN PARALELO Y SINCRONIZACION DE LOS GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA.

El fin principal para conectar dos o más generadores en paralelo, es el de aumentar la capacidad del sistema a un mismo voltaje de alimentación.

Para efectuar esta conexión en paralelo se deberán sincronizar los generadores que se deseen acoplar, para lo cual se deberán cumplir requisitos, los cuales serán:

- a) La frecuencia de ambas máquinas deberá ser la misma.
- b) El voltaje de las terminales de una de ellas, deberá ser numéricamente igual al de la otra máquina.
- c) El voltaje de una de ellas, con respecto a la carga externa del circuito, deberá estar en fase con el del otro generador en el punto de contacto de ambos. Esto significa que la secuencia de fases de ambas, debe ser la misma.

Ahora, para saber si los requisitos anteriores se cumplen, con objeto de estar seguros de que el acoplamiento por realizar esté correcto, existen dos métodos que nos lo indicarán, siendo éstos:

1. Por medio de lámparas.
2. Por medio del sincronoscopio.
3. Por medio del osciloscopio.
4. Promedio del sincronizador automático.

El procedimiento para conectar los generadores en paralelo es muy similar, en el caso de que sean monofásicos, de 2 ó 3 fases, en el laboratorio se efectuará la sincronización para generadores trifásicos, pero eso no implica que en la clase de teoría no lo veamos para los de 1 y 2 fases.

GENERADORES MONOFASICOS. 10 20 Y 30 KVA Y SINCRONIZACION DE 20 A 100 KVA

El circuito de conexión será de la siguiente manera:

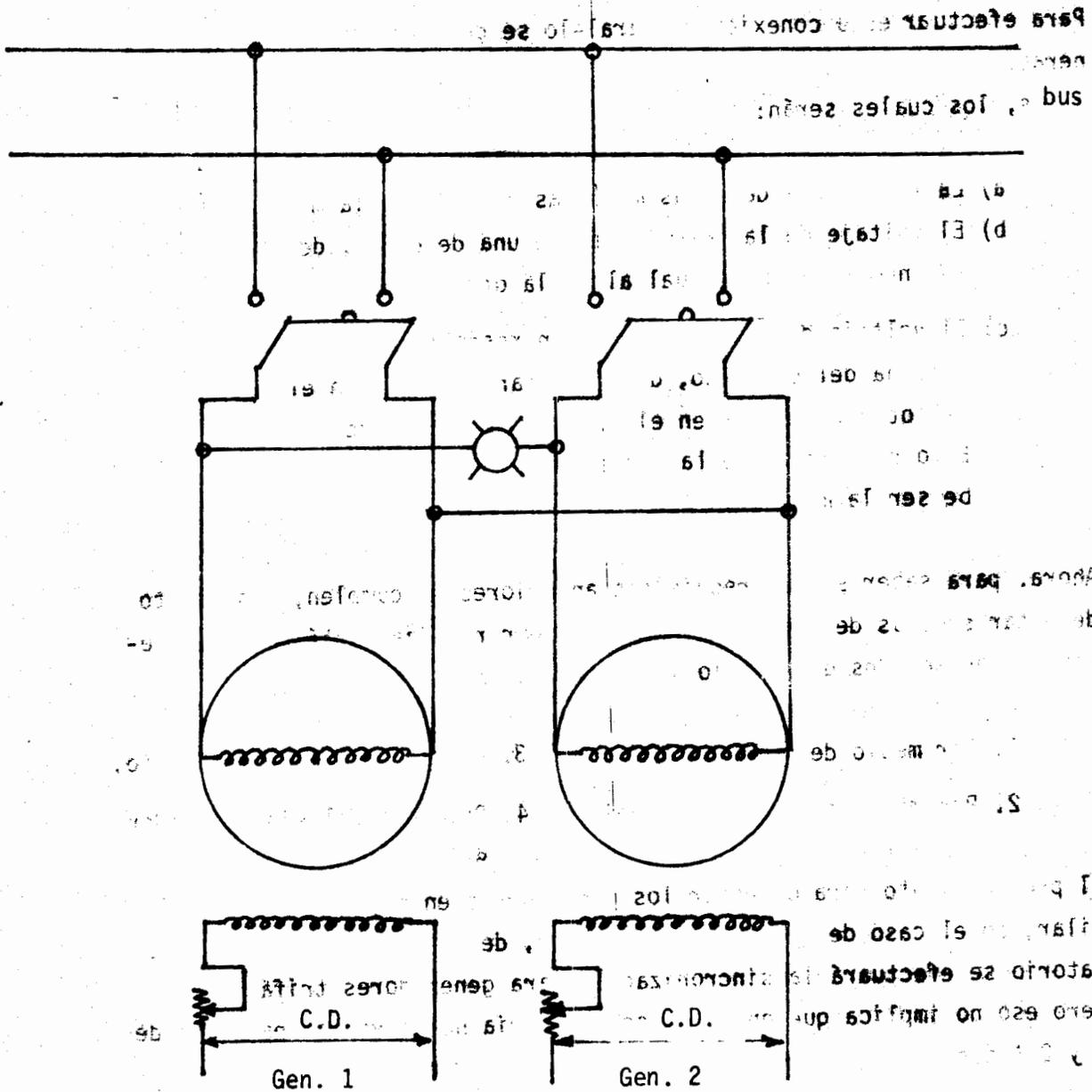


FIGURA 1.

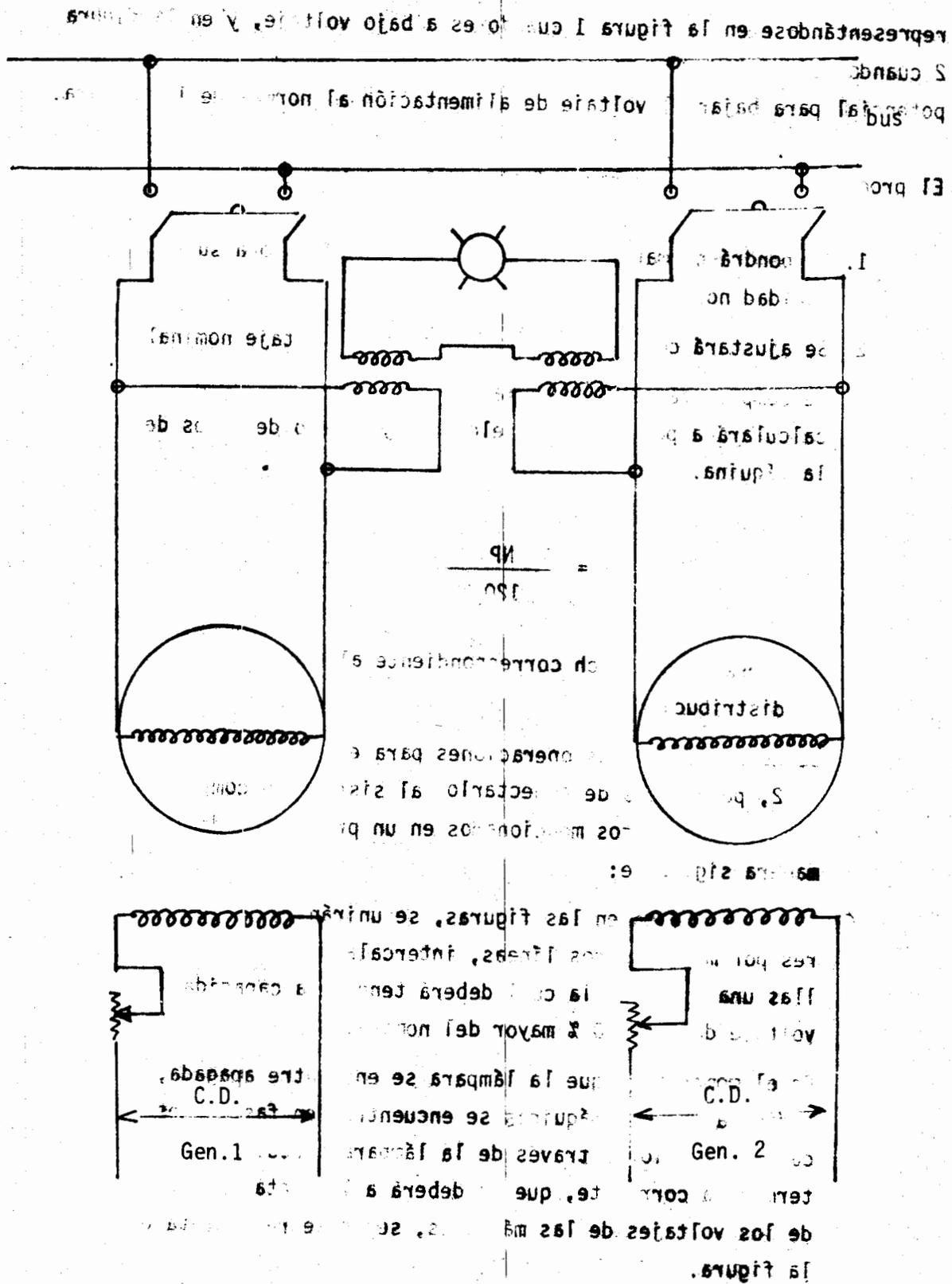


FIGURA 2.

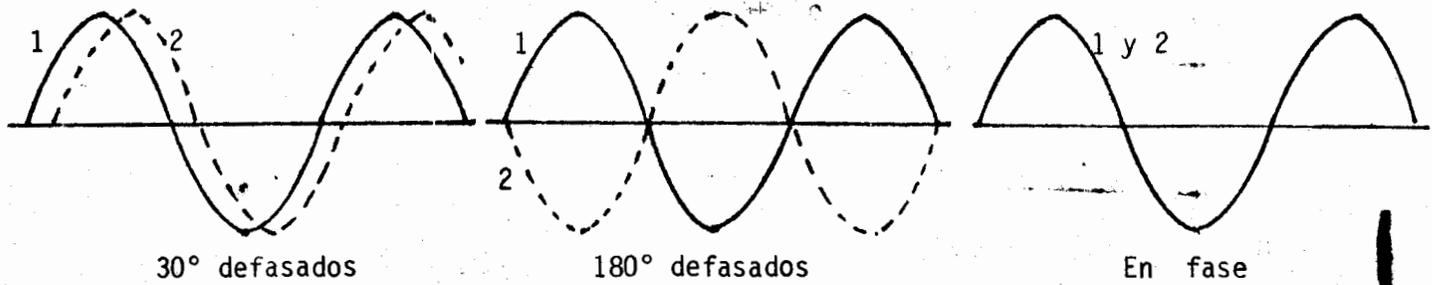
representándose en la figura 1 cuando es a bajo voltaje, y en la figura 2 cuando es en alto voltaje, donde se intercalarán transformadores de potencial para bajar el voltaje de alimentación al normal de la lámpara.

El procedimiento a seguir para efectuar la sincronización será:

1. Se pondrá en marcha el generador 1 ajustándolo a su velocidad normal.
2. Se ajustará con su reóstato de campo su voltaje nominal.
3. Se comprobará la frecuencia con un frecuencímetro o se calculará a partir de la velocidad y número de polos de la máquina.

$$f = \frac{NP}{120}$$

4. Se cerrará su switch correspondiente alimentando el bus de distribución.
5. Se harán las mismas operaciones para el generador número 2, pero antes de conectarlo al sistema se comprobarán los requisitos mencionados en un principio, de la manera siguiente:
6. Según se indica en las figuras, se unirán los generadores por medio de dos líneas, intercalando en una de ellas una lámpara, la cual deberá tener una capacidad en voltaje de 60 a 80 % mayor del nominal.
7. En el momento en que la lámpara se encuentre apagada, nos indicará que las máquinas se encuentran en fase, pues en caso contrario, a través de la lámpara circulará una determinada corriente, que se deberá a la resta vectorial de los voltajes de las máquinas, según se representa en la figura.



