



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA ELECTROMECAÁNICA I**

ING. GUILLERMO AGUILAR CAMPUZANO

DE INGENIERIA

G-600678

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECANICA I

INSTRUCTIVO DE LABORATORIO

INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA



Ing. Guillermo Aguilar Campuzano
1977

G-600678

Apunte: 54



FACULTAD DE INGENIERÍA

APUNTE

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.

54



600678

G.- 600678

CONTENIDO

	HORA		
A.- Pruebas de transformadores		E.- Motores síncronos	
<u>Práctica 1.</u>	3	<u>Práctica 8</u>	3
Resist. óhmica.		Acoplamiento	
Resist. aislamiento.		Motores síncronos	
Relación de transformación		<u>Práctica 9</u>	3
<u>Práctica 2.</u>	3	Arranque del motor	
Polaridad		Curvas V	
Secuencia de fases		<u>Práctica 10</u>	3
Pérdidas y eficiencia		Par, potencia y eficiencia	
B.- Generador de corriente directa		F.- Motor de inducción polifásico	
<u>Práctica 3.</u>	3	<u>Práctica 11</u>	3
Saturación en vacío		Saturación en vacío	
<u>Práctica 4.</u>	3	Saturación con rotor bloqueado	
Curvas de voltaje con carga variable (derivación)		<u>Práctica 12</u>	3
C.- Motores de C.D.		Características de operación (Heyland)	
<u>Práctica 5.</u>	3	G.- Motores monofásicos	
Arranque de los motores		<u>Práctica 13</u>	3
Fuerza contra-electromotriz		Análisis de los diversos tipos.	
<u>Práctica 6</u>	3		
Curvas de velocidad con carga variable (derivación)			
C.- Generador de corriente alterna			
<u>Práctica 7.</u>	3		
Saturación en vacío y en corto circuito			

FACULTAD DE INGENIERIA

A.- PRUEBAS DE TRANSFORMADORES

EN LOS

Práctica # 1

- Resistencia Ohmica
- Resistencia de aislamiento

Práctica # 2

- Polaridad
- Secuencia de fases
- Pérdidas y eficiencia

FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS EN LOS TRANSFORMADORES

El programa usual de pruebas que se realizan en los transformadores comprende:

- 1.- Medición de la resistencia óhmica.
- 2.- Medición de la resistencia de aislamiento.
- 3.- Relación de transformación.
- 4.- Polaridad.
- 5.- Secuencia de fases y desplazamiento angular.
- 6.- Pérdidas magnéticas y corriente de excitación.
- 7.- Pérdidas eléctricas y valor de la impedancia.
- 8.- Eficiencia.
- 9.- Temperatura
- 10.- Dieléctricas.
 - a). Tensión aplicada
 - b). Tensión inducida
 - c). Impulso

MEDICION DE LA RESISTENCIA ÓHMICA

La medición de estas resistencias son de fundamental importancia para dos propósitos.

a). Para el cálculo de las pérdidas en el cobre, ya que se empleará la ecuación $I^2 R$.

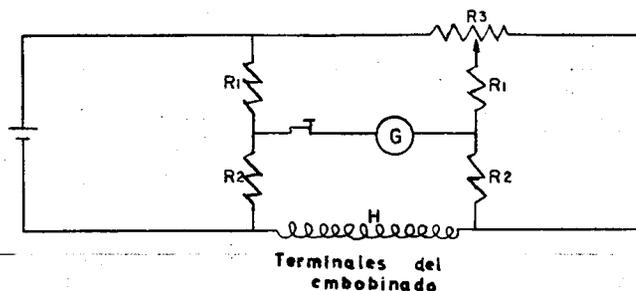
b). Para la determinación de la temperatura de los embobinados al final de la prueba de temperatura.

Para medir la resistencia óhmica de los embobinados se emplean generalmente dos métodos: usando un puente o utilizando la caída de potencial.

El primer método consistirá en conectar ya sea el puente de Kelvin para mediciones de resistencias menores de 1Ω al puente de Wheatstone (para mayores de 1Ω) a las terminales del embobinado por medir.

Una vez realizada esta conexión, para leer la resistencia en el puente utilizado, se moverá la resistencia variable de este hasta que el galvanómetro marque cero. Una vez obtenida esta condición se podrá leer directamente el valor de la resistencia.

El diagrama correspondiente del puente y la conexión al embobinado por determinar su resistencia óhmica es el siguiente:

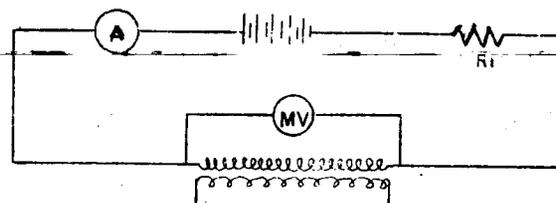


Terminales del embobinado

de esta forma se medirán las resistencias tanto del embobinado de alta como de baja tensión.

El método de caída de potencial es generalmente más conveniente que el del puente, para mediciones hechas en el campo. Este tendrá exclusivamente la limitación de que sólo se podrá emplear cuando la corriente nominal del embobinado del transformador es de 1 ampere o más.

La medición se hará con corriente directa, y se tomarán lecturas simultáneas de corriente y de voltaje, usando las conexiones indicadas a continuación:



en las cuales estaremos usando un milivólmetro, un amperímetro y una resistencia R_1 para evitar que quede en corto circuito.

La resistencia deseada se calculará de las lecturas obtenidas utilizando la ley de Ohm.

$$R = \frac{MV}{A} \quad 0.001$$

El valor de la resistencia, ya sea por uno u otro método deberá calcularse a la temperatura normal de operación, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{234.5+T_1}{234.5+T_2}$$

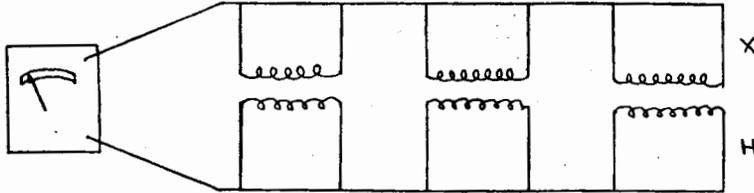
donde:

- R_1 - Resistencia inicial (medida directamente)
- R_2 - Resistencia a la temperatura normal de operación
- T_1 - Temperatura a la que midió la resistencia inicial
- T_2 - Temperatura normal de operación

2.- MEDICION DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Para realizar esta prueba se utilizará un megger con objeto de determinar la resistencia de aislamiento entre el embobinado de alta y el de baja, entre el de alta y tierra y entre el de baja y tierra.

El diagrama siguiente indica la conexión que se efectuará entre el embobinado de alta y el de baja.



Para la medición de las otras dos resistencias de aislamiento se harán conexiones similares a la anterior.

3.- RELACION DE TRANSFORMACION

Para determinar la relación de transformación se procede como sigue:

- Si el transformador tiene taps o derivaciones la relación de transformación deberá determinarse para todas los taps así como para el embobinado completo.
- La relación de transformación deberá verificarse a un voltaje ya sea el nominal o menor, y a una frecuencia también nominal pero en este caso mayor.
- Los transformadores menores de una capacidad de 500W y con una corriente de excitación mayor que el 10% de la nominal, deberán ser probados solamente a voltajes y frecuencias nominales.
- En el caso de transformadores trifásicos, cuando cada fase es independiente y accesible será conveniente usar potencia monofásica, aún cuando también es conveniente usar potencia trifásica.
- Si se presenta el caso en que los embobinados de alta tensión están conectados en estrella, y el punto neutro es inaccesible, entonces deberá ser aplicado un voltaje trifásico y el procedimiento a seguir, será similar al que utiliza en transformadores monofásicos.

Para medir la relación de transformación son usados 3 métodos:

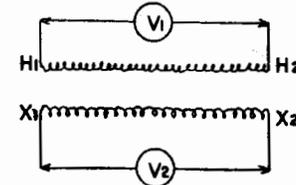
- I.- Método de Voltmetro
- II.- Método del Transformador Patrón o Standard.
- III.- Método de la Resistencia Variable o Potenciómetro.

I.- METODO DEL VOLTMETRO

Se usarán 2 voltímetros, (en el caso de trabajar en alta tensión podrán ser usados transformadores de potencial), uno para leer el voltaje en el embobinado de alta y otro nos dará la lectura de la tensión en el embobinado de baja.

Los 2 voltímetros se deberán leer simultáneamente.

El esquema siguiente nos muestra las conexiones necesarias para este método:



Un segundo grupo de lecturas se tomará con los instrumentos intercambiados y el promedio de las lecturas tomadas compensarán el error de los instrumentos.

En el caso de usar transformadores de potencial sus relaciones deberán ser de tal manera que proporcionen las mismas lecturas en los voltímetros.

De otra manera la compensación por errores de instrumentos al intercambiar estas no será satisfactoria y será necesario aplicar correcciones apropiadas a las lecturas de los voltímetros.

Las pruebas deberán realizarse cuando menos a 4 diferentes voltajes, en pasos de 10% cada uno de ellas y el resultado promedio deberá tomarse como el valor verdadero. Estos varios valores deberán chequear dentro del 1% de diferencia. De otra manera las pruebas deberán repetirse con otros voltímetros.

Cuando varios transformadores de la misma capacidad vayan a ser probados el trabajo se hace más expedito, al aplicar las pruebas anteriores a una sola unidad y entonces comparar las otras unidades con la ya probada, de acuerdo con el método del transformador patrón que se analizará más adelante.

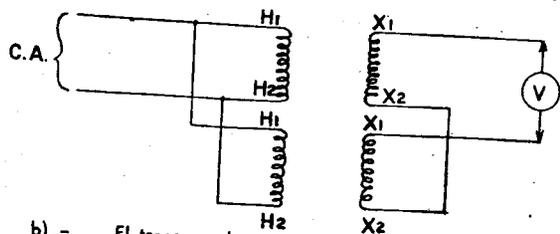
II.- METODO DEL TRANSFORMADOR PATRON

Este método consistirá en la comparación del transformador por probar con un transformador de relación de transformación standar, efectuándose de dos formas diferentes:

- El transformador en prueba se excitará en paralelo con un transformador standard de la misma relación de transformación nominal, conectando los secundarios en paralelo, pero con voltímetro a detector en la conexión entre 2 de las terminales de similar polaridad.

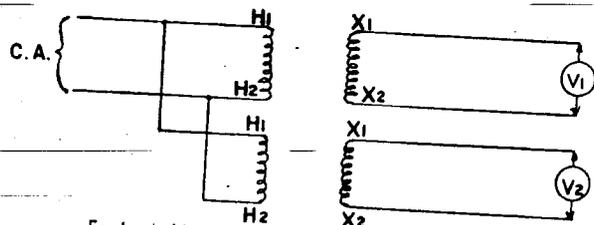
Este es el método más preciso en virtud de que el voltmetro o detector indicará la diferencia en voltaje.

El siguiente esquema nos muestra el método anterior.



b).- El transformador en prueba se excitará en paralelo con un transformador standard de relación conocida y 2 voltímetros se conectarán de manera de poder medir los voltajes o las tensiones en ambos embobinados secundarios. Para eliminar error de instrumentos deberán intercambiarse los instrumentos y repetir la lectura, tomando el promedio de los valores obtenidos.

La siguiente figura nos ilustra lo anterior.



En donde $V_1 R_1 = V_2 R_2$

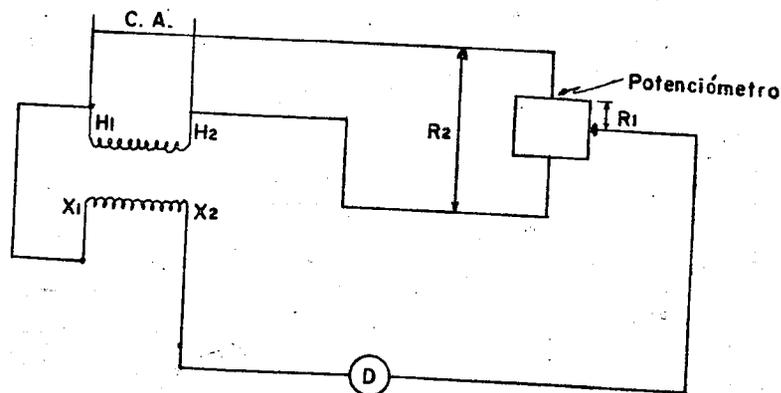
Por lo tanto :

$$R_2 = \frac{V_1}{V_2} R_1$$

III.- METODO DE LA RESISTENCIA VARIABLE

Con una resistencia variable teniendo un rango adecuado y graduado de preferencia en porcentaje o su valor total, puede ser determinada la relación de transformación utilizando el diagrama mostrado :

El brazo de corredera se moverá a lo largo de la resistencia hasta que el detector lea cero, o marque cero, siendo la relación de la resistencia variable R_2/R_1 iguales a la relación de transformación buscada.



POLARIDAD

Para encontrar la polaridad en los transformadores se conocen por lo general 3 métodos que son los siguientes:

- I Método del transformador Patrón
- II Método de la Descarga Inductiva
- III Método de la Tensión Alterna

I.- Método del Transformador Patrón

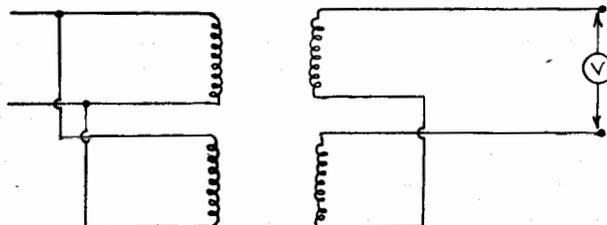
Quando se tiene disponible un transformador de polaridad conocida y de la misma relación de transformación del transformador en prueba, se podrá verificar la polaridad del transformador en prueba al compararla con la del transformador patrón de una manera similar a la relación de transformación que se realizó, utilizando un transformador patrón.

Conecte los embobinados de alta tensión en paralelo, teniendo cuidado de que la conexión sea correspondiendo los bornes terminales. Conecte también uno de los bornes del lado secundario de ambos transformadores según se indica en la figura, dejando libre los otros dos, con estas conexiones aplique un reducido voltaje al devanado de alta tensión y mida la tensión entre los dos bornes terminales que se tienen libres.

Un valor de cero o muy reducido que se puede despreciar en la lectura del voltmetro indicará que las polaridades respectivas de ambos transformadores son iguales.

Un método similar al anterior puede ser el conectar fusibles de baja capacidad o lámparas adecuadas en los bornes en donde se tiene conectado el voltmetro de esta forma se tendrá una medida precatoria, para evitar dañar el voltmetro si las polaridades son opuestas, y el valor de la tensión sea superior al de la escala del voltmetro.

La representación gráfica sería:



II.- Método de la Descarga Inductiva

Se hará circular corriente directa a través del embobinado de alta tensión conectando en sus terminales de salida un voltmetro, de manera que se tenga una deflexión positiva en la aguja del aparato.

Posteriormente se transferirán las terminales del voltmetro al lado de baja tensión teniendo cuidado de que éstas correspondan con el de alta tensión, en este momento se eliminará la excitación con el cual se inducirá un voltaje en el embobinado secundario, que causará la deflexión de la aguja del voltmetro.

Si la aguja gira en la misma dirección que se tuvo anteriormente la polaridad es aditiva, si gira en sentido contrario es sustractiva.

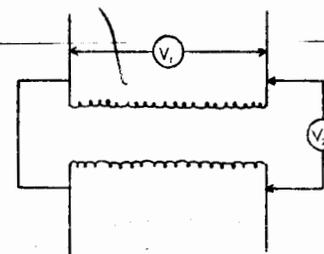
III.- Método de la Tensión Alterna

Se conectarán los bornes terminales de la izquierda tal como se muestra en la figura y entre los bornes terminales de la derecha se pondrá un voltmetro.

Se aplicará una tensión de corriente alterna conveniente y se tomarán las lecturas del voltaje aplicado y del que se tiene en los bornes terminales de la derecha del transformador, si el voltaje V_2 es menor que el voltaje de alimentación V_1 se tendrá una polaridad sustractiva.

En el caso de que el voltaje V_2 sea mayor que V_1 , la polaridad será aditiva.

El esquema siguiente nos ilustra lo anterior:



FACULTAD DE INGENIERIA

Secuencia de Fases.

