

49
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DESARROLLO DE LAS PRACTICAS DEL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA ESCUELA DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS"

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

LEANDRO JAVIER HERNANDEZ MACIAS

Director: ING. AGUSTIN RODRIGUEZ FUENTES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO 1.- INTRODUCCION	1
1.1.- Antecedentes.	1
1.2.- Evaluación del Laboratorio actual.	3
1.3.- Población escolar.	6
1.4.- Proposición.	10
CAPITULO 2.- CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MAQUINAS ELECTRICAS	12
2.1.- Transformadores.	12
2.2.- Motor de inducción.	38
2.3.- Máquinas síncronas.	50
2.4.- Teoría de máquinas de corriente directa.	69
CAPITULO 3.- PROGRAMA DE PRACTICAS DEL LABORATO- RIO DE MAQUINAS ELECTRICAS	94
3.1.- Programa del laboratorio de máqui- nas eléctricas I.	99
3.2.- Programa del laboratorio de máqui- nas eléctricas II.	102
3.3.- Programa del laboratorio de máqui- nas eléctricas III.	103

	PAG.
CAPITULO 4.- DESARROLLO DEL PROGRAMA	105
4.1.- Laboratorio de máquinas eléctricas I.	107
4.2.- Laboratorio de máquinas eléctricas II.	133
4.3.- Laboratorio de máquinas eléctricas III.	246
CAPITULO 5.- MAQUINARIA Y EQUIPO NECESARIO.	278
5.1.- Maquinaria.	278
5.2.- Equipo de medición y auxiliar.	283
CONCLUSIONES	288
BIBLIOGRAFIA	

C A P I T U L O I

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

1.1.- ANTECEDENTES.

La máxima casa de estudios en el Estado de Zacatecas, - por su antigüedad, diversidad de carreras y creciente desarrollo cualitativo y cuantitativo es la Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", fué fundada, en noviembre de 1832 como "Casa de Estudios" instalándose en la ciudad de Jerez, en 1837 se traslada a la ciudad de Zacatecas y capital del Estado tomando el nombre de "Instituto Literario de García", en el decenio de 1880 a 1890 se transforma en Instituto de Ciencias de Zacatecas. en 1959 el Congreso del Estado le otorga su autonomía y se convierte en "Instituto Autónomo de Ciencias de Zacatecas", finalmente el 6 de septiembre de 1968 por decreto del Congreso adquiere el título de "Universidad Autónoma de Zacatecas".

En forma similar a la Universidad, a su Escuela de Ingeniería le corresponde un gran historial, prestigio y arraigo en el Estado. Su inicio se remonta al año de 1870, cuando se establecen carreras de Ingeniero Topógrafo, Ingeniero de Minas y Beneficiador de Metales contando con sus primeros laboratorios, tales como: Minas, Física y Química, fundandose en 1876 el Observatorio Astronómico por gestiones e iniciativa de Don José Arbol y Bonilla.

En relación a los recursos físicos con que cuenta en la actualidad, se pueden mencionar una amplia y suficiente zona de aulas para la impartición de la docencia, un Reactor Nuclear Subcrítico y su equipo periférico para el desarrollo-

de investigación de la energía nuclear, tres locales audiovisuales. Laboratorio de Máquinas Herramientas, Máquinas Hidráulicas, Mecánica de Fluidos, Resistencia de Materiales.- Mecánica de Suelos, Circuitos, Electrónica Digital, Comunicaciones, Máquinas Eléctricas. Control de Motores, Instalaciones Eléctricas, Subestaciones Eléctricas. Fotogrametría y Fotointerpretación, Departamento de Servicios Escolares, - Equipo Fotográfico. Servicio Social y los Centros de Energía Nuclear y de Computación; todos los elementos mencionados son operados con el personal académico, administrativo y de intendencia para su eficiente uso coadyuvando con una mejor preparación de los egresados, sosteniéndose en todos y cada uno de los Laboratorios y Centros en un principio multidisciplinario para mejor y máximo aprovechamiento de los recursos físicos existentes.