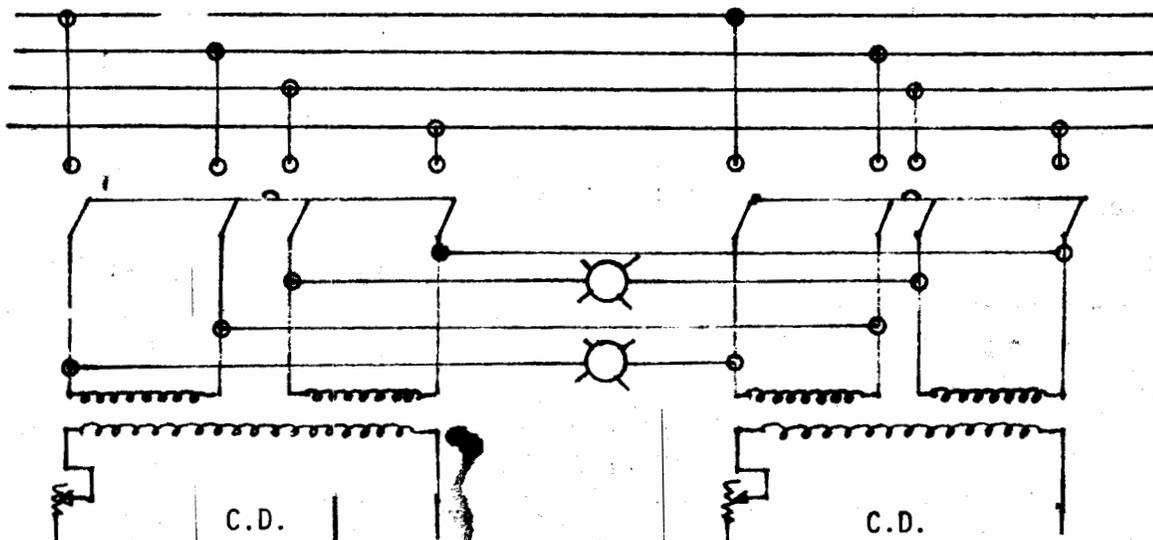
8. En el caso de que se emplee un sincronoscopio, sus bornes terminales se conectarán a los que en la figura está conectada la lámpara.

#### GENERADORES DE 2 FASES.

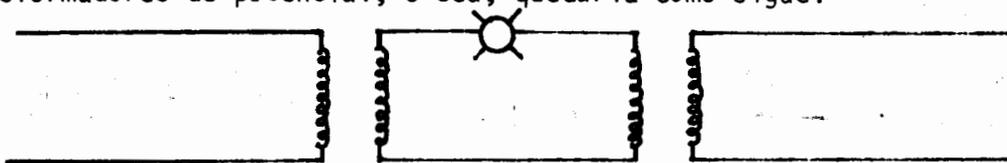
El procedimiento a seguir para la sincronización de este tipo de generadores es exactamente igual al anterior, pero con la única diferencia que en este caso podría suceder que las lámparas encendiesen alternadamente, indicándonos que la secuencia de fases es incorrecta, cosa que corregiremos al intercambiarse las terminales de una de las máquinas.

El switch deberá cerrarse cuando ambas lámparas se encuentren apagadas.

El circuito a usarse será el anotado en la figura que se ilustra a continuación.

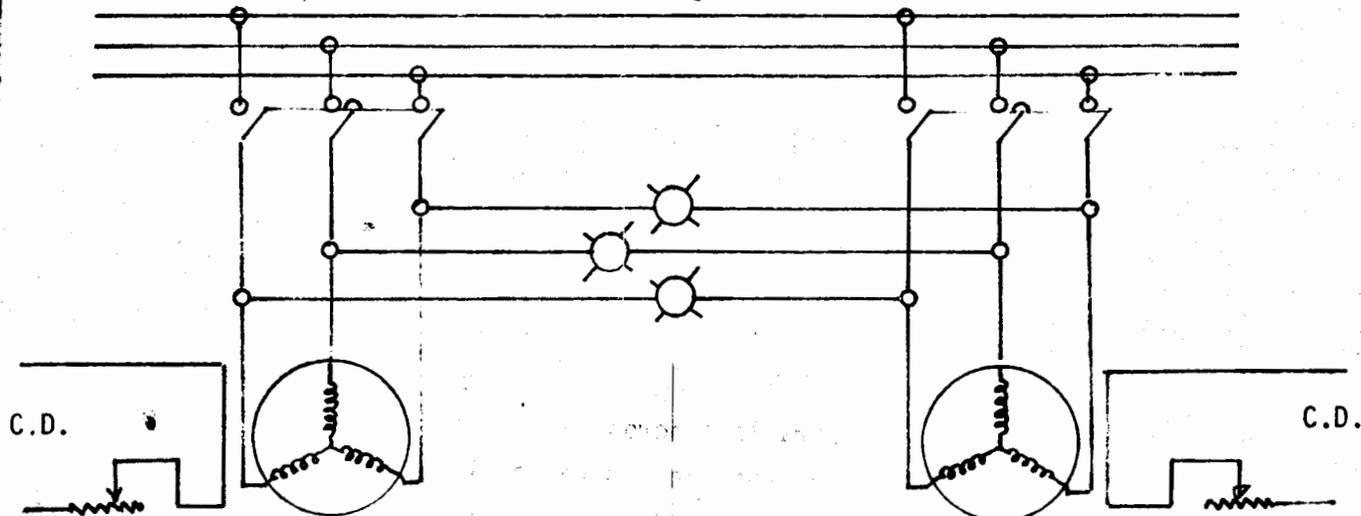


Cuando se tengan voltajes muy altos, como en el caso anterior se usarán transformadores de potencial, o sea, quedaría como sigue:



### Generadores Trifásicos.

La conexión por utilizar será como sigue:

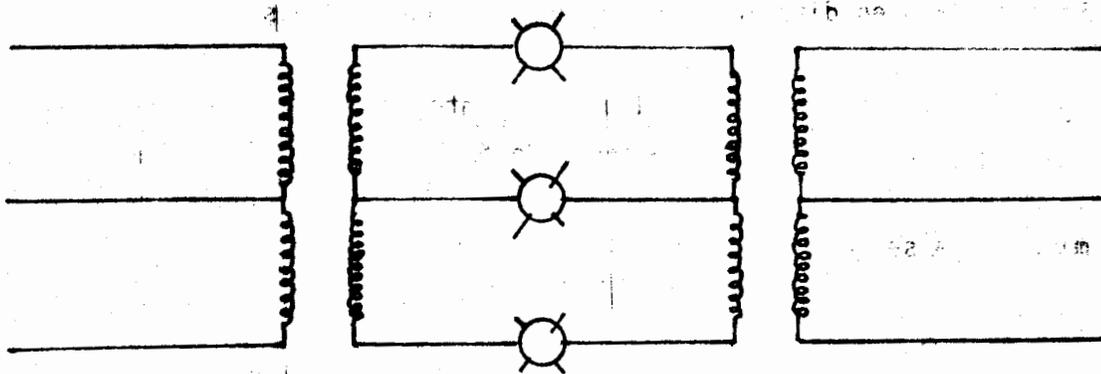


El procedimiento a seguir para la sincronización de los generadores trifásicos será muy similar al ya descrito con anterioridad para los generadores monofásicos, o sea, se arranca uno de ellos a su velocidad normal, regulándose su voltaje y frecuencia normales se cierra entonces el switch de conexión al bus; se hace lo mismo con el otro alternador, pero antes de cerrar el switch se igualará el voltaje con el primero, ahora, según sea mayor o menor la diferencia de frecuencias de los dos generadores, será más o menos frecuente el apagado y encendido alternativo de las lámparas.

Cuando las lámparas estén apagadas, por supuesto no existirá diferencia de voltaje entre ellas y por consiguiente entre el switch de conexión que falta por cerrar. En ese instante se habrán llenado los requisitos para la correcta sincronización y por lo tanto se podrá cerrar el interruptor sin causar ningún daño.

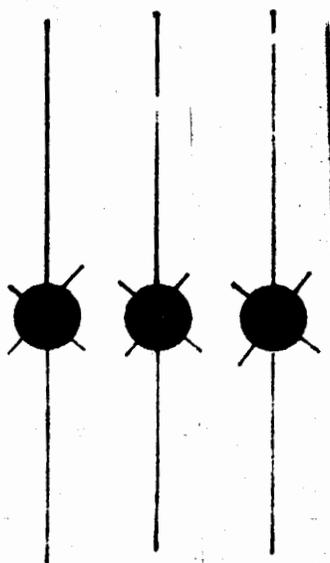
En el caso de que las lámparas no se enciendan y apaguen simultáneamente, será debido a que la secuencia de fases no es correcta en alguna de las máquinas, por lo que se corregirá al invertir dos de las fases de ella.

Si se está sincronizando con máquinas de alto voltaje, se hará uso de transformadores de potencial, siendo su conexión de la manera indicada a continuación:

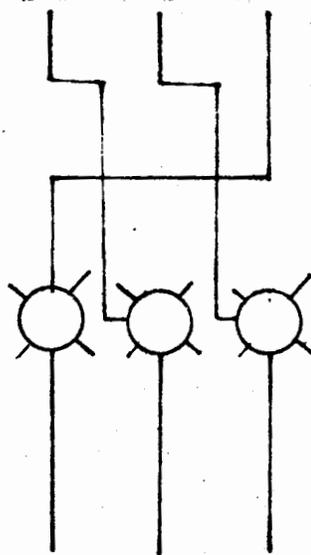


No sólo se puede sincronizar con focos de la manera ya indicada en los procedimientos anteriores (focos apagados), sino también puede usarse el de lámparas encendidas o el de dos encendidas y una apagada.

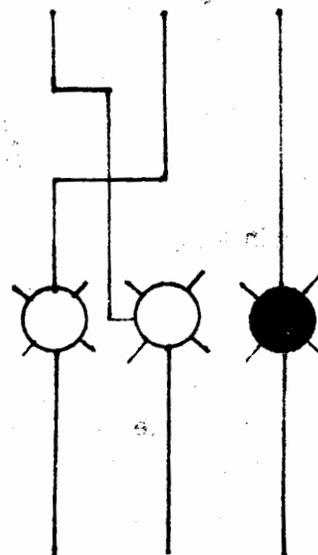
Los siguientes diagramas nos indicarán la manera en que deben de conectarse las lámparas cuando se quiera utilizar uno u otro procedimiento.



Lámparas apagadas



lámparas encendidas

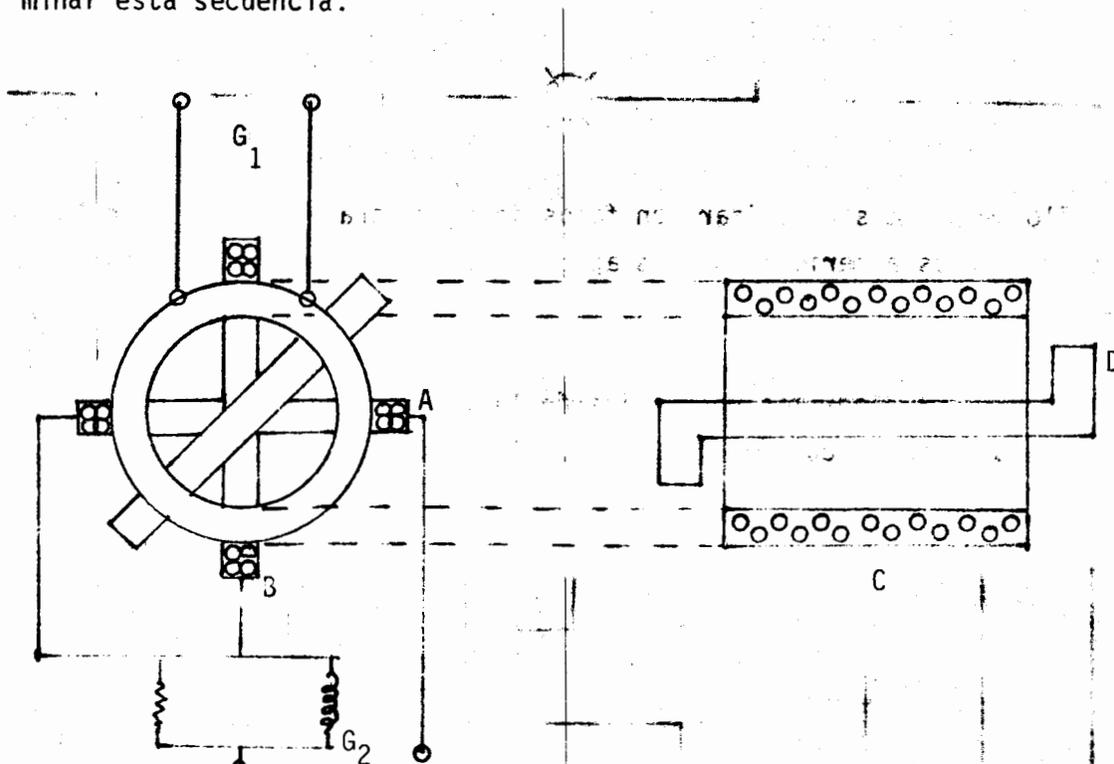


Dos encendidas y una apagada

Para el primer caso, que es el ya visto se cerrará el interruptor cuando las lámparas estén apagadas; en el segundo caso cuando estén encendidas y en el tercero cuando dos estén encendidas y una apagada.

SINCRONOSCOPIO.

Este aparato es diseñado para sincronizar generadores que se deseen conectar en paralelo, el cual proporciona en instante preciso en que se debe cerrar el switch para el acoplamiento correcto, sin embargo este aparato no proporciona la secuencia de fases, por lo que en muchas instalaciones, se usan además del sincronoscopio, las lámparas para determinar esta secuencia.