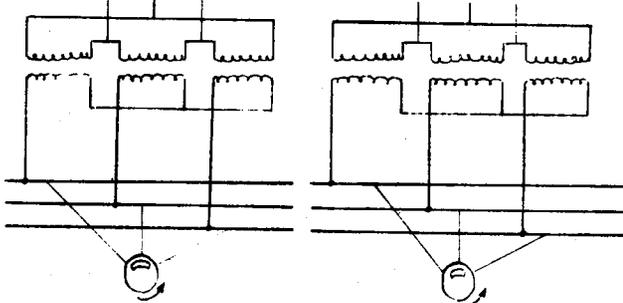
Existen cuatro maneras diferentes para realizar esta prueba :

- I Secuenciómetro
- II Motor de Inducción.
- III Voltmetro
- IV Dos resistencias iguales y una inductancia conectadas en estrella.

I).- Secuenciómetro.- Este aparato trabaja con el principio de un motor de inducción, el cual se conectará a las terminales de los transformadores -- por trabajar en paralelo, debiendo girar en el mismo sentido cuando la se cuencia de fases es igual en ambos.

En caso contrario las fases de un transformador deberán invertirse antes de conectarse con el otro.

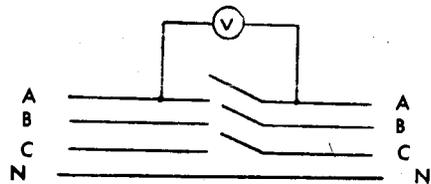
El diagrama de conexiones es :



II).- Motor de Inducción.- El procedimiento es enteramente igual al anterior - utilizando también el mismo diagrama de conexiones.

III).- Voltmetro.- Se conectará el voltmetro entre las terminales de los transformadores, en el caso de que marque cero en las tres fases, se tendrá la secuencia de fases igual en ambas máquinas.

El esquema sería :



IV.- Dos resistencias y una inductancia.- Estas se conectarán en la misma forma en que se conectaron el motor de inducción o el secuenciómetro. Si se usan focos como resistencias ohmicas, en uno de ellos la intensidad será mayor que en el otro, cuando se conecta este dispositivo al segundo transformador, para una secuencia de fases igual, la misma lámpara deberá tener la mayor intensidad, en caso contrario deberán invertirse las terminales.

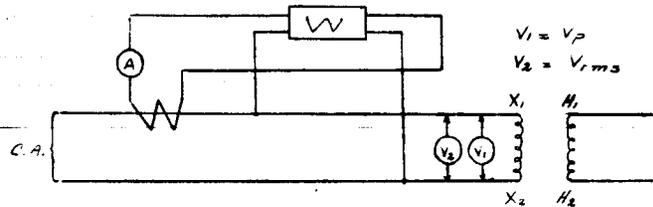
PERDIDAS MAGNETICAS Y CORRIENTE DE EXCITACION.

Esta prueba se realizará tanto en transformadores monofásicos como en trifásicos ; analizaremos en primer lugar los de una fase y este análisis lo aplicaremos a los trifásicos.

En esta prueba se alimentará por el lado de baja tensión, permaneciendo el transformador en vacío, al estar en estas condiciones la corriente que circula es la de excitación.

Para su realización deberá seguirse la siguiente secuela :

- a).- Se ajustará la tensión aplicada al transformador hasta igualar la o la nominal de placa.
- b).- La frecuencia utilizada deberá ser la de placa.
- c).- Se empleará un voltmetro promedio para medir el voltaje.
- d).- El diagrama utilizado es el siguiente :



e).- Para ajustar el voltaje nominal se hará uso de regulador de inducción.

Como las pérdidas magnéticas son originadas principalmente por el efecto de histéresis que está en función de la densidad de flujo máximo, la cual depende del promedio del voltaje ; si el promedio de la tensión se ajusta para que sea igual al de una onda senoidal del voltaje deseado, y se mantiene en su propio valor la medición será correcta.

El voltmetro promedio es un aparato del tipo D'Arsonval, con un rectificador de onda completa y calibrado para medir en valores equivalentes, valores de un voltmetro efectiva para la onda senoidal.

De las lecturas que se obtengan se sacará la siguiente conclusión :

$$A = I_{exc} \text{ (corriente de excitación)}$$

$$W = P_{mag} \text{ (pérdidas magnéticas)}$$

Esto es para un transformador monofásico.

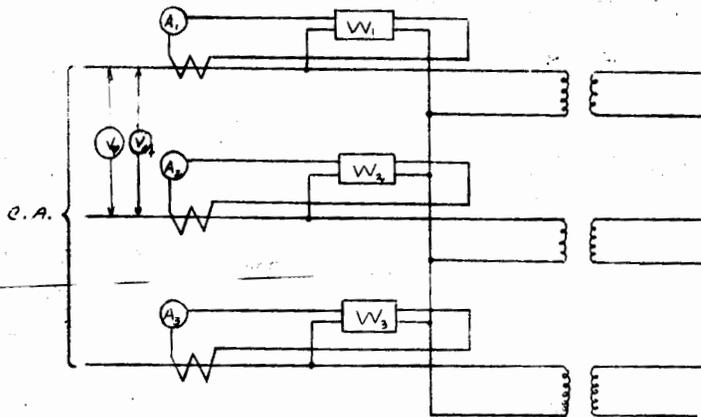
Ahora para un transformador trifásico, todo será en forma análoga, con la única diferencia que las pérdidas magnéticas será la suma de las lecturas de los tres "W" o sea :

$$P_{mag} = W_1 + W_2 + W_3$$

La corriente será el promedio de las tres o sea :

$$I_L = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3}$$

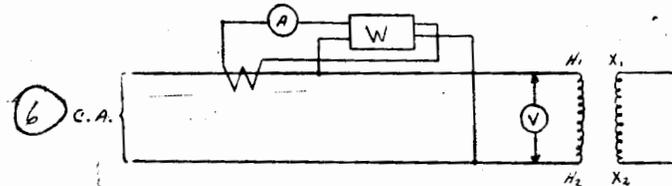
El diagrama sería como sigue :



Se observará que las pérdidas por fase no son iguales debido a la construcción del núcleo del transformador en forma de columnas donde el flujo, estando éste en vacío, no se distribuye parejo. En el caso de que se prueben tres transformadores monofásicos conectados entre sí, las pérdidas por fase si serán iguales, porque en este caso los núcleos son independientes.

PERDIDAS ELECTRICAS Y VALOR DE LA IMPEDANCIA.

Para la determinación de las pérdidas en el cobre de un transformador monofásico, se hará uso de un ampermetro, un voltmetro y un wattmetro, los que se instalarán según se indica en la siguiente figura :



El secundario X1 - X2 se pone en corto circuito, aplicando al primario un voltaje que haga circular la corriente nominal en el transformador.

De las lecturas obtenidas, el Wattmetro nos dará directamente las pérdidas eléctricas y el valor de la impedancia en por ciento estará definido por la relación :

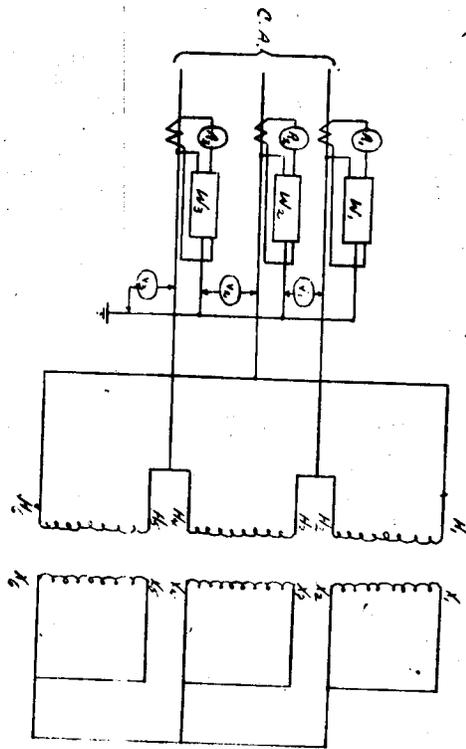
$$\% Z = \frac{\text{Voltaje Leído}}{\text{Voltaje Nominal}} \times 100$$

Para los transformadores trifásicos, se hará de una manera similar, siendo las pérdidas eléctricas la suma de las lecturas de los tres wattmetros, y el Porcentaje de Impedancia será el promedio de los voltajes leídos entre fase y neutro sobre el voltaje nominal entre fase y neutro multiplicado por 100, a sea :

$$\text{Pérd. Eléct.} = W_1 + W_2 + W_3$$

$$\% Z = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3 V_{nominal}} \times 100$$

Su diagrama es como sigue :



EFICIENCIA

La eficiencia de un transformador está definida como la relación que existe entre la potencia de salida y la potencia de entrada. Esta última se determinará a partir de las pérdidas eléctricas y de las magnéticas que se encontraron con anterioridad, por lo cual, la ecuación para determinar la eficiencia es como sigue :

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \\ &= \frac{\text{Potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{Potencia de entrada}} \\ &= 1 - \frac{\text{Pérdidas}}{\text{Pot. de entrada}} \\ &= 1 - \frac{\text{pérdidas}}{\text{Potencia de salida} + \text{pérdidas}} \end{aligned}$$

Sustituyendo en esta última ecuación tanto los valores de las pérdidas encontradas con anterioridad como los valores de placa del transformador, encontramos la eficiencia buscada.

Agosto 6 de 1974.

lczh.-

FACULTAD DE INGENIERIA

GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA

Práctica # 3

• Saturación en vacío

Práctica # 4

• Curvas de voltaje con carga variable

FACULTAD DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

13

SATURACION EN VACIO

D.- Curva de Saturación en vacío

La f.e.m. generada es proporcional al flujo magnético, a la velocidad y a la constante de construcción, a sea.

$$E = \frac{\phi N P Z}{P' 10^8} \dots\dots\dots (1)$$

de donde

$$E = K \phi N \dots\dots\dots (2)$$

representando :

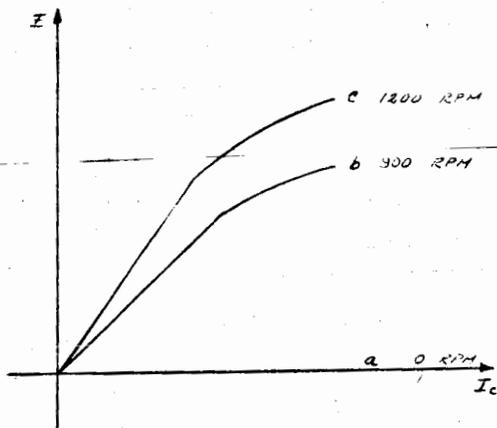
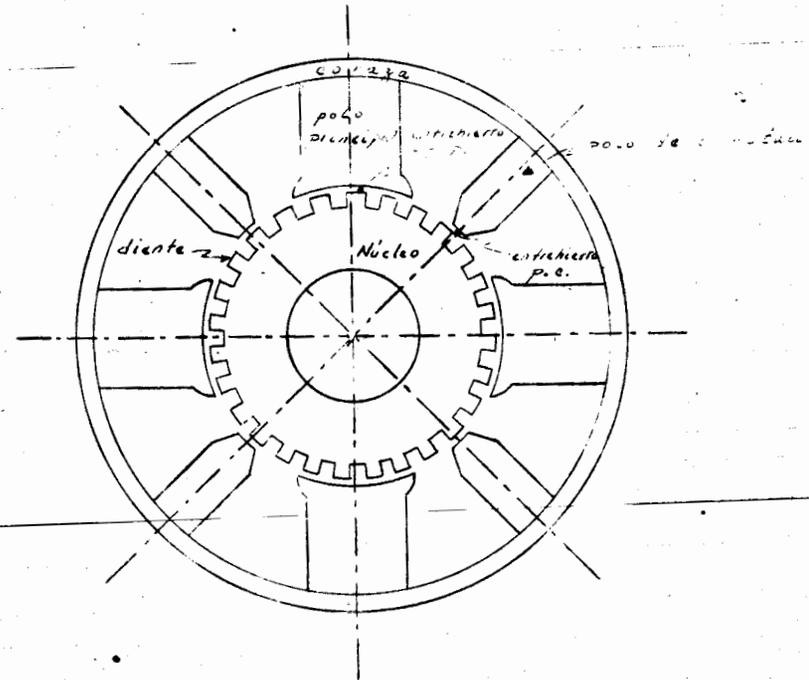
- E.- Fuerza electromotriz
- ϕ .- Flujo magnético total que atraviesa la armadura.
- N.- Velocidad de la armadura en R. P. M.
- Z.- Número de conductores en la superficie de la armadura
- P.- Número de polos
- P'.- Número de pasas en paralelo en la armadura.
- K.- Constante de construcción.

El flujo depende de los amper-vuelta y como las vueltas permanecen -- constantes, este dependerá exclusivamente de la intensidad de la corriente de campo, no siendo directamente proporcional debido a que la permeabilidad del circuito magnética -- varía.

Saturación magnética es el punto en un circuito en el que el aumento en la intensidad de campo produce un aumento insignificante en la densidad de flujo. Cuando un metal está saturado su permeabilidad decrece hasta llegar casi a ser igual a la del aire o sea la unidad.

El circuito magnético consiste de seis partes principales :

- 1.- Caraza.
- 2.- Polos principales
- 3.- Entrehierro en los polos principales.
- 4.- Dientes de la armadura
- 5.- Núcleo de la armadura
- 6.- Polos de conmutación.

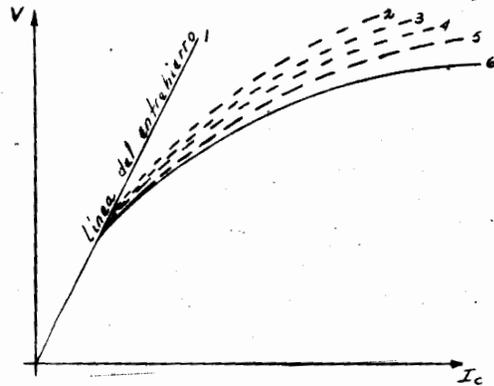


Por lo cual, la curva de saturación quedará referida al eje de las ordenadas con la f.e.m. E, y al eje de las abscisas con la corriente de campo I_c. Quedando -- esta curva como se indica en la figura, -- en la cual se puede observar que al va-- riar la velocidad de la máquina, esta cur-- va variará también, como ya se había in-- dicado en las ecuaciones (1) y (2).

En un principio la curva resultante es una línea recta en virtud de que la mayor parte de la reluctancia depende del ent-- hierro, en el punto en que el hierro em-- pienza a saturarse, la curva caerá de la lí-- nea recta.

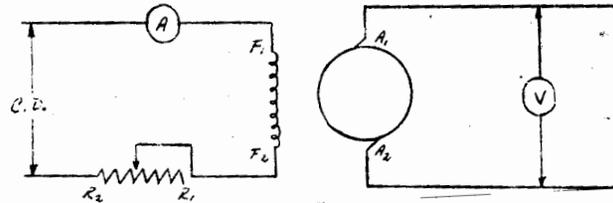
2.

Por lo cual, la curva de saturación quedará de la siguiente manera :



- 1-2 Saturación debido a los dientes de la armadura.
- 2-3 Saturación debido al núcleo de la armadura.
- 3-4 Saturación debido a la coraza
- 4-5 Saturación debido a los cuerpos polares
- 5-6 Saturación debido a los dientes de los polos principales.

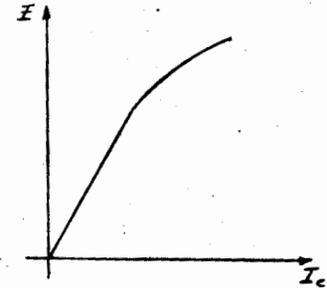
Para obtener esta curva, se podrá hacer con excitación independiente, o propia, en nuestro caso particular utilizaremos la independiente. El circuito que se usará será el siguiente :



El procedimiento a seguir para la obtención de esta curva será como se indica a continuación. Conservando constante la velocidad se tomarán lecturas de la f.e.m. generada en la armadura, midiendo al mismo tiempo la intensidad de la corriente de excitación. Se incrementará la corriente de campo con mucho cuidado, de tal manera que el voltaje generado no se pase del punto prefijado, en el caso de que exceda se tomarán las lecturas a este punto y se procederá al siguiente punto. En el caso de que sea absolutamente necesario reducir la corriente de campo a una lectura deseada, el circuito se abrirá el tiempo necesario para disipar el magnetismo residual. Las lecturas se tomarán hasta llegar a aproximadamente 35% arriba del voltaje normal.