La necesidad de nuestro País de contar con profesionistas altamente capacitados en todos los aspectos, nos lleva al problema que actualmente tiene el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas, al no contar su Laboratorio con la maquinaria y equipo indispensable para el desarrollo de las prácticas del Laboratorio de Máquinas Eléctricas, así como la falta de un manual de prácticas desarrolladas acorde a las necesidades que coadyuvan a una formación integral de profesionistas en el área Eléctrica.

En consecuencia con lo anterior, es urgente contar con prácticas que estén estructuradas de tal manera, que puedan

ser realizadas fácilmente por el estudiante con la finalidad que ponga en práctica y verifique los conocimientos teóricos adquiridos, que sus conocimientos aplicados y reafirmados en el Laboratorio lo encaminen con seguridad y confianza en el campo industrial, de la investigación y experimentación.

1.2.- EVALUACION DEL LABORATORIO ACTUAL.

En la actualidad el Laboratorio cuenta con el equipo -- Lab Volt EMS (Sistemas para la Enseñanza de Electromecánica) que está formado básicamente por los módulos que a continuación se describen:

DESCRIPCION	CANTIDAD
Motor CD/ Módulo generador: motor de 120 Vc-d 1/4 HP 1800 RPM, generador de 120 Vc-d 120 watts 1800-RPM	1
Módulo de motor monofásico de fase hendida con arranque por capacitor: 1/4 HP, 1715 RPM, 120 Vc-a	1
Módulo de motor monofásico con -- funcionamiento por capacitor 1/4-HP, 1715 RPM. 120 Vc-a.	1
Módulo de motor universal 1/4 HP, 1800 RPM, 120 Vc-a/c-d.	
Módulo de motor de inducción con arranque por repulsión: 1/4 HP, - 1650 RPM, 120 Vc-a, 1 Ø.	1

DESCRIPCION	CANTIDAD
Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla: 1/4 HP, 1670-RPM, 120/208 Vc-a, 3 Ø.	1
Módulo de motor/generador síncrono: motor de 1/4 HP, 1800 -- RPM, 120/208 V. 3 Ø; generador de 120 W, 1800 RPM, 120/208 V,- 3 Ø.	1
Módulo de electrodinamómetro -- 0-27 lb-pulg.	1
Módulo de capacitancia: Capacidad de carga 0 a 252 var en escalones de 12 vars, tres secciones independientes. Presición del 5%, 1 Ø / 3 Ø, 60 Hz.	1
Módulo de resistencia: Capacidad de carga 0 a 252 W en escalones de 12 W, tres secciones independientes, presición del 5%, 1Ø/3Ø, 60 Hz.	1
Módulo de inductancia: Capacidad de carga 0-252 var en escalones de 12 vars, tres secciones independientes, presición del 5%, 1Ø/3Ø, 60 Hz.	1

DESCRIPCION	CANTIDAD
Módulo de transformador: 60 VA, 120/208/120 Vc-a, 1Ø.	3
Módulo de vatímetro: 0-750 W - 0-150 W, 0-10 A.	1
Módulo de vatímetro trifásico - 0-300 W, 0-300 V, 0-2 A.	1
Módulo de interruptor de sincro nización: interruptor 3Ø con -- lámparas.	1
Módulo de reóstato de control - de velocidad 3Ø, conjunto de -- 0-16 ohms, 2 A/por fase.	1
Módulo de RCS para el control - de velocidad: entrada 120Vc-a,- 10 A, 1Ø; salida 300 W, 0-150 - Vc-d, 0-2 Ac-d.	1

Los módulos citados anteriormente van montados en una consola móvil que cuenta con fuente de alimentación y aparatos de medición.

Las prácticas se desarrollan en base al texto de "Experimentos con Equipo Eléctrico", cuyos autores son Theodore Wildi y Michael J. de Vito, que describe un total de 66 prácticas sobre máquinas de corriente directa, transformadores y máquinas de corriente alterna síncronas y de inducción.