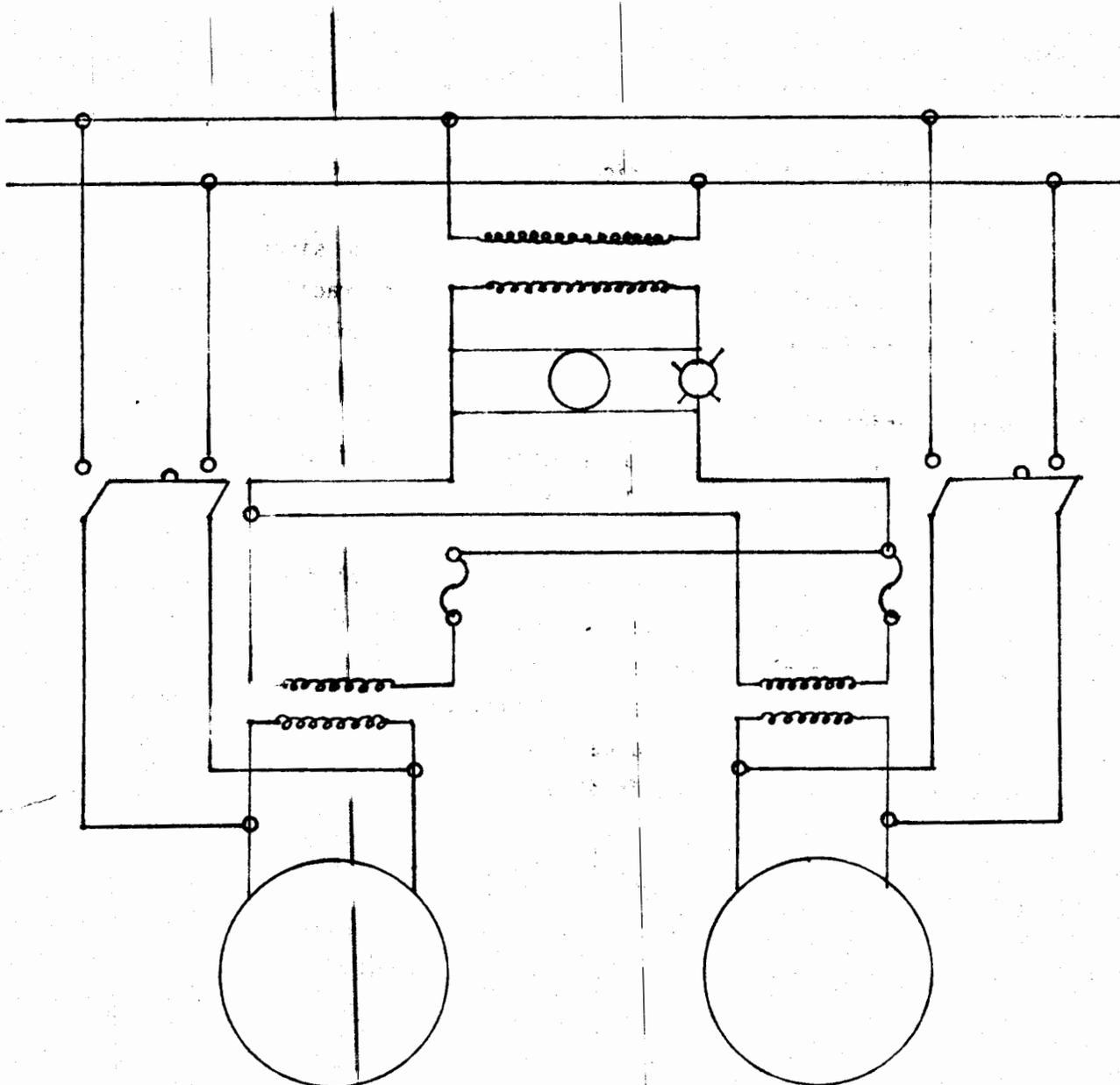


Según se puede observar en el diagrama, las bobinas A y B en cuadratura, constituyen la armadura del sincronoscopio (este es un pequeño motor bipolar), las cuales están conectadas a través de una resistencia y una inductancia a las barras colectoras. La bobina, estacionaria como las anteriores que forma el embobinado de campo del pequeño motor, estará co -

nectada a la máquina por sincronizar. El elemento D es un núcleo de -  
hierro montado en joyas.

En el momento en que los pares que se tienen por el efecto electromagné-  
tico estén equilibrados, nos determinará el instante de igualdad de vol-  
tajes y frecuencias.

La manera de conectar el sincronoscopio al sistema está representado en  
la siguiente figura:



### OSCILOSCOPIO AUXILIAR

Otra manera de verificar la sincronización es con la ayuda de un osciloscopio con entrada a dos señales, una de ellas utilizada en uno de los generadores o sistema de referencia y la otra para el generador que se desea sincronizar. En este caso el acoplamiento se realiza al identificar las dos señales de voltaje en coincidencia, desde luego es necesario como en el caso del sincronoscopio determinar la secuencia de fases con el método de las lámparas.

### SINCRONIZADOR AUTOMATICO.

La operación de los sistemas eléctricos de potencia hoy en día no pueden permitir el acoplamiento de generadores sin cierto grado de precisión, que solo se da al utilizar sistemas automáticos de sincronización que evitan toda probabilidad de falla, cuando dicha operación se efectúa de manera manual, según se ha descrito en los métodos anteriores.

El principio básico de este tipo de dispositivos se basa en un circuito sensor que detecta la diferencia de potencial entre fases por sincronizar y que hace disparar el relevador de acoplamiento cuando tal potencial es cero. En particular el sincronizador del laboratorio posee un circuito de protección que no permite efectuar el disparo del relevador, cuando la diferencia de frecuencias es elevada, garantizando de esta manera que el acoplamiento siempre se efectúa a igual magnitud de voltaje. Como en el caso señalado para los dos últimos ejemplos se requiere verificar la secuencia de fases por el método de las lámparas, antes de realizar la operación de sincronización.

REGULACION DE V

... de la ma  
... un

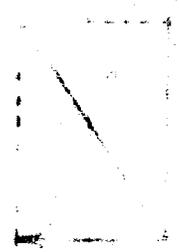
U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 6.

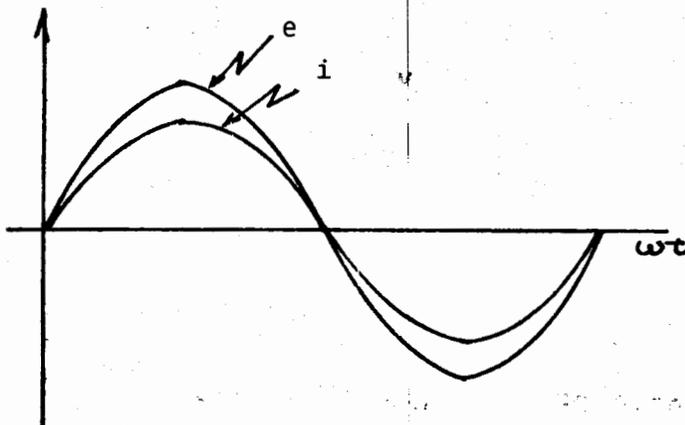
REGULACION DE VOLTAJE.



## REGULACION DE VOLTAJE DE UN GENERADOR SINCRONO.

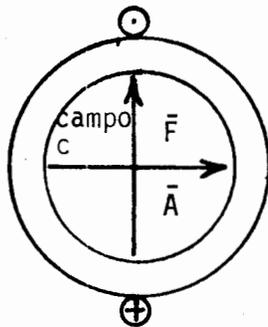
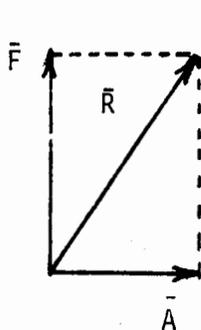
Diagramas fasoriales de la máquina sincrónica.

Supóngase que sea un generador sincrónico que opera a factor de potencia unitario



Considérese que " $\bar{F}$ " es la fuerza magnetomotriz (F.M.M.) producida por el campo magnético que induce la tensión "e", al momento de circular corriente, se producirá una nueva fuerza magnetomotriz denominada " $\bar{A}$ " y que comúnmente se conoce como "Reacción de Armadura".

En el ejemplo considerado, por el hecho de estar en fase la tensión inducida y la corriente, se establecerá una composición de fasores en cuadratura tal y como muestra la siguiente figura. Obsérvese que la dirección de la reacción de armadura puede determinarse siguiendo la regla de la mano derecha o del tirabuzón, considerando que la corriente fluye en el sentido indicado. Para efectos de simplicidad se considera una sola bobina en la armadura o inducido del alternador.

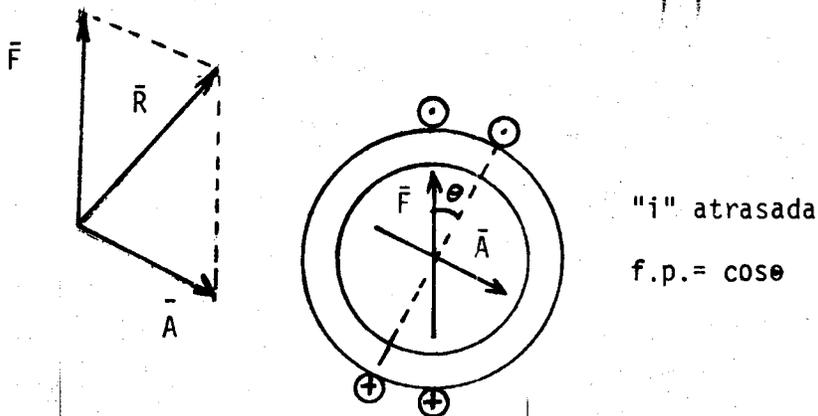


i en fase

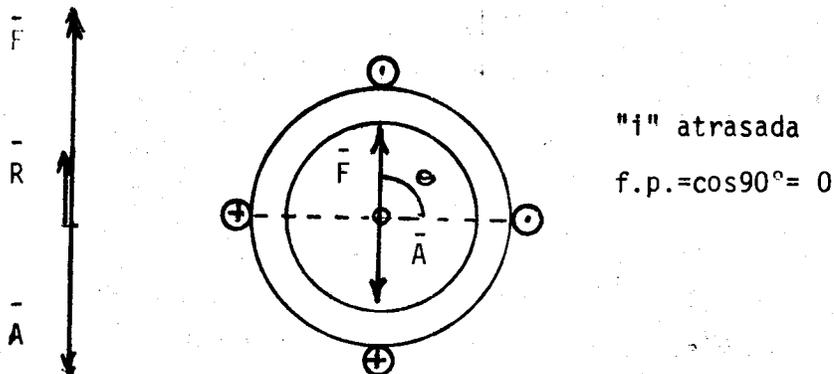
$$fp = \cos \theta = 1$$

La composición de fasores dará lugar a un campo resultante denominado " $\bar{R}$ ", como se observa a continuación.

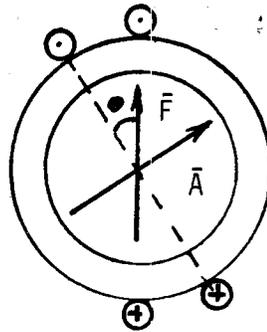
Ahora bien, supongamos que la carga del alternador se altera y se incluye un elemento reactivo inductivo; se tendrá una corriente atrasada que dará lugar a las siguientes condiciones:



En un extremo si la carga fuera netamente inductiva se observaría la siguiente construcción de fasores:



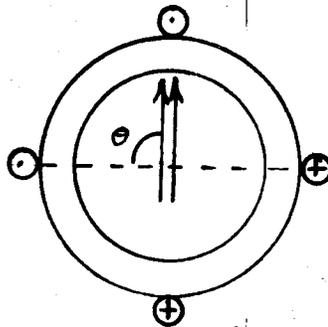
Considerando ahora una carga reactiva capacitiva, se obtendría que:



"i" adelantada

f.p. =  $\cos\theta$

Nuevamente en un extremo, considerando un efecto capacitivo pero se obtendría:



"i" adelantada

f.p. =  $\cos 90^\circ = 0$

De lo anterior puede concluirse que cuando un alternador trabaja con cargas tipo inductivas su campo neto resultante "R" se debilita a un mínimo, en tanto que trabajando con cargas tipo capacitivas dicho campo "R" se

robustece a un máximo. La situación resistiva (f.p. unitario) dará lugar a una condición intermedia.

