



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA ELECTROMECAÁNICA II**

ING. JOSÉ MÉNDEZ TÉLLEZ GIRÓN

CONVERSIÓN DE ENERGIA ELECTRONICA II

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA II

PRACTICA No. 1

DETERMINACION DE LAS PERDIDAS
MAGNETICAS EN UN TRANSFORMADOR
TRIFASICO.

G- 600700

SE
UNIVERSIDAD
FACULTAD DE INGENIERIA

PROP: Ing. José Méndez T.G.

ALUMNO: _____

GRUPO: _____

TRANS. y
MCA DE C.O.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO, CORRESPONDIENTES A LOS CURSOS DE
CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECÁNICA II Y III

G-600700

PUNTS 55

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, ha sido elaborado a fin de que sirva como un elemento auxiliar en el laboratorio, para los alumnos que cursan las materias de Conversión de Energía Electromecánica II y III. Así también, se pretende que su contenido les permita establecer un conocimiento preliminar de cada práctica a efectuar, consiguiendo de esta manera el profesor, disponer de más tiempo para la realización misma de las prácticas así como para la solución y respuesta de las dudas que de ellas resulten. Lo anterior es aún más válido si se toman en cuenta las limitaciones actuales del equipo disponible en el laboratorio de máquinas eléctricas, así como la gran cantidad de alumnos que cada semestre, concurren a él; situaciones que conducen, generalmente a abreviar la duración de los cursos impartidos.

Más aún en muchos casos se ha procurado recordar a través de enunciados prácticos y sencillos el principio de operación de algunos dispositivos de Conversión de Energía Electromecánica, mismos que ya han sido señalados en el primer curso, o que están siendo analizados en forma más idealizada en el segundo y tercer curso.

Por otro lado, atendiendo a dudas que frecuentemente presentan los alumnos en cada curso, se ha procurado extender la explicación de algunos temas que por sí solos no son fácilmente entendibles en la realización de la práctica en el laboratorio, o cuya aplicación no se visualiza fácilmente; como tal en el primer caso puede señalarse la "Determinación del Punto Neutro de una Máquina de Corriente Directa", o en el segundo caso, la "Determinación de la Curva de Saturación a Corriente Nominal y Factor de Potencia igual a Cero para un Generador de Corriente

Alterna" , con aplicaciones tales como: la obtención del valor de la reactancia de dispersión, de la reacción de armadura, y de la reactancia síncrona saturada, a partir del diagrama Potier.

En el caso de las pruebas a transformadores trifásicos, se ha procurado detallar y complementar la realización de tales, a fin de proporcionar a los alumnos un conocimiento más completo de las pruebas similares efectuadas durante el primer curso, tal es el caso en la "Obtención de Pérdidas Magnéticas y Eléctricas" y en la "Determinación de la Curva de Temperatura".

Para la prueba de "Acoplamiento de Generadores de Corriente Directa" , se ha deseado ejemplificar una situación de corto circuito que puede ocurrir al conectar en paralelo a generadores con excitación compuesta, la cual si no se previene, como es de esperarse, puede llegar a dañar a los generadores durante tal prueba .

Con la adquisición de nuevo equipo de laboratorio, tal como el rectificador de tiristores, ha sido necesario adecuar o al menos señalar nuevas alternativas, en la realización de algunas prácticas, tal como se muestra en el " Control de Velocidad en Motores de Corriente Directa ".

El actual trabajo está basado en la experiencia que el suscrito ha obtenido en la industria, en los años de colaborar en las labores docentes de nuestra Facultad y también en los diversos seminarios y cursos de actualización que ha venido impartiendo el Ing. Guillermo Aguilar C. con relación a este tema.

Es conveniente mencionar también, que a sugerencia del Ing. Víctor Pérez Amador, el título de la práctica anteriormente denominada-- " Determinación de la Curva de Saturación a Plena Carga y Factor de Potencia igual a Cero para un Generador de Corriente Alterna " , ha sido cambiado a " Determinación de la Curva de Saturación a Corriente Nominal y Factor de Potencia igual a Cero para un Generador de Corriente Alterna" , por considerarse más congruente este título con el contenido de la práctica.

Por último deseo agradecer al Ing. Francisco López Rivas su amplia colaboración , en la realización de estos trabajos.

Ing. José Méndez Téllez Girón
Profesor de Asignatura "B"
de la materia de Conversión
de Energía Electromecánica.

Octubre de 1975

Primera revisión: Junio de 1976
Segunda revisión: Junio de 1978

G-600700

DETERMINACION DE LAS PERDIDAS MAGNETICAS EN UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

Las pérdidas de vacío de un transformador, se representan principalmente por las pérdidas magnéticas en el hierro del núcleo del transformador, y dependen de la magnitud de la frecuencia y de la forma de la onda de la tensión aplicada.

Las pérdidas magnéticas son de dos tipos:

- a).- Pérdidas por histéresis.
- b).- Pérdidas por corrientes parásitas (también llamadas de Eddy o de Foucault)

Pérdidas de histéresis $\sim \frac{V^{1.6}}{f^{0.6}}$ n = 1.6 = cts. de Steinmetz.

Pérdidas por corrientes de Eddy $\sim V^2$

O sea que es válido decir que practicamente:

Pérdidas magnéticas $\sim V^2$

Las pérdidas en vacío y la corriente de excitación son muy sensibles a las diferencias de forma en las ondas y, por lo tanto, las mediciones de estas pérdidas variarán con la forma de onda de la tensión de prueba. Las ondas de la tensión en forma de pico con factor de forma mayor que 1.11, que generalmente resultan de la distorsión que ejerce la corriente de excitación de los transformadores sobre el generador de prueba, dan menores pérdidas en vacío que si fueran de forma senoidal. Las ondas de tensión de cresta aplanada, que raramente se encuentran en estas pruebas, dan mayores pérdidas en vacío.

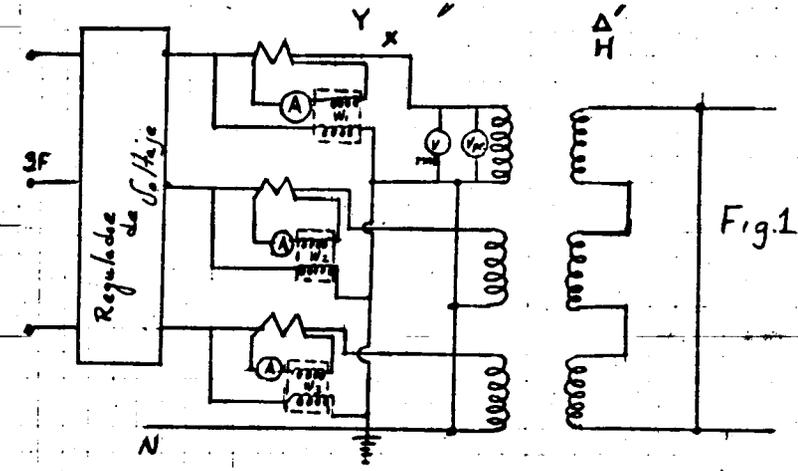
Prácticamente las variaciones de temperatura no influyen en las pérdidas en vacío; por lo tanto, no deben hacerse correcciones por variación de la temperatura.

La determinación de las pérdidas en vacío está basada en un voltaje de onda senoidal, a menos que el aparato vaya a trabajar con otra forma de onda.

Para determinar las pérdidas en vacío sobre la base de una onda senoidal, se utilizará el método de pérdidas en vacío por el método de voltmetro de tensión media.

Este método es el más recomendable por su mayor exactitud. Las pérdidas por histéresis son la mayor parte de las pérdidas en vacío, y dependen de la densidad máxima de flujo en el núcleo y son independientes, en cambio, de la forma de onda del flujo. Sin embargo, la densidad máxima de flujo depende del valor medio de la tensión (y no del valor eficaz) y, por lo tanto, si el valor medio del voltaje de prueba se ajusta a ser igual que el valor medio de la onda senoidal de la tensión y se mantiene una frecuencia adecuada, las pérdidas por histéresis tendrán el valor deseado de una onda senoidal. Este método de voltmetro de tensión media utiliza, naturalmente, un voltmetro indicador de tensión media, que consiste en un voltmetro de D'Arsonval, que tiene en serie con él un rectificador de onda completa. Estos instrumentos están generalmente graduados para dar la misma indicación numérica que un voltmetro de tensión eficaz o, mejor dicho, están marcado en valores equivalentes al eficaz de la onda senoidal.

Las conexiones utilizadas son las siguientes:



Por facilidades en cuanto a suministro de energía, ésta se suministra del

Cont.....

lado de baja tensión y, puesto que además la disposición de instrumentos así también lo requiere.

Se alimenta al transformador con un regulador de inducción que es un regulador de tensión que sirve para subir o bajar la tensión. El voltaje aplicado es el nominal.

Debe ajustarse la frecuencia al valor deseado por medio del frecuencímetro, así como la tensión, con el voltmetro de tensión media. Deben registrarse los valores simultáneos de la frecuencia, tensión eficaz, potencia, tensión media y corriente; desconectarse enseguida el transformador en prueba, y tomarse las lecturas de las pérdidas en el wattmetro, la cual representa las pérdidas de los instrumentos conectados (y el transformador de potencial, en caso de usarse), y esta lectura debe restarse a la primera lectura del wattmetro para obtener las pérdidas en vacío.

El valor correcto de las pérdidas totales en vacío del transformador, se determinan de los valores de la prueba por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Fm}{a + kb}$$

P = Pérdidas totales en vacío, a la tensión normal, y de una onda senoidal.

Pa = Pérdidas en vacío, medidas usando el voltmetro de tensión media.

a = Pérdidas por unidad, de corrientes histeresis, referidas a Pa.

b = Pérdidas por unidad, de corrientes de Eddy, referidas a Pa.

$$k = \left(\frac{E_m}{E}\right)^2$$

Em = Tensión eficaz (lectura del voltmetro de valor eficaz).

E = Tensión media (lectura de voltmetro de valor medio).

Deben usarse los valores actuales de las pérdidas por histeresis y corrientes de Eddy; pero en caso de no conocer estos valores relativos, puede tomarse al primero como a = 0.80 y al último como b = 0.20 (valores típicos para los mejores aceros al silicio, y considerando densidades normales de trabajo).

Las pérdidas por corriente de Eddy en el núcleo varían con el cuadrado de la tensión eficaz de excitación y, por lo tanto, son independientes de la forma de la onda de tensión. Cuando el voltaje de prueba se mantiene de acuerdo con un voltmetro de tensión eficaz de voltaje de prueba puede no ser el valor normal, y las pérdidas por corrientes de Eddy, en la prueba deben corregirse al valor nominal por la fórmula anterior.

La corriente de excitación finalmente será igual.

$$I_{\text{excitación}} = \frac{(I_1 + I_2 + I_3) \times \text{constante del transformador}}{3}$$

$$W_{\text{tot}} = W_1 + W_2 + W_3 \times (\text{constante wattmetro}) \times (\text{constante del transformador}).$$

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

DETERMINACION DE LAS PERDIDAS
ELECTRICAS Y EL PORCIENTO DE
IMPEDANCIA EN UN TRANSFORMADOR
TRIFASICO.

Práctica No. 2

PROF: Ing. José Mández T.G.

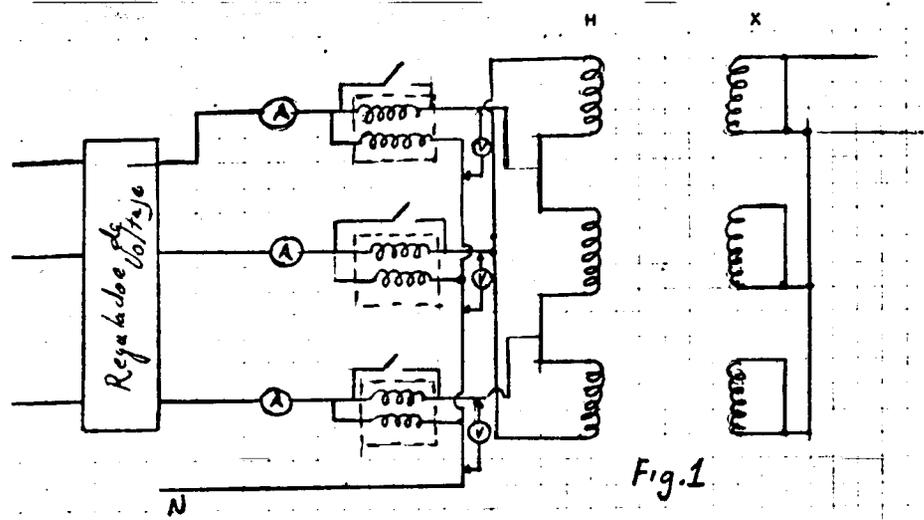
Alumno: _____

Grupo: _____

DETERMINACION DE LAS PERDIDAS ELECTRICAS Y EL PORCIENTO DE IMPEDANCIA EN UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

La realización de esta práctica se efectúa generalmente conectando el circuito de baja tensión en corto circuito y alimentando el circuito de alta tensión a voltaje reducido, ajustando éste hasta dar la corriente nominal.

En este caso se instalan 3 amperímetros y 3 wáttmetros con sus respectivos vóltmetros.



El valor registrado en los wáttmetros de hecho proporciona la cantidad de pérdidas eléctricas exclusivamente, ya que las magnéticas por ser proporcionales al voltaje al cuadrado resultan despreciables al momento de conducir esta prueba a voltaje reducido.

Así las pérdidas eléctricas a temperatura de prueba serán igual a:

$$W_e = (W_1 + W_2 + W_3) (\text{constante wáttmetro}) (\text{constante transformador})$$

Sin embargo estas pérdidas incluyen dos elementos, que son los siguientes:

$$\text{Pérdidas eléctricas} = I^2R + \text{Pérdidas por corrientes parásitas.}$$

A continuación se muestra una tabla relacionando a ambos elementos:

Corriente (amperes)	K
0-20	1.0 I ² R = Pérdidas totales
21-100	1.08 I ² R = Pérdidas totales
100-500	1.10 I ² R = Pérdidas totales
501-1000	1.15 I ² R = Pérdidas totales
1000-2000	1.20 I ² R = Pérdidas totales
2000 en adelante	1.25 I ² R = Pérdidas totales

Corrección por temperatura:

Según marcan las normas ASA se requiere extrapolar al valor de tales pérdidas a 75°C.

Así se opera de la siguiente manera:

$$\frac{I^2 R_2}{I^2 R_1} = \frac{234.5 + T_2}{234.5 + T_1} = \frac{234.5 + 75.0}{234.5 + T_{amb}}$$

Asimismo para las pérdidas parásitas se tiene:

$$\frac{(\text{Pérdidas parásitas})_2}{\text{Pérdidas parásitas}_1} = \frac{234.5 + T_{amb.}}{234.5 + (75.0)}$$

Porciento de impedancia:

El % de impedancia se determina dividiendo el voltaje de corto circuito obtenido al momento de hacer la prueba entre el voltaje nominal, multiplicando dicha cantidad por 100, así:

$$\% Z = \frac{V_{cc}}{V_n} \times 100$$

El voltaje de corto circuito por este hecho es comunmente denominado voltaje de impedancia.

Para corregir este valor a 75°C se opera de la siguiente manera:

$$\left(\frac{\text{Watts. totales a Temp. Amb.} \times 100}{\text{KVA} \times 1000} \right)^2 = (\% R_1)^2$$

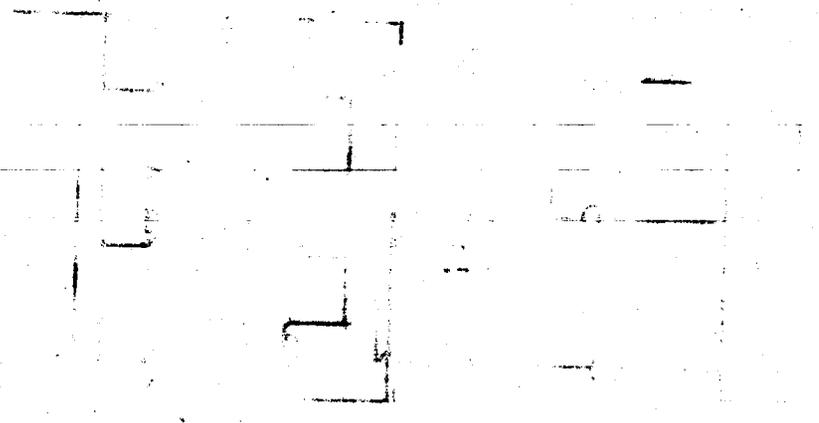
$$\left(\frac{\text{Watts. totales a Temp. 75°C} \times 100}{\text{KVA} \times 1000} \right)^2 = (\% R_2)^2$$

$$\% Z_2^2 = \% Z_1^2 - \% R_1^2 + \% R_2^2$$

En que:

$\% Z_1$ = por ciento de impedancia a temperatura ambiente.

$\% Z_2$ = por ciento de impedancia a 75°C.



LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA
DE UN TRANSFORMADOR.

Práctica No. 3

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE UN TRANSFORMADOR

La eficiencia del transformador se determinó por el método de pérdidas, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\% \eta = \frac{\text{Pot. Salida}}{\text{Pot. Entrada}} \times 100$$

$$\% \eta = \frac{\text{Pot. Ent.} - \text{Pérdidas}}{\text{Pot. Entrada}} \times 100$$

$$\% \eta = \left(1 - \frac{\text{Pérdidas}}{\text{P. Entrada}} \right) \times 100$$

En que:

Pérdidas = Pérdidas eléctricas totales a 75°C + Pérdidas magnéticas.

Recordando que:

Pérdidas eléctricas = $(I^2 R + \text{Pérd. Parasitas})$ en las 3 fases.

Cabe aclarar que en el caso de transformadores de potencia, deberá incluirse a las pérdidas totales, la potencia consumida por los dispositivos auxiliares como tales pueden ser ventiladores, bombas, equipo de protección, etc.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECHANICA II

PRACTICA No. 4

PRUEBA DE TEMPERATURA Y METODOS DE CARGA PARA UN
TRANSFORMADOR

PROF: Ing. José Andrés T.G.

Alumno : _____

Grupo : _____

PRUEBA DE TEMPERATURA Y METODOS DE CARGA PARA UN TRANSFORMADOR

El objeto de determinar la curva de temperatura, es para verificar si el transformador bajo prueba está funcionando a su capacidad de diseño. La capacidad del transformador está limitada por la temperatura de los aislamientos, esto se puede ver en la gráfica de Resistencia - Temperatura de un conductor, comparándola con la gráfica de Resistencia - Temperatura de un aislamiento.

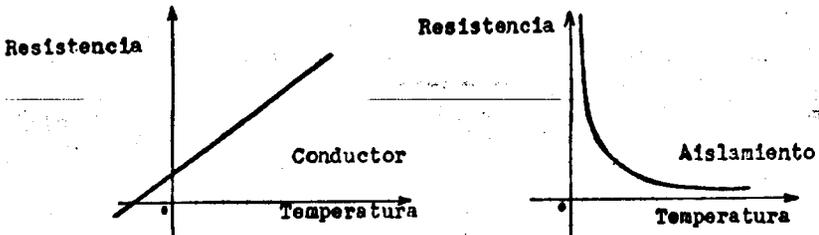


Fig. 1

Fig. 2

TIPOS DE AISLAMIENTOS

Hay diferentes tipos de aislamientos: Aislamientos Orgánicos y Aislamientos Inorgánicos. Así, generalmente, los transformadores que utilizan aislamientos orgánicos están sumergidos en algún líquido y se les denomina de tipo húmedo, no así los que utilizan aislamientos inorgánicos y que generalmente son del tipo seco.

Aislamientos orgánicos.

El papel de un aislamiento orgánico, que tiene una excelente resistencia dieléctrica y baja pérdida dieléctrica cuando está seco, pero debe ser secado e impregnado con algún líquido (aceite, barniz, resinas), para excluir la humedad y conservar la resistencia dieléctrica.

Hay diferentes tipos de papel, por ejemplo:

- Papel Kraft.....fibra de madera
- Papel manila.....cuerda de manila
- Cartón Kraft.....fibra de madera
- Pressboard.....madera y algodón

Aceite.