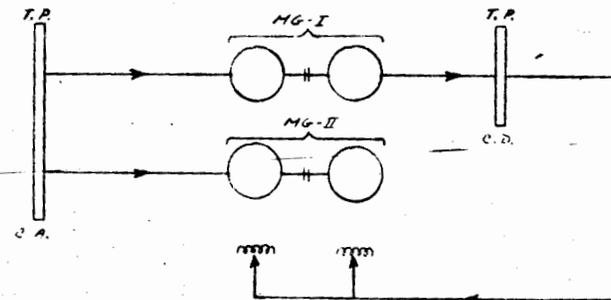
La tabla correspondiente que se tomará, será la anotada a continuación, de la cual se trazará la curva correspondiente.

R. P. M.	E	I _c
constante	E ₁	I _{c1}
"	E ₂	I _{c2}
"	E ₃	I _{c3}
"	E ₄	I _{c4}
"	E ₅	I _{c5}
"	E ₆	I _{c6}



Para la obtención de esta curva en el laboratorio se utilizará el generador de C. D. del grupo motor generador No. 2, que al estar accionado por un motor síncrono, nos conservará su velocidad constante. La excitación se proporcionará por el generador de corriente directa del MG-1, el cual también excitará el motor síncrono del MG-2

El diagrama unitario será entonces :



9/VIII/74.

'czh.-

CURVAS DE VOLTAJE CON CARGA VARIABLE

La característica externa de un generador de C.D., es la relación entre el voltaje terminal (V), como variable dependiente y la corriente de línea como variable independiente.

En generadores en derivación esta regulación es raramente de importancia, en virtud de que la excitación normal de campo se ajusta a que corresponda con los cambios en carga. Ahora, el voltaje de un generador compuesto, se espera que varíe con la carga de acuerdo a características predeterminadas. Su regulación puede ser determinada de valores numéricos del voltaje sin carga y del voltaje a plena carga, bajo condiciones normales de operación.

Nosotros, en laboratorio efectuaremos las pruebas correspondientes para determinar las curvas de regulación de voltaje para los siguientes tipos de generadores:

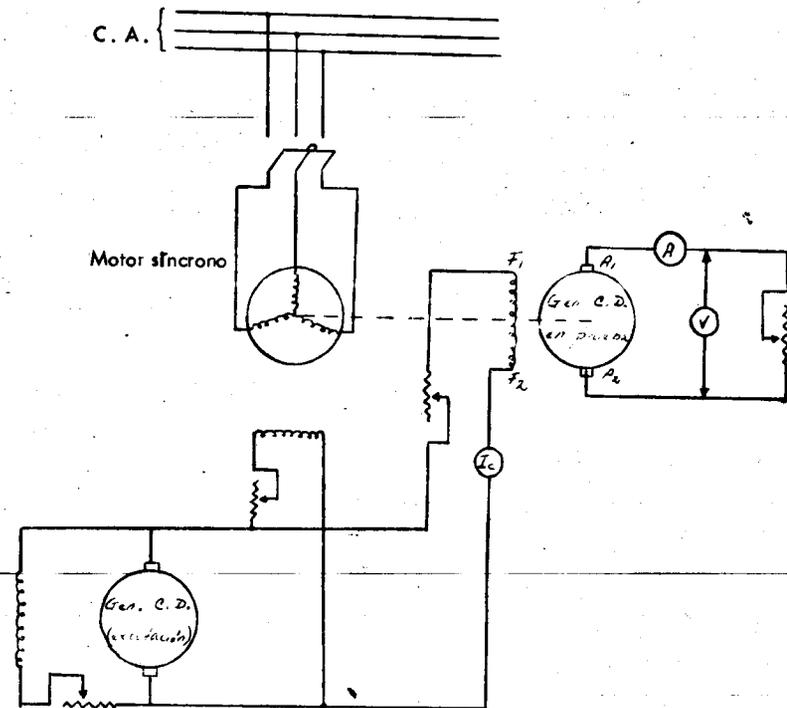
- 1.- Generador con excitación independiente -
- 2.- Generador con campo en derivación
- 3.- Generador compuesto corto acumulativo
- 4.- Generador compuesto corto diferencial
- 5.- Generador con campo en serie.

Para los dos primeros tipos de generadores o sea el de excitación independiente y el de derivación el procedimiento a seguir para la obtención de sus curvas de regulación de voltaje será el siguiente: Se arrancará la máquina en prueba y se correrá a su velocidad normal, corriente de plena carga y voltaje de placa por espacio, de aproximadamente una hora con objeto de calentarla a su temperatura normal de operación; a continuación se procederá a efectuar la prueba. El reostato de campo se ajustará para voltaje, corriente y velocidad de placa, después de lo cual no será cambiado durante el resto de la prueba.

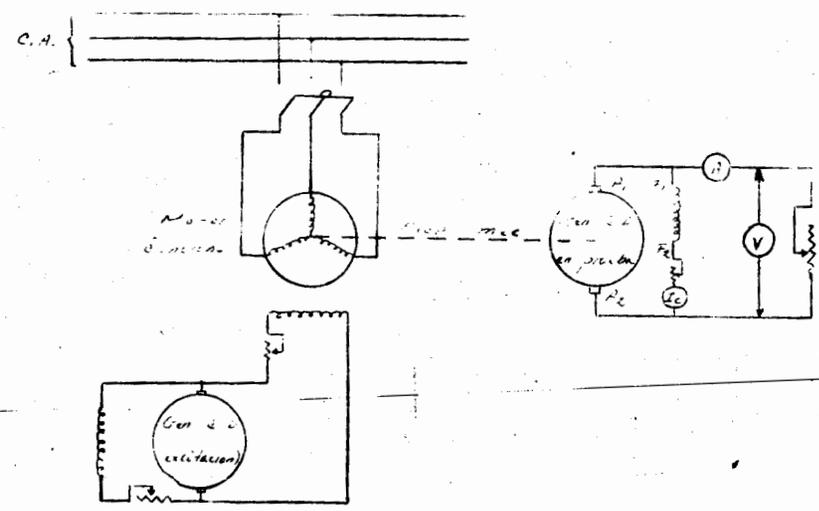
A continuación

La carga se decrecerá hasta cero, empezando a tomar lecturas a partir de este punto -- (0 % de carga), y en aumento de la corriente de carga cada 25% se tomarán los correspondientes grupos de lecturas hasta llegar a 150% de plena carga. Se registrarán en cada punto las lecturas de velocidad, voltaje de línea, corriente de línea y corriente de campo, asegurándonos que la velocidad es constante para cada punto. En cada punto se observará la conmutación.

El circuito a utilizar para el primer tipo de generador (excitación independiente) será como similar al de la curva de saturación con carga, o sea (usando - MG-I y MG-II)



para el segundo tipo de generador (derivación), utilizando las mismas máquinas quedará :



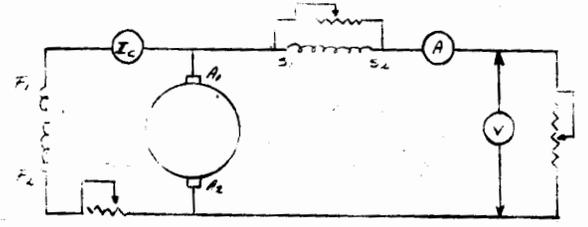
La tabla que se registrará será la siguiente, refiriendo entonces la curva a ejes coordenadas, donde la corriente de línea quedará en el eje de las abscisas y el voltaje en el eje de las ordenadas.

R. P. M.	V_n	I_n	I_c
conste.	V_n	I_n	
"			
"	V_n	I_n	I_n
"			

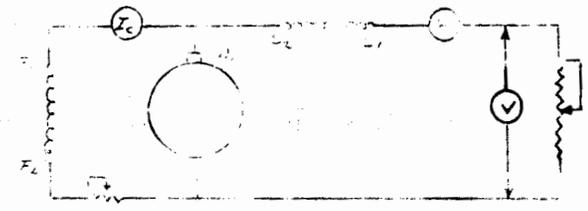
Para los casos 3 y 4 o sea generadores compuestos cortos (acumulativo y diferencial) el procedimiento para obtener sus curvas será como sigue : La máquina se -- arrancará y se calentará a su temperatura de operación. Se sentará el reóstato de campo a voltaje, corriente de línea y velocidad normales. Se removerá entonces la carga : si el voltaje sin carga es bajo, se tendrá la condición de compuesta acumulativa, por lo que para evitar un bajo voltaje sin carga, se pondrá una resistencia en paralelo con la bobina

serie, en caso contrario, si las condiciones de voltaje son correctas (aumento relativo de voltaje), se tendrá la condición de compuesta diferencial, por lo que no se usará resistencia en paralelo con la bobina serie. Se procederá entonces a tomar la curva, registrando lecturas de voltaje de línea, corriente de línea, corriente de campo y velocidad, partiendo de 0 % de carga, hasta llegar a 150% en pasos de 25% cada uno.

Los circuitos que se usarán serán :



Excitación compuesta acumulativa



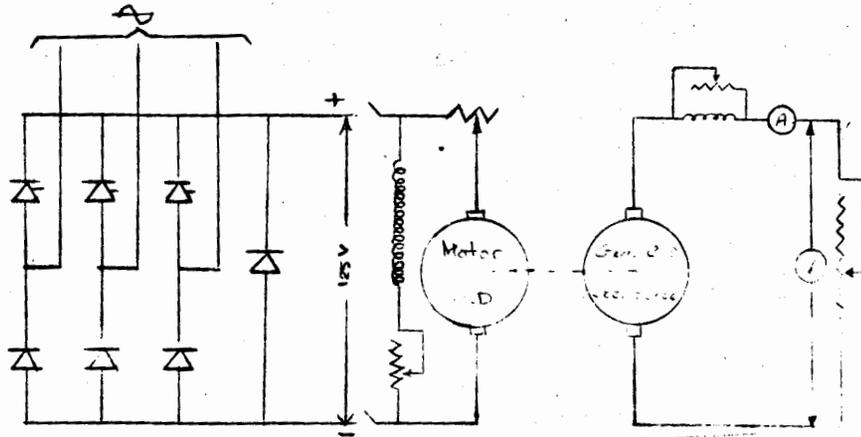
Excitación compuesta diferencial.

La fuerza matriz para ambas pruebas será la misma usada en los casos anteriores, o sea al estarse probando el Generador de C. D. del MG-11 (5 KW, 125 -- Volts, 40 amps.) se usará su motor síncronico acoplado a él.

La tabla que se registrará será la misma que para los casos anteriores, -- refiriéndose también al eje de las abscisas la corriente de línea y al eje de las ordenadas el voltaje.

Para las pruebas anteriores, hemos estado usando como máquina a probar el generador de C. D. del MG-11, ahora para la siguiente o sea la curva de regulación de voltaje para una máquina serie, usaremos el generador serie del grupo MG-X. (5 KW, -- 125 volts, 40 amps., 1450 R.P.M.)

El circuito que se usará será :

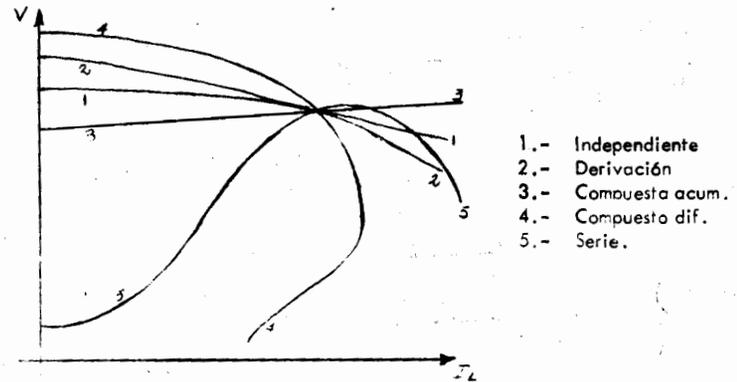


Para la obtención de esta curva se procederá de la siguiente manera : El voltaje terminal de este tipo de generador depende de la carga, por lo cual para limitar el voltaje se pondrá una resistencia variable en paralelo con la bobina serie, a continuación ésta se ajustará para obtener voltaje, corriente y velocidad normales, -- utilizando para esto también la carga conectada a la máquina.

Una vez ajustada esta resistencia se procederá a tomar la curva iniciando ésta de abajo hacia arriba, o sea, se arrancará con una pequeña corriente, y ésta se irá incrementando gradualmente hasta obtener un 50% de sobrecarga, tomando completas lecturas en cada punto. Las lecturas que se tomarán serán velocidad (constante), voltaje de línea y corriente de línea, siendo entonces la tabla como sigue :

$R.P.M$	V_L	I_L
constante	V_{L1}	I_{L1}
"		
"		
"		

Las curvas que se obtienen se ilustran a continuación en un esquema -- comparativo, que serán para los diferentes tipos de excitación vistos anteriormente.



El abatimiento del voltaje terminal, que se observará al aumentar la carga (salvo en generadores compuestos acumulativos y en generadores serie), será debido a -- dos causas :

- 1.- La caída óhmica en la resistencia de armadura
- 2.- El efecto desmagnetizante de la reacción del inducido.

NOTAS :

- a).- En el generador con campo en derivación, el voltaje cae más rápidamente que en el excitado por separado, debido a que mientras en el primero la excitación de campo se abate con la caída óhmica de la armadura, en el segundo permanece -- constante.
- b).- En el generador con campo serie, el voltaje crece rápidamente con la carga, ya que la excitación aumenta con ésta.

Aplicación de los generadores:

- 1.- Excitación independiente

Por la propiedad de presentar una tendencia a regular para voltaje constante, se empleará para servicios de potencial constante.

- 2.- Con campo en derivación

Esta regula para potencial casi constante, por lo que podrá usar para servicios de voltaje constante en que la utilización esté cerca del generador para evitar la --

caída de la línea, como por ejemplo, se podrá usar para evitar el campo de un alterna-
dor.

Su control puede hacerse manual o automático sobre su reóstato de -
campo, dependiendo si los cambios de carga son ligeros o bruscos.

3.- Compuesto

El generador compuesto acumulativo es el más usado en virtud de que
se puede adaptar a todas las condiciones en que se requiera voltaje constante en el pun-
to de aplicación de la carga, al poderse compensar por medio de la resistencia que se
conecta en paralelo con el campo serie.

Se utilizan principalmente para suministrar corriente a lámparas incan-
dentes, también en servicio de gran potencia como trenes eléctricos, y en general
para alimentar motores de corriente directa que requieran voltaje constante.

Los generadores compuestos diferencial, tienen una característica con
fuertes pendientes descendentes. Tal característica es de gran utilidad en palas opera-
das con electricidad, ya que en caso de que la pala encuentre algún obstáculo es de-
seable que el voltaje aplicado al motor se reduzca, evitando un frenado brusco y la
apertura del interruptor de protección. También se usa para soldadura de arco donde
un incremento de corriente deberá ir acompañado de una reducción del voltaje.

4.- Con campo serie

Se pueden emplear satisfactoriamente para servicios de alumbrado, en
virtud que podrán acondicionarse para corriente constante. Se podrá utilizar también
como booster, o sea elevador de potencial, cuando trabaja con carga.

12/VIII/74.

'czh.-

FACULTAD DE INGENIERIA

MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

Práctica # 5

- Arranque de los motores
- Fuerza contra electromotriz

Práctica # 6

- Curvas de velocidad con carga variable.

FACULTAD DE INGENIERIA

ARRANQUE DE LOS MOTORES
FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ.

Las máquinas eléctricas son reversibles, por lo -- tanto pueden trabajar como generadores o como motores, sin embargo, si estas trabajan como motores, deberán estar provistas de algunos elementos que no son usados al trabajar -- como generadores. El elemento a que nos referimos principal -- mente es el, arrancador que no es más que una resistencia en -- serie con la armadura que aumentará el valor ohmico de ésta en el arranque de la máquina.

Recordemos que para el generador, la fuerza elec-
tromotriz es igual a:

$$E = \frac{\phi S P Z}{60 \times P' \times 10^8} \text{ volts}$$

- donde: E.- f.e.m. generada.
 ϕ .- Flujo magnético total que atraviesa la armadu-
ra.
S.- Velocidad de la armadura en r.p.m.
P.- Número de polos.
P'.- Número de pasos en paralelo en la armadura.
Z.- Número de conductores en la superficie de la -
armadura.

Como Z, P, P' y 10^8 son constantes en cada máqui-
na, se podrá escribir la expresión anterior como:

$$E = K, \phi S$$

Para el motor, la fuerza contraelectromotriz será
la misma ecuación anterior:

$$E = K, \phi S \dots (1)$$

que también podrá escribirse:

$$E = V - I_a R_a \dots (2)$$

donde V es el voltaje de línea.