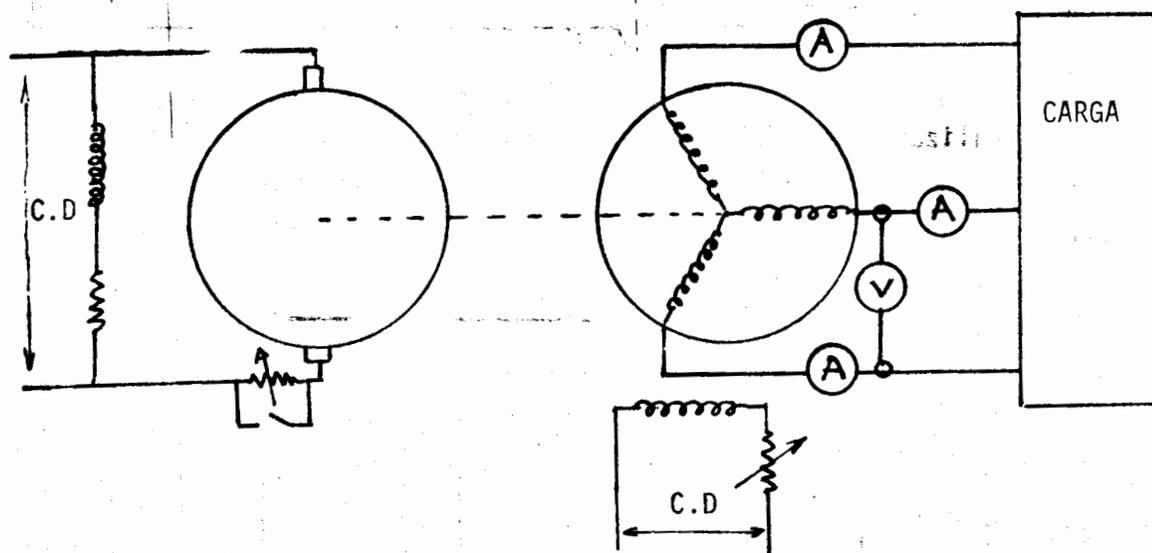
Aplicando ahora dicho efecto sobre el concepto de regulación se podrá establecer que si a un alternador se le aplican diferentes tipos de carga inductiva, capacitiva y resistiva la regulación del alternador dada por la fórmula:

$$\% \text{ Regulación} = \frac{\text{Voltaje terminal sin carga} - \text{Voltaje terminal con carga}}{\text{Voltaje terminal con carga}}$$

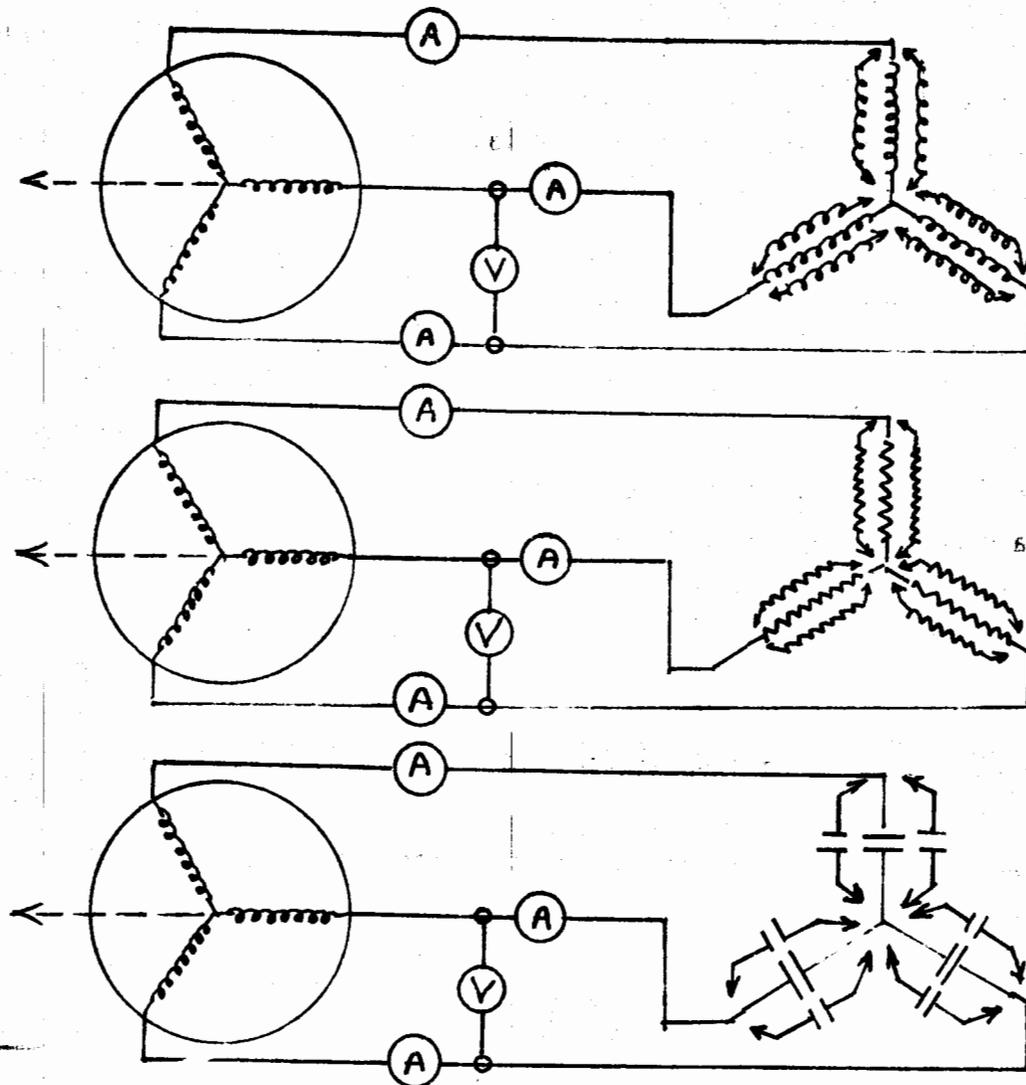
podrá ser positiva con valores elevados cuando se aumentan cargas inductivas al ser muy reducido el voltaje con carga, por efecto de una fuerza magnetomotriz "R" reducida. En tanto que con cargas capacitivas, dicho valor se tornará negativo al ser el voltaje terminal con carga más elevado que el de sin carga, por efecto de una fuerza magnetomotriz "R" elevada.

Comprobación en el laboratorio:

Para comprobar lo enunciado anteriormente, realizamos el siguiente ejercicio, utilizando el diagrama mostrado a continuación:



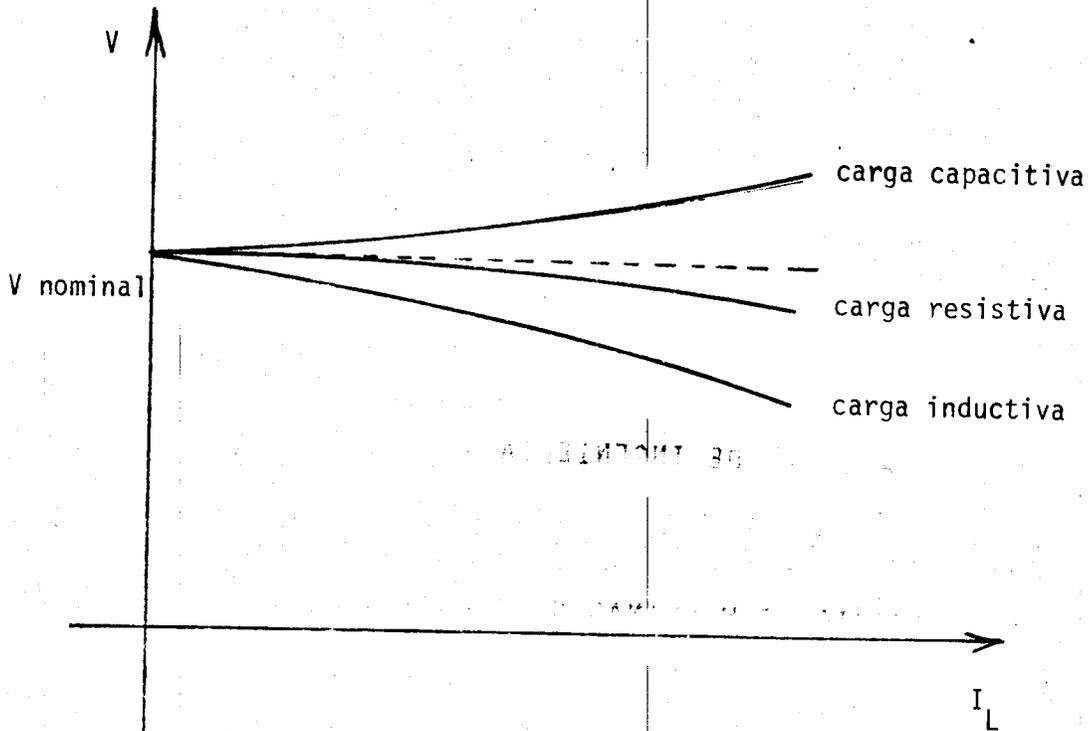
La carga, como se ha mencionado, será de 3 tipos: inductiva, resistiva y capacitiva.



Para realizar la práctica, se hace trabajar al alternador por medio de un premotor, operandolo a su velocidad, (frecuencia) y voltaje nominales, la carga se incorpora paulativamente y se toman las lecturas siguientes:

N	V	I <sub>L</sub>
Cte		
↓		

Con los parámetros determinados se construye la siguiente gráfica, que debe verificar el planteamiento inicial.



DE INGENIERIA

BRACONIA No. 1

ARRANQUE DEL MOTOR. CURVAS " V "



## MOTORES SINCRONOS. CARACTERISTICAS Y CURVAS "V"

### A. Características

Existen varias particularidades que diferencian al motor sincrónico del alternador, que pueden adaptarse permanente en estas máquinas, cuando sólo van a trabajar como motores. Algunas de estas particularidades pueden ser las siguientes:

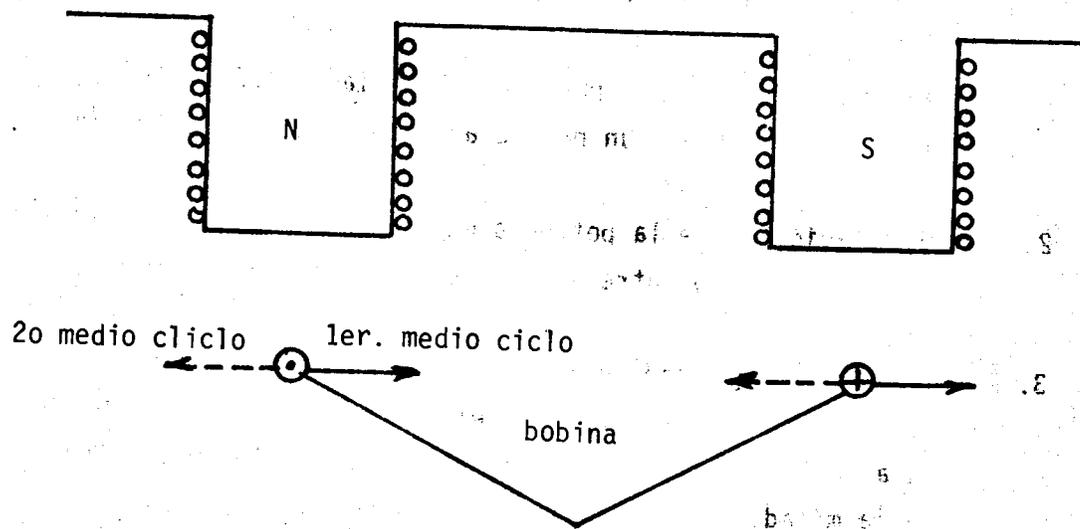
1. Tienen una jaula de alta resistencia en las piezas polares, con el objeto de tener un par de arranque mucho más elevado.
2. Mayor relación entre la potencia máxima y la normal para facilitar la transición entre el arranque y la marcha normal.
3. Devanados dobles en cada circuito, conectados normalmente en paralelo, a los cuales, durante el arranque se conecta uno de ellos a la línea, bajando por lo tanto la corriente de arranque a la mitad.
4. Embrague de fricción, que permitirá que el motor arranque - sin carga, incrementando posteriormente ésta en una forma progresiva.
5. Devanado trifásico colocado en ranuras hechas en las piezas polares con anillos de contacto con objeto de conectar estos a un reóstato externo de arranque.

El problema principal que existe en este tipo de máquinas es el arranque, problema que ha sido resuelto por varios métodos, siendo los más efectivos los siguientes:

- a). Arranque con el principio de inducción.
- b). Arranque con ayuda de un motor auxiliar.

a). Arranque por inducción.