Evaluando las condiciones actuales del Laboratorio se llega a las siguientes conclusiones:

- a) Que el equipo no es el adecuado por no estar a la altura de las condiciones que la industria requiere.
- b). Que el texto va guiando literalmente de la mano al estudiante al ir ejecutando la práctica, lo que no permite el desarrollo y la creatividad del estudiante.

1.3.- POBLACION ESCOLAR

La Escuela de Ingeniería cuenta con las carreras de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Civil y Topografía; en las cuales se cursan las mismas materias durante los primeros cuatro semestres a excepción de la carrera de Ingeniero Topografo que cursa únicamente los tres primeros semestres.

El plan de estudios a partir del quinto semestre para la carrera de Ingeniero Electricista es el siguiente:

QUINTO SEMESTRE

Mecánica del Medio Continuo

Ingeniería Térmica I

Mecánica Aplicada I

Circuitos Eléctricos I

Laboratorio de Circuitos Eléctricos I

Sociología

SEXTO SEMESTRE

Mecánica de Materiales

Ingeniería Térmica II

Mecánica de Fluidos

Circuitos Eléctricos II

Laboratorio de Circuitos Eléctricos II

Técnicas Administrativas

Teoría Económica

SEPTIMO SEMESTRE

Ciencia de los Materiales I

Teoría Electromagnética

Electrónica I

Laboratorio de Electrónica I

Metrología

Ingeniería de Control

Recursos y Necesidades de México

OCTAVO SEMESTRE

Ciencia de los Materiales II

Electrónica II

Laboratorio de Electrónica II

Máquinas Eléctricas I

Laboratorio de Máquinas Eléctricas I

Sistemas Eléctricos de Potencia I

Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia I

Física Moderna (Optativa)

NOVENO SEMESTRE

Plantas Generadoras I

Comunicaciones I

Laboratorio de Comunicaciones I

Máquinas Eléctricas II

Laboratorio de Máquinas Eléctricas II

Sistemas Eléctricos de Potencia II

Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia II

Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia

Instalaciones Eléctricas e Iluminación I

DECIMO SEMESTRE

Instalaciones Eléctricas e Iluminación II

Plantas Generadoras II

Máquinas Eléctricas III

Laboratorio de Máquinas Eléctricas III

Sistemas Eléctricos de Potencia III

Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia III

Seminario

Comunicaciones II

Laboratorio de Comunicaciones II

La Escuela de Ingeniería ha tenido un amplio y continuo desarrollo académico y físico con los apoyos necesarios del Gobierno Federal y Estatal, sobre todo en los últimos años - para atender su población estudiantil creciente y que en estos momentos es superior a 1500 alumnos en sus seis áreas, - cinco carreras profesionales, un posgrado en computación y - Centros de Investigación con estudios en el área de Energía-Nuclear, en Astronomía e Ingeniería.

Los alumnos en base a las áreas se encuentran distribuidos en la forma siguiente:

Propedéutica con 20 Grupos

Ingeniería Eléctrica con 8 Grupos

Ingeniería Mecánica con 4 Grupos

Ingeniería Civil con 12 Grupos

Ingeniería Topográfica con 4 Grupos

Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones -
con 1 Grupo.

Para un mejor y máximo uso de las instalaciones con que se cuenta, se estableció un máximo de 40 alumnos por grupo, para una mejor atención y aprovechamiento de ellos.

La inscripción en el área de Ingeniería Eléctrica durante los últimos cuatro semestres, se presenta a continuación: en el VIII, IX y X semestre, se presenta la inscripción de dichos semestres porque es donde se cursan los Laboratorios de Máquinas Eléctricas.