La velocidad para el motor será:

$$S = K \frac{E}{\phi} = K \frac{V - I_a R_a}{\phi} \dots (3)$$

Para el caso de marcha normal de la máquina, la -- corriente de armadura, de la ecuación (2) es:

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} \dots (4)$$

pero para el arranque, como no se está generando fcm., se tendrá que compensar esta de algún modo, con objeto de que la corriente en la armadura no se eleve considerablemente -- durante este período, para lo cual se intercalará el arran-
cador mencionado en un principio. Entonces, para el arran-
que la corriente será igual a:

$$I_a = \frac{V}{R_a + R_l} \dots (5)$$

donde R_l es la resistencia del reóstato de arranque.

En el caso de que el motor se arrancara sin reósta
to, la intensidad de corriente sería muy elevado,

$$I = \frac{V}{R_a}$$

Podremos analizarlo por medio de un ejemplo numéri
co. Supongamos que el voltaje de alimentación de un motor es
120 volts y su resistencia de armadura es de 0.2Ω , si
no se intercala reóstato de arranque la corriente será ----
igual a:

$$I = \frac{120}{0.2} = 600 \text{ amps.}$$

Si se le intercala un reóstato de arranque, de por
ejemplo 15 ohms, la intensidad de corriente será entonces:

$$I = \frac{120}{0.2 + 15} = 7.9 \text{ amps.}$$

corriente aceptable ciento por ciento para su arranque.

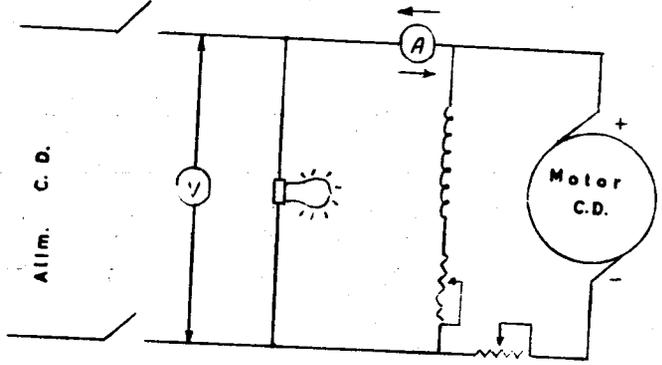
A medida que la máquina incrementa su velocidad, -- genera una f.c.e.m. que nos permite ir quitando el reóstato.

Si suponemos una f.c.e.m. de 116 volts. sustituyendo en -- (5), se observará que la corriente que circule por la armadura en su marcha normal, será de:

$$I = \frac{120 - 116}{0.2} = 20 \text{ amps.}$$

Para demostrar la existencia de esta f.c.e.m. que regulará la circulación de corriente a través de la armadura de la máquina se podrá hacer como sigue:

Se usará el circuito indicado a continuación:



Quando se tiene el interruptor cerrado, el motor - trabaja tomando corriente de la línea; el ampérmetro nos indicará el sentido de la corriente a la entrada de la máquina, asimismo el foco conectado en paralelo estará encendido debido a esta alimentación.

En el caso de que se abra el interruptor, el rotor de la máquina tenderá a girar algún tiempo más debido a la inercia. En ese lapso de tiempo la f.c.e.m. se estará generando todavía, por lo cual el foco permanecerá encendido -- aunque con menor intensidad; el ampérmetro marcará el sentido de la corriente opuesto al del principio y el voltaje -- por lo tanto tenderá a disminuir conforme se vaya frenando el motor.

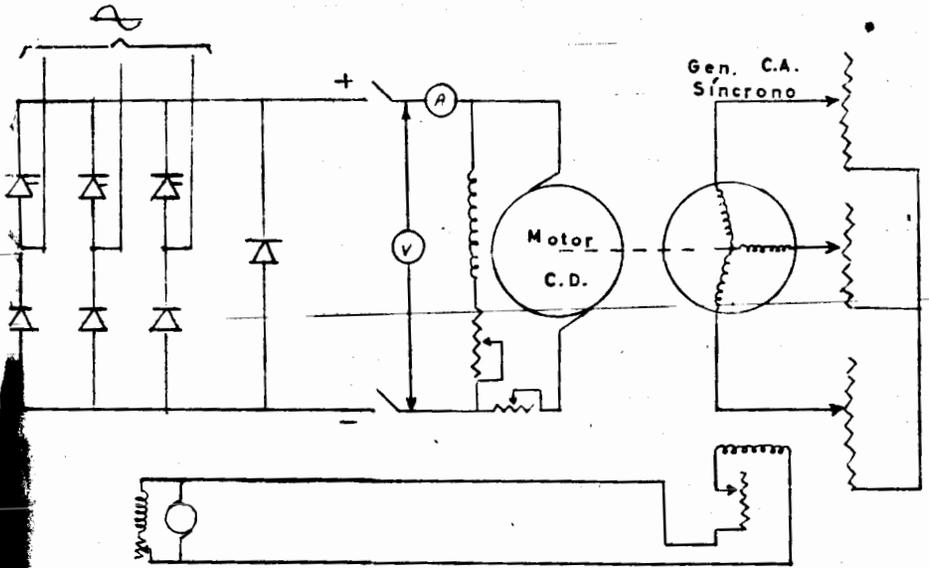
CURVAS DE VELOCIDAD CON CARGA VARIABLE.

Lo mismo que en los generadores, en los motores -- se presentan los mismos tipos de excitación, para la práctica en laboratorio se obtendrán las curvas de velocidad para las siguientes excitaciones:

- 1.- Derivación.
- 2.- Compuesta acumulativa.
- 3.- Compuesta diferencial.
- 4.- Serie.

1.- Excitación en derivación.

Para la obtención de la curva de velocidad del motor con este tipo de excitación se usará el siguiente diagrama:



Se está usando en el diagrama el convertor síncrono acoplado en serie con el booster, en virtud de que se necesitará tener a la entrada del motor un voltaje prácticamente constante, voltaje que obtendremos fácilmente con estas máquinas.

El procedimiento a seguir será como se indica a continuación:

- a) Se arrancará la máquina en prueba, teniendo cuidado de que el voltaje de alimentación sea el nominal marcado en placa (que como se indicó anteriormente se deberá conservar constante durante toda la prueba), llevándola hasta alcanzar su velocidad normal.
- b) Antes de proceder a efectuar la prueba, la máquina se calentará, con objeto de que la curva salga correcta, de lo contrario, al irse elevando la temperatura en el campo irá aumentando su resistencia, por lo cual el flujo magnético disminuirá obteniendo una curva defectuosa.
- c) Se registrará la tabla siguiente:

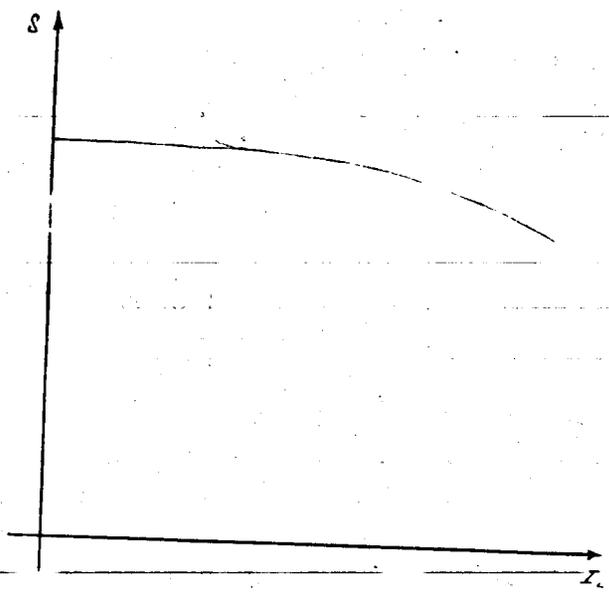
V_L	I_L	R.P.M.
CONSTANTE	I_{L1}	S_1
	I_{L2}	S_2
	⋮	⋮

- d) Se iniciará la prueba, partiendo de la velocidad nominal de la máquina, cuando ésta está sin carga, ajustando dicha velocidad con el reóstato de campo del motor en prueba. Una vez ajustada no se volverá a mover el reóstato de campo mencionado.
- e) Se empezarán a tomar las lecturas indicadas en el punto "C", conforme se vaya incrementando la carga hasta llegar a aproximadamente un 100 % de ésta. En esas condiciones se dará --

por terminada la prueba.

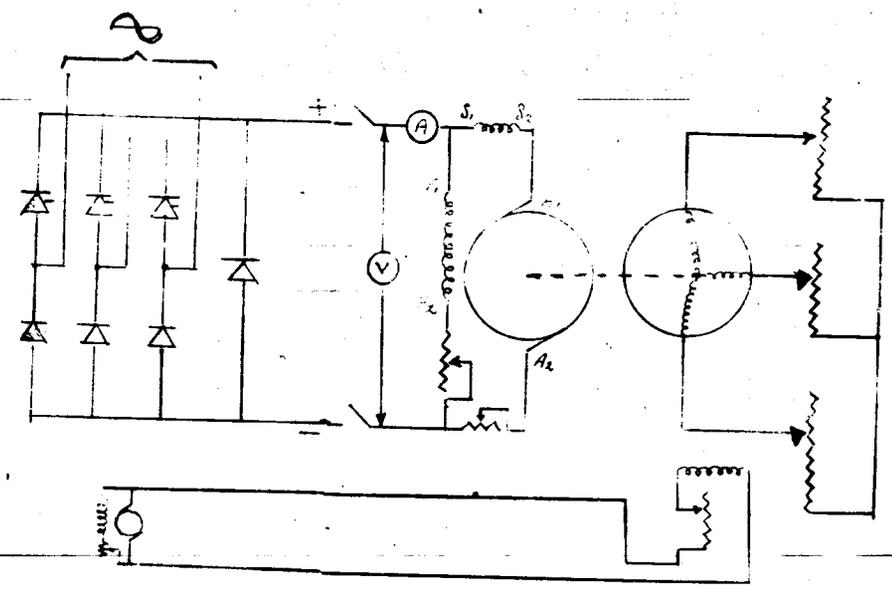
f) Con objeto de tomar con una mayor exactitud - la velocidad de la máquina, se usará para tal fin un tacómetro eléctrico que nos dará la -- aproximación buscada.

g) Las lecturas obtenidas se llevarán a ejes coordenados, refiriendo en el eje de las abscisas - a la corriente de línea y en el eje de las ordenadas a la velocidad, quedando la curva aproximadamente como se indica en la siguiente figura.



2.- Excitación compuesta acumulativa.

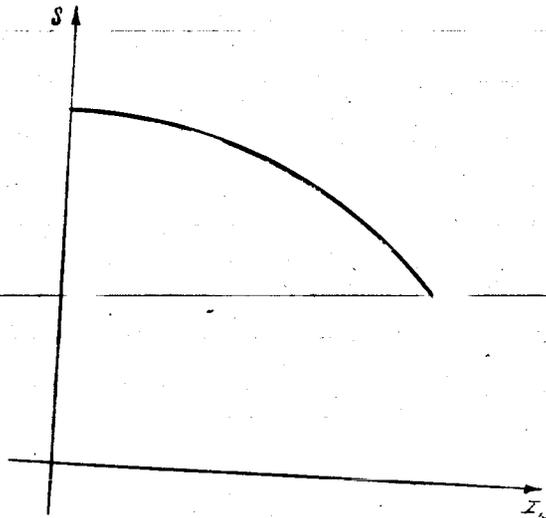
El diagrama que utilizaremos para la obtención -- de la curva de velocidad con este tipo de excitación será como sigue:



El procedimiento a seguir para la obtención de esta curva es similar al visto para excitación en derivación. La tabla que deberá tomarse es como sigue:

V_L	I_L	R.P.M.
CONSTANTE	I_{L1}	S_1
	I_{L2}	S_2

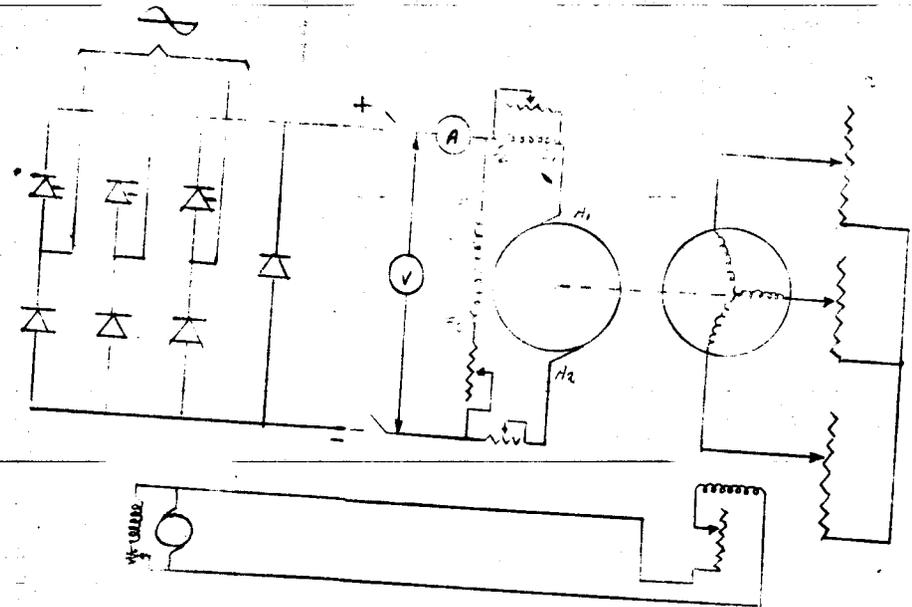
Obténese la curva que se indica a continuación:



Este tipo de motor se emplea con ventaja en elevadores montacargas, grúas y en general cuando debe desarrollar un par elevado en el arranque. Su velocidad disminuye al aumentar la carga.

3.- Excitación compuesta diferencial.

El diagrama por utilizar es de la siguiente manera:

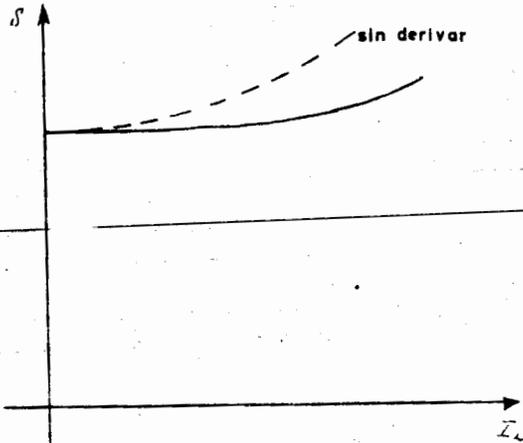


Para obtener esta curva, el procedimiento a seguir es muy similar al de los anteriores, exclusivamente variará en que será indispensable poner a motores con este tipo de excitación una resistencia variable en paralelo con el embobinado serie, según se indica en el diagrama, con objeto de evitar que al ir aumentando la carga se debilite demasiado el campo, subiendo mucho la velocidad, llegando un momento en que se invierte el referido campo y bruscamente se para el motor y gire en sentido contrario, causando daños a la máquina por la corriente excesiva que toma en ese momento.

La tabla que tomaremos será igual a las anteriores, o sea:

V_L	I_L	R.P.M.

quedando la curva tal como se representa a continuación:

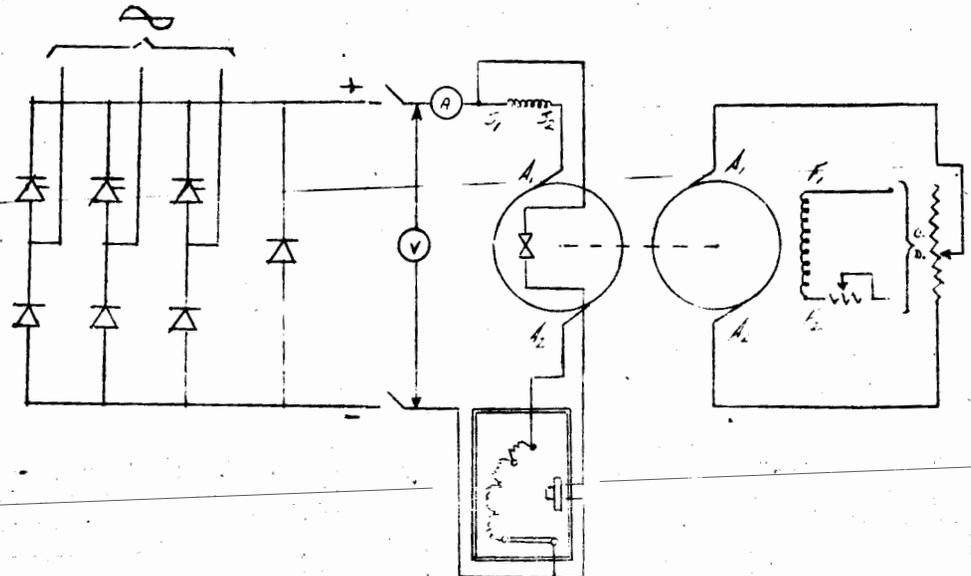


4.- Excitación serie.