En el período de arranque con corriente alterna, los polos no deberán estar excitados con corriente directa. Esto es debido a que los impulsos que el flujo polar imprime al rotor son alternativamente positivos y negativos, según se muestra en la figura:



En este diagrama se supone que en el momento de arranque, la corriente en la bobina tiene el sentido dibujado durante el primer medio ciclo. Si tomamos en cuenta el flujo en las piezas polares, según la regla de la mano derecha, la bobina experimenta una fuerza hacia la derecha, pero durante el 2o. medio ciclo, la corriente circula en sentido contrario, produciendo un par hacia la izquierda, o sea, el rotor sufre impulsos hacia uno y otro lado. Concluyendo entonces que para que la fuerza sea constante hacia la derecha, la bobina deberá avanzar un paso polar completo hacia la derecha durante medio ciclo, condición que en el arranque no puede cumplir la bobina.

Como resultado de esto, es que el motor tiene a oscilar, y como la variación de la dirección de la corriente es de 60 cps., el rotor no se mueva. La condición necesaria para que la bobina

pueda recorrer ese paso durante medio ciclo, es que la máquina está girando a la velocidad de sincronismo, velocidad, que como ya hemos visto está dada por la siguiente expresión:

$$\text{r.p.m.} = \frac{120 f}{P}$$

El arranque por inducción es posible debido a una red de barras en forma de jaula de ardilla, colocadas en la superficie polar y unidas entre sí en corto circuito. Entonces para el arranque se eliminará en primer lugar la excitación, posteriormente se aplicará corriente alterna a la armadura, operando entonces la máquina como motor de inducción, la cual aumentará su velocidad hasta poco menos que la de sincronismo, donde finalmente se pondrá la excitación operando entonces como motor sincrónico.

En algunas máquinas suele hacerse el corto circuito de las barras, en el exterior por medio de un reóstato de arranque, lo que implicará entonces 5 anillos rozantes, dos para el campo y tres para la jaula.

#### b). Arranque ayudado con un motor auxiliar

Cuando se usa este procedimiento, deberá tenerse el motor que ayudará al arranque acoplado en la misma flecha. Este acelerará el motor sincrónico hasta que tenga su velocidad de sincronismo, conectándose en ese momento la excitación. En algunas ocasiones este motor auxiliar suele ser la excitatriz.

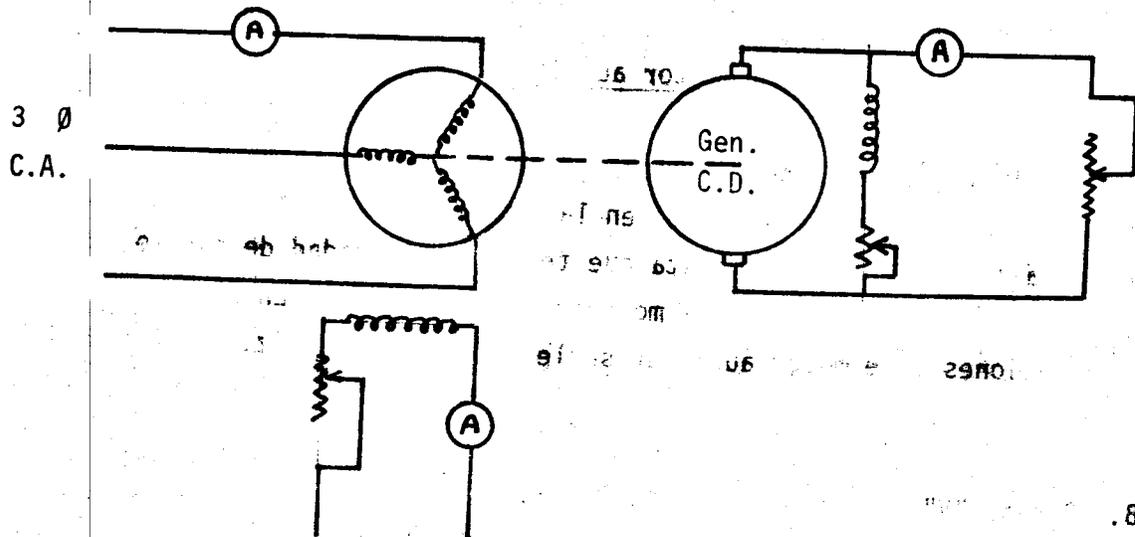
#### B. Curvas "V"

El motor sincrónico además de las características similares a las de cualquier alternador, como saturación en vacío y en corto circuito, a factor potencia cero, etc., tiene también-

curvas especiales de su operación. Entre estas, se tienen las curvas "V", denominadas así por la forma que presentan, las cuales relacionan las corrientes del estator y del rotor para una carga dada y una tensión constante.

Las curvas "V" tienen varias aplicaciones, entre las cuales se puede contar el ajuste previo de la corriente de campo de un motor cuya carga es variable, cuando se desea mantener el factor potencia dentro de los límites especificados y no existe personal para ello. Para esto se marcan puntos en cada curva en el factor que les corresponda, ya sea por lectura del factorímetro, o por la relación que exista entre la ordenada máxima y la actual, método bastante aproximado de obtener el factor de potencia, y se busca un valor de corriente de campo tal, que la ordenada que se levante corte las curvas dentro de los límites de potencia y factor fijados.

Para nuestra práctica en el laboratorio, encontraremos para un motor sincrónico dado sus curvas "V" correspondientes para plena carga, tres cuartos de carga, media carga, un cuarto de carga y en vacío. El diagrama por utilizar será como sigue:



El motor está conectado a un sistema de tres fases de corriente alterna. El factor de potencia puede ser controlado mediante la corriente de campo del motor sincrónico.

Al motor sincrónico en prueba se le dará carga con un generador de corriente directa acoplado directamente al mismo.

El procedimiento a seguir será de la manera que se indica a continuación:

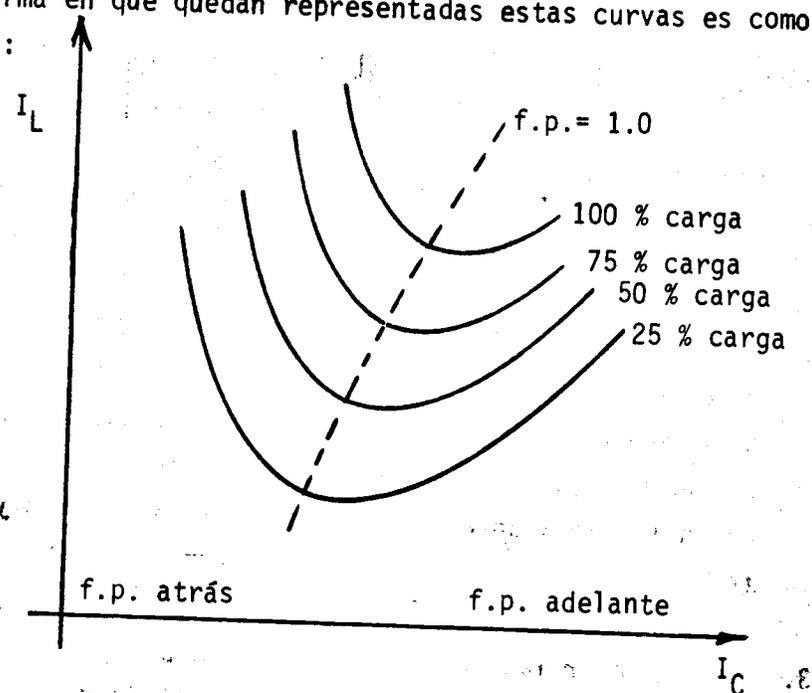
1. Se registrarán las lecturas indicadas en la siguiente tabla:

$I_L$	$I_C$

2. Se arrancará el motor iniciándose por tomar en primer lugar la curva "V" sin carga, (solo se tendrá ligera carga que será producida por el arrastre del generador de corriente directa). Para determinar esta curva se iniciará disminuyendo prácticamente casi toda la excitación, para posteriormente ir la aumentando paulatinamente y registrando en la tabla anterior corriente de excitación y corriente de línea.
3. Para obtener las demás curvas, o sea a 25, 50, 75 y 100 % de carga se buscará primero el porcentaje de carga correspondiente a la curva que se vaya a tomar, variando para este fin la excitación del motor en prueba hasta encontrar el punto mínimo de carga, teniendo en ese entonces el factor potencial unitario, en ese momento, por medio del réostato de carga conectado al generador de corriente direc

ta, se regulará para obtener la carga buscada.

- 4. Una vez obtenidos los datos correspondientes, se llevarán a ejes coordinados, refiriendo al eje de las abscisas a la corriente de campo, y al eje de las ordenadas a la corriente de línea.
- 5. Uniendo entre si los puntos de corriente mínima en las curvas encontradas, se encontrará la correspondiente al factor potencia unitario. A la izquierda de esa curva se tendrán los factores de potencia atrasados y a la derecha los adelantados.
- 6. La forma en que quedan representadas estas curvas es como sigue:



- 7. Durante la realización de la prueba el voltaje de alimentación del motor permanecerá constante.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 8.

PAR, POTENCIA Y EFICIENCIA.

10  
 50  
 100

23  
 90  
 100  
 61  
 81  
 100

## DETERMINACION DEL PAR MOTOR, POTENCIA Y EFICIENCIA DE UN MOTOR SINCRONO.

Para la obtención de la eficiencia principalmente de motores pequeños - (por ejemplo hasta 200 HP) se pueden utilizar dos métodos, que son por medio de freno de Prony y por medio del electrodinamómetro. Para máquinas de mayor capacidad, la eficiencia se obtiene por el método de pérdidas, ya visto con anterioridad cuando se habló de generadores. El objeto de esta práctica será exclusivamente analizar los dos métodos mencionados en un principio.

Como es sabido determinar la eficiencia de un motor será el resultado de dividir la potencia de salida de la máquina, entre su potencia de entrada, ambas potencias deberán estar expresadas en las mismas unidades. Para un motor, su potencia de entrada generalmente se expresa en KW, y su potencia de salida en H.P. La conversión entre una y otra unidad está dada por las siguientes expresiones:

$$1 \text{ H.P.} = .746 \text{ KW}$$

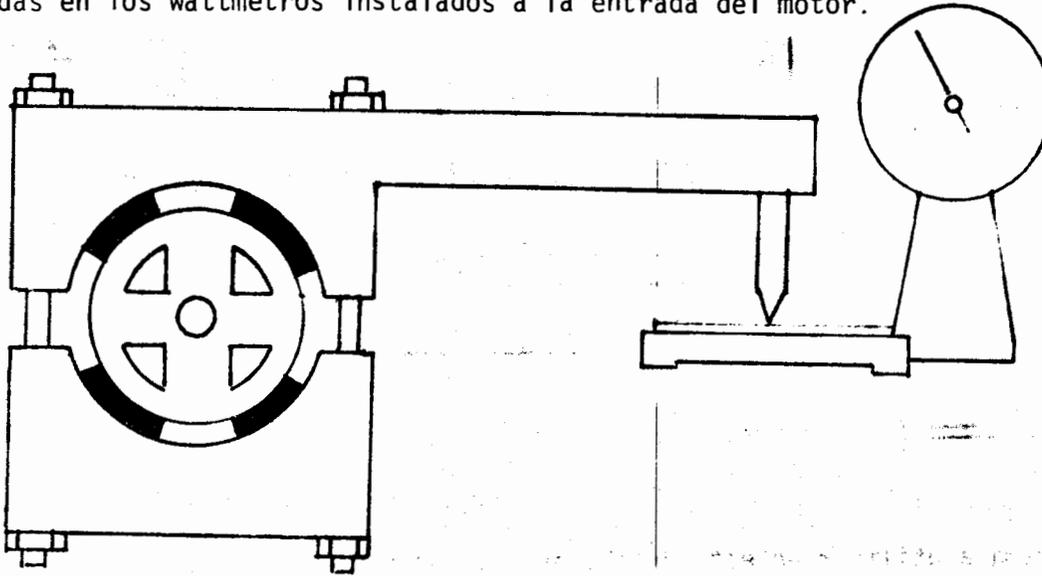
$$1 \text{ KW} = 1.34 \text{ H.P.}$$

Por lo cual, para obtener esta eficiencia habrá que encontrar las potencias mencionadas con anterioridad.

### FRENO DE PRONY.

Este método es apropiado para motores hasta aproximadamente 50 H.P. El freno de Prony consiste de dos zapatas que rodean una polea del motor por probar, una de ellas tiene un brazo, en cuyo extremo libre se coloca una balanza. Una vez corregida la lectura en la balanza de acuerdo con la tara de la zapata, se tiene una fuerza  $F$  para cada potencia, que multiplicada por el brazo de palanca existente nos da el par. Este al multiplicarse por la velocidad angular en radianes por segundo nos da la potencia de salida del motor.

Ahora, la potencia de entrada se obtendrá a partir de las lecturas obtenidas en los wáttmetros instalados a la entrada del motor.