Período Febrero de 1984 / Julio de 1984

Semestre	No. de Alumnos
VIII	26
IX	4
X	27

Período Agosto 1984 / Diciembre 1984

Semestre	No. de Alumnos
VIII	10
IX	26
X	4

Período Enero de 1985 / Junio de 1985

Semestre	No. de Alumnos
VIII	39
IX	11

X	26
Período Agosto de 1985 / Enero de 1986	
Semestre	No. de Alumnos
VIII	28
IX	35
X	4

Considerando un máximo de 5 alumnos por máquina para la formación de los subgrupos que operarán en el Laboratorio, y tomando en cuenta que los grupos tendrán un máximo de 40 alumnos, tenemos que se necesitarán aproximadamente 8 máquinas de c.d. y de igual forma 8 máquinas de c.a.

1.4.- PROPOSICION

Por lo anteriormente expuesto y dada la importancia que tiene el Laboratorio de Máquinas Eléctricas en la formación integral de Ingenieros Eléctricistas, se propone en esta tesis el desarrollo de prácticas de tal forma que motive al estudiante para desenvolverse en el campo ocupacional y lo impulse a la investigación, adouiriendo en esta forma la experiencia mínima que se requiere.

Es necesario contar con la maquinaria y equipo indispensable para la realización de las prácticas, desde luego

que la elección de la maquinaria y equipo que se describe en el Capítulo 5, está en función de los datos de población escolar proporcionados por la Universidad Autónoma de Zacatecas; así como también por las prácticas desarrolladas en el Capítulo 4.

En el Capítulo 2 se propone la teoría básica necesaria que le proporcione al alumno los conocimientos elementales, con la finalidad de presentarle las características funcionales de las máquinas de corriente directa, máquinas de corriente alterna síncronas y de inducción y los transformadores, ayudándolo en el desarrollo de sus prácticas experimentales.

CAPITULO 2

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MAQUINAS ELECTRICAS

2.1.- TRANSFORMADORES.

2.1.1.- TEORIA DE LOS TRANSFORMADORES.

Principio de Operación.

El principio de operación de las máquinas eléctricas, - se basa en la aplicación de las siguientes leyes:

- Ley de Faraday o de Inducción.
- Ley de Lenz.
- Ley de Ampere
- Ley de Biot-Savart.

LEY DE FARADAY.- "Si el flujo magnético eslabonado por un circuito eléctrico cerrado varía con respecto al tiempo, - una fem es inducida en el circuito"

Si λ representa el flujo eslabonado por el circuito de N espiras y $d\lambda$ el cambio de flujo durante un tiempo dt , la magnitud de la fem considerando que $\lambda = N\Phi$ será:

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d(N\Phi)}{dt} \dots\dots\dots a$$

Hay que hacer notar que $\frac{d\lambda}{dt}$ puede obtenerse de dos maneras que son: una por movimiento mecánico que es el que se tiene en todas las máquinas rotatorias y otra cuando la excitación es variable con el tiempo como ocurre en el caso del transformador.

LEY DE LENZ.- "La fem inducida es de tal sentido que la corriente inducida se opone al cambio de flujo".

La combinación de las dos leyes anteriores se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$e = - \frac{d\lambda}{dt} \dots\dots\dots b$$

LAY DE AMPERE.- "La integral de línea cerrada de la intensidad magnética H, alrededor de un contorno cerrado es -- igual a la suma de los ampere espiras a los cuales esta trayectoria eslabona".

$$\oint H \cdot dl = NI \dots\dots\dots c$$

LAY DE BIOT-SAVART.- "Todo conductor bajo la acción de un campo magnético y por el cual circula una corriente eléctrica queda sometido a la acción de una fuerza que lo desplaza a través de dicho campo".