Con este tipo de excitación existe la posibilidad de que se pueda desbocar la máquina por lo que se tomarán las siguientes medidas precautorias.

- Se le dará excitación independiente al generador de corriente directa que estará acoplado al motor en prueba, con objeto de que éste nunca se quede sin carga, pudiendo en esta forma regular desde un principio dicha carga.
- La máquina por probar cuenta con un dispositivo en serie con el reóstato de arranque llamado interruptor de fuerza centrífuga, el cual al aumentar en exceso la velocidad se abre y desenergiza la bobina que estará sosteniendo el brazo de la corredera del reóstato, el cual por medio de un resorte regresa a su posición inicial abriendo el circuito.

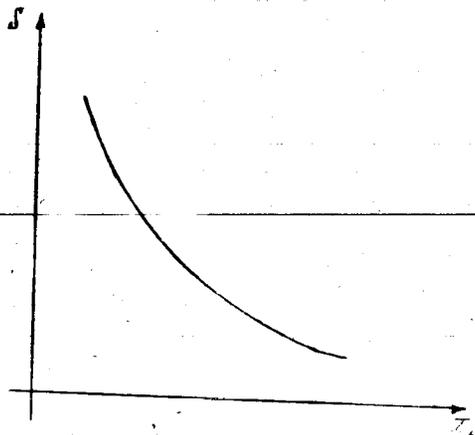
El diagrama por utilizar es el siguiente:



- 9 -

El procedimiento a seguir será muy similar al de los anteriores, exclusivamente en este caso se tomará de arriba hacia abajo, o sea se ajustará a la máxima carga y se irá eliminando progresivamente. La tabla que se registra y la curva que deberá obtenerse serán como sigue:

V_L	I_L	R. P. M.
	I_{L1}	S_1
	I_{L2}	S_2
	⋮	⋮
	⋮	⋮



FACULTAD DE INGENIERIA

GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA.

PRACTICA No. 7 : SATURACION EN VACIO Y EN CORTO CIRCUITO

PRACTICA No. 8 : ACOPLAMIENTO.

FACULTAD DE INGENIERIA

SATURACION EN VACIO Y EN CORTO CIRCUITO

Saturación sin carga.

Este tipo de curva nos indicará el estado magnético de la máquina en prueba cuando ésta está sin carga. Podrá ser calculada o determinada experimentalmente, - siendo nuestra función hacerla por vía experimental en el Laboratorio. La curva que se obtenga se representará en ejes coordenados, colocando en el eje de las abscisas la corriente de excitación, y en el eje de las ordenadas el voltaje, ya sea entre fase y neutro, o entre fases, según sea éste el que se determine. Nosotros trabajaremos con el voltaje entre fases.

Esta curva deberá tomarse a una velocidad constante, por lo que, cuando no lo esté para corregir la curva, se multiplicarán las lecturas obtenidas por la relación de la velocidad nominal a la velocidad a la que se tomó la lectura. Esto se aplicará también cuando no sea posible girar la máquina en prueba a su velocidad nominal.

Para conocer la velocidad nominal de la máquina se utilizará la expresión :

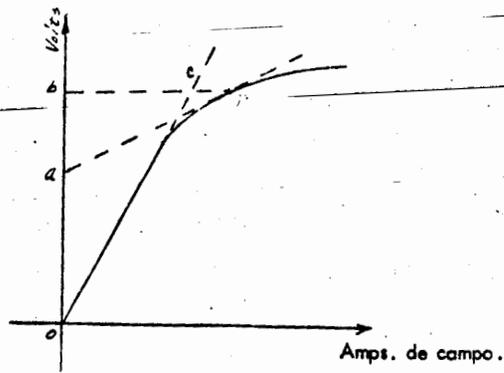
$$f = \frac{N P}{120}$$

siendo

- N - velocidad en r.p.m.
- P - No. de polos.

La parte inicial de nuestra curva será rectilínea en virtud del alto valor magnético existente en el entrehierro, pero esta curva se irá separando de la línea recta conforme el aumento de la saturación de las partes metálicas del circuito.

Aunque el campo de la máquina no tiene magnetismo remanente, la curva en la mayoría de los casos no pasará por el origen, debida a magnetizaciones recientes, pero la prolongación de la línea recta sí pasará. En máquinas nuevas no se observará este fenómeno.



Para expresar el grado de saturación de un circuito magnético, se tendrán tres maneras diferentes.

a). En por ciento del voltaje. Supongamos para el punto P de la curva, su relación en por ciento será de α , entre \overline{ab} , donde la recta \overline{ap} es tangente a la curva en el punto P.

b). El factor de saturación para cualquier punto de la curva, será el límite - de la relación entre el aumento relativo de la corriente de campo y el aumento relativo de la tensión, cuando ambos tienden a cero. O sea se tendrá la siguiente expresión :

$$K = \frac{\frac{dI}{I}}{\frac{dV}{V}} = \frac{V}{I} \cdot \frac{dI}{dV} \dots \dots \dots (1)$$

por triángulos semejantes en la figura anterior, tenemos lo siguiente :

$$\frac{dI}{dV} = \frac{\overline{bP}}{\overline{ab}}$$

además se tiene que \overline{bP} es I y \overline{ab} es V, por lo tanto al sustituir en (1) se tendrá :

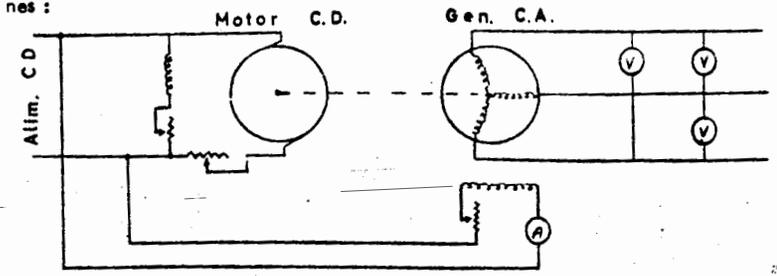
$$K = \frac{\overline{ab}}{\overline{bp}} \times \frac{\overline{bp}}{\overline{ab}}$$

que nos quedará finalmente

$$K = \frac{\overline{ab}}{\overline{ab}}$$

c). En por ciento de amperes. Esta será la relación en por ciento de la desviación de la curva respecto a la línea recta, es decir α , entre la abscisa de la curva en el punto en cuestión, que sería \overline{bp} .

Para la realización de esta prueba se tendrá el siguiente diagrama de conexiones :



o sea nuestra máquina en prueba será accionada por un motor de corriente directa, con lo cual nos permitirá mantener constante la velocidad de la máquina. La excitación del generador de C. A., será independiente, utilizando como instrumento de medición un ampermetro y tres voltímetros (en el caso que sean exactos e iguales, lo mismo que su calibración), cuando no se encuentre esta condición de preferencia se usará un vólmetro. Los voltajes obtenidos deberán ser balanceados entre las fases.

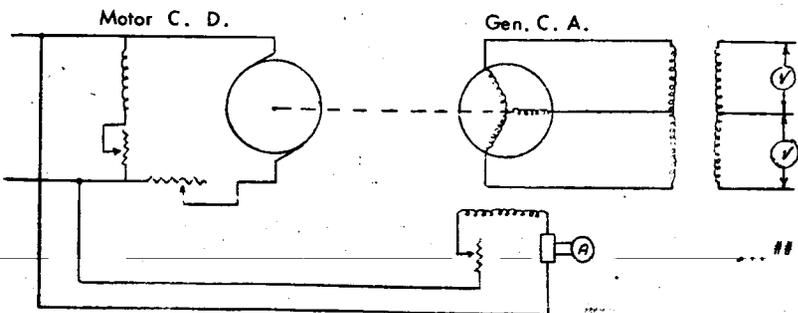
La tabla por utilizar será entonces la siguiente :

R.P.M.	V ₁	V ₂	V ₃
500			
"			
"			
"			
"			
"			

Refiriendo como se indicaba en un principio el voltaje al eje de las ordenadas y la corriente de campo al eje de las abscisas.

El procedimiento a seguir será el siguiente. Se incrementará la corriente de campo con mucho cuidado con el objeto de que el voltaje deseado no sea excedido, en el caso de que se exceda, se tomará la lectura a ese voltaje y se procederá al siguiente punto. Si es necesario reducir la corriente de campo para obtener una lectura deseada, el circuito tendrá que abrirse completamente con objeto de eliminar el magnetismo residual. Se llevará la curva de saturación a aproximadamente 150% del voltaje normal. El voltaje entre las tres fases será leído en el punto de voltaje normal, y estos voltajes deberán ser balanceados. El voltaje a través de cada fase deberá ser 1.41 el voltaje entre fase y neutro.

Cuando se desee efectuar pruebas en máquinas de gran capacidad, se hará uso de transformadores de corriente y de potencial, con objeto de tomar las lecturas en baja tensión, haciendo después la transformación correspondiente al computar la tabla resultante, tomando en cuenta la relación de transformación de los transformadores, así como de los aparatos. El diagrama de conexiones será :



Un ejemplo de las lecturas tomadas a una máquina en prueba de este tipo será el siguiente :

R.P.M.	Volts.		I _c
	C - R - 100 X - 60	C - 200 R - 100	
500	0	0	
500	19.5	9.1	
500	39.2	18.3	
500	59.4	28.5	
500	80.9	40.6	
500	96.0	50.3	
500	110	64.0	
500	120.5	75.5	
500	130.0	90.0	
500	140.0	110	
500	148.0	120.5	
500	154.0	130.0	
500		140.0	
500		148.0	
500		154.0	

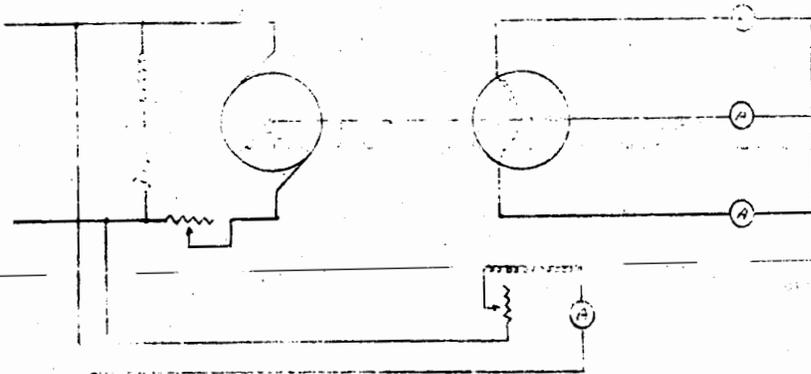
Computando los datos tomados en laboratorio con las relaciones de transformación, nos quedará :

R.P.M.	Volts.	Amp. Campo
500	0	0
	1170	18.2
	2352	36.6
	3564	57.0
	4854	81.2
	5760	100.6
	6600	128.0
	7230	151.0
	7800	180.0
	8400	220.0
	8880	262.5
	9240	307.5

datos que serán los que se refieran a la gráfico correspondiente.

Curva de corto circuito

Para la realización de esta prueba se usa el mismo diagrama de conexiones usado en la prueba de saturación en vacío, exclusivamente difiere, en que en nuestra máquina en prueba se conectan los embobinados del estator en corto circuito intercalando entre cada uno de ellos un ampérmetro de manera de que se pueda medir la corriente en cada fase.



El procedimiento será el siguiente. Se cerrará el circuito de campo con su reostato ajustado a la máxima resistencia. Se observará la corriente del estator cuidadosamente, incrementando la corriente de campo hasta que la corriente en el estator corresponda a plena carga. En este punto se leerá la corriente del estator en cada fase con el objeto de estar seguro de que la corriente está balanceada.

Entonces se incrementará esta corriente hasta obtener 150 % de plena carga.

Se leerán entonces en este punto la corriente de campo, la corriente del estator o de línea, la velocidad, (que debe ser constante en todas las lecturas) y la temperatura de los embobinados. A continuación se decrecerá en pasos de 25% de carga tomando lecturas completas en cada punto. La temperatura en cada punto debe ser la más constante posible por lo que se iniciará la prueba por el punto de mayor carga.

El objeto de esta curva es determinar la relación de corto circuito existente entre la corriente de campo y la de armadura, por lo que se trazará la curva refiriéndose al eje de las abscisas la corriente de campo y al eje de las ordenadas la corriente de línea. Esta quedará prácticamente como una línea recta, como se indica en la figura 1.

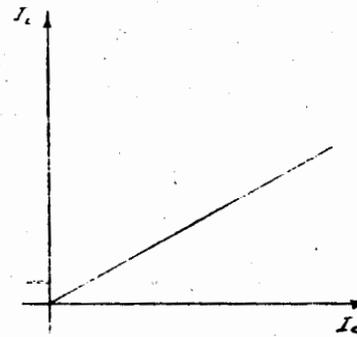


Fig. 1

R.P.M.	I _a	I _c	Temp.

Fig. 2

La tabla correspondiente será la anotada en la figura 2.

Lo mismo que indicamos para la curva de saturación sin carga, cuando son máquinas muy grandes, se hará uso de transformadores de potencial y de corriente según se requiera, calculando después los valores reales a partir de las lecturas registradas.

Se anota a continuación un ejemplo de esta prueba en una máquina de gran capacidad, en primer lugar se tendrá la tabla registrada durante la prueba, teniendo a continuación el cálculo final basado en las relaciones de transformación de los aparatos utilizados en la medición.

Tabla registrada.

R.P.M.	Amps. línea C - R - 10 X - 120		Amps. campo C - 300 R - 100		Temp. °C
500 ↓		5.74		68.5	41.0
		C-5 R - 10		C - 200	
		X - 120		R - 100	
		9.35		83.0	41.0
	7.62	7.62	7.62	67.3	40.5
		5.64		50.1	40.0
		3.89		34.2	39.0
	1.93		16.8	39.0	
	0		0		

Tabla computada

R.P.M.	Amp/fase	Amp camps.
500 ↓	688,8	205.5
	561.0	166.0
	457.2	134.6
	338.4	100.2
	233.4	68.4
	115.8	33.6
	0	0

Curva de impedancia en sincronismo

Esta curva da la relación de la fem. inducida y la intensidad de la corriente en la armadura, cuando ésta se encuentra en corto circuito.

Las f.e.m. anotadas en esta curva no son valores observados sino que corresponden a los de la curva de saturación en vacío con una corriente de excitación medida.

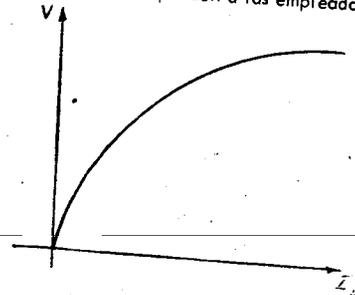
La curva se obtiene de las anteriores llevando como ordenadas los voltajes -- obtenidos de la primera (por fase) y las corrientes de línea de la segunda correspondientes a la misma corriente de excitación como abscisas.

$$Z = \frac{fem}{I}$$

Con los valores de la impedancia puede calcularse la regulación de los generadores de corriente alterna.

Cuando la máquina está en reposo su impedancia no es la misma que cuando está girando a su velocidad de sincronismo.

Este trabajo se facilitará cuando las dos primeras curvas tienen la misma escala para las corrientes de excitación y las escalas de voltaje en la primera y de corriente de línea de la segunda corresponden a las empleadas en esta última.



Acoplamiento en paralelo y sincronización de los generadores de corriente alterna.

Como 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 tres 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 uno 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 de 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.