Cuando se prueban máquinas grandes es conveniente utilizar una polea hueca, con objeto de permitir un enfriamiento con agua en su parte interior.

### ELECTRODINAMOMETRO.

Para encontrar en el Laboratorio las curvas de par, potencia y eficiencia haremos uso de este equipo. El electrodinamómetro consiste de un generador que puede ser de corriente alterna o de corriente directa, (en el del caso del Laboratorio de C.A), construido de manera que el rotor y el estator pueden girar independientemente. El motor por probar se acoplará directamente al dinamómetro. La reacción entre la corriente del rotor y del estator tienden a hacer girar la carcasa del mismo, produciéndose una fuerza que se registra en una balanza, siendo entonces el par producido por el motor el que se obtiene al multiplicar dicha fuerza por el brazo de palanca de la carcasa del electrodinamómetro.



2. Se arrancará el motor en prueba acoplado al electrodinamómetro, registrando las lecturas en la tabla anterior, iniciando la operación de arriba hacia abajo o sea, ir reduciendo la carga paulatinamente partiendo de aproximadamente 110 % de la misma.
3. Las lecturas que se registrarán directamente serán la velocidad, corriente de línea, fuerza, potencia eléctrica y factor potencia, siendo las faltantes calculadas a partir de las an anteriores.
4. Para su cálculo se hará de la siguiente manera. El primer lu gar se calcula el par, al multiplicar las lecturas de las fuerzas obtenidas por el brazo de palanca del dinamómetro (en este caso particular es 0.875 ft).

$$T = F \cdot r$$

A partir del par se calcula la potencia mecánica, utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Pot.mec.} = \frac{2\pi \cdot T \cdot N}{33000}$$

donde:

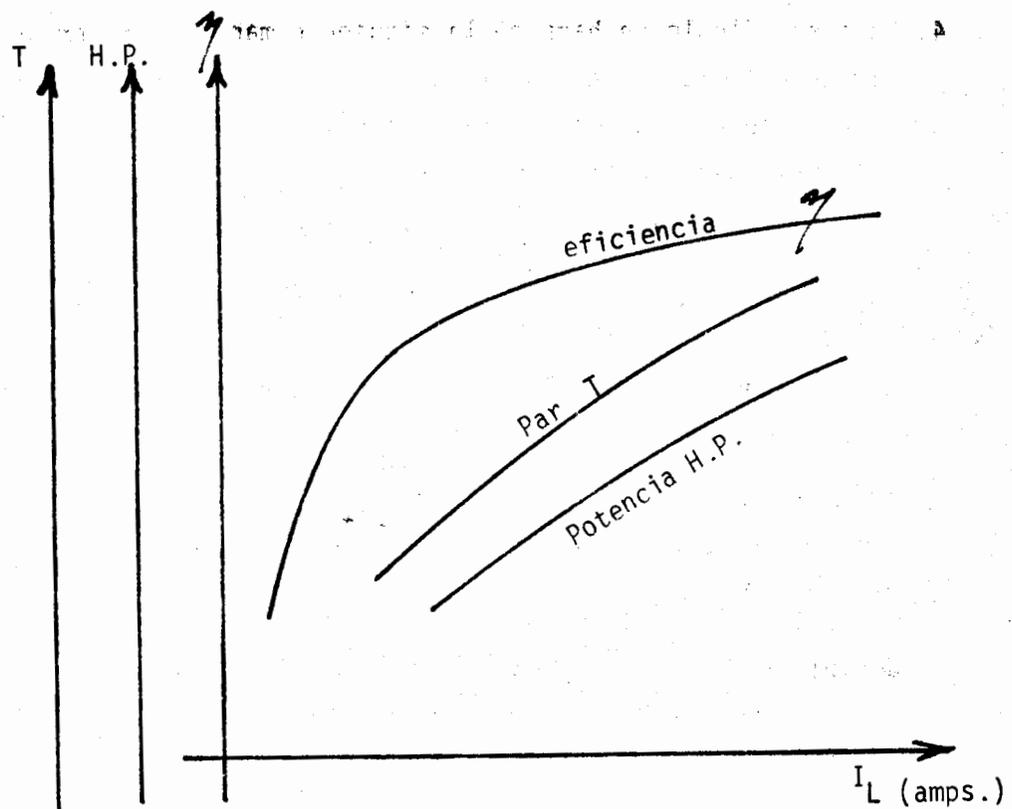
T.- Par

N.- velocidad en r.p.m.

Esta potencia mecánica se obtiene en H.P., la cual al conver tirse en KW, podremos obtener la eficiencia, por medio de la ecuación indicada a continuación:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia eléctrica}}$$

5. La prueba se deberá efectuar a un factor de potencia constante, el cual lo podremos regular por medio de la excitación de la máquina en prueba. cb
6. Los valores obtenidos del par, potencia y eficiencia se referirán a los ejes coordenados en las ordenadas, y en el eje de las abscisas quedará la corriente de línea.
7. Las curvas así encontradas tendrán una representación aproximada a las que se indican en la gráfica siguiente:



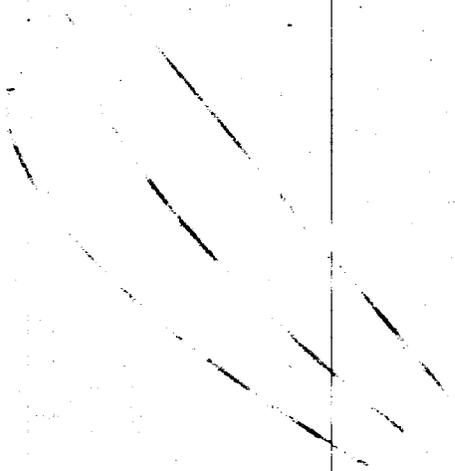
U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 9.

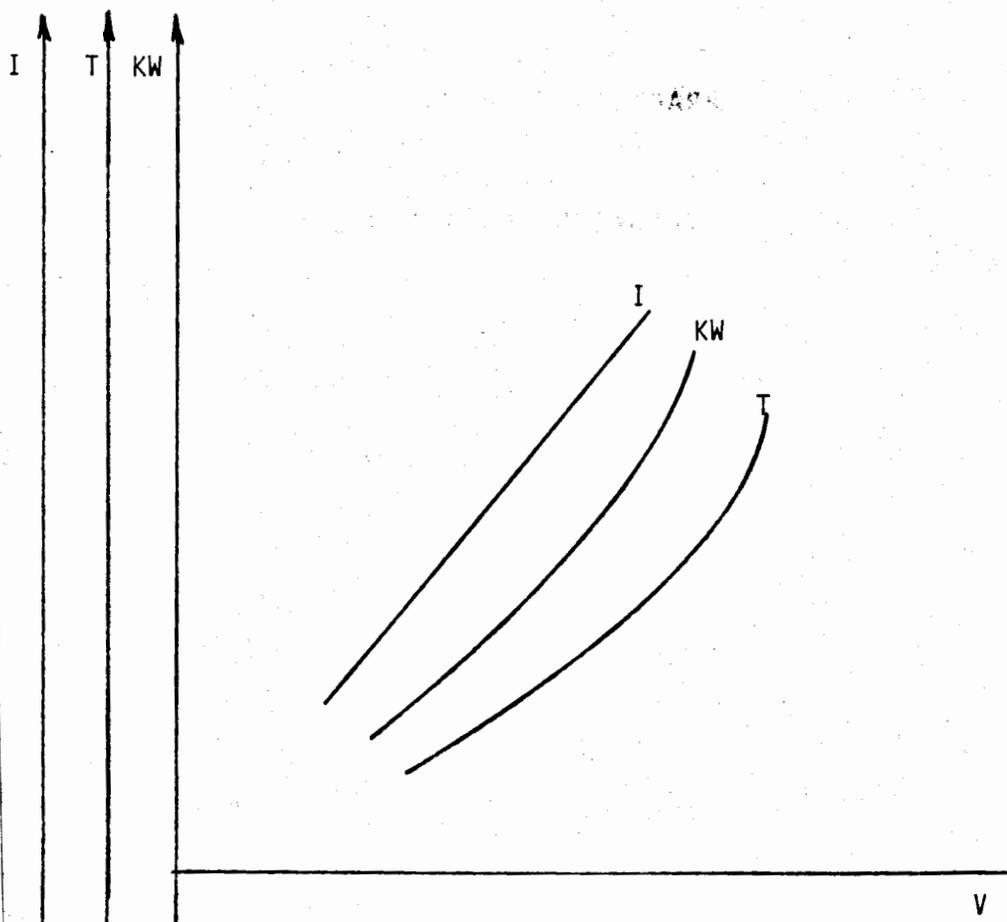
CURVAS DE SATURACION CON ROTOR BLOQUEADO.



### OBTENCION DE LA CURVA DE SATURACION A ROTOR BLOQUEADO PARA UN MOTOR - SINCRONO.

Cuando a un motor síncrono se le bloquea su rotor, su comportamiento es semejante a un transformador actuando el estator como circuito primario y el rotor como circuito secundario. En esta situación es posible determinar las condiciones de arranque, sin embargo debe tenerse en cuenta que tal condición al ser permanente demandará una corriente excesiva, por lo que es costumbre efectuar esta prueba a voltaje reducido.

Las curvas que deberán obtenerse son las siguientes:





El objeto de la práctica es concluir cuando el par es mayor, si cuando, se tiene el campo abierto o cuando lo tenemos cerrado a través de una resistencia. Así también como constatar el efecto inductivo tan alto que se presenta cuando el campo queda abierto.

En el caso de la prueba a circuito abierto no conviene elevar demasiado el voltaje en el campo, por lo que solo con dos lecturas a voltaje reducido serán suficientes, un valor máximo de 300 volts se recomienda obtener en el lado de campo, con objeto de no dañarlo.

Para la prueba a circuito cerrado a través de una resistencia, se recomienda obtener también dos puntos a voltaje reducido sin sobre pasar 200 ó 300 por ciento el valor nominal de la corriente de armadura.

Como solo se tomarán dos lecturas para cada caso, será necesario extrapolar, los valores obtenidos a voltaje nominal, de acuerdo a las expresiones, ya conocidas:

$$I_x = \frac{V_n}{V_1} I_1$$

$$I_x = \left( \frac{V_n}{V_1} \right)^2 T_1$$

$$W_x = \left( \frac{V_n}{V_1} \right)^2 W_1$$

La corriente nominal de arranque, en porcentaje, es:

$$\% \text{ Inom. arranque} = \frac{\text{Ia rotor bloqueado}}{\text{Inom. de placa}} \times 100 = \frac{I_{rb}}{I_n} \times 100$$

\* a voltaje nominal.

El par de arranque, en porcentaje es:

$$\% \text{ Tarranque} = \frac{(P - P') 1.34}{H.P. \text{ nominal}} \times 100$$

Donde:

$$P^1 = 3 I_{rb}^2 \times \text{Restator} = \text{Pérdidas en el Estator (a } V \text{ nominal)}$$

$$P = KW_1 + KW_2 + KW_3 \quad (\text{a } V \text{ nominal})$$

con el rotor bloqueado.

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 10<sup>a</sup>.

ELEVACION DE TEMPERATURA Y METODOS  
DE DAR CARGA.

## CURVAS DE TEMPERATURA Y METODOS DE DAR CARGA A LAS MAQUINA SINCRONAS

---

La prueba de temperatura sirve para verificar si la máquina trabaja a la capacidad de diseño dentro del límite normal de temperatura que se le asigna.

### Capacidad nominal de carga de una máquina.

Es aquella que puede entregar continuamente una máquina a sus valores de tensión, velocidad y corriente de excitación nominales sin exceder una cierta temperatura máxima permisible.

Esto significa que si excede la temperatura, está mal su diseño o el valor de placa esta equivocado, sobrecalentándose y dañándose los aislamientos de la máquina (Ref. práctica 5.- Prueba de temperatura y métodos de carga para transformadores) Conversión de Energía Electromecánica II.

### Determinación de la temperatura.

Debido a que las pérdidas se manifiestan en forma de calor, se necesita conocer la temperatura en varias partes de la máquina ya que la temperatura no es uniforme en toda ella; y estas partes son:

Núcleos, chumaceras, devanados de estator.

En estas partes la temperatura se mide por medio de termómetros o termopartes.

### Partes rotatorias.

En las partes rotatorias es difícil medir la temperatura ya que dicha temperatura se tiene que tomar cuando este trabajando la máquina; pero por medio de la medición de su resistencia eléctrica y también por la fórmula para extrapolación.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{234.5 + t_1}{234.5 + t_2}$$

Se puede conocer su temperatura final.