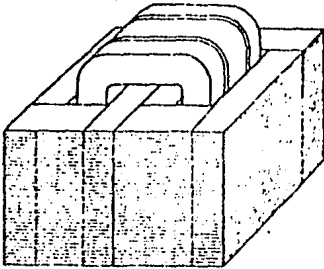
La cual puede expresarse como:

$$F = BIl \dots\dots\dots d$$

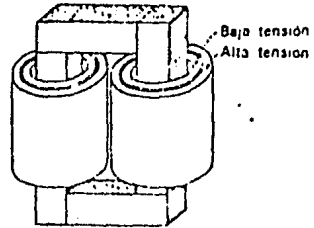
Se puede definir al transformador como el aparato en el cual dos o más circuitos eléctricos estacionarios están acoplados magnéticamente, estando encadenado el embobinado por un flujo magnético común que varía con el tiempo. Uno de estos embobinados, conocido como el primario, recibe potencia a un voltaje dado desde la fuente y el otro embobinado, conocido como el secundario, suministra potencia, usualmente a un voltaje diferente, a la carga.

Existen dos tipos principales de transformadores que --

reciben el nombre de acorazado y no acorazado como se muestra en la Fig. 2-1.



a) Transformador acorazado



b) Transformador no acorazado.

FIG. 2-1

TRANSFORMADOR IDEAL

El transformador Ideal es uno imaginario que no tiene pérdidas, flujos de dispersión y un núcleo de permeabilidad magnética infinita y de resistividad eléctrica infinita. Su pongamos que el transformador de la Fig. 2-2 es ideal.

Un voltaje V_1 aplicado al embobinado primario N_1 , que se ha considerado que tiene resistencia cero, produce un flujo en el núcleo que encadena todas las N_1 vueltas, debido a que el flujo de dispersión se consideró ser cero. Por lo tanto el valor máximo de la fem inducida es:

$$E_{1m} = 2\pi f N_1 \phi_m$$

y su valor eficaz que, dentro de las precedentes suposiciones es también el valor eficaz de la tensión aplicada V_1 , es:

$$E_1 = V_1 = \sqrt{2} \pi f N_1 \phi_m = \mu \cdot 4 \pi f N_1 \phi_m \dots \dots \dots \text{Ec. 2-1}$$

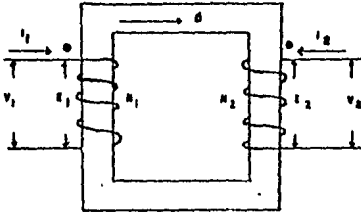


FIG. 2-2

Debido a que no hay flujo de dispersión, el flujo ϕ debe encadenar todas las N_2 - vueltas del embobinado secundario y ya que la resistencia del embobinado secundario -- también se consideró cero, el voltaje secundario inducido y el voltaje secundario en terminales son iguales y se expresan por:

$$E_2 = V_2 = \sqrt{2} \pi f N_2 \phi_m = \mu \cdot 4 \pi f N_2 \phi_m \dots \dots \dots \text{Ec. 2-2}$$

Comparando las ecuaciones 2-1 y 2-2 muestran que un transformador ideal tiene la relación de voltaje igual a la relación de vueltas:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots \dots \dots \text{Ec. 2-3}$$

Los puntos marcados en los embobinados de la Fig. 2-2 se llaman marcas de polaridad.

RELACION DE CORRIENTE.

Si el secundario del transformador ideal de la Fig. 2-2 se conecta a una carga y la corriente I_2 fluye en la dirección mostrada, entonces la dirección de la corriente I_1 es la mostrada. Adicionalmente, la fem primaria $N_1 I_1$ producirá un flujo hacia abajo. Considerando que el transformador es -

ideal y no hay pérdidas; se tiene:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

de donde:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 2-4}$$

RELACION DE IMPEDANCIA.

Algunas veces es conveniente referirse a la impedancia conectada a través de un lado del transformador al otro lado de éste. Esto se logra multiplicando el valor de la impedancia por su relación a^2 y que se deriva como se muestra a continuación.