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 monofásicos

El circuito de conexión será de la siguiente manera:

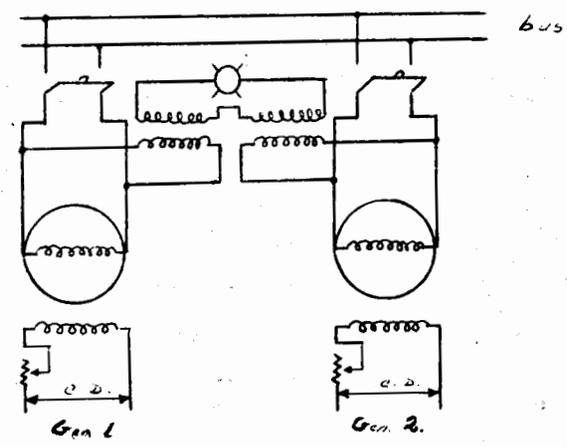
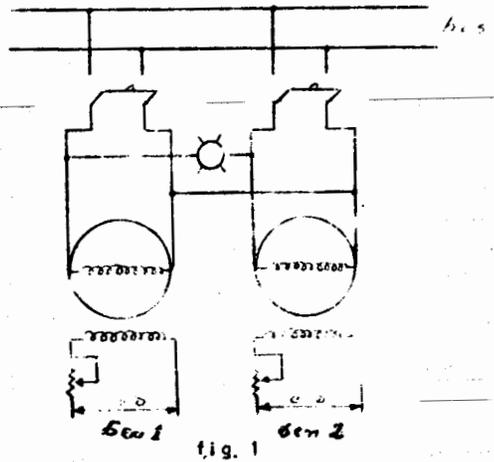


figura 2.

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.

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

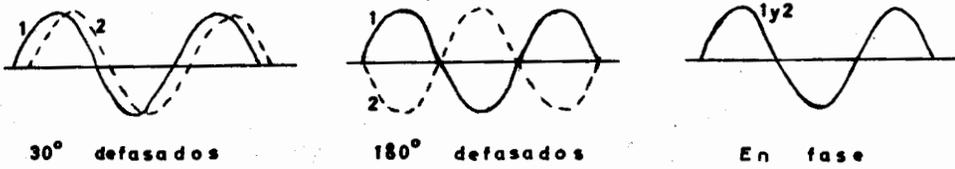
4.- Se cerrará su swich correspondiente alimentando el bus de distribución.

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.



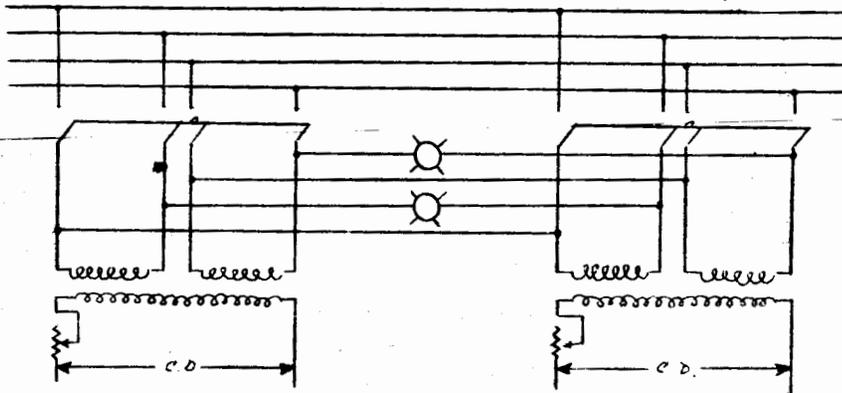
8.- En el caso de que se emplee un sincronoscopio, sus bornes terminales se conectarán a los que en la figura está conectada la lámpara.

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 de que en este caso podría suceder que las lámparas encendiesen alternadamente, indicando--nos que la secuencia de fases es incorrecta, cosa que corregiremos al intercambiar se las terminales de una de las máquinas.

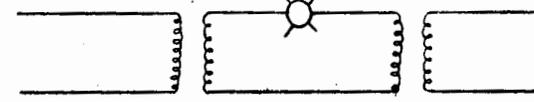
El switch deberá cerrarse cuando ambas lámparas se encuentren apagadas.

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



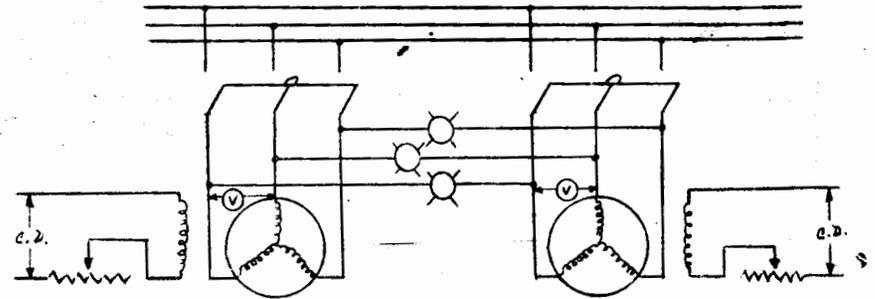
... ##

4
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:

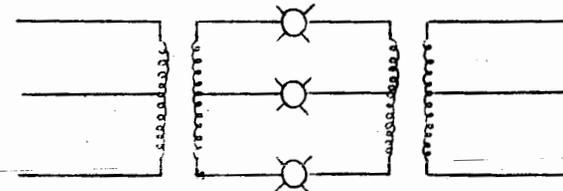


El procedimiento a seguir para la sincronización de los generadores trifásicos será muy similar al ya descrito con anterioridad para los generadores monofásicos, o sea, se arranca uno de ellos a su velocidad normal, regulándose su voltaje y frecuencia normales se cierra entonces el switch de conexión si 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 :

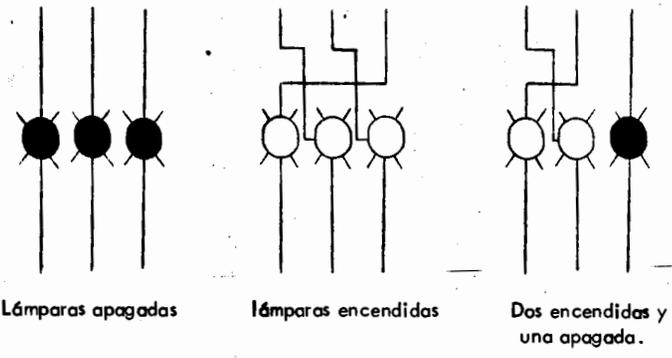


... ##

- 5 -
5

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.

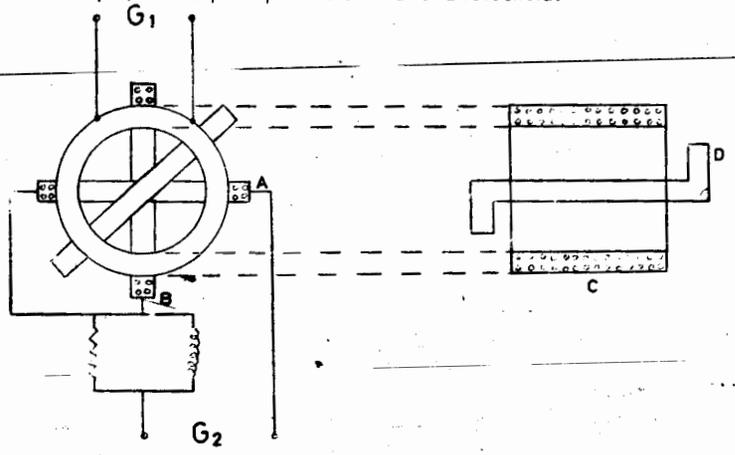
Los siguientes diagramas nos indicarán la manera en que deben de conectarse las lámparas cuando se quiere utilizar uno u otro procedimiento



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 con-- nectar en paralelo, el cual proporciona en instante preciso en que se debe cerrar el swich para el acoplamiento correcto, sin embargo este aparato no proporciona -- la secuencia de fases, por lo que en muchas instalaciones, se usan además del sin-- cronoscopio, las lámparas para determinar esta secuencia.

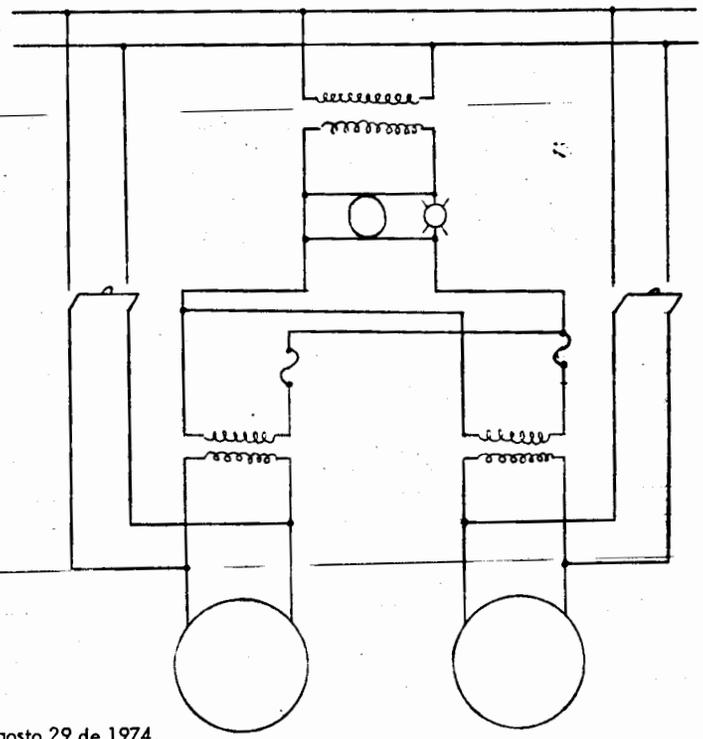


- 6 -

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 ba-- rras colectoras. La bobina, estacionaria como las anteriores que forma el embobi-- nado de campo del pequeño motor, estará conectada 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 voltajes y fre-- cuencias.

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



Agosto 29 de 1974.

'czh.-

FACULTAD DE INGENIERIA

MOTOR SINCRONO

PRACTICA No. 9 : ARRANQUE DEL MOTOR. CURVAS V.

PRACTICA No. 10 : PAR, POTENCIA Y EFICIENCIA.

FACULTAD DE INGENIERIA

Motores Síncronos. Características y curvas "V"

A.- Características

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

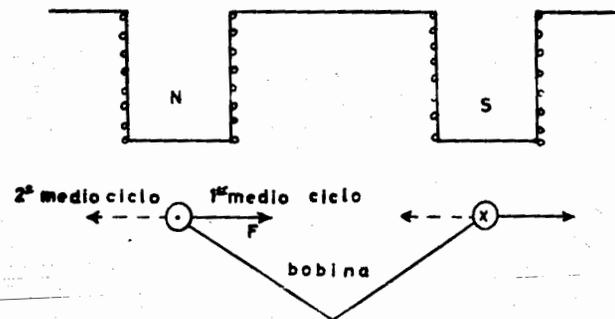
- 1.- Tienen una jaula de alta resistencia en las piezas polares, con el objeto de tener un par de arranque mucho más elevado.
- 2.- Mayor relación entre la potencia máxima y la normal para facilitar la transición entre el arranque y la marcha normal.
- 3.- Devanados dobles en cada circuito, conectados 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 tiende a oscilar, y como la variación de la dirección de la corriente es de 50 cps., el rotor no se mueve. La condición necesaria para que la bobina pueda recorrer ese paso durante medio ciclo, es que la máquina esté girando a la velocidad de sincronismo, velocidad, que como ya hemos visto está dado por la siguiente expresión:

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

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 síncrono.

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 síncrono 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 síncrono 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", de nominadas así por la forma que presentan, las cuales relacionan las corrientes del estator y del rotor para una carga dada y una tensión constante.

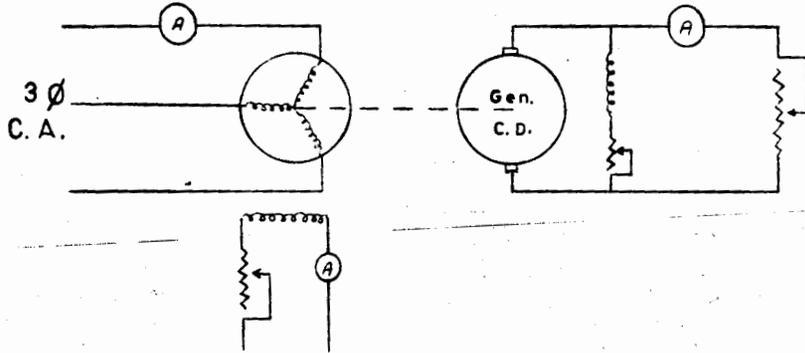
Las curvas "V" tienen varias aplicaciones, entre las cuales se puede contar el ajuste previo de la corriente de campo de un motor cuya carga es variable, cuando se desea mantener el factor potencia dentro de los límites especificados y no existe personal

... ##

... ##

para ello. Para esto se marcan puntos en cada curva con el factor que les corresponde, 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 síncro no dada 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 :



Al motor síncro 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_a	I_c

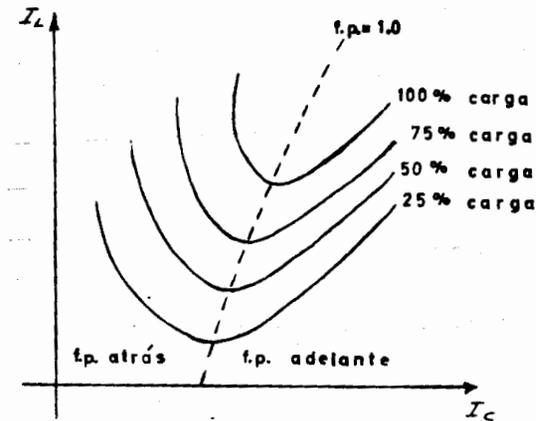
2.- Se arrancará el motor iniciándose por tomar en primer lugar la curva "V" sin carga, (solo se tendrá ligera carga que será producida por el arrastre del generador de corriente directa). Para determinar esta curva se iniciará disminuyendo prácticamente casi toda la excitación, para posteriormente ir 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 potencia unitario, en ese momento, por medio del réostato de carga conectado al generador de corriente directa, se regulará para obtener la carga buscada.

4.- Una vez obtenidos los datos correspondientes, se llevarán a ejes coordenados, 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.

Agosto 29 de 1974.

czh.-

Determinación del par, potencia y eficiencia de un motor síncrono

Para la obtención de la eficiencia principalmente de motores pequeños (por ejemplo hasta 200 HP) se pueden utilizar dos métodos, que son por medio del 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 :

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

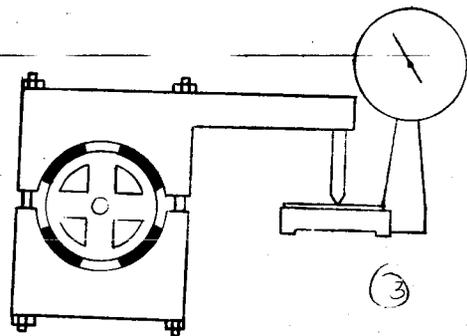
$$1 \text{ KW} = 1.34 \text{ H.P.}$$

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.

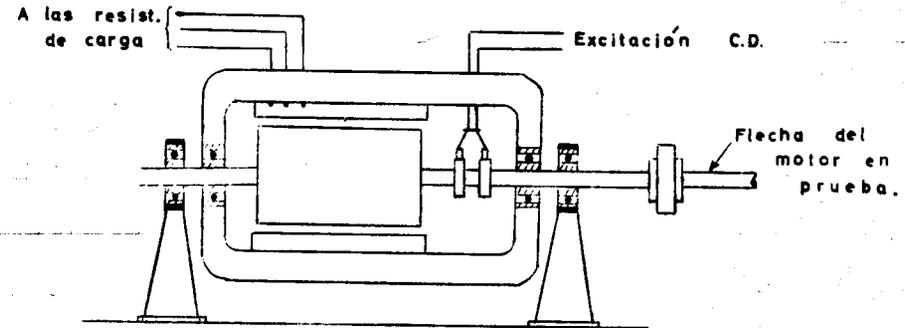
Ahora, la potencia de entrada se obtendrá a partir de las lecturas obtenidas en los wáttmetros instalados a la entrada del motor



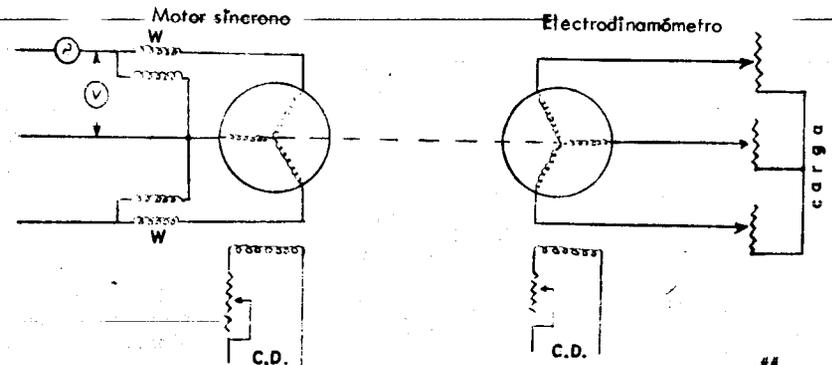
Cuando se prueban máquinas grandes es conveniente utilizar una polea hueca, con objeto de permitir un enfriamiento con agua en su parte interior.