El aceite, es un producto orgánico, que contiene una variedad de impurezas. Se usa principalmente por su bajo costo, comparado con cualquier otro líquido aislante sintético.

Aunque, el aceite, es altamente refinado, no es químicamente puro. Es principalmente una mezcla de hidrocarburos con otros compuestos naturales, que no son perjudiciales; algunos de estos compuestos son beneficiosos, en cuanto que retardan la oxidación del aceite. Por lo anterior puede señalarse, que el aceite también es altamente hidrocópico, siendo por lo tanto necesario preservarlo del contacto con el medio ambiente; sobre todo a altas temperaturas.

Los factores más dañinos son el agua, el oxígeno y muchas combinaciones de éstos, a temperaturas elevadas (ligeramente superior a 100°C). Sin embargo, esta situación conduce a determinar que es inflamable, por lo que su uso no se recomienda en aquellas áreas donde se emplean transformadores expuestos a atmósferas explosivas.

Líquidos inertes.

El Askarel o Inerteen, es otro tipo de aislante, es un hidrocarburo clorado, inerte, por lo que no es inflamable, su costo es más elevado, los productos de la descomposición son más corrosivos y dañinos para el aislamiento que los del aceite. No obstante lo dicho anteriormente, su uso se extiende para transformadores empleados en áreas explosivas. Sin embargo sus características dieléctricas disminuyen conforme se eleva el potencial de operación, por lo que el costo de transformadores de alto voltaje con este tipo de líquidos, resulta elevado al aumentar las distancias dieléctricas.

También hay resinas y barnices aislantes, lino, seda, etc.

Aislantes inorgánicos.

Los aislantes inorgánicos son el vidrio, mica, asbesto, marmol, porcelana, etc. y éstos son empleados en transformadores del tipo seco.

Dado que su manufactura se complica más y siendo en general bastante elevado el costo de estos materiales, el costo global del transformador de este tipo tiende a ser mayor que el de los transformadores del tipo húmedo, señalados anteriormente.

INCREMENTOS DE TEMPERATURAS

Dependiendo del tipo de aislamiento, variará el incremento máximo de temperatura.

Por ejemplo, si suponemos que el transformador trabajará a 40°C de temperatura ambiente como máximo, con un incremento de 55°C debido al tipo de aislamiento, y tomando una tolerancia de 10°C del punto crítico más caliente, se obtendrá un total de 105°C, que representará la temperatura absoluta más alta a la que probablemente estará expuesto el aislamiento del transformador.

Por lo tanto, la prueba determinará si el incremento de temperatura de la placa - (por ejemplo 55°C) es acertado.

El incremento de temperatura en terminos generales, permitido para los aislamientos de tipo inorgánico es mayor que el de los de tipo orgánico.

El incremento de temperatura está determinado por las pérdidas magnéticas y las - pérdidas eléctricas, por lo tanto aplicaremos el transformador corriente y voltaje nominales, ésto es debido a que las pérdidas magnéticas son proporcionales al cuadrado de voltaje.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento a seguir para obtener la curva de temperatura tiempo es el siguiente:

- 1.- Se medirán las resistencias de los embobinados, al principio y al final de la prueba, midiendo también la temperatura ambiente, que es la temperatura inicial en los embobinados. Con este dato, se podrá calcular la temperatura final de los embobinados, así como su elevación de temperatura, sustituyendo los datos en la siguiente formula:

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

Para registrar la temperatura final de los embobinados se procede de la siguiente manera:

Al momento de finalizar la prueba con un puente (de Wheatstone o Kelvin) se mide la resistencia a intervalos de tiempo más o menos regulares; el inicio de este período se cuenta desde el instante en que termina la prueba. Posteriormente estos valores se llevan a una gráfica resistencia-tiempo como se ilustra en la siguiente figura.

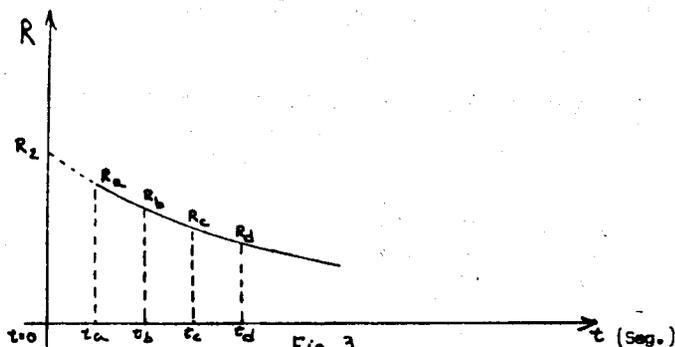
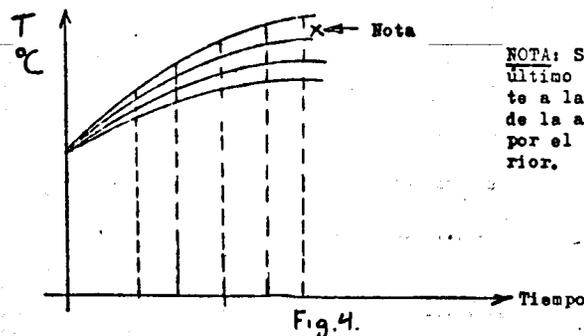


Fig. 3
Prolongando la curva hacia el eje vertical, se determina el valor R_2 para $T = 0$, que llevado a la formula de extrapolación nos da el valor " t_2 ".

- 2.- Se colocarán termómetros y termopares en diferentes partes del transformador (fig. A), tomándose lecturas de temperaturas cada hora o a intervalos de tiempo establecidos.
- 3.- Se alimentará el transformador con corriente y voltaje nominales.
- 4.- Una vez estando trabajando el transformador, se tomarán las lecturas de temperaturas cada hora o cada intervalo de tiempo establecido.
- 5.- La prueba finalizará cuando la temperatura de las diferentes partes de halla estabilizado en valor determinado después de un cierto número de lecturas.

Si la elevación de la temperatura al terminar la prueba es mayor que la temperatura marcada en la placa del transformador, ésto nos indicará que el transformador está defectuoso y no puede desarrollar su potencia nominal. La forma de la curva de temperatura - tiempo será la siguiente:



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

METODO DE CARGA REAL

Generalmente no es práctico cargar el transformador a plena carga para pruebas de temperatura, excepto cuando se trata de transformadores pequeños.

Los transformadores de pequeña capacidad, pueden probarse cargándolos con resistencias, con un banco de lámparas, etc; en los transformadores trifásicos de gran capacidad, saldría caro este método de carga, es por lo tanto, que se prefiere en muchas ocasiones emplear métodos denominados de carga figurada.

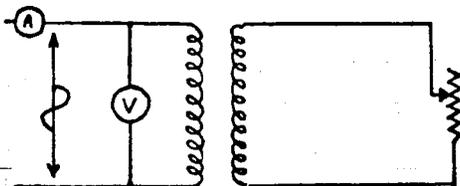


Fig. 5

TRANSFORMADORES MONOFASICOS

Método de carga figurada.

Consiste en conectar dos transformadores gemelos en oposición (en paralelo con la fuerza electromotriz inducida en oposición). Aplicamos voltaje nominal a un par de embobinados, con el objeto de hacer circular la corriente de carga en el otro par de embobinados, éstos deberán ser abiertos en un punto y aplicar a través de dicha abertura, una tensión cuyo valor sea suficiente para hacer circular la corriente nominal. La corriente circulante deberá ser aplicada a frecuencia nominal.

El diagrama de conexiones es el siguiente:

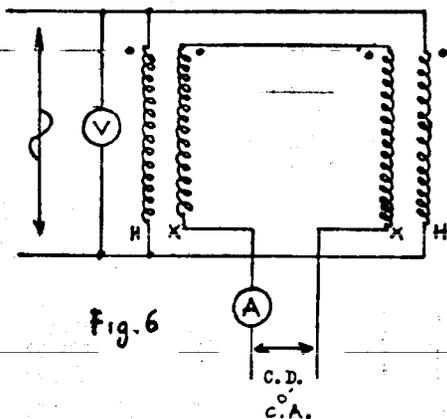


Fig. 6

Es importante señalar que las marcas de polaridad deben ser coincidentes así como mantener ambos transformadores a la misma polaridad ya sea aditiva o sustractiva.

Aunque en transformadores pequeños no es del todo necesario que la frecuencia de la fuente que alimenta el circuito de corriente sea igual a la frecuencia nominal de operación, sin embargo en el caso de transformadores de potencia en que las pérdidas parásitas en el cobre resultan apreciables, será conveniente que dichas frecuencias si sean semejantes a la nominal. Por este motivo será necesario que esta fuente se encuentre fuera del voltaje de excitación suministrado al otro embobinado, ya que las tensiones inducidas se suman vectorialmente, por ello resulte que un desfase de 90 grados es el más conveniente.

También es posible utilizar una alimentación de C.D. No obstante en este caso deberá suministrarse una potencia de corriente directa igual a la de pérdidas de C.A.

Por lo tanto:

$$I_{CD}^2 R_{CD} = I_{CAx}^2 R_{CAx} + I_{CAH}^2 R_{CAH}$$

Esto es necesario porque en este caso no hay inducción en el circuito de alta tensión H y al no circular corriente de carga por el circuito secundario será necesario suministrar toda ella en el circuito de baja tensión "X".

En función de la corriente y el voltaje la expresión anterior se transformaría a:

$$V_{CD} I_{CD} = 2 (I_{CAx}^2 R_{CAx} + I_{CAH}^2 R_{CAH})$$

El segundo término representa el total de pérdidas eléctricas en ambos transformadores.

TRANSFORMADORES TRIFASICOS

Un transformador trifásico podrá probarse, si tanto el embobinado de alta y baja tensión se conectan en delta, según se indica en la figura.

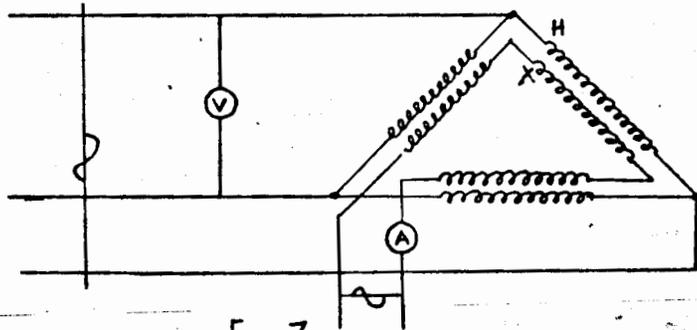


Fig. 7

Se aplicará un voltaje trifásico nominal por una de las deltas con el objeto de hacer circular la corriente nominal en el transformador; se abrirá una de las esquinas de la otra delta (llamada conexión delta abierta) y se aplicará a través de esta abertura un voltaje monofásico de un valor tal que haga circular la corriente nominal en los embobinados en forma semejante al método usado en el transformador.

Deberá tenerse en cuenta que antes de aplicar la corriente nominal, deberá verificarse que en el punto donde se abrió la delta deberá marcar un voltaje $V = 0$; si marca diferente de cero, el voltaje en ese punto se elevará casi al doble.

En transformadores de 3 fases será conveniente que en el suministro de corriente se instale un wattmetro y en él se registre el total de pérdidas eléctricas del transformador, en lugar de hacer circular la corriente nominal. Esto es necesario porque cuando una corriente monofásica circula en las tres fases en serie puede provocar pérdidas excesivas debido al flujo que circula en la misma dirección, en las 3 fases, lo cual provocará pérdidas excesivas principalmente en el tanque (Fig. 8). Por esto muchas veces es preferible utilizar una fuente de C.D. tal y como se señala para el caso de transformadores monofásicos.

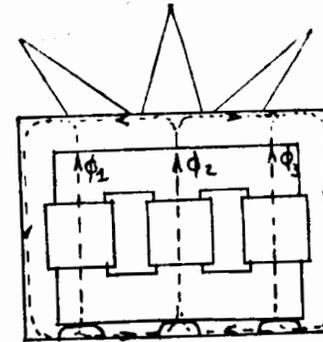


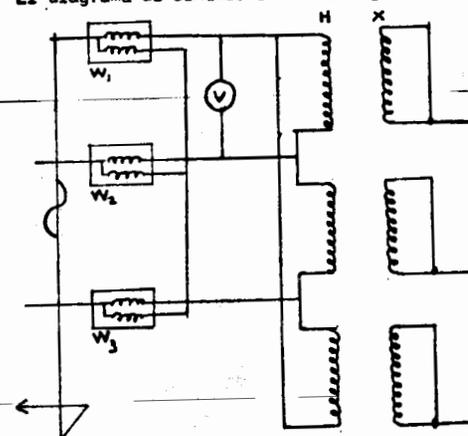
Fig. 8

METODO DE CORTO CIRCUITO

Otro método consiste en medir las pérdidas totales (pérdidas magnéticas y pérdidas eléctricas), luego el embobinado de baja tensión se cortocircuita y al de alta tensión se le suministran los watts obtenidos en las pérdidas totales. Con esto se logra hacer que la potencia que se suministra, solamente caliente al transformador, aunque la generación de las pérdidas en este caso, no corresponde de precisamente a la formación material de éstas, ya que las pérdidas magnéticas se producen en forma de pérdidas eléctricas; el efecto resultante es el equivalente de suministrar normalmente las pérdidas a través de tensión y corriente nominales, ya que al fin y al cabo se obtiene el mismo calentamiento.

La lectura de los wattmetros deberá incluir la suma de pérdidas eléctricas y magnéticas.

El diagrama de conexiones es el siguiente:



Al regulador de voltaje.

Fig. 9

En el transformador del laboratorio, preparado para esta prueba se utilizará el arreglo de termopares que a continuación se describe:

La localización de los termopares de la fig.10 es la siguiente:

- 1-Núcleo A parte anterior arriba.
- 2-Núcleo B parte posterior arriba.
- 3-Núcleo C parte lateral abajo.
- 4-Bobina de baja A a parte posterior arriba.
- 5-Bobina de baja B a parte posterior arriba.
- 6-Bobina de baja C a parte anterior abajo.
- 7-Bobina de alta A a parte lateral arriba.
- 8-Bobina de alta B a parte posterior arriba.
- 9-Bobina de alta C a parte anterior abajo.

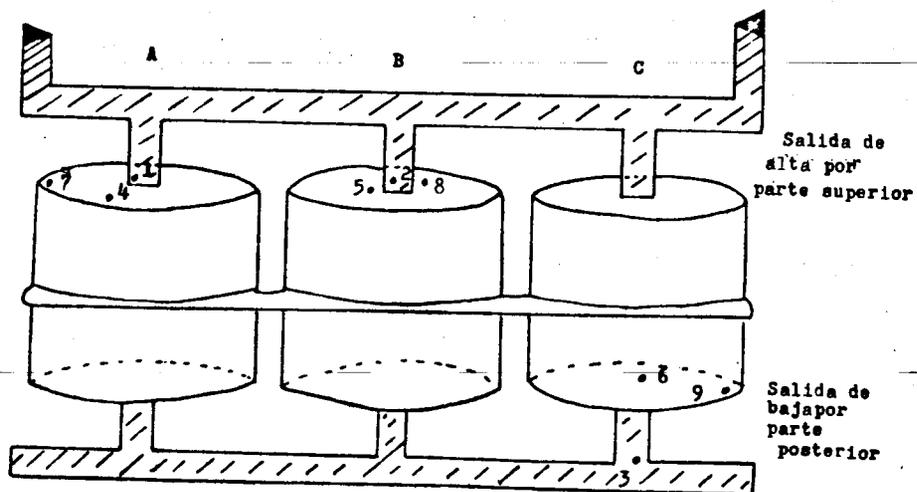


fig.(10)

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 5

PRUEBA DE TENSION APLICADA Y TENSION
INDUCIDA A UN TRANSFORMADOR

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

**PRUEBA DE TENSION APLICADA Y TENSION INDUCIDA
A UN TRANSFORMADOR**

TENSION APLICADA

Generalmente es una prueba de tipo destructiva, para determinar el estado de los aislamientos de un transformador, la resistencia de aislamiento la podemos medir con un megger; lo cual nos da una idea de las condiciones del transformado.

Existe una norma que dice que un transformador debe tener una resistencia mínima de 1 MΩ por cada K.V. de clase del transformador, a 60°C. La temperatura es importante debido a la relación de la resistencia con la temperatura; por esto mismo podemos ver las siguientes variaciones de la resistencia de aislamiento:

240 MΩ.....	a 10°C
120 MΩ.....	a 20°C
60 MΩ.....	a 30°C
30 MΩ.....	a 40°C
15 MΩ.....	a 50°C
7.5 MΩ.....	a 60°C

TABLA No.1

La clase del transformador está representada en la tabla 2. Así por ejemplo si el devanado de un transformador opera a 6000 - volts, este lado se considera dentro de la clase de 8.7 K.V. Sin embargo si el devanado de baja tensión es de 440 volts este otro lado se incluirá dentro de la clase inmediata superior de 1.2 K.V.

La prueba de tensión aplicada es una prueba de tipo destructiva y no se debe efectuar cuando los aislamientos han envejecido; por otro lado al igual que la prueba anterior, sirve para detectar la humedad que puede tener el aislamiento. Además se debe verificar que la tensión aplicada según la norma establecida no rompa el dieléctrico durante el tiempo que dure la prueba.

La prueba de tensión aplicada, consiste en aplicar una tensión más o menos alta a los devanados del transformador y verificar con esto, que el aislamiento entre partes vivas y tierra esté en buenas condiciones.

Para realizar esta prueba, se une un devanado a tierra y la otra punta con tierra a un dispositivo que produzca alta tensión. Generalmente ambas puntas se conectan a un voltmetro de esferas, que consiste

en dos esferas conductoras con un entrehierro calibrado para que a cierta tensión salte una chispa entre las esferas y sirva de esta forma para proteger al dispositivo a probar, de una tensión más alta.

La tensión que se debe aplicar a las terminales del transformador depende de la clase de transformador según lo especificado en las normas NEMA, ASA, etc.

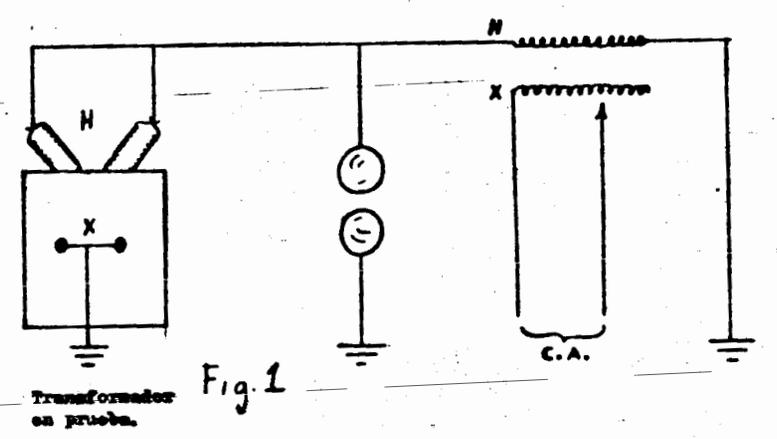
Una regla común es:

Voltaje	Tensión aplicada	Voltaje	Tensión aplicada
1.2 K.V.	10 K.V.	34.5 K.V.	70 K.V.
2.5 "	15 " "	46 "	95 " "
5 "	19 " "	69 "	140 " "
8.7 "	26 " "	92 "	185 " "
15 "	34 " "	125 "	230 " "
25 "	50 " "	138 "	275 " "

TABLA No.2

En este caso los extremos de las terminales y de las derivaciones del devanado en prueba deben conectarse entre sí y con las terminales del transformador alimentador. Todas las demás terminales y partes, incluyendo el núcleo y el tanque deben conectarse a tierra y a la otra terminal del transformador alimentador.

Un ejemplo de la prueba de tensión aplicada se muestra en la siguiente figura:



Transformador en prueba.

Fig.1

El voltmetro de esferas se utiliza para probar transformadores mayores de 100 K.V.A. y 15 KV. y para esta prueba se calibra al 110% de la tensión de prueba.