La Fig. 2-3 muestra un transformador ideal con una impedancia Z_L en el secundario. El voltaje terminal secundario es:

$$V_2 = I_2 Z_L \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 2-5}$$

Entonces de las ecuaciones 2-3, 2-4 y 2-5 se tiene que

$$\frac{V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_L \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 2-6}$$

La impedancia de la carga vista desde el primario del transformador es por lo tanto

$$Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_L = a^2 Z_L \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 2-7}$$

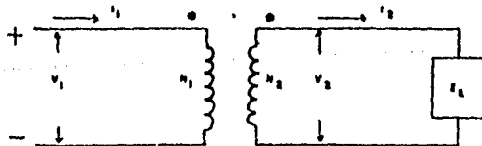


FIG. 2-3

CIRCUITO EQUIVALENTE.

Las características de un transformador real difieren de los ideales debido a las pérdidas de núcleo, y porque la permeabilidad es finita. Por lo tanto se deduce que aunque no exista carga sobre el secundario, el primario debe proporcionar la suficiente potencia para vencer las pérdidas en el núcleo, lo que significa la presencia de una corriente conocida como corriente de excitación.

La corriente de excitación tiene dos componentes, la corriente de pérdidas de núcleo, y la corriente de magnetización que viene siendo la corriente que suministra la f.m.m para vencer la reluctancia magnética del núcleo.

Las pérdidas de núcleo P_c es la suma de las pérdidas de histéresis y de corriente de eddy, y se manifiesta así misma en la forma de calor generado en el núcleo. Por lo tanto:

$$P_c = P_h + P_e$$

La corriente de pérdidas de núcleo está en fase con el voltaje inducido primario v se expresa por lo tanto por

$$I_c = \frac{P_c}{E_1} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-8}$$

El transformador ideal puede modificarse de acuerdo al de la Fig. 2-4 con su respectivo diagrama fasorial.

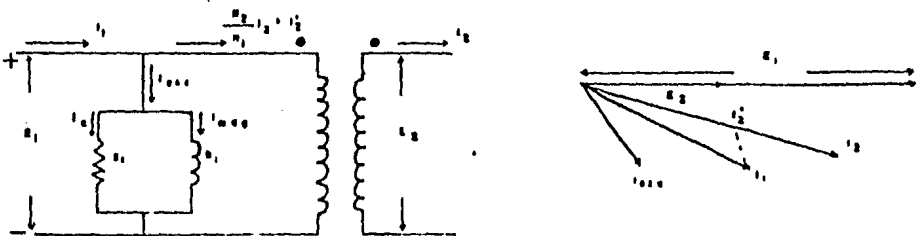


FIG. 2-4

IMPEDANCIA DE DISPERSION

Ya vimos que el núcleo modifica al circuito ideal de un transformador, los embobinados también son imperfectos debido a que tienen una resistencia y el flujo de dispersión, es decir el flujo que encadena un embobinado sin encadenar el otro. Esto hace que se forme una impedancia de dispersión debida al embobinado y el flujo que lo envuelve, quedando entonces el circuito equivalente como en la Fig. 2-5.

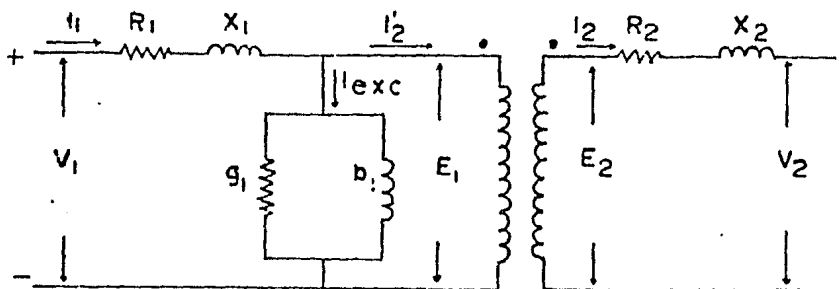


FIG. 2-5

Los cálculos de funcionamiento de transformadores de núcleo-hierro pueden usualmente simplificarse sin un error apreciable usando el circuito equivalente aproximado. La Fig. 2-6 muestra el circuito equivalente aproximado que transfiere la admitancia de excitación. El error debido a este cambio es pequeño en transformadores de núcleo de hierro porque la corriente de excitación es solamente un pequeño porcentaje de la corriente nominal, y aún a corriente de carga completa la caída del voltaje a través de la impedancia primaria de dispersión $R_1 + jX_1$ es un pequeño porcentaje del voltaje nominal. Debe tenerse presente, que en este circuito