### El método consiste en:

Se toma la temperatura inicial y la resistencia inicial de rotor y se pone a trabajar la máquina durante todo el tiempo que dure la prueba de temperatura. Después -

al finalizarla en el momento de parar se empieza a contar el tiempo midiendo su resistencia  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  con el puente de Wheatstone o Kelvin a intervalos de más o menos un minuto  $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$  llevando estos valores a una gráfica resistencia-tiempo.

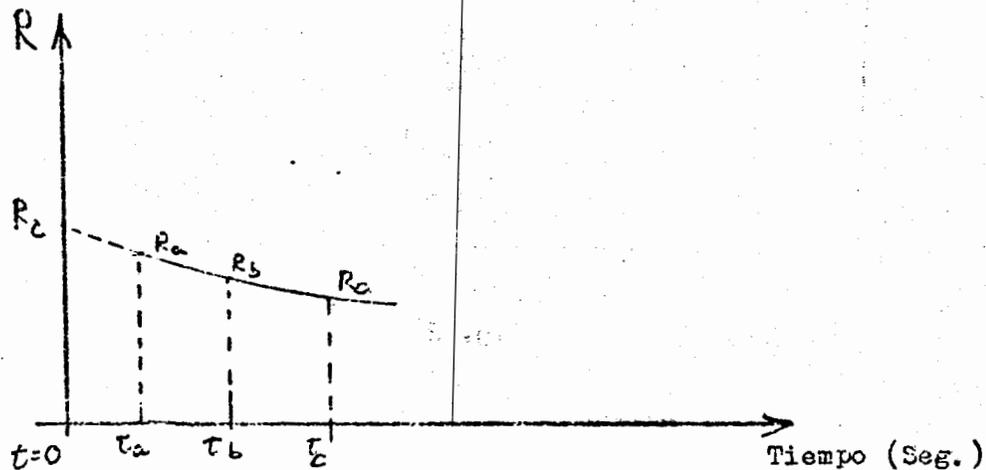


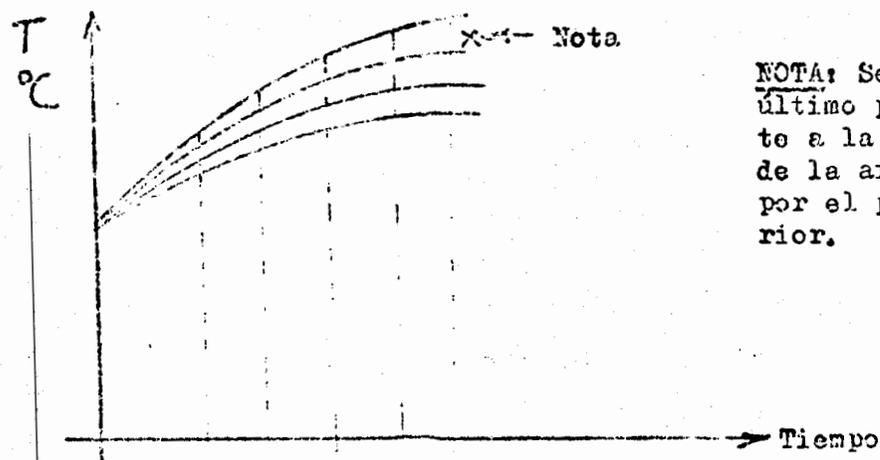
Fig. 1

Y prolongando la curva como se ve en la gráfica se encuentra " $R_c$ " para  $t = 0$  que - llevado a la fórmula de extrapolación nos dé el valor " $t_2$ " para la máquina en movimiento, al momento de haber finalizado la prueba.

- $R_1$  = Resistencia inicial.
- $R_2$  = Resistencia final (para  $t = 0$  en la gráfica).
- $t_1$  = Temperatura inicial.
- $t_2$  = Temperatura final.

#### Trazo de la curva de temperatura.

Para las partes fijas de la máquina (estator) no existe problema ya que generalmente se deberán instalar termómetros o termopares que no dificultan su medición aunque esté funcionando la máquina.



NOTA: Se deberá incluir el último punto correspondiente a la temperatura final de la armadura determinada por el procedimiento anterior.

Fig. 2

Encontrándose así la temperatura en la mayoría de los componentes de la máquina.- Es necesario también que al final de la prueba el valor de la temperatura ambiente no varíe apreciablemente.

#### Determinación de la prueba.

Para hacer la prueba en el generador, es necesario la carga completa, velocidad síncrona y voltaje nominal. Existen dos métodos de dar carga: carga real y carga figurada. La carga real se da con reostatos. La carga figurada se puede dar con un motor síncrono trabajando a f.p. muy bajo, otro método es trabajar al generador como tal, pero dándole carga reactiva con un motor síncrono. También se puede dar carga con corriente directa a través del bobinado del inducido y un cuarto método sería devolviendo la corriente a la línea

#### Método de carga real.

El método de la carga real solo se usa para máquinas pequeñas, ya que de lo contrario el consumo de energía sería muy alto. El circuito para el método de la carga real se muestra en la figura No. 3

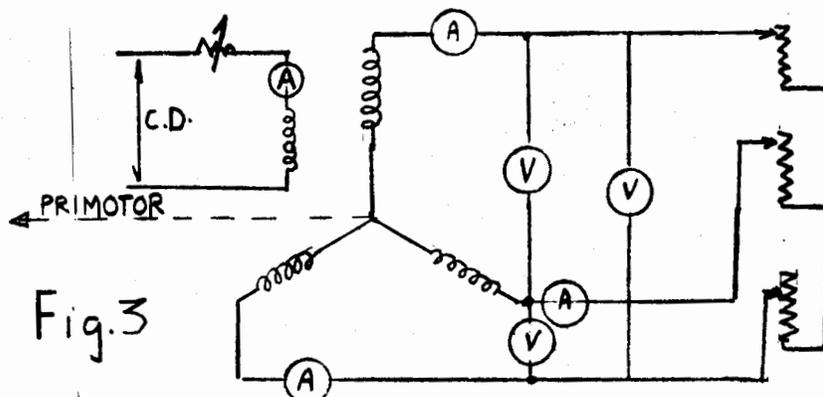
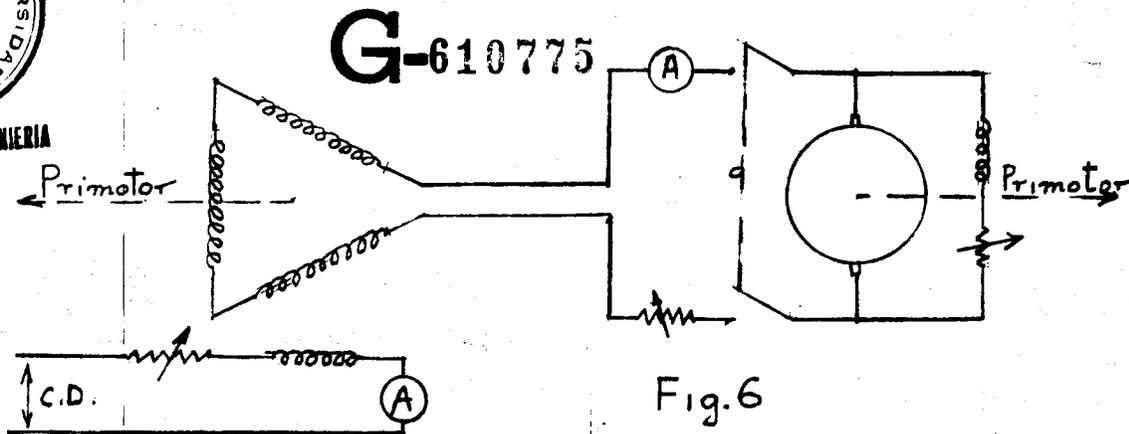


Fig. 3

### 3.- Circulación de corriente directa por el bobinado de la máquina a prueba.

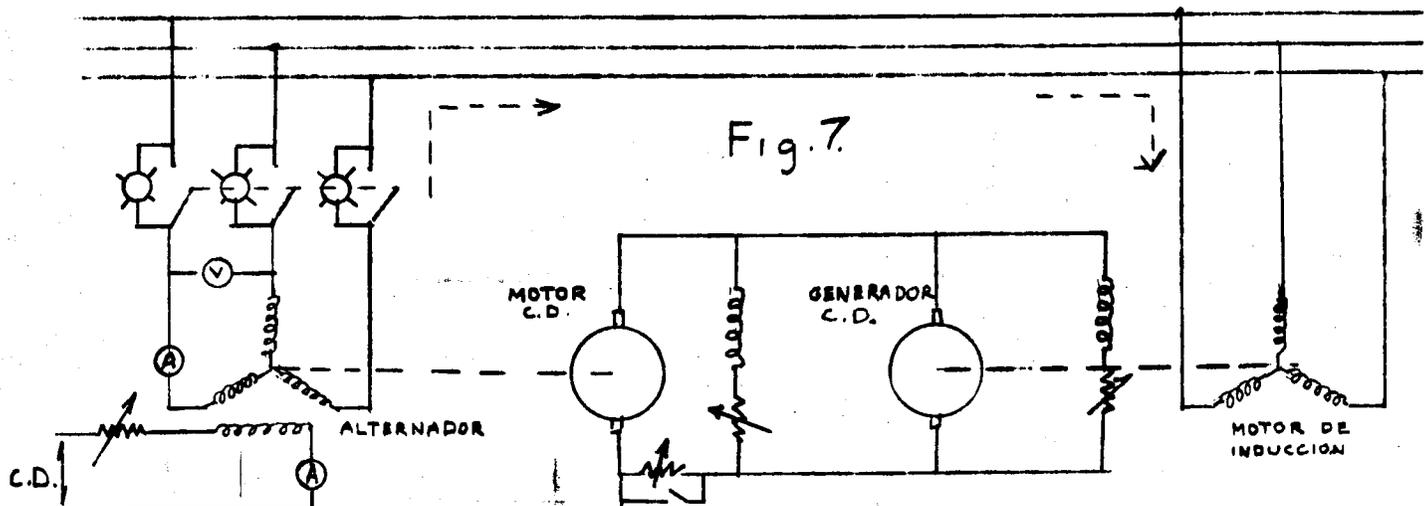
Esta prueba se puede realizar si se tienen las terminales accesibles (de la armadura) y se conectan en delta abierta y en la parte abierta de la delta - se introduce corriente directa para suministrar las pérdidas eléctricas, de esta manera, se gira la máquina a velocidad de sincronismo para proporcionar las pérdidas mecánicas y se excita el campo hasta obtener en el devanado del inducido la tensión nominal y suministrar así las pérdidas magnéticas. Procedimiento: Se arranca la máquina y ya con su velocidad y excitación nominales, se cierra el switch alimentando a la delta para proporcionar C.D.. Antes de cerrarse la delta deberá verificarse que no existe voltaje en sus terminales al ser la polaridad de las fases la indicada. Si la máquina es pequeña se puede usar un banco de baterías en lugar del generador de corriente directa. El circuito se muestra a continuación:



Deberá tenerse en cuenta que al igual que en el caso de los transformadores el valor de la potencia suministrada será tal que  $3I^2 R_{ca} = 3I^2_{C.D.} R_{C.D.}$

#### Regresando la corriente a la línea.

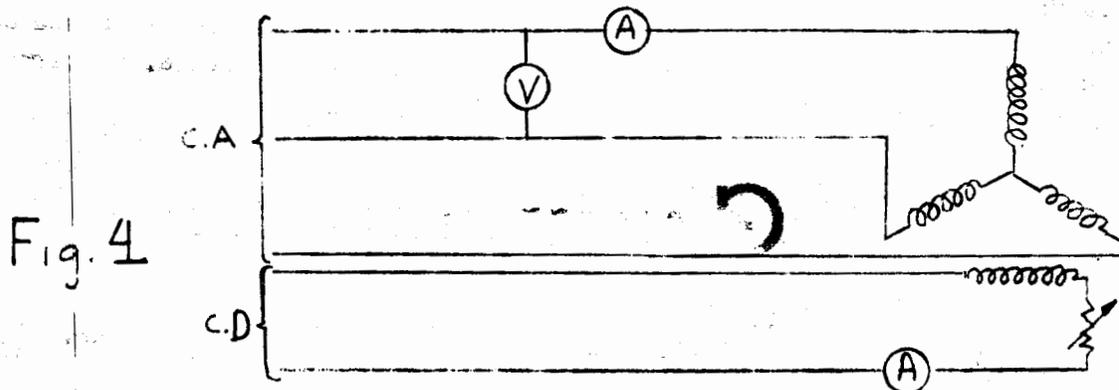
Este método ya se vió en parte cuando se realizó la prueba de sincronización de generadores. El diagrama es el circuito mostrado abajo (figura 7).