Como esta prueba es de carácter destructivo, solo se debe aplicar la tensión durante un minuto, además, la prueba se realiza únicamente en la fabrica; si se desea volver a realizar la prueba, se recomienda no aplicar más del 75% del voltaje de prueba aplicado en la fabrica; si el transformador es viejo, la prueba se hará sin exceder el 65% del voltaje. Esto es debido a que en cada prueba de este tipo los aislamientos pueden sufrir envejecimiento.

Hay varias condiciones por las que un transformador envejece tales como movimiento, cambios de temperatura, etc., por lo tanto es aconsejable tratar de reducir estas variaciones al mínimo.

TENSION INDUCIDA

La prueba de tensión inducida verifica que la calidad del aislamiento entre capas sea aceptable.

En todo transformador existe lo que se llama volts por vuelta y al inducir la tensión, esto lo que se prueba.

Esta prueba se efectua al 200% de la tensión nominal de operación y generalmente se realiza por el lado de baja tensión.

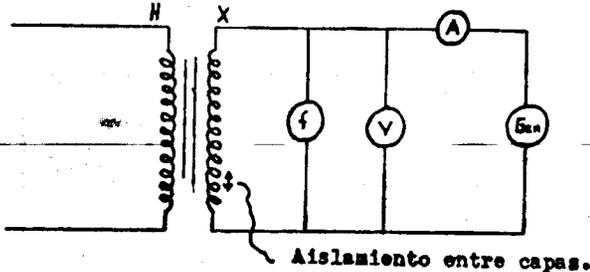


Fig.2

Deberá recordarse que todo transformador está diseñado para trabajar cerca de la zona de saturación y además de que la tensión inducida sigue a la tensión aplicada según la ley de la Lenz, por lo tanto si se aplica el 200% de la tensión a la frecuencia nominal, el transformador se comportaría prácticamente como un conductor en corto circuito que haría circular una corriente muy alta.

Por lo tanto para corregir dicha situación referimos la siguiente expresión para la tensión inducida:

$$E = 4.44 f N B A$$

f = frecuencia
N = Número de vueltas

B = Densidad de flujo
A = Área del núcleo

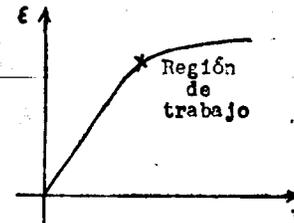


Fig.3

Lo que nos indica que la tensión inducida solo puede aumentar con la frecuencia, sin saturar el núcleo, por lo tanto debe ser como mínimo el doble de la nominal. Como el aislamiento entre capas sufre cada vez que la frecuencia cambia, el limite de frecuencia establecido es de 7200 ciclos. Por ejemplo si el generador es de 120 ciclos, el tiempo de prueba será:

$$\frac{7200}{120} = 60 \text{ segundos.}$$

Es recomendable no dar toda la tensión de golpe, dado que la prueba es bastante rígida; de la misma forma se debe desconectar. Por ejemplo, si el tiempo de prueba es 60 segundos, se usarán 15 segundos para incrementar la tensión nominal y 15 segundos para disminuirla, restando 30 segundos para la prueba.

A continuación se muestran algunos valores típicos de frecuencias y tiempos de prueba.

CICLOS	TIEMPO DE PRUEBA.
120	60 segundos.
180	40 "
240	30 "
360	20 "
400	18 "

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II.

Practica No.6

PRUEBA DE IMPULSO EN UN TRANSFORMADOR

Prof. ING. JOSE MENDEZ T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

PRUEBA DE IMPULSO EN UN TRANSFORMADOR

La prueba de impulso consiste básicamente en someter a un transformador al efecto de una onda de muy alto voltaje que simule el efecto de una descarga atmosférica.

El ingeniero que diseña, sistemas eléctricos de potencia, generalmente determina los voltajes causados por descargas atmosféricas que pueden aparecer en el transformador y que se producen en el sistema que opera, según esto selecciona un nivel básico de aislamiento para soportar tales voltajes residuales de origen atmosférico.

Según lo anterior, los transformadores modernos están diseñados para resistir dichas descargas y que se comprueban a través de las pruebas de impulso.

Las formas de las ondas en la prueba de impulso deben ser entonces tales, que el ingeniero pueda interpretarlas inmediatamente, en función de cualquiera de las formas de onda que pueda tener ya en su sistema.

ONDA PATRON

Para tal efecto se ha establecido una onda patrón normalizada a un valor de 1.5×40 microsegundos. (lo cual significa 1.5 microsegundos para alcanzar el valor máximo de la onda y 40 microsegundos para decrecer a la mitad de su valor). El valor de la cresta, se relaciona con lo que se conoce como "Nivel Básico de Aislamiento" y que en Inglés se llama B.I.L. (Basic Insulation Level) (Fig. 1).

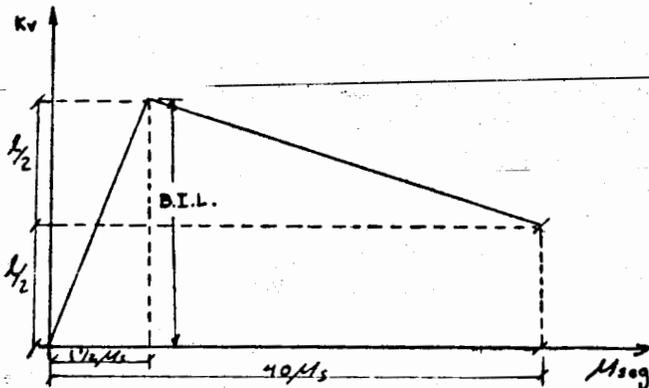


Fig-1

GENERADOR DE IMPULSO

El generador de impulso está compuesto de muchos capacitores, conectados a través de resistencias que sirven para el proceso de carga y esferas de entrehierro ajustable que sirve para la descarga, normalmente el generador se complementa con elementos resistivos e inductivos en la salida y que sirven para controlar la forma de la onda.

A continuación se muestra un diagrama muy simplificado de un generador de este tipo. Fig. 2.

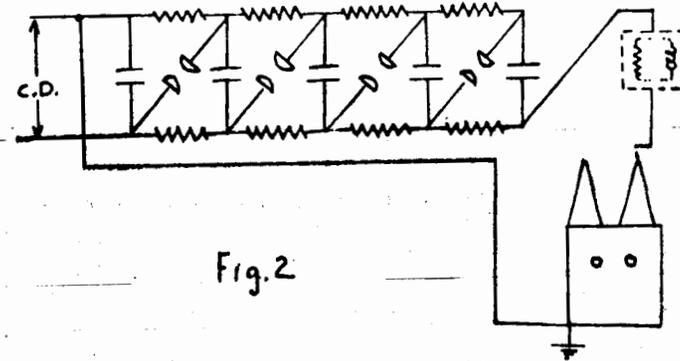


Fig.2

EQUIPO COMPLEMENTARIO

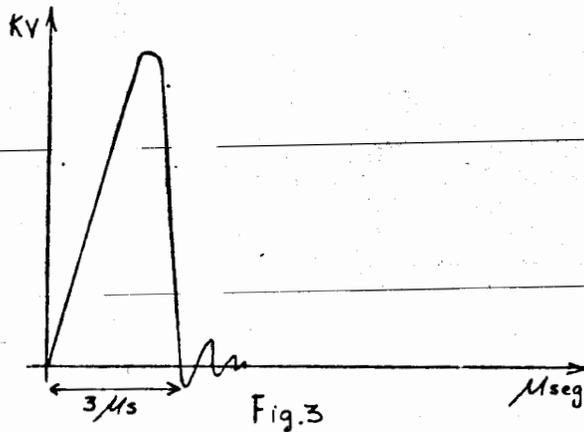
El equipo completo incluye potenciómetros para efectuar mediciones y calibraciones, un juego de esferas con entrehierro ajustable para verificar las calibraciones y un oscilógrafo de rayos catódicos y que imprime la figura de la onda al momento de realizar la prueba puesto que el transformador durante la prueba se requiere energizarlo, será necesario disponer de una fuente de voltaje para tales propósitos.

PROCEDIMIENTO

La prueba se conduce en cada una de las terminales del transformador y todas aquellas que no están en prueba puedan ser conectadas a tierra a través de una resistencia a fin de limitar el voltaje inducido en los mismos. Todos los devanados no conectados a tierra deben ser protegidos con protectores.

Las pruebas de impulso estándar consisten de:

- 1.- En una aplicación de una onda reducida de voltaje, para establecer una forma de onda modelo generalmente al 60 y 80% del valor del BIL.
- 2.- Dos aplicaciones sucesivas de ondas recortadas que son iguales a la onda plana (fig. 1) excepto 15% mayor en valor de cresta y recortada o flamada a tierra en un tiempo aproximado de 3 μ S por un arco en paralelo con el transformador bajo prueba (ver fig. 3).
- 3.- Un impulso de una onda completa según la fig. 1.



La onda plana representa una onda viajera causada por una descarga atmosférica a cierta distancia del transformador, mientras que la onda recortada representa la condición un tanto más severa de un esfuerzo dentro del devanado, producido por la caída de voltaje, cuando un aislador o un pararrayo establece un arco cerca del transformador.

En ocasiones además de las pruebas anteriores se hacen algunas otras con solo el frente o falda de la onda, las cuales representan un impacto directo con alambres aéreos conectados a tierra y otros dispositivos protectores usados en subestaciones modernas.

En general las pruebas de impulsión son muy complejas y es imposible cubrir todos los menores detalles que se requieran en su elaboración, por lo que solo se ha concretado a enumerar aquí los principales detalles de su realización.

Los valores de Nivel Básico de aislamiento se han normalizado de acuerdo a la clase del transformador, según se señala en la siguiente tabla:

<u>Clase de voltaje</u>	<u>Nivel básico de aislamiento al impulso.</u>
KV	KV
23	150
34.5	200
46	250
69	350
92	450
115	550
138	670
161	750
196	900
230	1050
287	1300
345	1550
360	1610

INTERPRETACION DE RESULTADOS

En la prueba de hecho, tanto la perturbación de voltaje como la corriente pueden ser buenas indicaciones de una ruptura dieléctrica parcial. Los oscilógrafos se usan para trazar un registro de onda de prueba aplicada al transformador.

Las perturbaciones o descargas en los devanados causan diferencia en la forma de onda, de manera que pueden determinarse prácticamente todas las perturbaciones mediante una inspección de los oscilogramas.

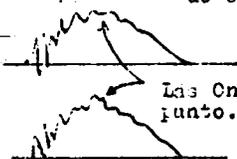
Las perturbaciones que ocurren durante la prueba de onda recortadas son generalmente difíciles de descubrir en los oscilogramas, porque la onda de prueba aplicada esté recortada a tierra por el entrehierro externo y podría no aparecer en los oscilogramas una perturbación en el devanado.

Por esta razón, el procedimiento en todas las pruebas tipo de impulso consiste en aplicar una onda completa reducida al comienzo de las pruebas. Como ya se mencionó esta es una onda de 1 μ seg. cuyo valor fluctúa generalmente entre el 60 y el 80% de la onda completa. Esta prueba se hace a bajo voltaje y generalmente no se presentan dificultades. La prueba de onda completa se hace al final de la prueba de impulso. Así si se han presentado dificultades durante las tres pruebas, aparecerán generalmente como una diferencia entre las pruebas de onda completa reducida y de onda completa. En la fig. 4 se muestran ejemplos de oscilogramas que indican dificultades.

En ocasiones otras indicaciones adicionales de falla pueden ser: presencia de humo y ruido dentro del transformador.

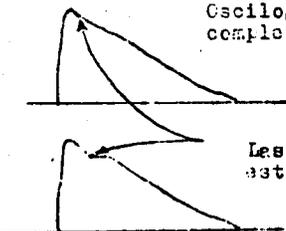
Debe hacerse notar que las discrepancias en los oscilogramas no siempre indican una perturbación en los devanados. Un generador de impulsos y los circuitos de medición son dispositivos complicados y algunas veces dan origen a discrepancias que parecen ser perturbaciones en los devanados. En esos casos deben ser investigados los circuitos y corregidas las dificultades. A pesar de muchos años dedicados al estudio y desarrollo de la prueba de impulso, gran parte del trabajo depende todavía de la experiencia en este campo.

Oscilograma de corriente a tierra de onda completa reducida



Las Ondas son diferentes este punto.

Oscilograma de voltaje de onda completa reducida.



Las ondas son diferentes en este punto.

Fig.4

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 7

DETERMINACION Y CONOCIMIENTO DE UNA MAQUINA
DE C.D.
DETERMINACION DEL PUNTO NEUTRO DE UNA MA-
QUINA DE C.D.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

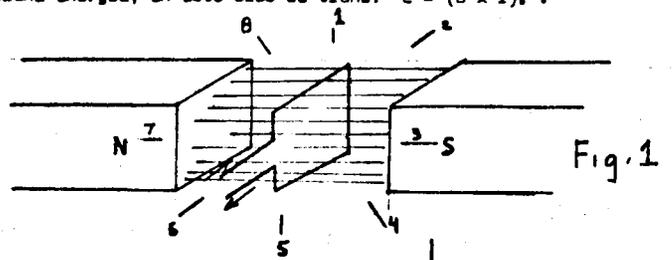
Grupo: _____

A).- IDENTIFICACION Y CONOCIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE UNA MAQUINA C.D.

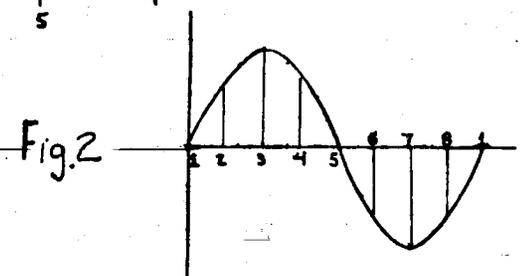
Los dispositivos rotatorios de conversión de energía electromecánica son conocidos con el nombre de máquinas rotatorias. Una máquina rotatoria se llama generador si convierte energía mecánica en energía eléctrica, y se llama motor si convierte energía eléctrica en energía mecánica. En principio la misma máquina puede ser usada como generador o como motor, pero consideraciones de diseño práctico en ocasiones favorecen su uso como generador o como motor.

Cuando la máquina C.D. trabaja como motor, se aplica corriente directa al bobinado estacionario (estator) para producir un campo magnético, y se aplica también a la armadura corriente directa, entonces ésta girará bajo el efecto de la corriente y el campo magnético, así tiene que: $F = i (\vec{l} \times \vec{B})$.

Sin embargo, si se desea trabajar la máquina como generador, entonces, se man tiene el campo magnético y se transmite energía mecánica a la flecha de la armadura, por medio de un primotor o dispositivo auxiliar, que le proporciona dicha energía, en este caso se tiene: $E = (\vec{B} \times \vec{l}) \cdot \vec{v}$



- B = Campo magnético.
- l = Conductor
- v = Vel. Tangencial del conductor



PRINCIPIO DE OPERACION DEL GENERADOR C.D.

En el generador de corriente directa, el campo magnético es fijo y la armadura es la que gira.

La fig. 1 representa una espira que gira en el mismo sentido al de las agujas de un reloj, siendo el sentido de la corriente el indicado en la figura; y a una velocidad constante, en un campo magnético. Según la posición de la espira, la fuerza electromotriz inducida (f.e.m.), cambia de valor.

Cuando se encuentra la espira en la posición 1, no hay f.e.m., porque ningún conductor activo corta las líneas de fuerza del campo, ya que se mueve paralelamente a ellas. En este caso los vectores $(\vec{B} \times \vec{l})$ y \vec{v} son perpendiculares. Cuando se encuentra en la posición 2, la espira corta oblicuamente las líneas de fuerza y se induce en ella una f.e.m. de un cierto valor; al llegar a la posición 3, los conductores de la espira cortan las líneas de fuerza perpendicularmente, siendo la f.e.m. máxima, ahora los vectores $(\vec{B} \times \vec{l})$ y \vec{v} son paralelos. En la posición 5, la espira ya no corta líneas de fuerza, siendo por lo tanto la f.e.m. nula; en esta posición la corriente invierte su sentido y se prosigue en forma semejante a lo anterior. Fig. 2.

La f.e.m. inducida en la espira es alterna, si la queremos recolectar, lo hacemos mediante unos anillos rozantes (fig. 3 y 4); este es el caso de un generador de corriente alterna, llamado también alternador.

Pero como se trata de un generador de corriente directa, es necesario rectificar la corriente de la espira, lo que se logra por medio de un colector con escobillas, que es un anillo seccionado en varias partes (fig. 5). (Commutador)

Las escobillas pasan sobre los cortes del anillo cuando la espira es perpendicular al campo magnético, esto es, en el plano neutro, que es cuando no se produce ninguna f.e.m., como sucedía en los puntos 1 y 5 de la figura 1; estos puntos están marcados con 0 - 0 - 0, en la figura 6.

La f.e.m. generada es proporcional al flujo magnético, a la velocidad y a la constante de construcción, o sea: $E = K \phi N$.

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

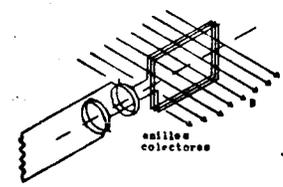


Fig. 3

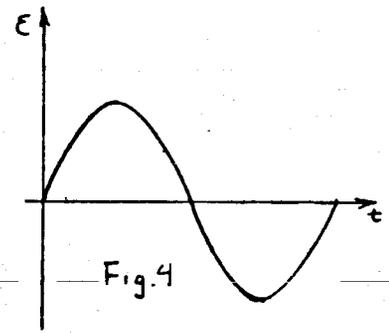


Fig. 4

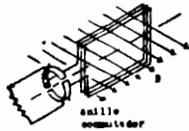


Fig. 5

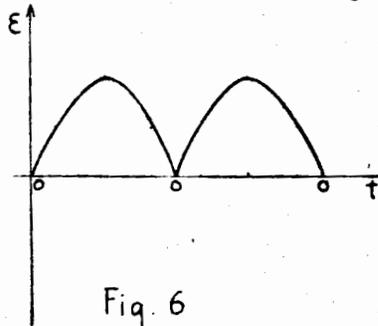


Fig. 6

CONSTRUCCION

Una máquina de corriente directa consiste, de una coraza estacionaria de acero, la cual sostiene a los polos. Un número par de polos igualmente espaciados, fijos a la coraza, están excitados por bobinas que conducen corriente directa. Las bobinas están conectadas en serie de tal forma que se establece en el entrehierro un campo magnético con polos norte y sur. Estas partes constituyen el campo magnético.

La parte rotatoria de la máquina se llama armadura. Esta hecha de acero laminado. Se cortan ranuras en la superficie exterior de la armadura para sostener los lados de las bobinas. Una parte importante de la armadura de una máquina de C.D. es el conmutador. Figuras 7 y 8.

El conmutador es de forma cilíndrica, consiste de segmentos de cobre, muchas veces llamados delgas; colocados paralelamente al eje del cilindro y aislados cada uno entre sí. El conmutador está montado en la flecha, la cual lleva las láminas ranuradas.

Los lados de las bobinas están conectadas a los segmentos del conmutador en diferentes formas, dependiendo del tipo de embobinado.

El eslabón entre las bobinas de la armadura y el circuito externo está provisto de escobillas estacionarias, las cuales están alojadas en portaescobillas fijas a la coraza de la máquina y hacen un contacto continuo con las delgas del conmutador. Las escobillas están localizadas de tal manera que, cuando una escobilla conecta dos segmentos o delgas adyacentes del conmutador, la bobina conectada a estos tiene, bajo condiciones ideales, cero de f.e.m. En otras palabras la escobilla pone en corto circuito una bobina en la armadura, cuando los dos lados de la bobina están aproximadamente en las posiciones de cambio bajo los polos, y la polaridad de la f.e.m. generada en la bobina, está a punto de invertirse. (ver figura 13).

En la práctica sin embargo, esta inversión o conmutación toma un tiempo finito, porque la escobilla tiene una anchura finita, y porque la inductancia de la bobina detiene o retarda en ella, la inversión de la f.e.m. y la corriente.