Electrodinamómetro

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 dinámómetro. 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.



El diagrama a utilizar en esta prueba es como sigue :



El procedimiento a seguir será el indicado a continuación :

1.- Se registrará la tabla siguiente :

W R.P.M.	I _L Amps.	F Lbs.	T Pie-Lb	Pot. mec. H. P.	Pot. eléct. K.W.	η %	F.P.

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 anteriores.

4.- Para su cálculo se hará de la siguiente manera. En primer lugar 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 :

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

donde :

T.- Par

W.- velocidad en r.p.m.

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

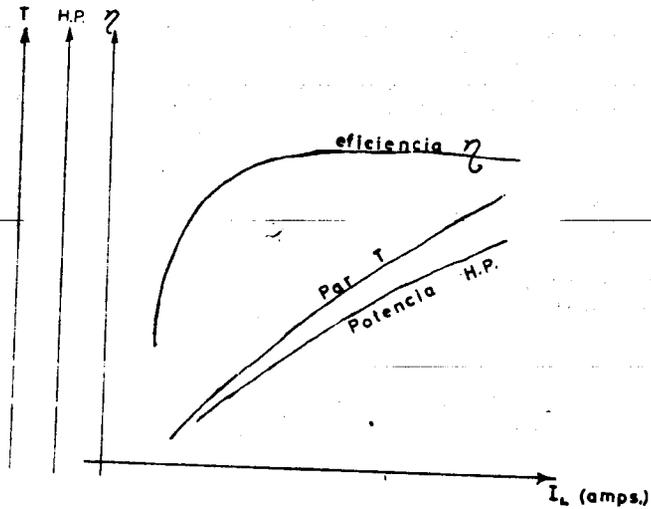
$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia eléctrica.}}$$

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.

... ##

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 :



Septiembre 2 de 1974.

'czh.-

FACULTAD DE INGENIERIA

MOTOR DE INDUCCION POLIFASICO

PRACTICA No. 11 : SATURACION EN VACIO.

SATURACION CON ROTOR BLOQUEADO.

PRACTICA No. 12 : CARACTERISTICAS DE OPERACION (HEYLAND).

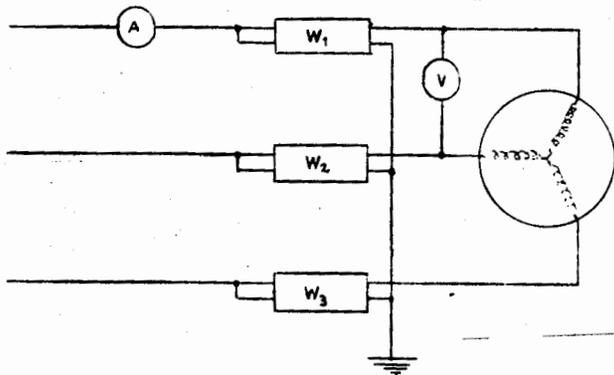
FACULTAD DE INGENIERIA

Curvas de saturación en vacío y con el rotor bloqueado. Medición del deslizamiento y arrancadores de los motores de inducción.

Curva de saturación en vacío

Esta prueba nos indica el estado de saturación del circuito magnético y además nos ayudará a determinar de una manera más o menos exacta las pérdidas que por fricción y ventilación posee el motor, así como las pérdidas en el núcleo y en el cobre -- (éstas últimas sin carga).

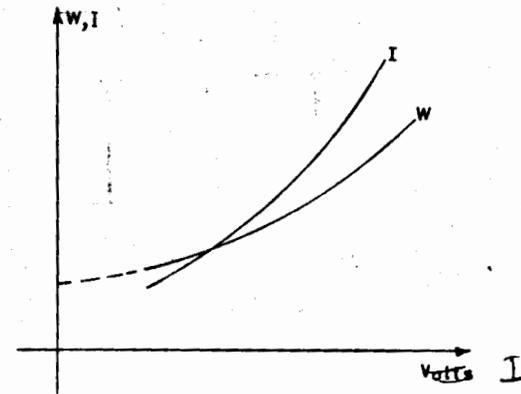
Para obtener los valores necesarios para esta curva, la conexión que deberá hacerse será como sigue :



La prueba en cuestión consiste en correr el motor sin carga, aplicando en primer lugar pequeñas tensiones hasta conseguir que arranque, este valor particular de la tensión se denomina "tensión mínima de arranque", a continuación se hace variar acrecentando la tensión aplicando valores escalonados y espaciados lo más uniformemente posible, haciendo las lecturas correspondientes de diferencia de potencial aplicada entre fases, amperes de línea y potencia consumida, según se indica en la siguiente tabla :

V	I _L	Pot. consumida		
		W ₁	W ₂	W ₃

Con los datos obtenidos, se referirán a ejes coordenados, colocando en el eje de las abscisas al voltaje entre fases, y como ordenadas quedarán las intensidades de corriente y potencia consumida, pudiendo trazar en estas condiciones las curvas buscadas, que quedarán aproximadamente como sigue :



De la curva de potencia contra voltaje aplicado se podrán obtener las pérdidas que por ventilación y fricción posee el motor, prolongando la parte baja de la curva hasta el punto donde esta línea corta al eje de las ordenadas, correspondiendo este valor a las pérdidas mencionadas.

Como todas las pruebas en las máquinas eléctricas, debe efectuarse ésta -- cuando la temperatura del motor sea la de trabajo normal y la lectura de los wátmetros ya esta estabilizada.

Las pérdidas eléctricas son calculables y conociendo las totales, pueden determinarse las magnéticas restando de las pérdidas totales mencionadas las mecánicas y las eléctricas.

Curva de saturación con rotor bloqueado

El objeto de esta prueba es el de determinar la intensidad de corriente, el par y el factor de potencia, en el arranque. Para su realización se usará el mismo diagrama anterior, bloqueando el rotor de la máquina con una palanca cuyo extremo libre se descanzará sobre una báscula.

Se comprende que estando el rotor frenado, los devanados se calentarán intensamente en esta prueba, por ella no es recomendable hacerla a tensión normal, a menos que se trate de máquinas pequeñas o de baja velocidad, sin embargo, cuando esta prueba se requiere a tensión normal y los correspondientes valores no pueden ser obtenidos directamente, pueden calcularse por extrapolación, aceptando que la intensidad de corriente varía directamente con el voltaje, el par con el cuadrado de la tensión aplicada y la potencia de entrada es a un factor potencia constante.

Para la realización de esta prueba se tomará la siguiente tabla :

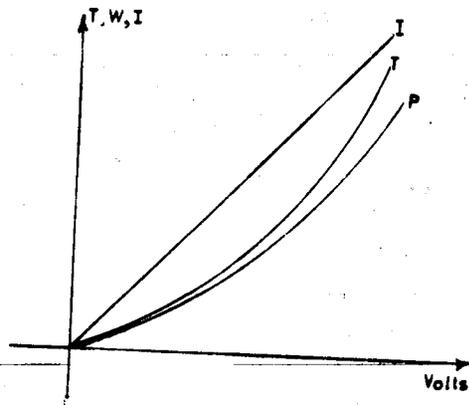
... ##

... ##

V	I _L	Potencia consumida			F
		W ₁	W ₂	W ₃	

La prueba se iniciará aplicando la tensión máxima, disminuyendo paulatina- mente ésta hasta la mínima, evitando así en lo posible que la temperatura de los de- vanados se eleve peligrosamente durante la prueba, y si esto ocurriese, aún queda- el recurso de correr al motor en vacío hasta que su propia ventilación lo deje en -- condiciones de continuar la prueba.

Se tomarán lecturas aproximadamente a 100, 80, 60, 40 y 20% de la tensión nominal (las altas calculadas), registrándose los valores de voltaje, corriente, watts y fuerza en la tabla anterior, midiendo también la longitud del brazo de palanca. -- Las curvas correspondientes quedarán como sigue, si se refiere la corriente, watts y - par a las ordenadas y voltaje en las abscisas.



Septiembre 2 de 1974.

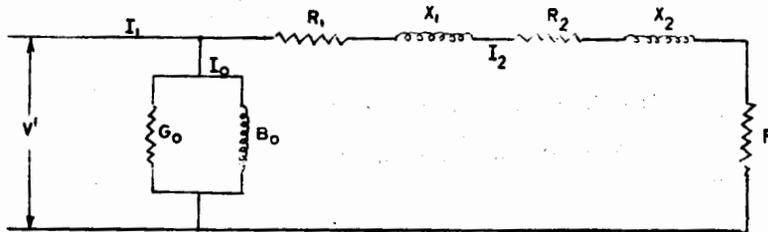
lczh.-

Motor de Inducción. Diagrama circular de Heyland.

Las características de operación de un motor de inducción es posible encontrarlas ya sea por medio de su circuito equivalente o por medio del diagrama circular de Heyland. El primer método es de una precisión mayor, pero requiere una serie de cálculos que lo hacen mucho más complicado que el segundo, más sencillo, pero no tan preciso.

En el laboratorio nos limitaremos a calcular las características de operación del motor de inducción por medio del diagrama circular de Heyland. Este diagrama se basa en el circuito equivalente, en el cual la corriente de excitación no pasa por el estator y las impedancias primaria y secundaria quedan en serie y pueden ser sustituidas por una sola, formada por una reactancia constante y una resistencia variable.

El circuito equivalente aproximado del motor de inducción es de la siguiente manera. (fase a neutro).



donde

- V' .- Voltaje de fase a neutro.
 R_1 y X_1 .- Resistencia y reactancia del estator
 R_2 .- Resistencia del rotor.
 X_2 .- Reactancia del rotor parado
 G_o .- Conductancia sin carga.
 B_o .- Susceptancia sin carga.
 I_o .- Corriente de excitación
 I_1 .- Corriente total del motor
 I_2 .- Corriente secundaria.
 R .- Representa la carga mecánica $(R_2 \frac{1-s}{s})$

En cualquier circuito serie, es sabido que si la reactancia permanece constante y la resistencia varía, el lugar geométrico del vector corriente es un círculo, observando el circuito, la corriente I_o de excitación a través del circuito paralelo es constante, en el circuito de la derecha, las reactancias X_1 y X_2 y las resistencias R_1 y R_2 son prácticamente constantes, pero R varía con la carga, por lo tanto el lugar geométrico del vector corriente I_2 es un círculo; ahora como la corriente total del motor I_1 es la suma de la corriente variable I_2 más la corriente constante I_o , entonces también el lugar geométrico del vector I_1 es un círculo.

De lo anterior, podemos concluir que el diagrama circular de Heyland se basa en el siguiente postulado: El lugar geométrico de los vectores representativos de la corriente primaria de un motor de inducción, cualquiera que sea el circuito que lo constituya, es un círculo.

Este principio significa que si la carga de un motor es variada, pero con la tensión y la frecuencia de alimentación constantes, la corriente puede ser cualquier vector que parta del origen y termine en la circunferencia de acuerdo con las condiciones de operación del motor, o sea que cada uno de los puntos de la circunferencia corresponde a una operación particular del motor.

Los datos necesarios para la construcción del diagrama circular son obtenidos de las siguientes mediciones:

1.- Motor girando en vacío.

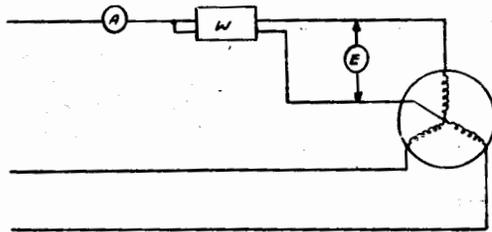
Se echará a andar el motor alimentándolo en su voltaje nominal y sin aplicarle ninguna carga, midiendo en esas condiciones los valores anotados a continuación:

- E .- Voltaje nominal por fase.
 I_o .- Intensidad de corriente por fase (corriente de excitación).
 W_o .- Potencia en watts por fase.

con estos datos se podrá calcular el factor de potencia sin carga como sigue :

$$\cos \phi_0 = \frac{W_0}{E \cdot I_0}$$

El circuito utilizado deberá ser de la siguiente manera :



2.- Motor con el rotor bloqueado.

Para obtener este segundo grupo de lecturas, se usará el mismo circuito anterior, bloqueando exclusivamente el rotor de la máquina. Con objeto de que la corriente se conserve dentro de límites razonables, el voltaje de alimentación por fase, se reducirá a un valor tal que la corriente de corto circuito alcance un valor aproximadamente igual que el nominal de la máquina. En estas condiciones se tomarán las siguientes lecturas :

E'_r .- Voltaje por fase en estas condiciones.

I'_r .- Intensidad de corriente por fase.

W'_r .- Potencia en watts por fase.

A partir de estos datos obtenidos con voltaje reducido se calcularán sus valores reales a voltaje nominal, en el concepto de que I es proporcional a E y W es proporcional a E^2 , calculándose también el factor de potencia correspondiente, quedarán las siguientes ecuaciones :

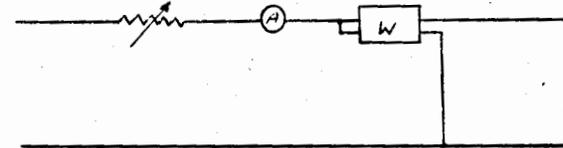
$$I_r = I'_r \cdot \frac{E}{E'_r}$$

$$W_r = W'_r \cdot \frac{E^2}{E'^2_r}$$

$$\cos \phi_r = \frac{W'_r}{I'_r \cdot E'_r}$$

... ##

3.- Se medirá la resistencia R_1 de una fase del primario, para lo cual se podrá usar la siguiente conexión :



en donde el valor de la resistencia eficaz será igual a :

$$R = \frac{W}{A^2}$$

estando en estas condiciones listos para el trazo del diagrama circular y por consiguiente para encontrar las características del motor de inducción.

Las escalas que se utilizarán serán como sigue :

El voltaje de un valor fijo.

La escala de intensidad de corriente es arbitrario.

La de la potencia en watts es la de la corriente multiplicada por el voltaje.

La de los caballos de potencia es igual a la escala de los watts dividida entre 746.

El deslizamiento es una relación de la longitud de dos líneas y no una escala.

Para trazar el diagrama se seguirá la siguiente secuela :

a).- De los valores obtenidos en el punto número 1, se trazará el voltaje por fase E verticalmente, y la corriente de excitación I_0 (por fase) es representada con un ángulo ϕ_0 de E y atrasada.