## METODO DE CARGA FIGURADA

### 1.- Trabajando el generador como motor sincrónico.

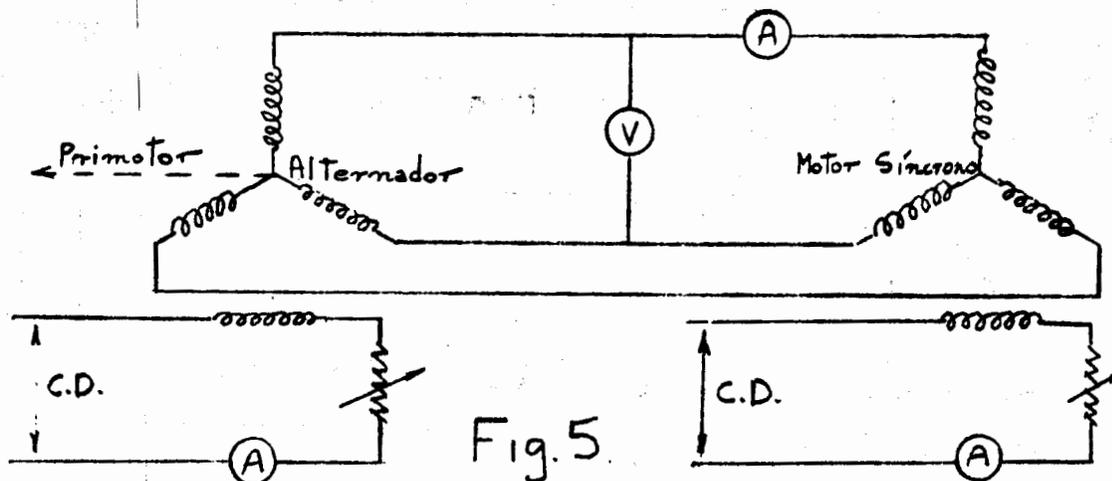
Para aplicar el método del generador trabajando como motor a bajo factor de potencia, es necesario alimentar a tensión y frecuencia nominales para suministrar también las pérdidas magnéticas y mecánicas nominales y ya con la máquina operando se ajusta para sobreexcitarla y obtener la corriente nominal. Lo anterior produce un bajo factor de potencia. El circuito para esta prueba se muestra en la figura 4.



### 2.- Suministrando carga reactiva con un motor sincrónico.

Lo anterior ya se hizo cuando se obtuvo la curva de saturación con carga a bajo factor de potencia. Se da la carga reactiva con el motor y el bajo factor de potencia necesario, se logra modificando la corriente de excitación del motor sincrónico hasta tener la corriente nominal deseada; será necesario también operar el generador a su voltaje y velocidad nominales.

El circuito se muestra a continuación.



En este caso después de efectuar la sincronización, se ajusta la corriente de línea del generador de C.A. a su valor nominal operando al reostato de campo del motor de C.D., tratando de aumentar la velocidad de este; sin embargo como el generador de C.A. se encuentra en sincronismo, no aumentará la velocidad del conjunto, siendo resultado neto la circulación de corriente hacia la línea.

Desde luego que el valor del voltaje de la línea y la velocidad de sincronismo deberá coincidir con los valores correspondientes nominales del generador, para que la prueba sea válida y se suministren así las condiciones también nominales de pérdidas.

El único consumo de energía que se tiene es el correspondiente a las pérdidas de las 4 máquinas.

Si las condiciones de las otras máquinas lo permiten, la prueba de temperatura podrá ser aplicable no tan solo al generador de C.A., sino también a aquellas que también pueden suministrarse condiciones nominales de pérdidas.

GV

1959

COMISIÓN

ATÓMICA

SECRETARÍA DE ENERGÍA

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

LABORATORIO DE MAQUINAS SINCRONAS

PRACTICA No.: 11,

12 y 13.

BALANCEO DE VOLTAJES.

BALANCEO DE CORRIENTES.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PRUE  
BA DIELECTRICA.

LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA III

BALANCEO DE CORRIENTE, BALANCEO DE VOLTAJE, RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y PRUEBA DIELECTRICA.

1.- BALANCEO DE CORRIENTE

Esta prueba se realiza para verificar si la corriente en la máquina - sincrónica permanece estable y del mismo valor en las tres fases, cuando se somete a variación de carga.

Por lo general ésta se efectúa con la máquina trabajando como motor, utilizando para tal efecto el siguiente circuito de conexiones.

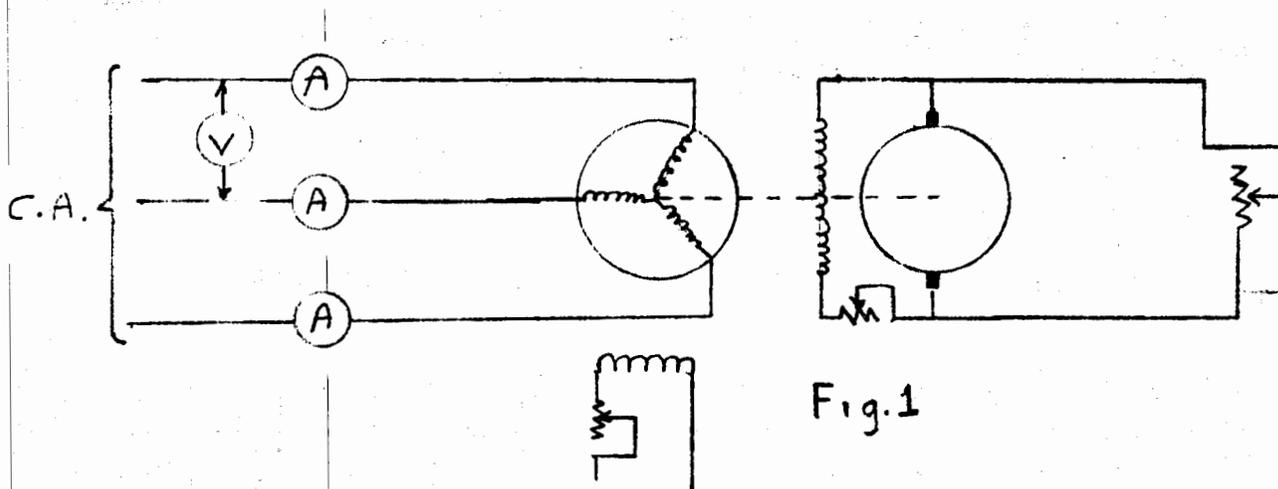


Fig.1

Para su realización seguiremos el procedimiento indicado a continuación:

- a).- Se arrancará la máquina en prueba aplicándole su voltaje nominal (se conservará constante durante todo el proceso), llevándola a su velocidad de sincronismo.
- b).- En estas condiciones se empezará a aplicarle carga paulatinamente y en pasos escalonados hasta llevarla a aproximadamente el 150% de su corriente nominal de placa.
- c).- Se registrarán los valores del voltaje aplicado y de la corriente en sus tres fases, según se indica en la tabla indicada a continuación, procurando que los amperímetros usados tengan la misma calibración con objeto de evitar errores en los aparatos, o -

en caso contrario es recomendable usar un solo ampermetro para tomar la corriente en las tres fases.

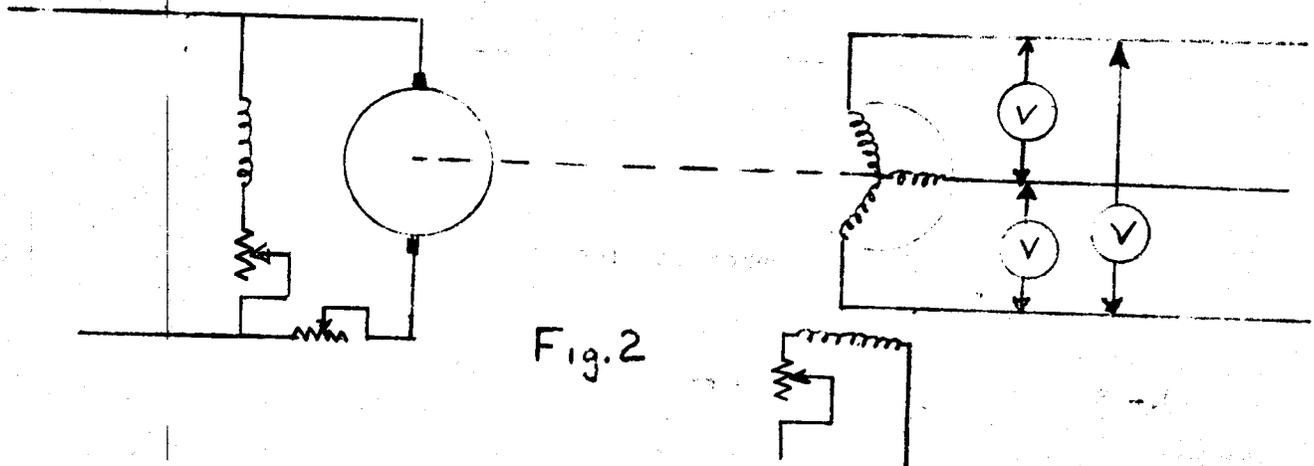


d).- Para verificar si la máquina se encuentra balanceada, se deberá tener la misma corriente en cada una de las fases, para cualquier grado de carga.

## 2.- BALANCEO DE VOLTAJE

Como en el caso anterior de balanceo de corriente, esta prueba se efectúa para verificar el voltaje generado entre las tres fases de la máquina es exactamente el mismo para cualquier grado de excitación.

El circuito de conexiones por usar es similar al utilizado en la prueba de saturación en vacío, o sea:



El proceso se efectuará de la siguiente manera:

- a).- Se hará girar al generador en prueba a su velocidad de sincronismo.
- b).- Se excitará el alternador con mínima corriente, y se irá incrementando en pasos escalonados, hasta obtener aproximadamente el 130% del voltaje nominal.

- c).- Se registrarán en cada paso la lectura de los tres vóltmetros, procurando como en el caso anterior que estén perfectamente calibrados, o de lo contrario será preferible usar un solo aparato para hacer la medición entre las tres fases.
- d).- La máquina estará en correcto balance de voltaje si los voltajes entre fases son los mismos para cualquier grado de excitación.

$I_{exc}$	$V_1$	$V_2$	$V_3$
-----------	-------	-------	-------

### 3.- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La medición de la resistencia de aislamiento nos dará una indicación del aislamiento de la máquina, que deberá conocerse antes de efectuar la prueba dieléctrica.

En transformadores, una resistencia de aislamiento de 1 megohm por cada 1000 volts de su tensión de trabajo, se considera suficiente para garantizar la prueba dieléctrica que le precederá. En cambio, en máquinas rotatorias su nivel de aislamiento no es tan alto como en los transformadores, recomendando las normas estándares del IEEE que para encontrar el valor de su resistencia de aislamiento se utilice la siguiente expresión.

$$\text{Res. de aislamiento en megohms} = \frac{\text{Voltaje nominal}}{\frac{\text{KVA nominales} + 1000}{100}}$$

Para encontrar el valor de la resistencia de aislamiento se usa por lo general el método del megger el cual nos dará el valor medido directamente en su escala calibrado en megohms.

Esta resistencia es generalmente expresada en ohms o megohms y es proporcional al espesor de una homogenea capa de material aislante e inversamente proporcional al área bajo prueba.

Se determina principalmente el valor de la resistencia de aislamiento entre los siguientes componentes de la máquina.

- a).- Entre todos los circuitos eléctricos y la coraza.
- b).- Entre las bobinas componentes de la máquina.

Para el primer caso se deberán conectar entre sí los circuitos eléctricos de la máquina, colocando una punta del megger en los mismos y la otra en la coraza; en el caso de obtener una resistencia muy baja, se irán eliminando circuitos hasta determinar en cual de ellos se encuentra la falla.

Con el segundo caso podremos conocer si existe alguna falla de aislamiento entre bobinas.

El megger por lo general mide el valor de las resistencias con una -

corriente directa de 500 volts que se generan en el mismo aparato.

#### 4.- PRUEBA DIELECTRICA

Esta prueba se realiza ~~después~~ de la obtención de la resistencia de aislamiento y debe efectuarse entre cada embobinado y todos los demás circuitos eléctricos y las partes metálicas por lo general conectadas a tierra.

Ambas terminales de los embobinados deberán estar interconectadas, de esa manera el voltaje impreso será uniformemente distribuido sobre todo el embobinado previniendo de un alto voltaje que se desarrollaría en el extremo libre debido a la distorsión de su onda.

La magnitud, frecuencia y duración de la prueba son generalmente determinadas de las normas del IEEE.

Para su realización el equipo probador se conectará a la máquina, y su voltaje se irá elevando gradualmente hasta obtener el valor deseado; esta tensión se mantendrá en ese valor por el tiempo requerido - (por lo general un minuto), reduciéndolo posteriormente en forma gradual hasta un límite de seguridad antes de abrir el circuito.

Esta prueba es semejante a la que se conduce en transformadores y que se denomina prueba de tensión aplicada .