Este proceso es también afectado por la distorsión en el campo magnético o causado por corriente circulando en las bobinas de la armadura y el consecuente cambio del eje neutro magnético. Este último efecto normalmente se denomina reacción de armadura.

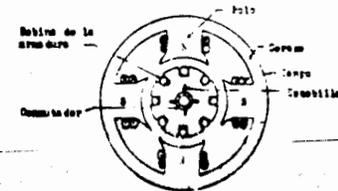


Fig. 7

IDENTIFICACION DE TERMINALES

Para poder determinar las puntas del campo derivación, del campo serie y de la armadura, se realiza de la siguiente forma:

Se hace circular una corriente por las terminales y se coloca un foco en serie. Puesto que la resistencia del campo derivación es grande comparada con la del campo serie y de la armadura, la intensidad del foco va a ser notablemente baja (brillantez del foco), encontrándose de esta manera las terminales que permanecen al campo derivación.

Las restantes terminales pertenecerán al campo serie y a la armadura. Para distinguir estas terminales entre sí, se desconectan las escobillas del conmutador quedando por lo tanto el circuito abierto, de esta manera, si las terminales corresponden a la armadura, el foco no encenderá; si las terminales corresponden al campo serie el foco encenderá. figura (9).

La identificación de terminales también es posible efectuarla con un óhmetro o algún otro dispositivo que registre el valor de las resistencias.

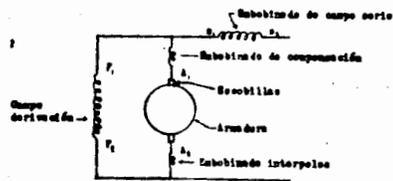


Fig. 8

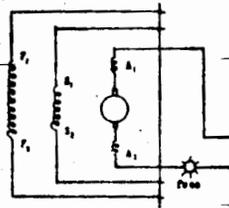


Fig. 9

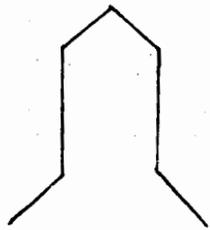
DETERMINACION DEL EJE NEUTRO

Algunas consideraciones sobre los embobinados.

Los tipos de embobinados comunmente usados son: El embobinado imbricado y el embobinado ondulado, cuyas representaciones se muestran en la figura 10, estos son siempre de dos capas; algunos embobinados de una capa son usados generalmente en motores de pequeña capacidad.



IMBRICADO



ONDULADO

Fig. 10

Se ilustra a continuación un generador de dos polos, 8 ranuras, con embobinado de tipo imbricado.

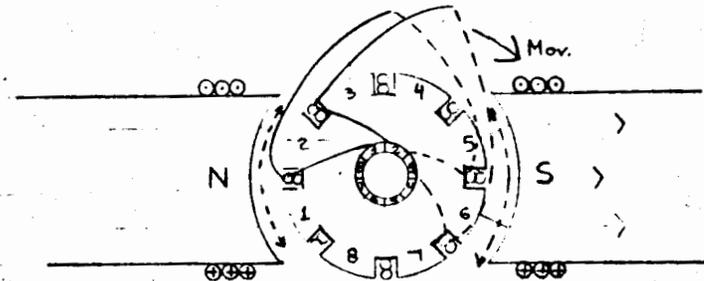


Fig. 11

Determinación del circuito de armadura y dirección de las fuerzas electromagnéticas inducidas a partir del desarrollo de la armadura.

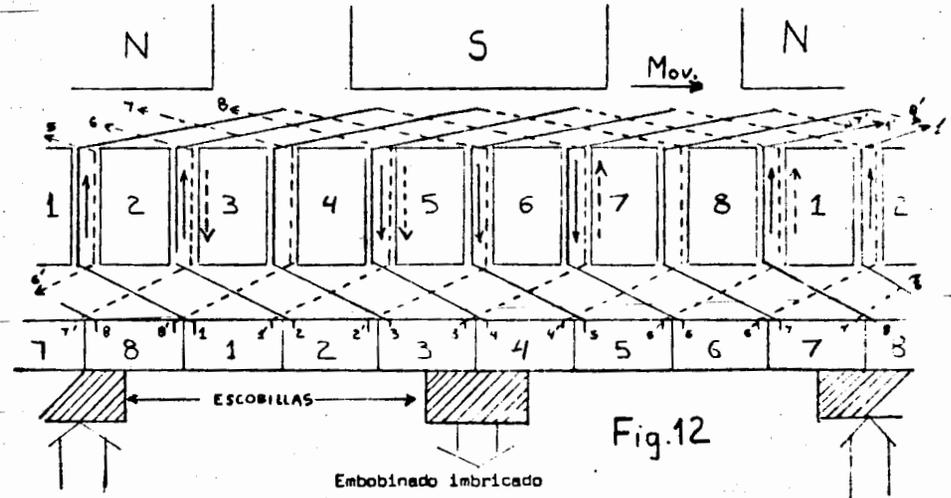
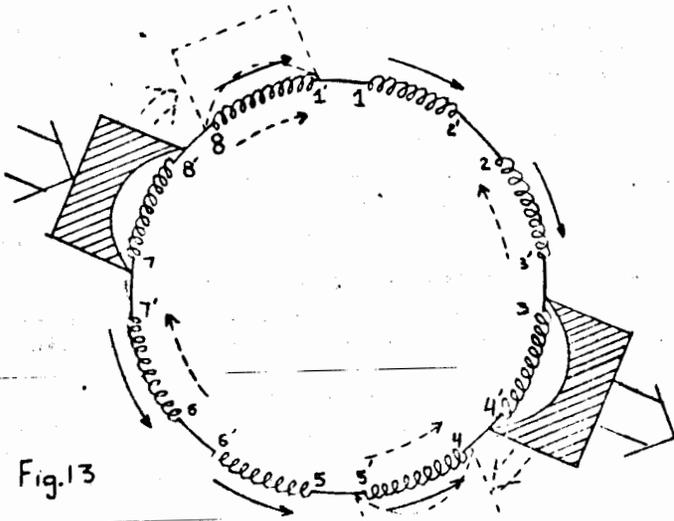


Fig. 12

Embobinado imbricado
 N° Polos → N. Carbones

$$\text{Paso Polar} = \frac{\text{No. Delgas}}{\text{No. Polos}}$$

Para facilitar la interpretación de la dirección de las fuerzas electromotrices y las corrientes en el devanado anterior, a continuación se determina el circuito - en forma simplificada.



Considerando la dirección del movimiento de izquierda a derecha y el sentido del campo magnético de tal manera que las líneas de fuerza del campo norte vayan del observador hacia el polo norte y en sentido contrario para el polo sur, se obtiene la dirección de la fuerza electromotriz indicada en la figura 12. (líneas continuas). Obsérvese que entre las secciones 3 y 4 así como entre la 7 y 8 no hay fuerza electromotriz alguna por encontrarse las bobinas en el eje neutro.

A su vez estas mismas bobinas se encuentran en corto circuito (ver fig. 13) a través de las escobillas en el preciso momento en que se efectúa la conmutación. De esta forma al no circular corriente por estas bobinas, no deberán existir calentamientos excesivos, los cuales se producirían por el hecho de presentar en tales circunstancias una resistencia mínima.

DETERMINACION DEL EJE NEUTRO (PROCEDIMIENTO) A UTILIZAR.

Para entender los diferentes métodos en la determinación del eje neutro, consideremos ahora que la armadura no se mueve, y que al campo se le aplica una tensión variable en intervalos de tiempo, ya sea a través de C.D. con un interrup-

tor abriéndolo o cerrándolo o una tensión alterna. En este caso se obtiene un campo magnético que crece y decrece.

Supongamos que en un instante determinado el campo magnético crece según se muestra con líneas punteadas en las figuras 11 y 12, esto hará inducir tensión también marcados por líneas punteadas en las bobinas.

Puesto que se ha idealizado el crecimiento del campo a partir del eje de los campos no se considera tensión alguna inducida entre las secciones 1 y 2 así como entre las secciones 5 y 6, las cuales se consideraran justamente localizadas en el centro de tales campos.

Se observará que bajo tales condiciones, si concentramos un instrumento que la tensión en las escobillas no se obtendría ningún voltaje, puesto que en este caso las tensiones en las bobinas se anulan entre si. Esta situación se entiende mejor en la figura 13 al observar las tensiones inducidas en líneas punteadas. También es posible darse cuenta que al mover las escobillas hacia uno y otro lado (Ejem. líneas punteadas), tras como consecuencia que aparezcan tensiones inducidas en las escobillas al desaparecer el desequilibrio entre las fuerzas electromotrices de las bobinas, por lo tanto la única posición en la que no aparecerá voltaje será cuando las escobillas contacten con aquellas bobinas que se localicen en el eje neutro.

El anterior principio servirá como base para utilizar los métodos que se describen a continuación:

- a).- Descarga en el neutro con la armadura en movimiento.
- b).- Descarga en el neutro con la armadura estacionaria.
- c).- Giro en ambos sentidos.
- d).- Con una fuente de C.A.
- e).- Descarga en el neutro con la armadura en movimiento.

Este método está basado en la determinación de los voltajes inducidos en las bobinas de la armadura en el momento en que se interrumpe la corriente en el embobinado del campo principal de la máquina. El voltaje inducido en los conductores localizados a iguales distancias, tanto a la derecha como a la izquierda de los centros polares son iguales en magnitud, pero opuestos en dirección. Si las terminales de un voltmetro de escala pequeña, se conectan las puntas a las barras del conmutador, correspondientes a los conductores localizados en el punto intermedio entre polos adyacentes, no se tendrá deflexión de la aguja del voltmetro al interrumpir la corriente de campo.

En el caso de que las escobillas estén ajustadas de tal manera de que las líneas centrales de las barras o delgas del conmutador entre las cuales no hay voltaje inducido, entonces dichas escobillas estarán en el eje neutro.

El procedimiento a seguir para obtener el punto neutro por este método es el siguiente (figura 14 y 15):

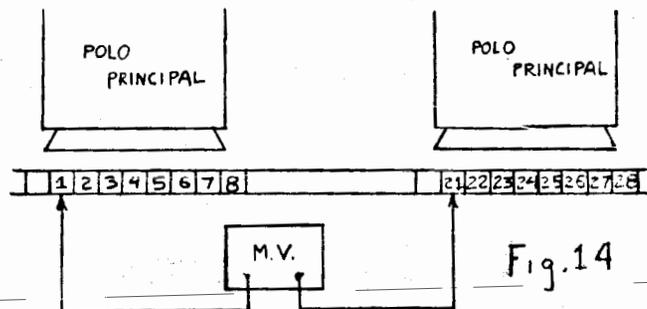
- 1.- Con la máquina parada se quitarán todas las escobillas.
- 2.- Se determinará el número de delgas del conmutador entre dos polos adyacentes.
- 3.- Con una fuente de corriente directa, se excitara ligeramente la máquina, con un interruptor de rápida apertura.
- 4.- Cuando se abra el interruptor mencionado en el punto anterior, se inducirá un voltaje en las bobinas de la armadura, el cual se registrará con un voltmetro, conectado a las delgas del conmutador.
- 5.- Si el número de delgas entre los centros de las escobillas de dos brazos adyacentes resulta fraccionario (por ejemplo $20 \frac{1}{2}$ delgas), se procederá como sigue:
 - a).- Se conectará el voltmetro entre las barras 1 y 21, estando estas localizadas aproximadamente en la zona neutra.
 - b).- Como se indica en los puntos 3 y 4, se alimentará al campo y se abrirá rápidamente el interruptor, leyendo el voltaje inducido en el voltmetro.
 - c).- Se cambiará el voltmetro a las barras 1 y 22, y se procederá de la misma forma, indicada anteriormente.
 - d).- Se girará la armadura lentamente, hasta que las dos lecturas sean iguales, pero de polaridad opuesta. Esto nos indicará, que el punto neutro, está exactamente en la línea central de la delga 1 y en la mica aislante localizada entre las delgas 21 y 22.
 - e).- En estas condiciones, se moverán las escobillas, hasta que estén exactamente sobre estas posiciones.
 - f).- En el caso de que la máquina tenga doble portaesobillas, el centro de ambas, será, el que se coloque en la marca neutra.
- 6.- En el caso, de que el número de delgas sea divisible por el número de polos, se procederá como sigue:
 - a).- Una vez cumplidos los puntos del 1 al 4, y suponiendo, por ejemplo, que tenemos 20 delgas entre polos, se conectará el voltmetro entre delgas 1 y 21, y se leerá el voltaje inducido al abrir el interruptor del campo.

- b).- Se cambiará el voltmetro a las delgas 2 y 22, y se hará el mismo procedimiento realizado en el inciso anterior.
- c).- Una vez obtenidas las lecturas, se girará la armadura en cualquier dirección y se repetirán estas operaciones hasta que las dos lecturas sean iguales pero opuestas.
- d).- Esto nos indicará, que el punto neutro está exactamente entre las delgas 1 y 2, o entre las delgas 21 y 22.
- e).- Se moverán entonces las escobillas a estos puntos, de la manera ya indicada anteriormente.

b).- Descarga en el neutro con la armadura estacionaria.

Por otro lado, si la armadura no puede girarse, al eje neutro se localiza, basándonos en el trazo de la curva que se describirá a continuación:

- 1.- En el caso de que el número de delgas sea divisible por el número de polos, se procederá como se describió con anterioridad, o sea se leerán los voltajes inducidos entre las delgas 1-21, 2-22, 3-23, etc. (suponiendo al ejemplo de 20 delgas entre polos), hasta el punto donde la polaridad del voltaje inducido se invierte.
- 2.- Se registrarán entonces, cuatro lecturas, dos de cada lado del punto de inversión.
- 3.- Se referirán estos valores a ejes coordenados, trazando como ordenadas los voltajes inducidos y como abscisas las delgas del conmutador (figura No.16).
- 4.- Hay que tener en cuenta, que el ancho de cada delga, quede representado por el segmento entre cada 2 marcas, así el punto medio estará indicado por la distancia media entre marcas.
- 5.- Una vez que se haya determinado el punto de inversión de polaridad a partir de la curva, se marcará la posición relativa en el conmutador, siendo este el eje neutro buscado.



- 6.- Finalmente se moverán las escobillas al punto neutro encontrado.
- 7.- El diagrama de conexiones y la gráfica que se hace mención es como sigue:

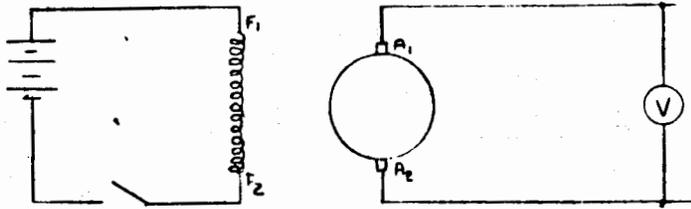


Fig. 15

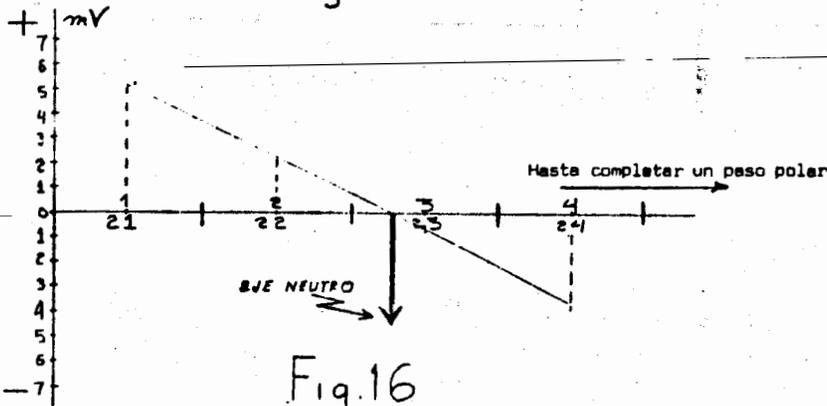


Fig. 16

En el caso de que el número de delgas entre polos adyacentes (paso polar) sea fraccionario (Ej: 105 delgas = 26,25/4 polos = paso polar), por un lado se trazará una curva de potencial a partir de las lecturas entre delgas 1-27, 2-28, 3-29, etc. Asimismo se dibujará otra curva de acuerdo a las lecturas entre delgas 1-28, 2-29, 3-30, 4-31, etc. (Fig. 17).

El acomodo de las delgas en el eje de las abscisas se efectúa de la siguiente manera:

Inicialmente partiendo del origen, se dibujan en la parte superior de la recta los segmentos completos de las delgas, partiendo del número uno hasta completar un paso polar; en este caso se dibujarán 26,25 segmentos. A continuación en la parte inferior de la recta y nuevamente partiendo del origen, se continúan trazando los segmentos correspondientes de las delgas, a partir de aquella que quedó inconclusa en la parte superior, es decir, como ya se dibujó en la parte superior 0,25 de la delga 27, se iniciará el

trazo en la parte inferior con 0,25 de dicha delga, continuando con la delga 28 y así sucesivamente.

Para dibujar el potencial correspondiente a las delgas 1-27 se obtendrá el punto medio correspondiente al segmento comprendido entre ambas delgas, y a partir de él se trazará la magnitud de tal potencial. Los puntos correspondientes a las delgas 2-28, 3-29, etc., se obtendrán en forma semejante, trazándose de esta manera la primera curva de potencial.

Por otro lado los puntos de potencial correspondientes a las lecturas de las delgas 1-28, 2-29, 3-30, etc., se obtienen en forma similar al procedimiento anterior, es decir, por ejemplo, para trazar la lectura correspondiente a las delgas 1-28, se obtendrá el punto medio del segmento comprendido entre ambas delgas, dibujándose a partir de él dicha lectura. La unión de estos nuevos valores, dará lugar a la segunda curva de potencial.

Finalmente la localización del punto neutro quedará determinado en el punto medio del segmento comprendido por la intersección de las dos curvas de potencial en el eje de las abscisas.

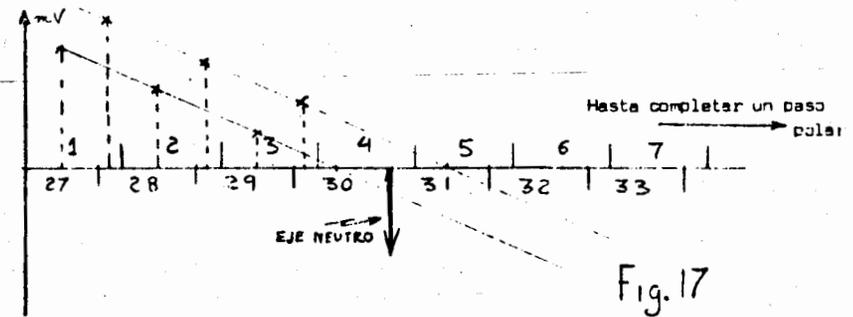


Fig. 17

c).- Giro de ambos sentidos.

En el caso de las escobillas de la máquina se encuentran en el punto neutro. La velocidad de la máquina, como motor, es igual en ambos sentidos de rotación, manteniendo tanto el voltaje, como la corriente de campo constantes. En este principio se basa el método por analizar, y por lo general se usa en máquinas pequeñas.

- 1.- La máquina se trabajará, como motor, a su más alta velocidad nominal y con carga normal en ambos sentidos de giro.
- 2.- Las velocidades de cada dirección, bajo las mismas condiciones de operación.

ración, deberán estar dentro de un 2% como tolerancia en diferencia.

- 3.- En el caso de no tener este 2%, deberán moverse las escobillas y probar nuevamente hasta obtener esta tolerancia.
- 4.- Tratándose de pequeños generadores, con polos de conmutación, es frecuente y conveniente ajustar las escobillas de tal manera que la máquina genere el mismo voltaje en ambos sentidos de giro, manteniendo tanto la velocidad como la corriente de campo constante.
- 5.- En todas las pruebas, para determinar la correcta posición de las escobillas, utilizando este método, es esencial asegurar correctamente las escobillas y verificar que sus caras tengan buen contacto con el conmutador.
- 6.- Para obtener resultados más precisos, tratándose de generadores es conveniente abrir y cerrar el circuito de carga varias veces antes de tomar la lectura definitiva. En el caso de motores, se recomienda incrementar la carga aproximadamente $1\frac{1}{2}$ veces la norma, posteriormente ésta se decrecerá hasta el valor normal, tomando entonces la lectura deseada.