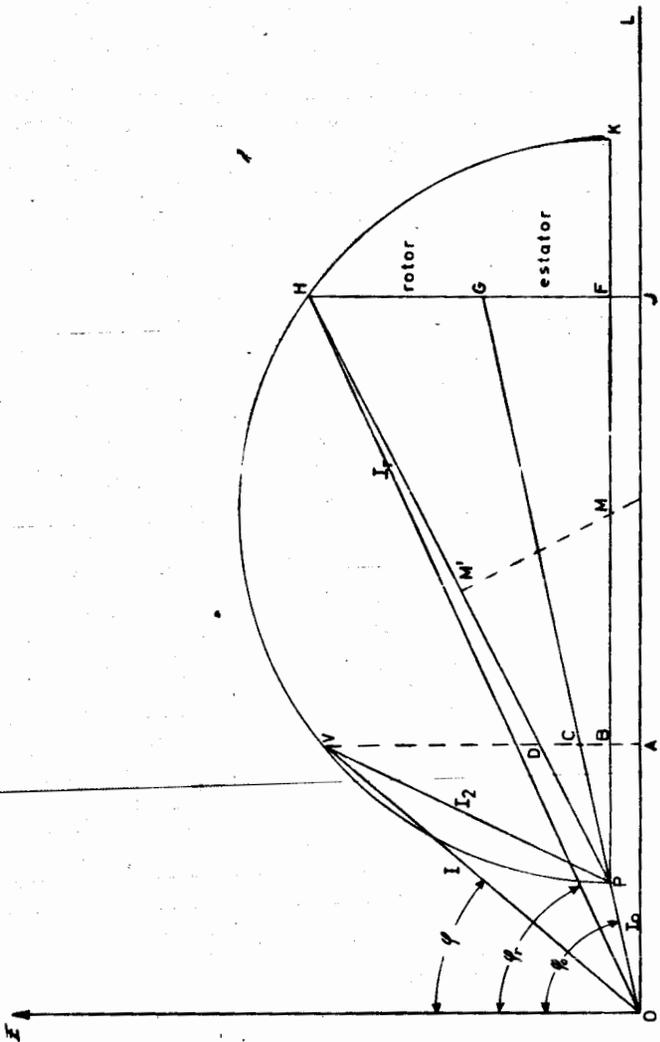
b).- Se dibujará la línea OL formando un ángulo de 90° con OE y en la dirección de las manecillas del reloj.

c).- De los valores obtenidos en el punto No. 2 se trazará I_r describiendo un ángulo ϕ_r con OE, por lo tanto determinarán los puntos P y H del círculo.

d).- En esas condiciones se dibujará la línea PH, trazando también PK que será paralela a OL. (no será necesario conocer el punto K para construir el diagrama).

e).- Con la línea PK como diámetro se dibujará un semicírculo a través de los puntos P y H. El centro M de este semicírculo se encontrará trazando la perpendicular M'M al centro de la línea P-H. La intersección de la línea M'M con PK nos dará el centro M del círculo.

... ##



f).- A continuación se trazará una perpendicular de H a OL; la línea HF será dividida en dos segmentos por el punto 6 de tal manera que :

$$\frac{HG}{GF} = \frac{I_2^2 R_2}{I_1^2 R_1}$$

que es en proporción a las resistencias primarias y secundaria, asumiendo una relación 1 : 1 de las vueltas del rotor al estator.

La distancia HF es determinada en condiciones de rotor bloqueado, por lo cual, para encontrar el valor de GF será a partir de :

$$\frac{I_2^2 R_2}{I_1^2 R_1}$$

donde R_1 es la resistencia eficaz del estator encontrada en el punto 3, y I_E es el valor calculado de la corriente a rotor bloqueado. Encontrando en esas condiciones el punto G.

g).- Se trazará entonces la línea PG

h).- Ahora, para cualquier corriente de carga I, la corriente secundaria es igual a :

$$I_2 = PV$$

que vectorialmente será igual a :

$$I_2 = I - I_0$$

La interpretación del diagrama circular de Heyland será de la manera siguiente : (para una corriente I cualquiera) :

VA es la componente activa de la corriente, por lo cual, la potencia de entrada por fase será igual a :

$$P_1 = VA \cdot E$$

Las pérdidas en el núcleo y por fricción serán :

$$P_c = BA \cdot E \text{ (por fase)}$$

Las pérdidas eléctricas en el primario (estator).

$$I_1^2 R_1 = BC \times E \text{ (por fase)}$$

en el secundario (rotor) serán :

$$I_2^2 R_2 = CD \cdot E \text{ (por fase)}$$

La eficiencia

$$\eta = \frac{DV}{VA}$$

El par T referido a su escala correspondiente (K') es :

$$T = CV \cdot K'$$

El deslizamiento s es :

$$s = \frac{CD}{CV}$$

El factor potencia :

$$\cos \phi = \frac{AV}{OV}$$

Los valores de potencia, pérdidas y par obtenidos anteriormente son para una fase del motor, si el motor es de n fases, dichos valores deberán estar multiplicados por n.

La escala del par a que nos referimos con anterioridad es :

$$K' = 7.04 \times \frac{E}{N}$$

$$T = K' \cdot CV$$

donde :

- E.- Voltaje de alimentación
- N.- Velocidad de sincronismo.

Finalmente la velocidad de la máquina es igual a :

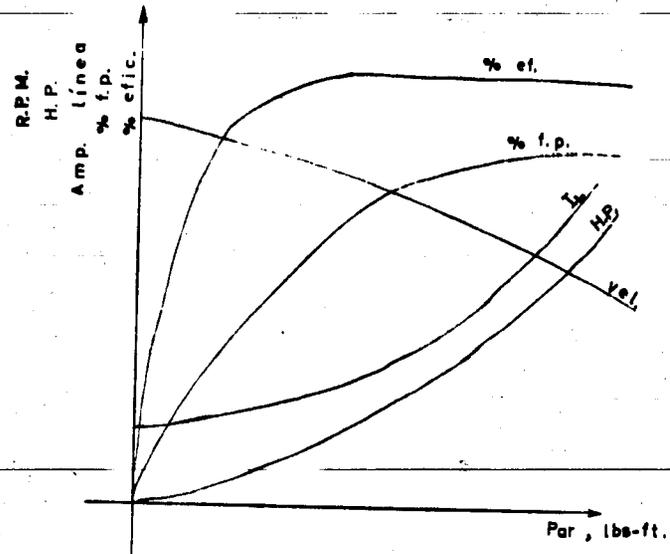
$$N_2 = N (1 - S)$$

... ##

donde :

- N_2 .- Velocidad del motor.
- N .- Velocidad de sincronismo
- S .- Deslizamiento.

Así como se describió el procedimiento para un valor específico de corriente, se podrán encontrar diferentes valores para distintos grados de carga, pudiendo de esta forma trazar las curvas características del motor de inducción. Si referimos al eje de las abscisas al par y al de las ordenadas la potencia de salida, corriente de línea, eficiencia, factor de potencia y velocidad, podremos tener las diferentes curvas características de la máquina, que quedarán representadas como sigue :



Septiembre 4 de 1974.

czh.-

MOTORES MONOFASICOS

PRACTICA No. 13 : ANALISIS DE LOS DIVERSOS TIPOS.

Motores Monofásicos

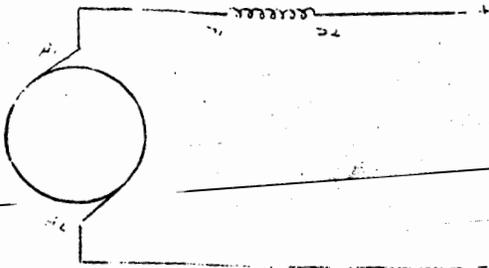
Entre los principales motores monofásicos de C. A. se pueden contar los siguientes :

- 1.- Motor serie
- 2.- Motor de repulsión
- 3.- Motor de inducción.

1.- Motor serie

El motor serie de corriente alterna es muy semejante al de corriente directa.

Del diagrama de un motor serie de corriente directa, tal como el que se representa en la figura, se puede observar que :



a).- Si se invierte la polaridad de la corriente de alimentación no se invertirá el sentido de giro del motor.

b).- En el caso de que se desee invertir el sentido de giro del motor, será necesario invertir el campo con respecto a la armadura de la máquina.

Ahora, en el caso de alimentarlo con corriente alterna, el par neto desarrollado actúa en una sola dirección.

En motores de corriente alterna no conviene tener un campo en derivación pues tendrá un par muy pobre debido a la alta inductancia de este campo.

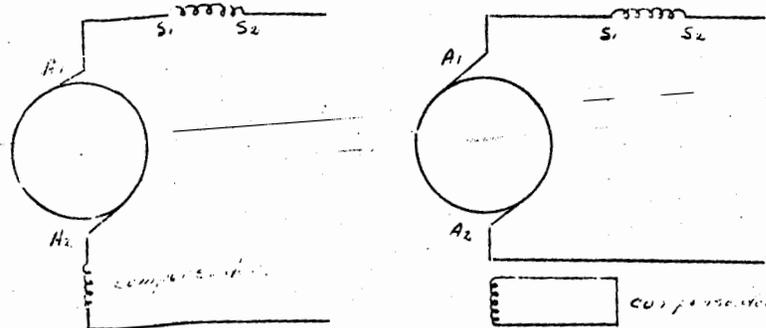
La diferencia entre un motor serie de C. D. y uno de corriente alterna -- consiste de los siguientes puntos :

a).- Se requerirá un circuito magnético laminar en los motores de C. A. con objeto de eliminar los efectos debidos a las corrientes parásitas.

b).- El campo serie de este motor tiene una alta reactancia, por lo que será conveniente que trabajen a baja frecuencia (25 a 15 ciclos).

c).- La armadura de un motor serie de corriente alterna para una capacidad dada, tiene un mayor número de conductores que una de corriente directa.

d).- El motor serie de corriente alterna tiene un menor número de vueltas en el campo y mayor número de vueltas en la armadura, que el correspondiente de C. D. de la misma capacidad. Esto supondrá una mayor reacción de armadura, que se contrarrestará por medio de un embobinado compensador, que se conectará en serie con la armadura o en corto circuito, tal como se muestra en la figura :

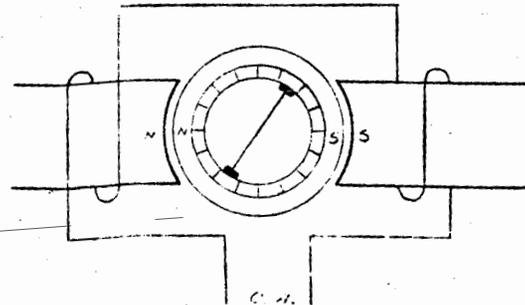


e).- En los motores de corriente alterna una fem transformada incrementa las dificultades de la comutación, problema que se ha resuelto al colocar resistencias entre las bobinas de la armadura y los segmentos del conmutador, también se puede resolver colocando interpolos en la máquina.

El uso principal de este motor es en tracción, como por ejemplo en las ferrocarriles.

2.- Motor de repulsión.

El diagrama esquemático de este motor se representa en la figura siguiente en donde se han colocado polos salientes pero en realidad la mayor parte de estos motores se prefiere usar polos lisos a los salientes.

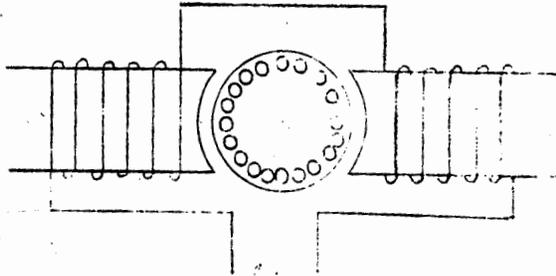


El motor de repulsión opera como sigue: Las escobillas estarán en corto circuito, por lo que esta conexión hará que se induzcan polos en el rotor de igual polaridad a los del campo, tal como se ilustra en la figura, esto hará que al tratar de repelerse los polos del mismo nombre se produzca el movimiento.

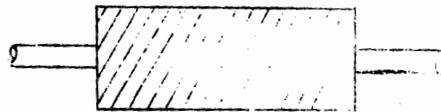
3.- Motor de inducción monofásico.

La desventaja principal de este motor es que requiere un impulso inicial para entrar en operación. Una vez en movimiento, el campo de la máquina induce en el rotor una fuerza electromotriz que produce el par, manteniéndolo de esta manera en movimiento.

El diagrama correspondiente de este motor es como se indica a continuación:



La jaula de ardilla de este motor es algo diferente en construcción al trifásico en virtud de que tiene los conductores inclinados, tal como se indica en la siguiente figura:

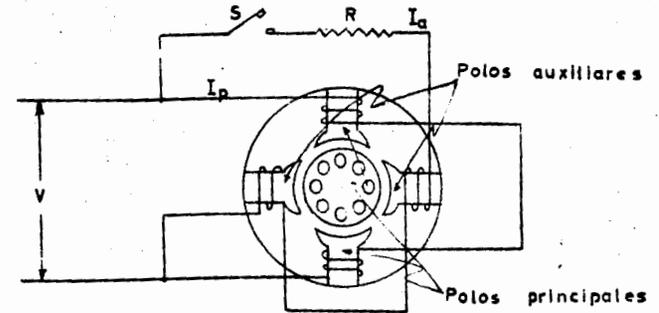


Como se indicó en un principio el principal problema existente en este tipo de máquinas es el arranque, problema que se ha solucionado por diferentes métodos, siendo los principales los indicados a continuación:

a). Fase dividida

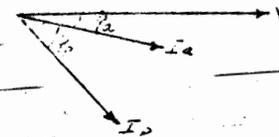
Este método consiste en dividir la fase por combinaciones de inductancias, resistencias y capacitancias.

El diagrama correspondiente para un motor de dos polos es como sigue:



El embobinado de los polos principales se conectará normalmente de la línea de alimentación; este embobinado es altamente inductivo. Entre los polos principales se colocarán los auxiliares los cuales tienen un embobinado de mayor resistencia y menor reactancia que el embobinado principal. En algunas ocasiones se conecta en el circuito una resistencia adicional.

Como la relación de resistencias a reactancias es mayor en el embobinado auxiliar que en el principal, su corriente estará atrasada del voltaje de línea un ángulo más pequeño que la corriente del principal, por lo cual estas corrientes diferirán en fase.

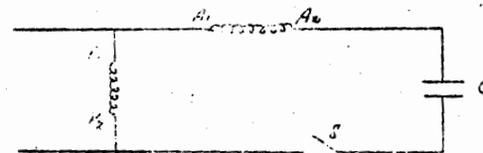


Estos dos tipos de polos producirán un campo rotatorio, que hará que arranque el motor. Cuando la máquina ha adquirido su velocidad nominal el interruptor de fuerza centrífuga S abrirá y desconectará el embobinado auxiliar.

b).- Capacitor.

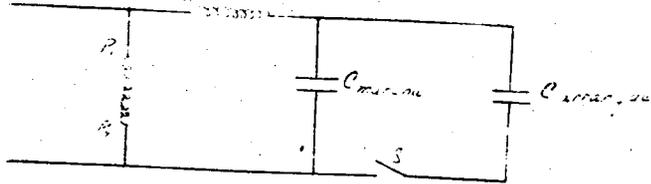
En virtud de que el arranque perfecto es con 90° de defasamiento, a la conexión anterior se le sustituye la resistencia por un capacitor, obteniendo en estas condiciones el defasamiento de 90°.

En el diagrama siguiente se ilustra esta conexión:



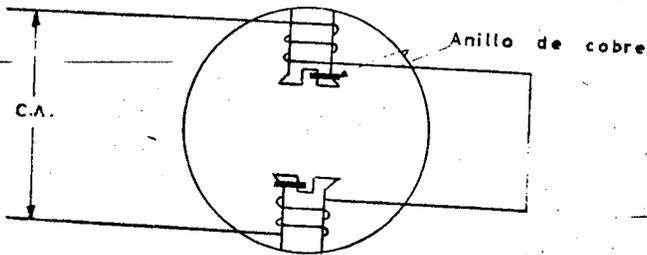
Pero, para una operación continua no es conveniente un defasamiento de 90° , por lo que cuando el motor vaya a trabajar en estas condiciones se utilizará un capacitor pequeño, en serie con la bobina auxiliar. Ahora, como este capacitor no es suficiente para el arranque, se le conectará otro capacitor de capacidad apropiada en paralelo. Este último capacitor se eliminará por medio de un interruptor de fuerza centrífuga una vez que el motor haya sido puesto en marcha.

Por lo tanto, el arreglo anterior consistirá de un capacitor de arranque y otro de marcha, quedando esquemáticamente su diagrama de conexiones como sigue :



c).- Polos sombreados.

Según se representa en la figura siguiente, para arrancar el motor de inducción por medio de este procedimiento se colocará un anillo de cobre en cada uno de los polos.



Estos anillos, en virtud de la variación del flujo en los polos, inducirán una fuerza electromotriz. Tal que de acuerdo con la ley de Lenz, se opone a la causa que la produjo, o sea, que debilitan el campo en ese lugar. Debido a que solamente se debilita una parte de cada polo, esto producirá un par que moverá al motor.

Las desventajas que presenta este método de arranque son las siguientes :

- 1.- Tiene fuertes pérdidas de f.e.m.
- 2.- En el caso que se quiera invertir el sentido de giro de la máquina, será necesario abrir el motor con objeto de cambiar los anillos.

d).- Tipo repulsión

Se puede utilizar el mismo principio indicado con anterioridad en el motor de repulsión para el arranque de un motor de inducción monofásica. Se le deberá intercalar en su circuito un interruptor de fuerza centrífuga, de tal manera que, una vez en operación normal, el motor, opere dicho interruptor y abra la conexión de corto circuito, permitiendo así la operación normal de la máquina.

Septiembre 5 de 1974.

l'czh.-