El encontrar el eje neutro nos evitará chisporroteos en el colector, los cuales causan desperfectos en el mismo.

d).- Con una fuente de C.A.

Este método se basa en excitar a la máquina con una fuente de corriente alterna cuando se encuentra aquella sin girar, bajo tales condiciones se presentará un efecto inductivo constante entre los embobinados de armadura y de campo. Por facilidad y disponibilidad en el caso particular del equipo disponible en el laboratorio, con un transformador con su secundario a 18 volts se alimenta la armadura de la máquina en prueba, (terminales A_1 y A_2). Se conecta un voltmetro (0-140 volts) en las terminales F_1 y F_2 . A continuación se mueven las escobillas hacia uno y otro lado; con objeto de determinar la posición del eje neutro y el cual se localizará cuando la lectura del voltmetro sea cero, que corresponde además al punto a donde las fuerzas electromotrices inducidas se equilibran en el interior.

El método presenta la ventaja que al utilizar tensión alterna el efecto inductivo es permanente y no es por lo tanto necesario disponer del registro de voltajes instantáneos como se describe en los métodos anteriores, usando una patada inductiva; por lo que la aplicación de este último resulta más sencilla.

La prueba podría efectuarse también alimentando el embobinado de campo, registrando la lectura de voltaje en la armadura, excepto que bajo tales condiciones la relación de transformación se invertiría siendo necesario aplicar un voltaje más elevado al campo y conectado un voltmetro de menor lectura en la armadura, no obstante de cualquier manera el efecto en uno y otro caso será el mismo.

DIAGRAMA DE CONEXIONES

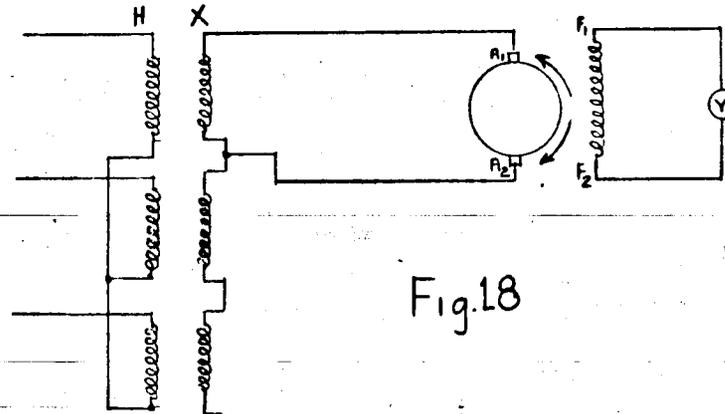


Fig.18

REACCION DE ARMADURA

El campo magnético principal en un generador de C.A. se establece por la corriente que fluye en los embobinados del campo. La distribución de líneas de flujo, cuando la corriente de campo está actuando sola, es uniforme, y la densidad de flujo en todos los puntos bajos y en las caras polares es más o menos la misma.

Esto se representa en la figura 19 por el igual espacio entre las líneas de flujo y por su distribución uniforme de un extremo al otro de la cara polar.

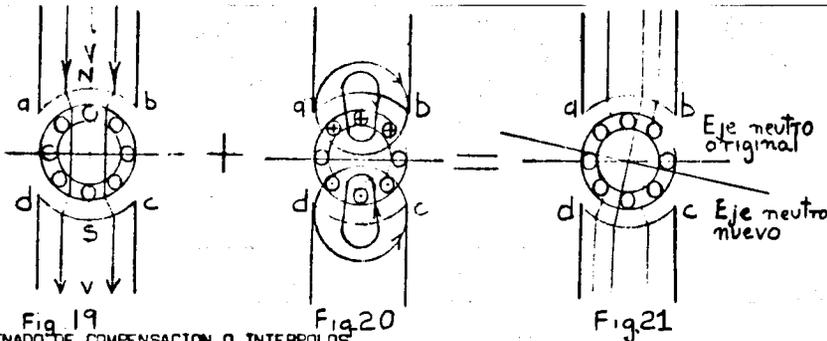
Cuando una corriente fluye, en el embobinado de la armadura, establece un campo magnético como se muestra en la figura 20. Este campo magnético es perpendicular al principal y por esta razón algunas veces es llamado campo magnético cruzado.

Si la figura 19 se superpone a la figura 20, se observa que el flujo principal debido a la corriente de campo, y el flujo de armadura están en la misma direc

ción cerca de los extremos polares b y d, y están en direcciones opuestas cerca de los extremos polares a y c. La distribución de flujo entre los polos, - el cual originalmente estuvo uniforme cuando la corriente de armadura valía - cero, ya no es uniforme. El flujo tiende a concentrarse más cerca de los extremos polares b y d. Esto, obviamente, resulta en una distorsión del flujo y en una inclinación de la línea de flujo entre los polos. El eje neutro magnético se desvía también en la dirección de rotación del generador. La distribución de flujo combinado se muestra en la figura 21.

El incremento en la densidad de flujo cerca de los extremos polares b y d es - mucho menor que el decremento en la densidad de flujo cerca de los extremos polares a y c. Consecuentemente el flujo total entre los polos disminuye.

Los dos efectos de la corriente de armadura en la distribución de campo, es decir, la distorsión de la distribución de flujo y consecuentemente el desplazamiento del eje neutro magnético y la disminución en el flujo total constituyen lo que comúnmente se llama reacción de armadura.



EMBOBINADO DE COMPENSACION O INTERPOLOS

Uno de los efectos de la reacción de armadura es el efecto magnetizante cruzado, el cual afecta a la conmutación.

Las escobillas estacionarias están localizadas en tal posición que puntean segmentos o delgas adyacentes del conmutador en los instantes de tiempo, en que las bobinas conectadas a estas delgas, están en eje neutro magnético, y consecuentemente sufren conmutación cuando la f.e.m. en las bobinas en corto circuito provocado por las escobillas, no vale cero; esto ocasiona chisporroteo en las mismas. El segundo efecto de la reacción de armadura es llamado efecto desmagnetizante. El flujo total se disminuye y consecuentemente la f.e.m. generada es proporcional a la corriente de carga.

Estas dificultades se resuelven introduciendo polos adicionales, conocidos como interpolos, entre los polos principales.

La polaridad de dichos polos de conmutación son tales que contrarrestan la f.e.m. generada en las bobinas de armadura sufriendo conmutación. (fig. 22)

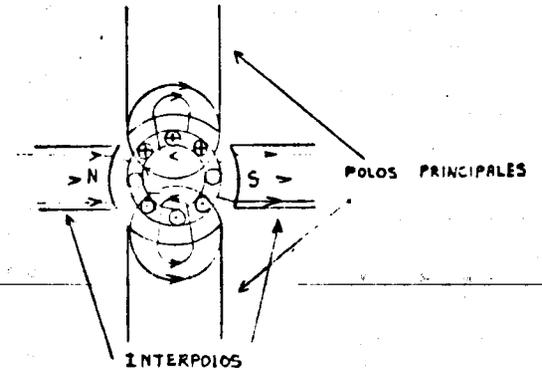


Fig. 22

Otra forma de contrarrestar el efecto de reacción de armadura, consisten en utilizar los embobinados de compensación, tales embobinados se localizan usualmente en las caras polares y están conectadas en serie con la carga y con el circuito de armadura, de tal manera que el campo magnético establecido por los embobinados de compensación contrarrestan el efecto desmagnetizante de la reacción de armadura. (figura 23).

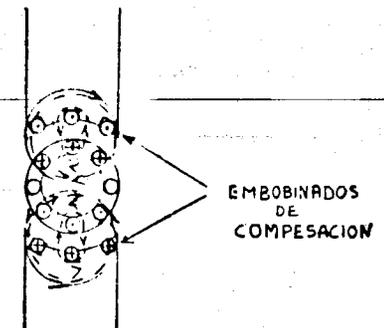


Fig. 23

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 8

DETERMINACION DE LAS CURVAS DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS MAGNETICAS PARA UN GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CURVA DE SATURACION EN VACIO Y PERDIDAS MAGNETICAS
PARA UN GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA.

La curva de saturación en vacío, también llamada curva de magnetización sirve para determinar la variación de voltaje con relación a la corriente de excitación o de campo.

La curva de magnetización originalmente se conoce en función de los términos de intensidad de campo (H) y densidad de flujo, (B).

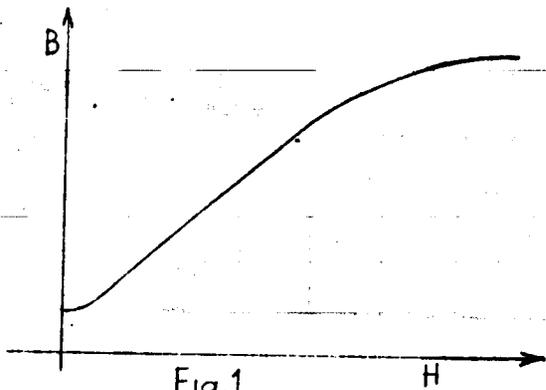


Fig. 1

Sin embargo también se sabe que:

$$E = \frac{\phi \times P \times N \times Z}{a \times 60} \times 10^{-8} \text{ Volts.}$$

- en que: E = Fuerza electromotriz inducida.
 φ = Flujo por polo
 P = Número de polos
 N = Velocidad de la armadura (R.P.M.)
 Z = Número de conductores en la armadura.
 a = Número de pasos en paralelo

Sin embargo en un generador determinado la expresión puede tomar la siguiente forma:

$$E = K N \phi$$

$$\text{En que: } K = \frac{Z P \times 10^{-8}}{a \times 60}$$

Finalmente: si A = Area del polo.

$$E = K N A B$$

Es decir, manteniendo la velocidad del generador constante la expresión de la tensión inducida adapta la siguiente forma:

$$E = K' B$$

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

$$\text{Por otro lado: } H = N \frac{i_{exc}}{l}$$

En que N = Número de vueltas de la bobina del campo. *del polo.*
 l = Longitud del conductor de la bobina. *en el polo*

Por lo que para un generador determinado, la expresión anterior puede tomar la siguiente forma:

$$i_{exc} = K'' H \quad \text{en que: } K'' = \frac{l}{N}$$

Por lo tanto, se concluye que los elementos H y B pueden ser reemplazados por los términos i_{exc} y E aplicando las respectivas constantes.

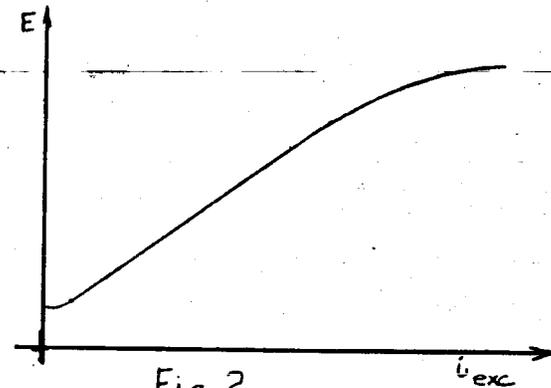


Fig. 2

El diagrama de conexión que se utilizará será el siguiente.

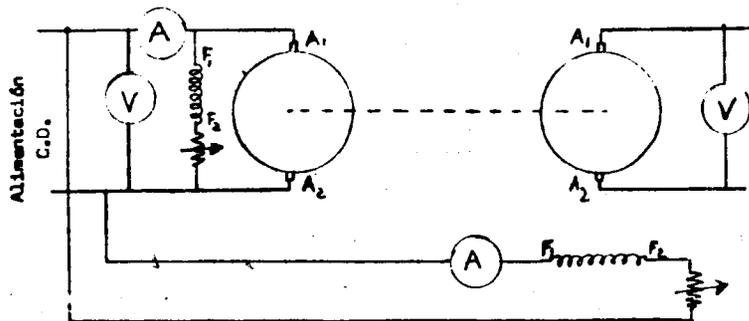


Fig. 3

Las mediciones que se tomarán serán las de voltaje, corriente de excitación y la de velocidad, siendo requisito indispensable como se expresó anteriormente que ésta sea constante.

Asimismo para evitar la inclusión de modificaciones debidas a la histéresis, es menester trazar la curva siempre con valores ascendentes o descendentes.

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

Al iniciar las mediciones iniciales tendremos que:

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

Quando se incrementa la I_0 el voltaje del alternador sube, al realizar las mediciones para este segundo punto encontramos:

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

Las pérdidas mecánicas y pérdidas eléctricas en el campo del motor son iguales al permanecer la velocidad y el voltaje constantes.

Al realizar la diferencia de ambas potencias queda:

$$W_2 - W_1 = \text{Pérdidas magnéticas} + (I_2^2 R_a - I_1^2 R_a),$$

R_a = resistencia de armadura del motor.

Las diferencias de las dos últimas cantidades se puede considerar despreciable, por lo tanto:

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

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

Generador C.D.			Motor C.D.				
V	I_0	RPM	V	I	W	$W_i - W_1$	
V_{rem}	0	Nominal	V_1	I_1	W_1		
V_1	I_1	Cte.	Cte.	I_2	W_2	$W_2 - W_1$	W_a
V_2	I_2			I_3	W_3	$W_3 - W_1$	W_b

Finalmente:

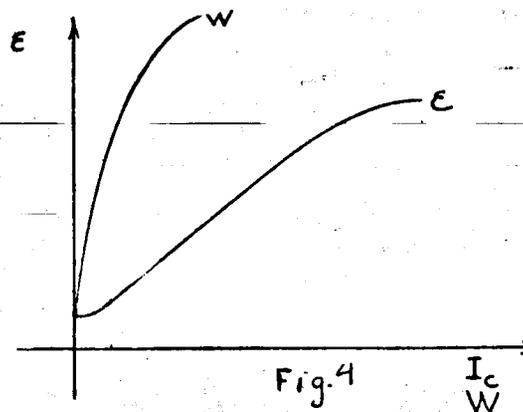


Fig. 4

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

Práctica No. 9

CURVAS DE REGULACION DE VOLTAJE CON
CARGA VARIABLE PARA UN GENERADOR DE
C.D.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CURVAS DE REGULACION DE VOLTAJE CON CARGA VARIABLE PARA UN GENERADOR DE C.D.

La regulación representa cuantitativamente la variación de tensión entre terminales al pasar ésta de la carga normal a funcionar en vacío.

La regulación de un generador de corriente continua es la variación de tensión cuando se reduce la carga desde su valor nominal a cero expresada en tanto por ciento de la tensión nominal.

$$\% \text{ Reg} = \frac{V_0 - V}{V} \times 100$$

V = Voltaje de carga nominal.
V₀ = Voltaje en vacío.

Al realizar las pruebas de regulación a menos que se establezca otra cosa la carga debe hacerse crecer hasta su valor nominal y la regulación se determinará al hacer disminuir la carga. En nuestro caso por limitaciones de equipo la carga considerada como nominal será $\frac{1}{2}$ de la capacidad del generador.

El tipo de excitación que usaremos será: En derivación, independiente, compuesta acumulativa, compuesta plana y compuesta diferencial.

Excitación en derivación

Si un generador con excitación en derivación después de alcanzar su tensión nominal, se conecta a una carga, la anterior bajará. Esta caída de tensión aumentará cuando aumente la carga.

Existen tres causas que motivan la caída de potencial en un generador con excitación en derivación con carga:

- 1.-La tensión en los terminales es menor que la f.e.m. debido a la caída de resistencia en el inducido, es decir: $V = E - I_a R_a$.
- 2.-La reacción del inducido debilita el campo y reduce así la f.e.m. inducida. (No, si la máquina tiene interpolos o embobinados de compensación) Este efecto se conoce como reacción de armadura.
- 3.-La caída de tensión entre terminales produce una reducción de la corriente en la excitación, esto a su vez, determinará una reducción de la f.e.m. inducida.

El tipo de curva y tabla de valores que obtendremos será de la siguiente forma:

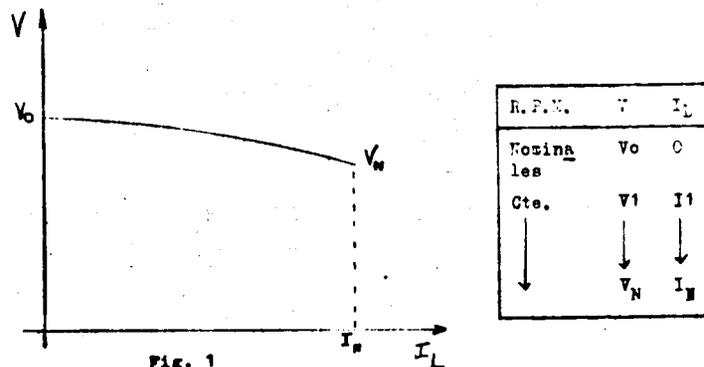


Fig. 1

Diagrama de conexiones:

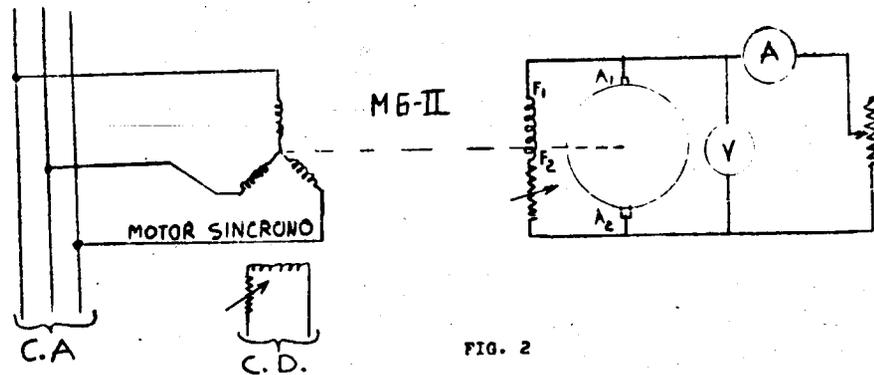
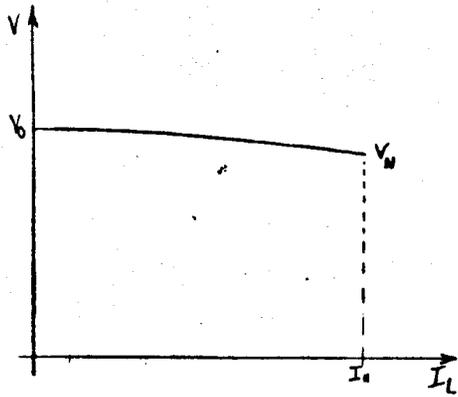


FIG. 2

Excitación independiente.

Su característica de regulación es prácticamente lineal y poco descendente. Con este tipo de excitación la curva tenderá a caer debido a la caída interna en la armadura, por lo tanto entre mayor sea la corriente mayor será la caída de voltaje; no obstante en este caso la caída de tensión será menor en el caso de excitación en derivación.

Curva y tabla de valores:



R. P. M.	V	I _L
Nominales	V ₀	0
Cte.	V ₁	I ₁
	V _N	I _N

FIG. 3

Diagrama de conexiones:

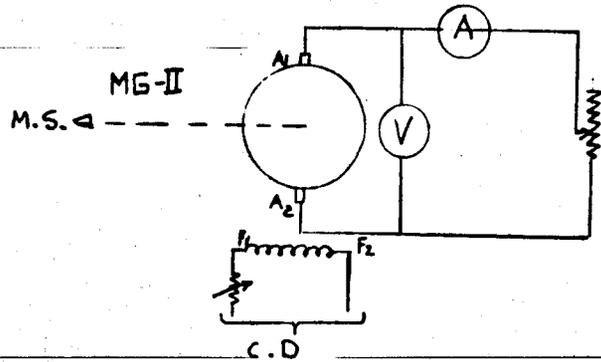
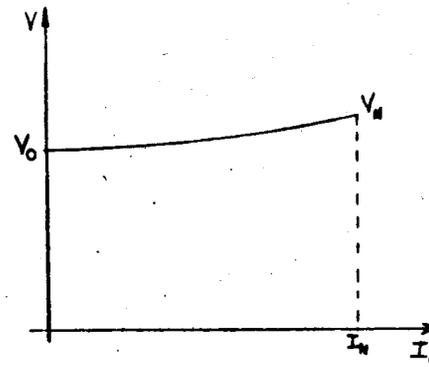


FIG. 4

Excitación compuesta acumulativa.

En este caso, la presencia del campo serie, compensa la caída producida por el campo derivación, debido a que el efecto del primero robustece al segundo. La curva inclusive puede adoptar una pendiente positiva y el valor de regulación dá un valor negativo.

Curva y tabla de valores:



R. P. M.	V	I _L
Nominales	V ₀	0
Cte.	V ₁	I ₁
	V _N	I _N

FIG. 5

Diagrama de conexiones:

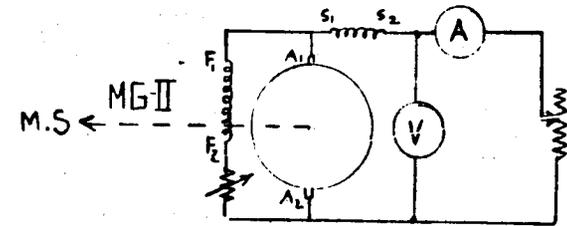


FIG. 6

d) Excitación compuesta plana.

Si en la misma conexión anterior se agrega una resistencia o puente derivador al campo serie, puede lograrse obtener una curva de regulación igual a cero, puesto que variando la magnitud de dicho reactivo se variará la corriente que circule a través del campo serie.

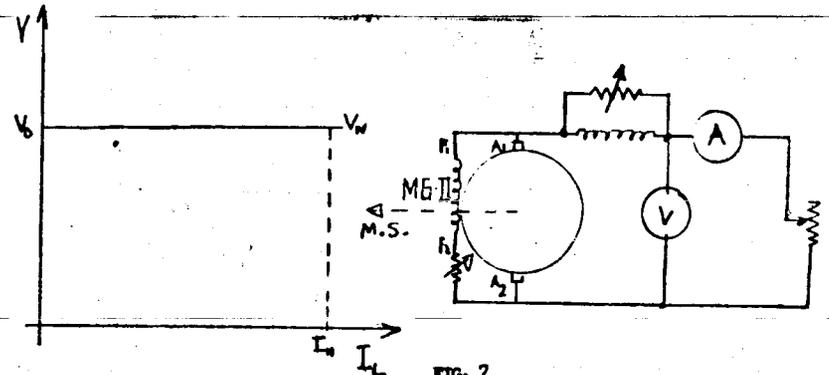


FIG. 7

Excitación compuesta diferencial.

Puesto que en este caso el efecto del campo serie es opuesto al del campo derivación, el valor neto resultante disminuirá rápidamente, por lo que el voltaje terminal variará considerablemente con el aumento de corriente, inclusive como se observará en el diagrama, existe un punto en el cual el voltaje terminal será cero a una determinada corriente de línea. Esta condición es aprovechada para los generadores utilizados en máquinas soldadoras.

Curva y tabla de valores:

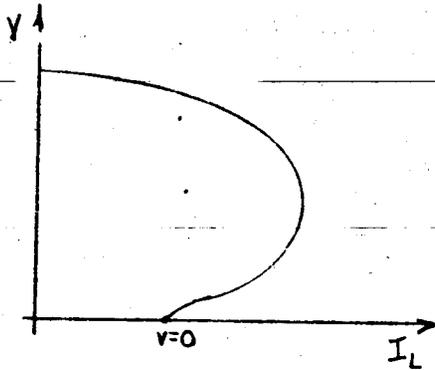


FIG. 8

R. P. M.	V	I_L
Nominales	V_0	0
Cte.	V_1	I_1
	V_N	I_N

Diagrama de conexiones.

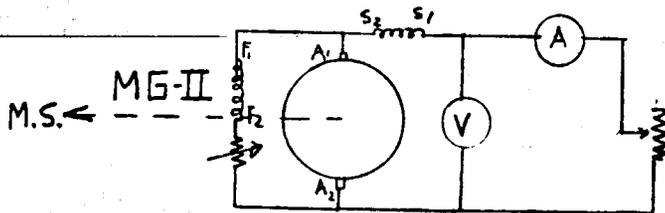


FIG. 9

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 10

CURVAS DE REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN
MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CURVAS DE REGULACION DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

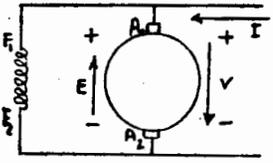
OBJETO

Esta práctica tiene como objeto el conocer las curvas de regulación de velocidad para un motor de corriente directa.

En forma semejante a la regulación de voltaje en un generador la regulación de velocidad, para un motor será:

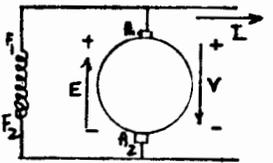
%Reg = (N0 - N) / N x 100

En que N0 = velocidad en vacío; N = velocidad a plena carga.



Motor V = IRa + E

Fig. 1



Generador V = E - IRa

Fig. 2

La fem. generada en un motor de C.D. se opone al voltaje aplicado V, y por esta razón es llamada fuerza contraelectromotriz.

De la expresión V = IRa + E tenemos: IRa = V - E I = (V - E) / Ra

Donde: E = Kn φ siendo: n el número de revoluciones por minuto; φ = flujo magnético

I = (V - E) / Ra

En el momento de arranque, n = 0 y consecuentemente la fem. vale cero y la corriente circulando en la armadura está limitada por la resistencia de la armadura, la cual generalmente es muy pequeña, así Ia = V / Ra. Por ejemplo, en el caso de un motor de C.D. de 120 volts, 1 HP, la Ra resistencia de la armadura es alrededor de 0.5 a 1 Ohm. La corriente nominal de plena carga de la armadura es 746/120 = 6 amps., aproximadamente. El embobinado está usualmente diseñado para resistir sobrecargas de 30 a 50%. El valor del coeficiente de seguridad del embobinado puede tomarse como 10 amps. En el momento del arranque, la fem. es cero y la corriente que circula en la armadura es 120/1 ó 120 amps. o más; esta corriente excesiva quemaría al embobinado. Se podría disponer de un arreglo que permitiera la aplicación de un pequeño voltaje a las terminales de la armadura en el momento de arrancar el motor. El voltaje puede entonces incrementarse gradualmente conforme el motor aumente su velocidad y la fem. se genera.

Sin embargo, el método más usual para limitar la corriente de arranque es conectar en serie con la armadura un reóstato (Fig. 3), según el cual Ia = V / (Ra + R) limitando así la corriente a valores controlados. Durante la operación de arranque la magnitud de la resistencia se disminuye gradualmente hasta eliminarla.

Los arrancadores más elaborados incorporan elementos los cuales nos permitirán aplicar un pequeño voltaje a la armadura y pleno voltaje al campo en derivación en el momento del arranque. Esto es conveniente dado que el Pa de arranque en estos motores es igual a I = KIa φ, en este caso como la corriente de armadura Ia es limitada, el otro parámetro φ que es función de la corriente de campo deberá procurarse siempre sea al máximo durante el arranque.

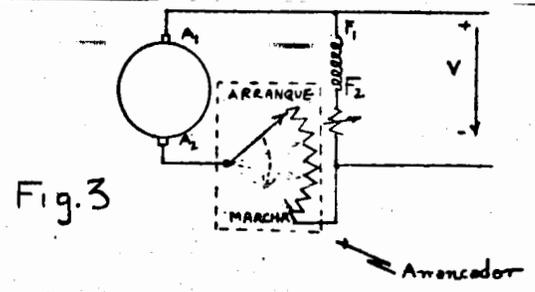


Fig. 3

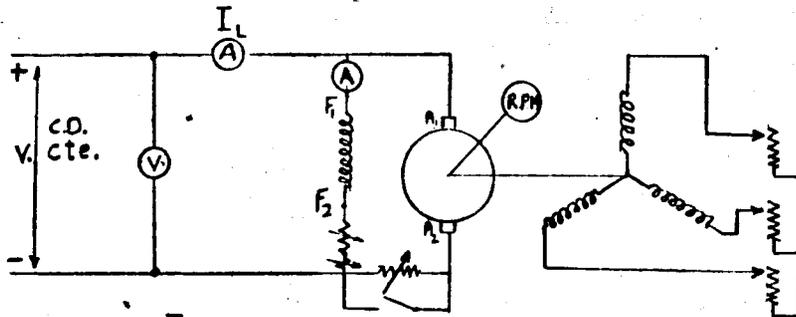


Fig.4

La manera de obtener la curva, será suministrando carga gradual a través del generador de C.A., aumentando su corriente cuando las resistencias de carga, es conveniente que antes de efectuar las lecturas de prueba, se opere la máquina a condiciones nominales por unos minutos a fin de estabilizar la temperatura de sus elementos.

De la expresión:
$$I = \frac{V - Kn \phi}{R}$$

Despejando a 'n' tendremos:
$$n = \frac{V - IR_a}{K \phi}$$
 donde V y ϕ son constantes.

El flujo se mantiene constante al sostener en un mismo valor la corriente de campo I_c .

Por lo tanto, como el único elemento que varía será I_a , la curva que obtendremos será de la forma siguiente.

R.P.M.	I_L
Nominales	I_{Lmin}

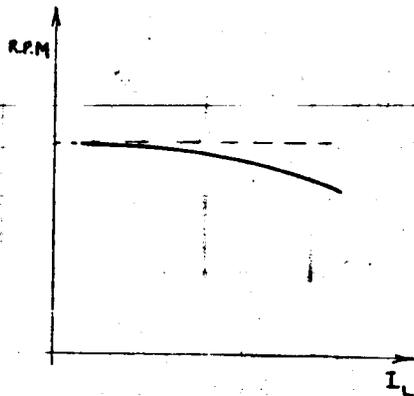


Fig.5

En el motor con excitación en derivación, cuando el flujo inductor permanece prácticamente constante, y se tiene un aumento de carga, la reducción de velocidad disminuye la fuerza contraelectromotriz. Si la fuerza contraelectromotriz decrece, fluye más corriente al inducido hasta que su aumento produce un par suficiente para equilibrar la demanda correspondiente al aumento de carga. Por lo tanto el motor con excitación en derivación está siempre en condiciones de equilibrio estable, porque ante las variaciones de carga funciona siempre adaptando la potencia absorbida a dichas variaciones.

Los motores con excitación en derivación se emplean cuando se requiere una velocidad casi constante, como en las máquinas de hilar, aspiradores, etc.

Motores con excitación compuesta.

A un motor con excitación en derivación se le puede conectar un embobinado serie, en cuyo caso se dice que el motor es con excitación compuesta acumulativa, o bien pueden estar los embobinados en oposición, en cuyo caso se llama motor con excitación compuesta diferencial.

Motor con excitación compuesta acumulativa.

Quando se aplica la carga, las espiras del campo serie producen un aumento de flujo, dando lugar a que el par, para una corriente dada, sea mayor que el que correspondería a un motor con excitación en derivación. (Recuérdese $T = K\phi I_a$)

El motor con excitación compuesta acumulativa desarrolla un par elevado cuando se aumenta súbitamente la carga, tiene una velocidad definida en vacío y no hay peligro de que se dispare cuando se le suprime la carga.

La velocidad disminuye con la carga. Como resultado de ello, una gran parte de la energía cinética almacenada queda disponible para cubrir una parte del aumento de carga, con lo que se reduce la sobrecarga eléctrica del motor. La energía cinética disponible se aumenta con frecuencia mediante volantes, especialmente en los motores para trituradoras de rodillos.

Las aplicaciones de este motor son destinadas para soportar súbitamente cargas intensas, como sucede con los laminadores, cizallas, punzadoras, prensas, trasportadores, también se usa cuando no se puede utilizar adecuadamente el motor serie, como aparatos de elevación y gruas.

La curva que obtendremos es de la siguiente forma:

Desde luego que la variación de velocidad serán mayores en este caso. La regulación por lo tanto será mayor.

R.P.M.	I_L
Nominales	I_{Lmin}

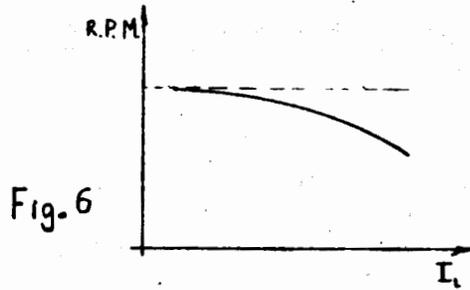


Fig. 6

En igual forma se obtiene la curva, suministrando carga a través del generador de C.A.

El diagrama de conexiones es:

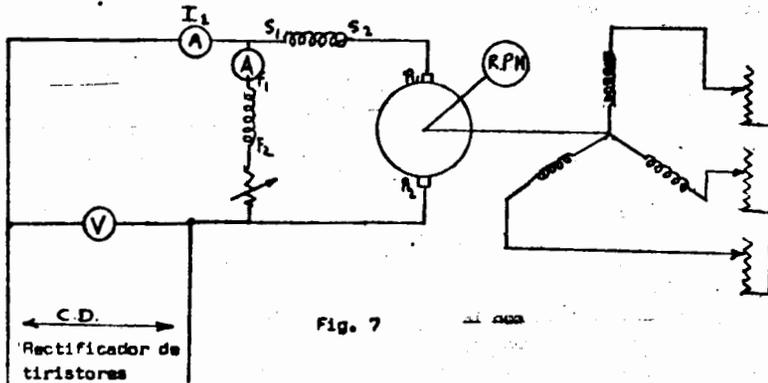


Fig. 7

Motor excitación compuesta diferencial.

En el motor con excitación compuesta diferencial, el embobinado serie, genera un campo opuesto al producido por el embobinado en derivación, de manera que el flujo decrece al aplicar la carga, dando como resultado que la velocidad se mantenga prácticamente constante o con tendencias a aumentar cuando la carga se incrementa.

Como el campo se debilita al aumentar la carga, la velocidad se vuelve inesta-

ble y el motor se acelera. Al poner en marcha el motor, es conveniente poner en corto circuito al embobinado serie o limitar su corriente al máximo, porque la corriente de arranque es intensa en este embobinado y puede equilibrar las ampères-vuelta del embobinado en derivación y provocar el arranque del motor en la dirección contraria a la normal, en este caso es imprescindible que la corriente del campo derivación sea máxima. Para invertir el sentido de rotación, se debe invertir solamente el flujo de la armadura o estator. Si se invierten los dos el sentido de rotación será el mismo, de esto se desprende que es indiferente la polaridad de los conductores de la línea de alimentación.

Este tipo de conexión es muy usado para máquinas que se utilizan en grupos motor generador.

Conectando un puente derivador en el campo serie es posible también llegar a obtener una curva plana de regulación 0.

La curva y el diagrama de conexiones es el siguiente.

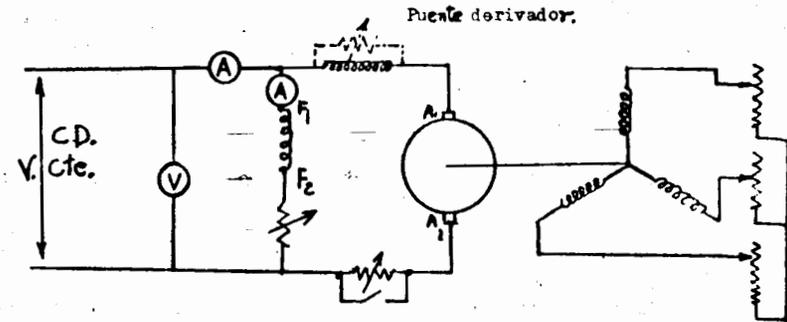


Fig. 8

R.P.M.	I_L
Nominal	I_{Lmin}

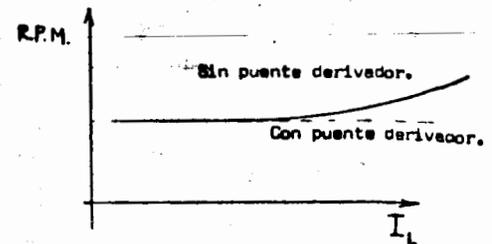


Fig. 9

Motor con excitación en serie.

Uno de los motores de corriente directa cuyo uso mas se ha extendido, es el motor excitación serie, su aplicación cubre principalmente muchos tipos de vehículos, tales como trarvías, trolebuses y locomotoras. Las ventajas en este tipo de aplicaciones provienen del par tan elevado que produce a bajas revoluciones (fig. 10).

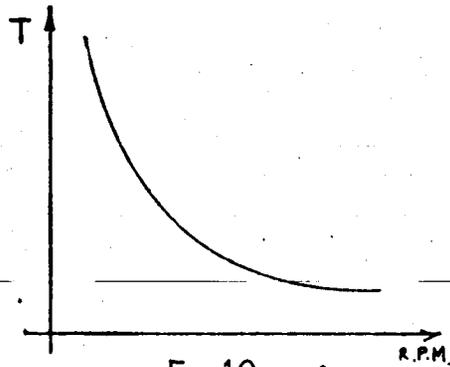


Fig.10

No obstante lo anterior su operación es un cuanto tanto riesgosa ya que corre al peligro de desbocarse cuando se queda sin carga, ya que según la expresión de la velocidad $n = K (V - I_a R_a)$, esta aumentará conforme el flujo disminuye, siendo en este caso, Φ por tratarse de un motor con campo en serie, al flujo depende de la corriente de carga. De esta manera la curva que se obtiene se muestra en la figura 11.

El arreglo del equipo para la obtención de la gráfica anterior se muestra en la figura 11.

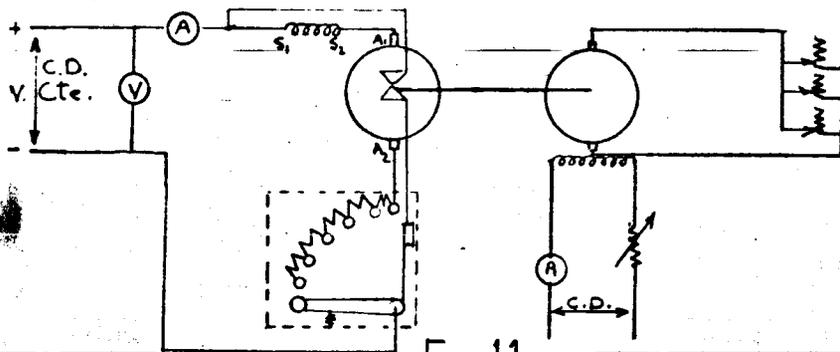


Fig.11

Se observarán, las precauciones especiales que se tomarán en la conducción de la prueba:

- 1.- Se utiliza un interruptor centrífugo que desconectará al motor si las RPM sobrepasan un cierto régimen.
- 2.- La excitación del generador de C.D. de carga, es independiente lo que garantiza que este nunca se queda sin ella.
- 3.- Finalmente la curva se trazará en forma inversa a las demás, es decir partiendo de plena carga del generador y disminuyéndola paulativamente de manera de no sobrepasar el rango de seguridad, así las lecturas se tomarán como sigue:

rpm	I_L
Mínimos	I_{Lmax}
valores crecientes	valores decrecientes

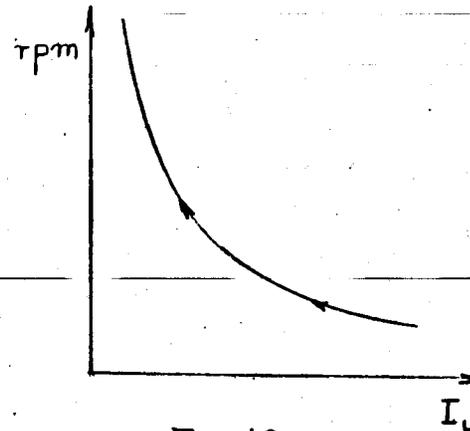


Fig.12

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 11

ACOPAMIENTO DE GENERADORES DE CORRIENTE
DIRECTA.

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

ACOPLAMIENTO DE GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA

En el suministro de energía eléctrica es necesario, o por lo menos conveniente, que la potencia se suministre mediante varios generadores en lugar de hacerlo con uno de mayor capacidad. Algunas de las ventajas que ofrece el suministro de energía eléctrica en esta forma son los siguientes:

- a).- Varias unidades pequeñas ofrecen mayor seguridad que una grande porque, si una de ellas se avería, no por ello queda totalmente interrumpido el suministro.
- b).- Los generadores pueden ponerse en servicio o desconectarse de la red, según sea la carga existente, lo que permite hacer marchar los generadores a su carga de régimen en beneficio del rendimiento, ya que en estas condiciones operan en la región de eficiencia máxima (fig. 1).
- c).- Un generador se puede reparar con mayor facilidad si existen varios en la central.
- d).- Se pueden instalar generadores adicionales a medida que aumenta la demanda de la red servida por la central.
- e).- La carga de la central puede superar la capacidad de cualquier generador solo utilizable.

Las máquinas de corriente directa podrán conectarse en serie o en paralelo. Se conectarán en serie cuando se quiera aumentar su capacidad en tensión y en paralelo cuando se quiera aumentar su capacidad en corriente a un mismo voltaje.

El acoplamiento en paralelo de generadores excitación en derivación es muy usado, debido a que se pueden acoplar máquinas de diferentes capacidades,

Cuando las máquinas no son iguales, tendrán desde luego diferentes curvas de regulación de voltaje. Si se parte de $I_L = 0$ y se va aumentando la carga, entonces para un mismo voltaje, las corrientes proporcionadas por ambas máquinas serán distintas como se ve en la figura 2.

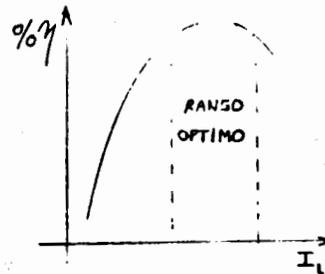


Fig. 1

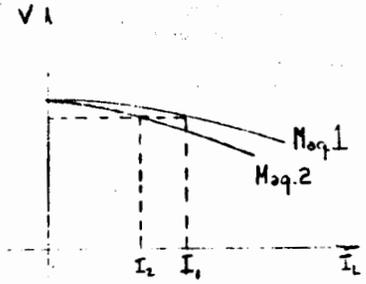


Fig. 2

Para poder igualar las cargas se cambia la curva de regulación de una máquina por medio de su reostato de campo, de manera que se igualen las corrientes como se ilustra a continuación:

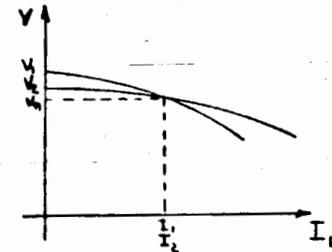


Fig. 3

Algunos acoplamientos posibles son:

- 1.- Excitación serie.
 - a- Acoplamiento serie.
 - b- Acoplamiento paralelo.
- 2.- Excitación de derivación.
 - a- Acoplamiento serie.
 - b- Acoplamiento paralelo.
- 3.- Excitación compuesta acumulativa en derivación.

1a- Excitación serie conectada a serie.

Hace algún tiempo se requería transmitir ciertas cantidades de energía con medianas distancias lo cual no se lograba con un solo generador, en este caso se podía utilizar dos o más generadores acoplados en serie con lo que se obtenía el voltaje requerido.

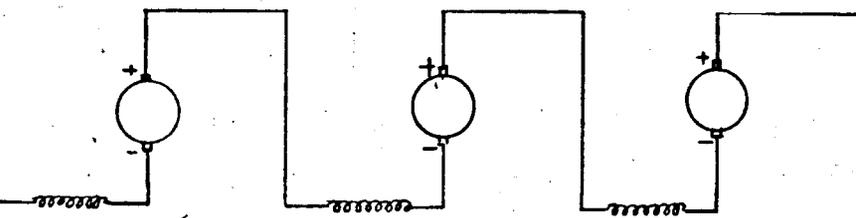


Fig. 4

El voltaje de salida es igual a la suma de los voltajes de cada generador y la corriente es la misma en todo el circuito.

1b- Excitación serie conectada en paralelo.

Aunque este tipo de conexión no es común, su operación tan peculiar conviene señalarla. En este tipo de conexión, si por diversas causas el generador B tomará más corriente que el generador A y la carga se mantiene constante (fig. 5), el punto b estará a mayor potencial que el punto a; lo cual origina que la corriente del generador A decaezca totalmente hasta inclusive invertir su sentido y trabajar como motores. Al acontecer lo antes mencionado hace que dicho acoplamiento sea inestable llegándose aún a producir un corto circuito, ya que el sentido de la fuerza electromotriz en esta máquina se invertiría al cambiar la corriente de excitación que es también la corriente de carga. Para estabilizar este sistema se hace uso de lo que llama barra estabilizadora o igualadora (fig. 6).

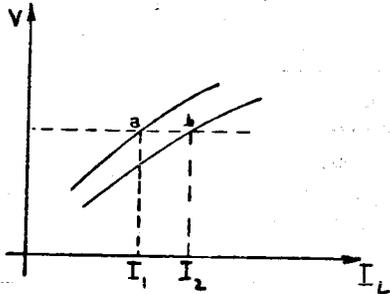


Fig. 5

La barra igualadora mantiene el mismo potencial de salida en ambas máquinas haciendo estable su operación.

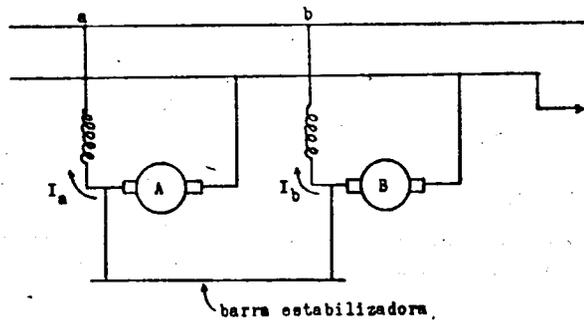


Fig. 6

2a- Excitación en derivación conectada en serie.

Este acoplamiento tiene por objeto aumentar la tensión de salida. Los requisitos para hacer este acoplamiento son conectar el positivo de una máquina con el negativo de la otra.

El voltaje terminal (V_L) será igual a la suma de los voltajes de cada máquina $V_1 + V_2$ (fig. 7).

Circuito:

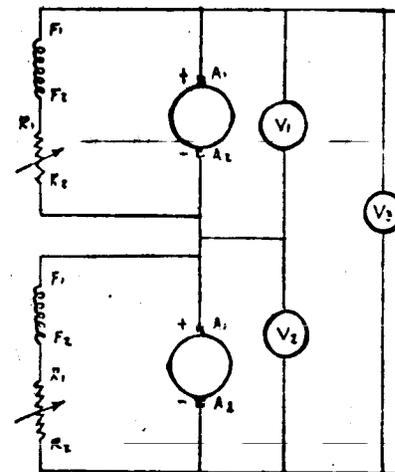


Fig. 7

El procedimiento para su conexión es el siguiente:

Se arrancan por separado ambas máquinas, después con un voltmetro se medirán los voltajes de cada generador determinándose así el positivo y el negativo de cada generador. Enseguida, se conectarán como se muestra en la figura y la carga se conectará en los extremos.

Como se observa en la figura 7, esta conexión tiene la ventaja que con solo dos máquinas se obtienen 3 voltajes disponibles, en forma semejante con 3 máquinas se obtendrían 6 voltajes disponibles.

2b- Excitación derivación conectada en paralelo.

El procedimiento para hacer esta conexión es la siguiente:

Se arrancan por separado cada generador y con un voltmetro se determinará su polaridad.

Por medio de sus reostatos de campo se hará que ambas máquinas generen los mismos voltajes (igualación de tensión).

Una vez hecho esto se conectarán como el circuito de la figura y se cerrarán sus respectivos interruptores.

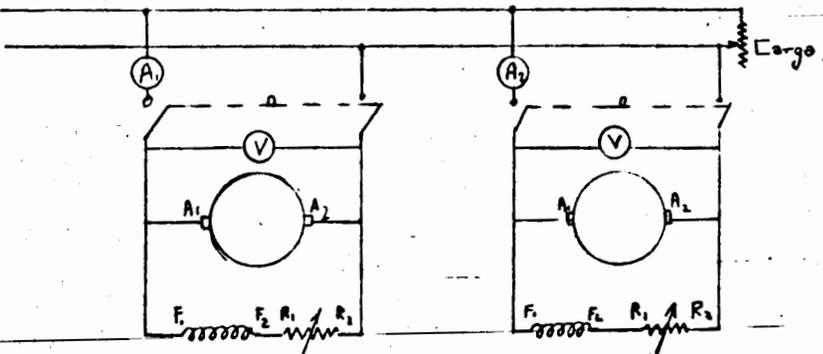


Fig. 8

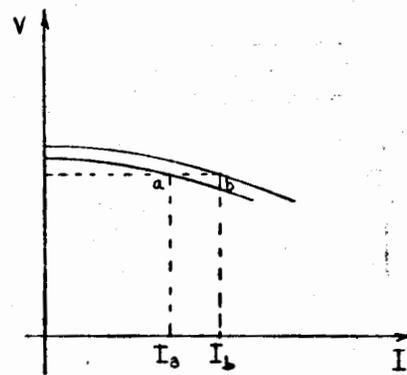


Fig. 9

Según se muestra en la figura 9 en este caso el acoplamiento se comportará en equilibrio estable, lo cual será efectivo, ya que en caso de que alguno de los generadores tratara de tomar más corriente, la pendiente de su curva de regulación lo conduciría a disminuir su voltaje, situación que no le permitiría tomar la carga adicional.

En un sistema de este tipo, se logra aumentar o disminuir la carga de uno de los dos generadores, accionando al reostato de campo. Esto ocasionará que circule más o menos corriente, ya que de hecho el voltaje permanecerá prácticamente fijo e igual al del sistema.

Cuando uno de los generadores se pretenda desconectarlo del sistema, será necesario antes de ello, eliminar toda la carga de él, ya que de abrir su interruptor circulando corriente, se producirá un flimazo en sus terminales.

3a- Excitación compuesta acumulativa, conectada en paralelo.

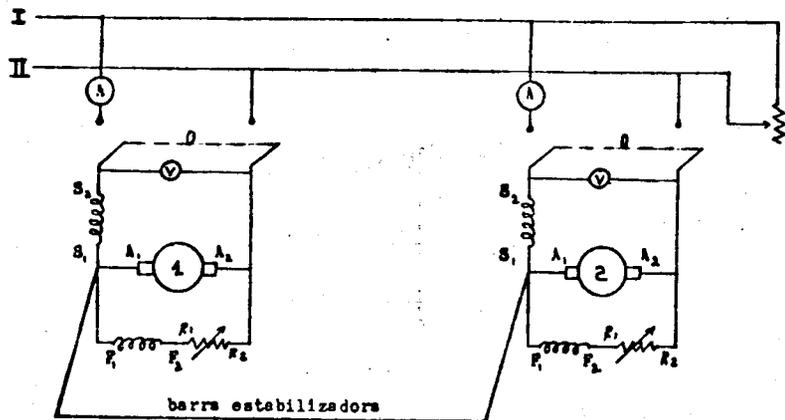


Fig. 10

El acoplamiento se conduce en forma totalmente semejante a como se efectuó en el caso de generadores excitación derivación, conectada en paralelo, sin embargo su operación dará lugar a un caso de equilibrio inestable, tal y como se presentó en el caso de los generadores excitación serie, conectados en derivación, ya que en este caso también la pendiente de las curvas de regulación será positiva, es por tanto necesario utilizar una barra igualadora.

El problema de inestabilidad es muy grave, también en esta conexión ya que de invertirse la circulación de corriente en una de las 2 máquinas, el efecto de su campo serie podrá llegar a invertir el sentido de la fuerza electromotriz inducida al vencer el efecto del campo derivación, produciéndose un corto circuito en el sistema.

Es importante señalar que antes de efectuar el acoplamiento, como medida de seguridad se verifique siempre el potencial existente entre la barra igualadora y los buses colectores, el cual siempre deberá ser correspondiente entre ambas máquinas, es decir que si existe potencial entre el bus I y la barra igualadora del generador 1, esta misma situación deberá repetirse para el generador 2 (fig. 10)

Puede ocurrir que conectando accidentalmente un generador como se muestra en la figura 11, se tendría un corto circuito, la barra igualadora según se hace evidente en la figura 11. Obsérvese también que uno de los generadores

operaría en conexión excitación compuesta diferencial. También es posible darse cuenta que no se cumple en este caso el requisito impuesto anteriormente de tensiones entre las barras colectoras y las barra igualadores.

En este caso será necesario cambiar la polaridad del generador con excitación compuesta diferencial, utilizando una fuente externa de voltaje.

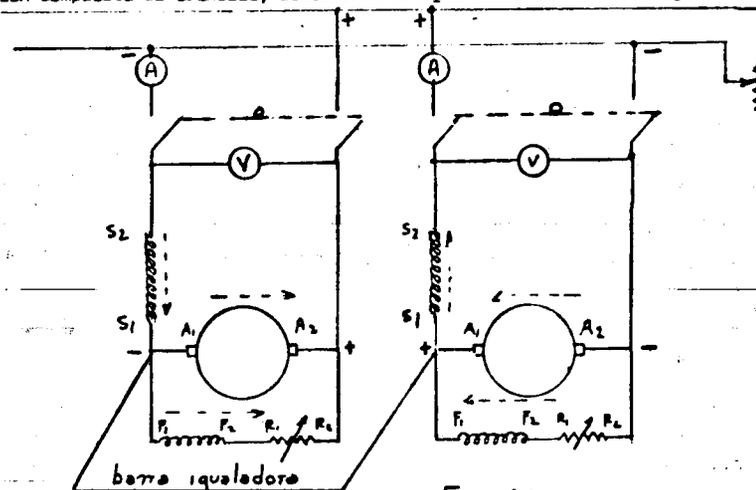


Fig 11

La aplicación de estos sistemas, se llevan a cabo en alimentación de circuitos a larga distancia donde el incremento de voltaje con el aumento de carga compensará la caída en la línea, tal es el caso de sistemas de trollees y tranvías.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRACTICA No. 12

DETERMINACION DE LA CURVA DE TEMPERATURA
EN UNA MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

DETERMINACION DE LA CURVA DE TEMPERATURA - TIEMPO DE UNA MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA.

Esta práctica tiene por objeto determinar si realmente la máquina esta trabajando a su temperatura permisible ya que de excederse, no podrá trabajar a su capacidad nominal de carga.

Capacidad nominal de carga de una máquina.

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

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

Determinación de la temperatura.

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

Núcleos, chumaceras, devanados de estator.

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

Partes rotatorias.

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

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

Se puede conocer su temperatura final.

El método consiste en:

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

de temperatura. Después al finalizarla en el momento de parar se empieza a contar el tiempo midiendo su resistencia R_a , R_b , R_c con el puente de Wheatstone o Kelvin a intervalos de más o menos $\frac{1}{2}$ minuto t_a , t_b , t_c llevando estos valores a una gráfica resistencia-tiempo.

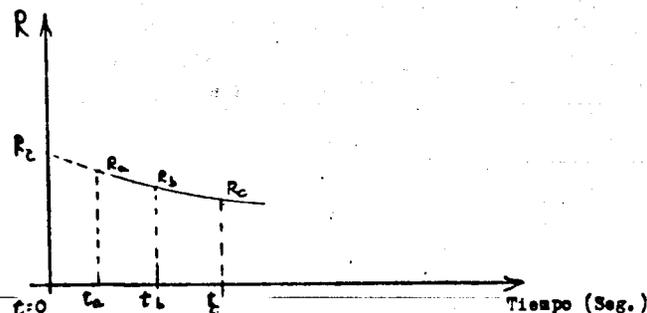


Fig. 1

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

R_1 = Resistencia inicial.

R_2 = Resistencia final (para $t = 0$ en la gráfica).

t_1 = Temperatura inicial.

t_2 = Temperatura final.

Trazo de la curva de temperatura.

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

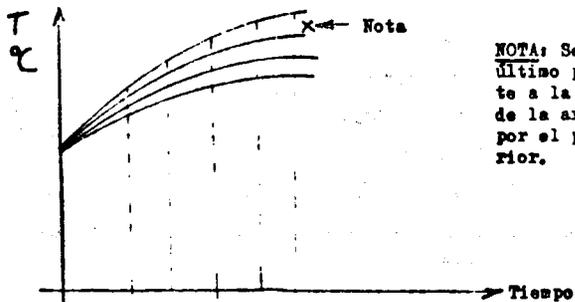


Fig. 2

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

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

Características de la prueba.

Para el desarrollo de la prueba se emplean los siguientes circuitos tomando en cuenta que lo más importante es que la máquina trabaje a sus valores NOMINALES de velocidad, corriente de excitación y voltaje, a fin de suministrar todas las pérdidas - nominales, que son las que producen el incremento de temperatura.

- Pérdidas magnéticas $\sim V^2$
- Pérdidas eléctricas $\sim I^2$
- Pérdidas mecánicas $\sim N$

"Método de carga real". En este método la carga se proporciona a un generador de corriente directa (máquina en prueba), a través de un banco de resistencias.

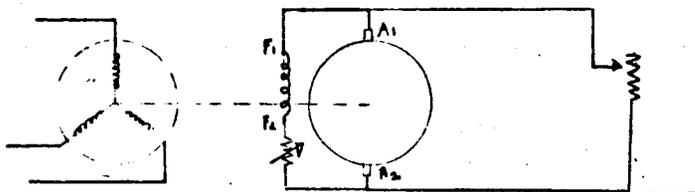


Fig. 3

MÉTODOS DE CARGA FIGURADA

Como es necesario que en el método anterior que los generadores estén conectados a una resistencia y ésta, está disipando energía en forma de calor, la cual no es - aprovechada. Se da el caso de máquinas muy grandes en que el desperdicio de energía es muy elevado por lo que para evitar esto se utilizan métodos de "carga figurada".

En estos casos, lo único que se pretende es proporcionar las pérdidas a la máquina en prueba a fin de producir el calentamiento nominal.

En todos los métodos de carga figurada descritos a continuación, se utilizará un - grupo motor-generador de corriente directa, cuyas máquinas se conectarán en oposición. La prueba puede inducirse para el motor o generador ajustando desde luego los parámetros V, I, R.P.M. en los valores nominales de la máquina en prueba.

A).- Suministrando las pérdidas eléctricas en un generador auxiliar (Booster).

En este caso se observa en la figura que las pérdidas magnéticas mecánicas serán proporcionadas por la línea. Las pérdidas eléctricas son proporcionadas - por el generador en serie Booster.

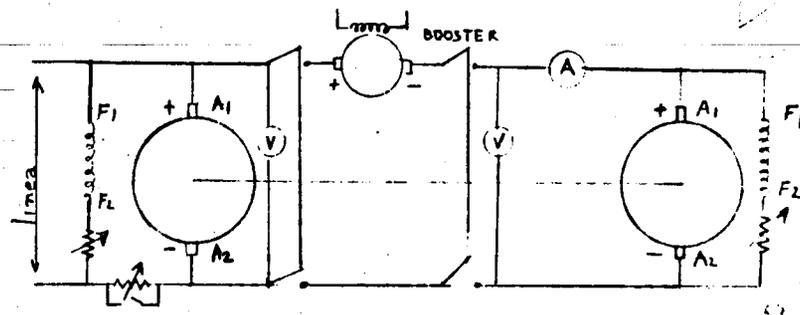


Fig. 4

El acoplamiento de la máquina se realiza de la siguiente manera:

- 1.- Se opera el motor a las R.P.M. requeridas.
- 2.- Se conecta el generador con el Booster. Suponiendo que la máquina en prueba es el generador, éste antes de acoplarlo, deberá ajustarse a su voltaje nominal.

- 3.- Se efectúa el acoplamiento del motor con el conjunto generador-Booster, de acuerdo con el procedimiento ya conocido, igualando voltajes y verificando la polaridad. Para ello el voltaje del motor deberá subirse al valor del conjunto generador-Booster.
- 4.- Con el reostato de campo del booster se hace circular la corriente nominal.

B).- Con un motor auxiliar que proporcione todas las pérdidas.

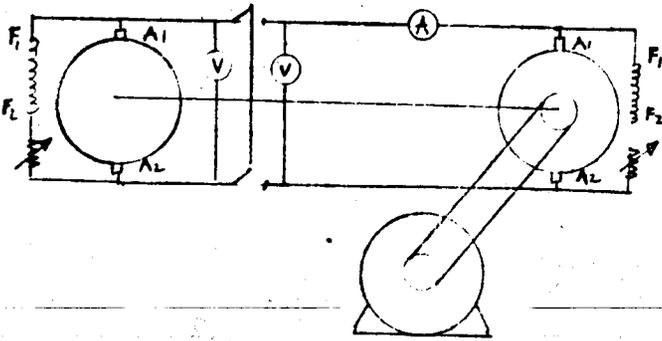


Fig. 5

El procedimiento para operar el conjunto es como sigue:

- 1.- Arrancar el generador a su velocidad y voltaje especificados.
- 2.- Con el motor a su vez en movimiento, se opera como generador.
- 3.- Se acoplan ambas máquinas.
- 4.- Con sus reostatos de campo se ajusta la corriente de línea.

C).- Con la línea:

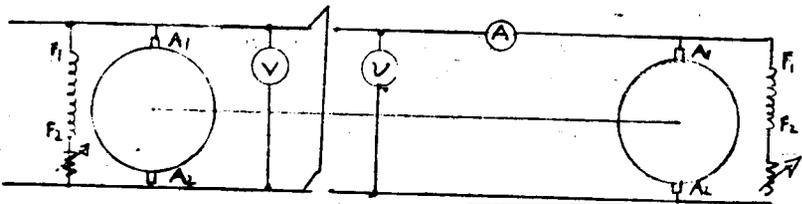


Fig. 6

En este circuito la línea proporciona todas las pérdidas.

El conjunto se opera de la siguiente manera:

- 1.- Se acciona el motor, al voltaje y velocidad del generador.
- 2.- Se excita el generador a su voltaje nominal.
- 3.- Se acoplan ambas máquinas.
- 4.- Con la excitación del generador se hace circular la corriente de armadura.
- 5.- Si la velocidad del conjunto disminuye ligeramente, esta se ajusta con el reostato de campo del motor.
- 6.- Se ajusta nuevamente la excitación del generador para dar las condiciones de voltaje y corriente nominales.

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

PRÁCTICA No 13

EFICIENCIA DE LAS MAQUINAS DE
C.D. POR EL METODO DE PERDIDAS

PROF: Ing. José Méndez T.G.

Alumno : _____

Grupo: _____

EFICIENCIA DE LAS MAQUINAS DE C.D. POR EL METODO DE PERDIDAS

Es indispensable conocer la relación entre la potencia de entrada en un motor o generador y la potencia de salida.
La eficiencia es :

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} \times 100$$

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

Una parte de la energía aplicada a un motor o un generador cualquiera se pierde dentro de la misma máquina, convirtiéndose en calor que se disipa. Esta energía de pérdida, tiene el inconveniente de calentar la máquina limitando así su potencia utilizable. Si las pérdidas de energía en el interior de la máquina alcanzan valores grandes, la elevada temperatura que se produce corre el peligro de perjudicar al aislamiento.

DETERMINACION DE POTENCIAS DE ENTRADA Y SALIDA

a).- Método Directo.

Se puede hacer midiendo directamente la potencia a la entrada y a la salida, para lo cual se utilizan los electrodinamómetros o el freno Prony. Este método está limitado a potencias menores de 50HP.

b).- Método de Pérdidas .

Este método está basado en cálculos parciales de los diferentes tipos de pérdidas que puede haber en la máquina, se pueden clasificar en:

1).- Pérdidas mecánicas.

Estas pérdidas existen en todas las piezas móviles y son proporcionales a la velocidad de la máquina.

2).- Pérdidas Magnéticas.

Se deben a histéresis y corrientes de Eddy en el circuito magnético de la máquina y como se ha analizado previamente, prácticamente son proporcionales al cuadrado del voltaje.

3.- Pérdidas eléctricas.

Son debidas al efecto joule (I^2R) de los embobinados de campo, armadura, interpolos, etc.

Estas pérdidas no son constantes, ya que varían con la carga.

4.- Otras pérdidas.

Estas pérdidas llegan a ser muy pequeñas comparadas con las anteriores, por lo que no se llegan a considerar. Pueden deberse a la consunción, falta de uniformidad en los embobinados, reacción de armadura, etc.

A).- Cálculo de pérdidas como generador.

Pérdidas eléctricas.

Inicialmente se miden los valores de las resistencias de armadura (R_a), campo serán (R_f) y derivación (R_d).

- R_a (medir con puente Kelvin)
- R_f (medir con puente Kelvin)
- R_d (medir con puente Wheatstone)

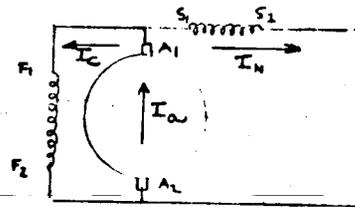
Estos valores deberán extrapolarse a la temperatura final de operación (temperatura ambiente, más incremento permitido en la placa o 75°C),

Estos valores se calculan de la siguiente manera:

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

- En que t_1 = Temperatura ambiente.
- t_2 = Temperatura ambiente + 40°C o igual a 75°C.

Suponiendo que el generador esta conectado en excitación compuesta se tendrá:



$I_c^2 R_c 75^\circ C$ = Pérdidas eléctricas en el campo derivación.
 $I_N^2 R_s 75^\circ C$ = Pérdidas eléctricas en el campo serie
 $(I_N + I_c)^2 R_a 75^\circ C$ = Pérdidas eléctricas en la armadura.
 Σ = Pérdidas eléctricas totales.

Para calcular las pérdidas mecánicas y magnéticas se utilizará el siguiente diagrama:

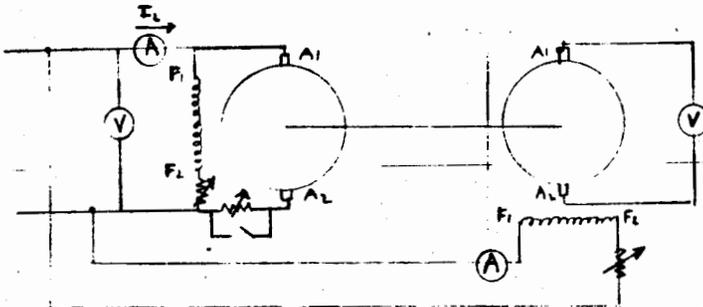


Fig 1

Se operará el conjunto de acuerdo a la siguiente tabla:

Motor de C.D.				Generador			
Paso	R.P.M.	V _L	I _L	Pot	R.P.M.	I _o	V _G
1	Nominal	V1	I1	W1	Nominal	I _o	V _{nom.} + I _N R _a 75°C. + I _N R _s 75°C
2	Nominal	Cte.	I2	W2	Nominal	0	V. remanente
3	Nominal	Cte.	I3	W3	desacoplado mecánico	0	0

Obsérvese que en el paso 1 el generador se deberá operar al voltaje inducido que será igual al voltaje nominal más la caída $I_N R_a$, en la cual de hecho deberá incluirse la corriente I_c ya que la suma de I_N más I_c es la corriente real de armadura, sin embargo esta no se conoce sino hasta este momento. En caso de requerirse efectuar una prueba precisa deberán hacerse una serie de iteraciones incluyendo esta corriente para calcular la caída $I_a R_a = (I_N + I_c) R_a$, para ello se fija un valor inicial V inducido = V nominal + $I_N R_a + I_N R_s 75^\circ C$. con la corriente de campo requerida, para dar esta tensión, se calcula nuevamente V inducido = V nominal + $(I_N + I_c) R_a + I_N R_s 75^\circ C$. y se vuelve a ajustar este valor aumentando ligeramente el valor de I_c , a continuación se vuelve a calcular el voltaje inducido y se corrige a este valor nuevamente aumentando ligeramente el valor de I_c . Esta operación se repetirá hasta que prácticamente no haya ya incrementos apreciables de I_c .

En todo caso también es posible conocer la corriente de campo, operando el generador, a carga y temperatura nominales, así como a su voltaje establecido; midiendo en tales condiciones el valor de dicha corriente de campo.

La corriente de campo del generador I_c del paso 1 es la que se emplea para calcular las pérdidas eléctricas.

Según el diagrama se podrá observar que la potencia indicada por el producto $V_L I_L$ en la línea del motor proporcionará:

Paso 1: $W1 = V1 I1$ Motor = Pérdidas eléctricas Arm. Motor + Pérdidas mecánicas motor y generador + pérdidas eléctricas campo motor + pérdidas magnéticas motor + pérdidas magnéticas generador.

Paso 2: $W1 = V2 I2$ Motor = Pérdidas eléctricas armadura motor + pérdidas mecánicas motor y generador + pérdidas eléctricas campo motor + pérdidas magnéticas motor.

Puesto que las R.P.M. y el voltaje en el motor permanecen constantes en ambos casos al operar, la diferencia entre $W1$ y $W2$ serán los siguientes:

$$W1 - W2 = \text{Pérdidas magnéticas generador} - R_{a \text{ Motor}} (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)_{\text{Motor}}$$

Sin embargo la diferencia del término.

$R_{a \text{ Motor}} (I_{a1}^2 - I_{a2}^2)$ motor puede considerarse despreciable, por lo que

finalmente:

$$W1 - W2 = \text{Pérdidas magnéticas generador.}$$

En forma totalmente semejante puede demostrarse que:

$$W2 - W3 = \text{Pérdidas mecánicas generador}$$

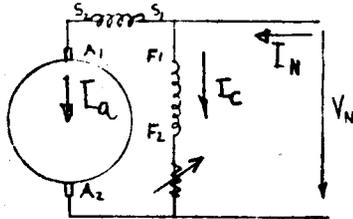
La diferencia se calcula como:

$$\% = \frac{K_w \text{ placa}}{K_w \text{ placa} + \text{pérdidas}}$$

B).- Cálculo de pérdidas como motor.

Pérdidas eléctricas.

Considérese un motor con excitación compuesta:



Según el diagrama las pérdidas eléctricas se calculan de la siguiente manera:

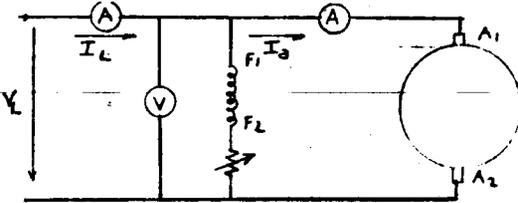
$$I_C^2 R_{0750C} = \text{Pérdidas eléctricas campo derivación.}$$

$$(I_N - I_C)^2 R_{a750C} = \text{Pérdidas eléctricas armadura.}$$

$$(I_N - I_C)^2 R_{s750C} = \text{Pérdidas eléctricas campo serie}$$

$$I_a \Sigma = \text{Pérdidas eléctricas totales.}$$

El valor de la corriente de campo a utilizar, se determinará de la lectura $I_C = I_N - I_a$ obtenida en el siguiente paso. No obstante el verdadero valor de esta corriente solo se llegará a conocer, al operar la máquina a voltaje, carga y R.P.M. a temperatura nominal, midiendo entonces al valor de dicha corriente. Para calcular las pérdidas magnéticas y mecánicas usaremos el siguiente diagrama de conexiones.



La máquina se hará trabajar en vacío por lo que:

$$\text{Pérdidas magnéticas} + \text{pérdidas mecánicas} + I_a^2 R_a = V_L I_L$$

Vacío
Temp.prueba

Por lo que:

$$\text{Pérdidas magnéticas} + \text{pérdidas mecánicas} + I_a^2 R_a = V_L I_L$$

Vacío
Temp.prueba

$$\text{Pérdidas magnéticas} + \text{pérdidas mecánicas} = V_L I_L - I_a^2 R_a$$

vacío temperatura prueba.

La eficiencia se calcula como:

$$\% \eta = \frac{\text{H.P. placa} (.746) \times 100}{(\text{H.P.})_{\text{placa}} (.746) + \text{pérdidas (Kw)}}$$

LABORATORIO DE CONVERSION

DE

ENERGIA ELECTROMECANICA II

Práctica No. 14

CONTROL DE VELOCIDAD EN MO
TORES DE C.D.

PROF: ING. José Méndez T.G.

Alumno: _____

Grupo: _____

CONTROL DE VELOCIDAD EN MOTORES DE C.D.

Teoría de la práctica.

Una de las características principales de una máquina de C.D. se refiere al control de la velocidad; dicho control es muy accesible, fácil de conducir y procesar a la vez, por lo que tiene aplicaciones muy importantes.

El control de velocidad se puede conducir bajo las siguientes condiciones:

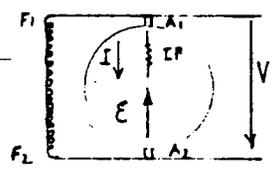


Fig. 1

En cualquier motor sea cual sea su excitación su voltaje terminal será:

$$V = E + IR \quad (1)$$

$$E = KN \phi \quad (2)$$

Sust. (2) en (1):

$$V = KN \phi + IR \quad KN \phi = V - IR$$

$$\therefore N = \frac{V - IR}{\phi}$$

Si consideramos que IR es muy chica podemos concluir que la velocidad en un motor de C.D. depende básicamente del voltaje aplicado y del flujo.

$$\therefore N \sim V \quad V = \text{voltaje}$$

$$y \quad N \sim \frac{1}{I_c} \quad I_c = \text{corriente de campo}$$

Recuérdese que $\phi = f(I_c)$

Que son las expresiones clave para el control de velocidad.

A).- Variando la corriente de campo a voltaje aplicado constante.

Para lograr el control por variación de la corriente de campo podemos armar el siguiente circuito.

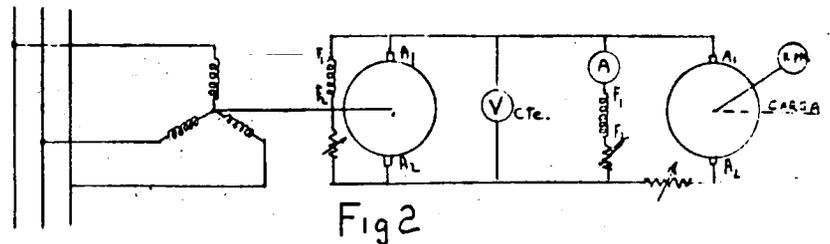
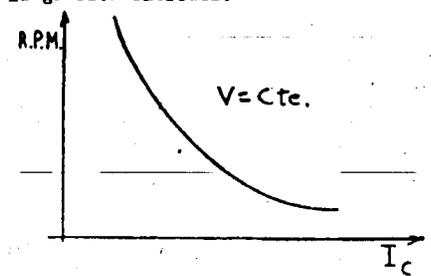


Fig. 2

Donde la I_c es inversamente proporcional a la velocidad (N). De la obtención de los datos en el siguiente cuadro variando la corriente campo I_c , se obtiene la curva de la gráfica indicada.

V	I_c	RPM
Cte.	↓	↓
↓	↓	↓

Fig. 3



Obsérvese que aunque este tipo de control resulta muy simple su ajuste al no ser lineal, lo hace poco preciso, sobretodo en la parte de baja corriente de campo.

B).- Control de la velocidad por variación del voltaje aplicado, corriente de campo constante (método Ward-Leonard)

Se utiliza el siguiente diagrama:

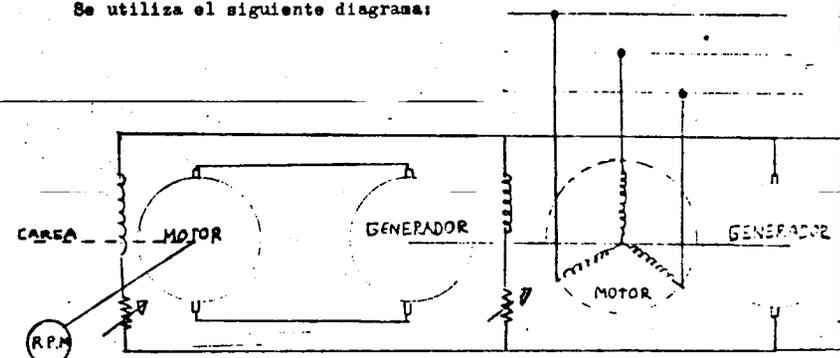


Fig. 4

Variando el voltaje aplicado al motor a través del reostato de campo - el Generador II se puede variar fácilmente la velocidad del motor en forma lineal, nótese que en este caso se prescinde del arrancador ya que la puesta en marcha se hace a voltaje reducido

El sistema Ward-Leonard, para control de velocidad de un motor de C.D. ha alcanzado gran importancia en la industria debido principalmente a la precisión con que controla la velocidad. Dicho sistema proporciona un medio de controlar grandes potencias mecánicas en un margen muy amplio de velocidad, que puede abarcar valores positivos y negativos.

Se deberán tomar los siguientes datos, de donde se obtendrá en la gráfica una línea recta, de ahí su preferencia.

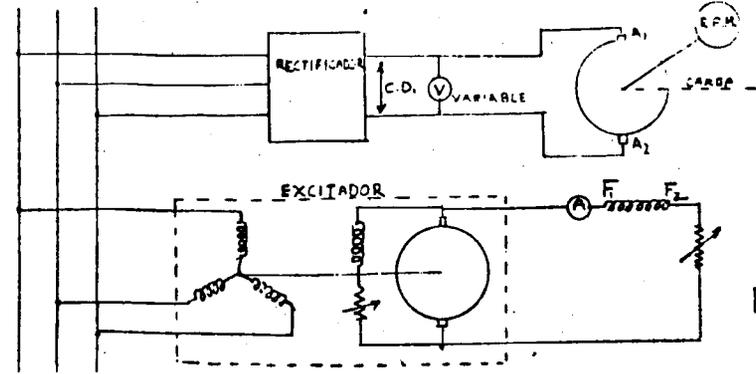
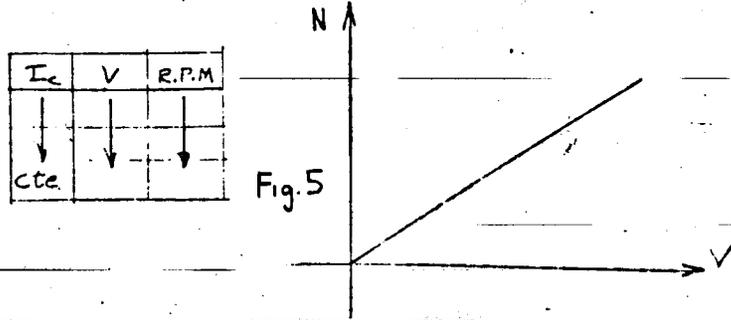


Fig. 6

No obstante, aún aquí obsérvese, la cantidad de equipo que se requiere ya que de cualquier manera, el campo del motor requiere alimentarse de forma independiente, lo que de una u otra manera sigue manifestando el alto costo de la inversión requerida para este tipo de control de velocidad, que sin embargo aún sigue siendo el preferido en muchas aplicaciones industriales.

Sin embargo, deberá tomarse en cuenta que para utilizar este método, será necesario disponer de un generador más que en el primer caso, con éste será posible alimentar en forma independiente el campo del motor y mantener así constante su corriente de campo. Con el auxilio de este generador también se tendrá el control absoluto de voltaje del segundo generador, también al alimentarlo en forma independiente, situación que no es posible lograrla con generadores autoexcitados. Sin embargo, el utilizar cualesquiera de los dos sistemas en instalaciones en que únicamente se dispone de corriente alterna, supone la necesidad de utilizar un grupo motor generador para obtener corriente directa. Por lo tanto estos tipos de control de velocidad aunque de adecuada operación resultan caros y desde luego más el segundo.

USOS DE RECTIFICADORES ESTÁTICOS

Actualmente con el uso tan extenso que viene presentando los rectificadores tipo estático, pueden emplearse otros arreglos tales como el que se puede realizar en el Laboratorio con el rectificador de tiristores.