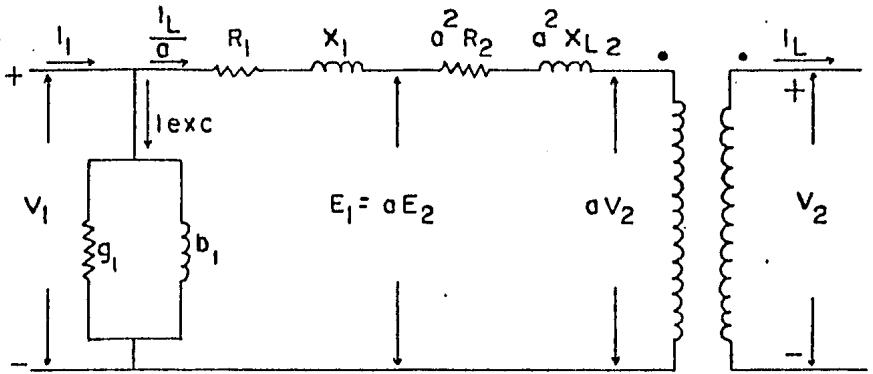


FIG. 2 - 6

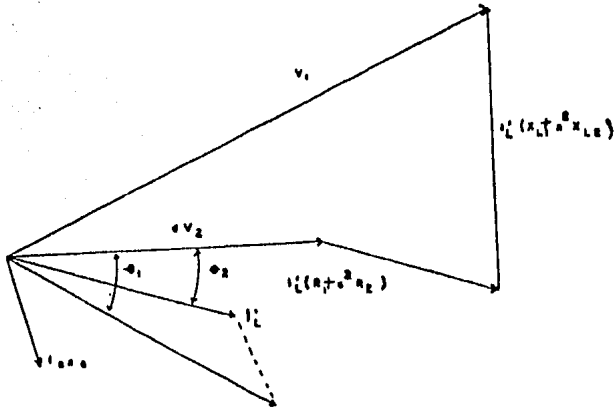


FIG. 2 - 7

las magnitudes del secundario se consideran referidas al primario. La Fig. 2-7 muestra el diagrama fasorial del circuito equivalente aproximado.

PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

Observando el circuito de la Fig. 2-5, se ve que estando el circuito del secundario abierto, la tensión aplicada actúa sobre un circuito consistente en la impedancia de dispersión $Z_1 = R_1 + jX_1$ en paralelo con la admitancia de excitación $Y = g_1 - jb_1$. Puesto que Z_1 es muy pequeña en comparación con la impedancia, suele ser suficientemente exacto prescindir de Z_1 en las condiciones específicas. Estas consideraciones indican que si se hacen mediciones de voltaje, corriente y potencia real con instrumentos indicadores como se muestra en la Fig. 2-8.

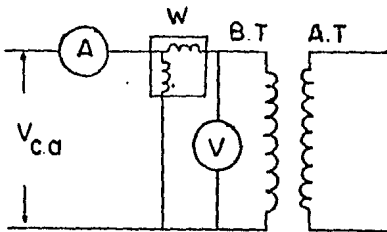


FIG. 2-8

En la Fig. 2-8 tenemos:

I_{exc} = Corriente de excitación -
leída por el amperímetro
A

V = Voltaje aplicado leído -
en el voltímetro V

P_{oc} = Potencia medida por el -
wattorímetro W y corregida

da por pérdida de instrumentos.

La admitancia de excitación es $Y = \frac{I_{exc}}{V}$

y la conductancia de excitación $g_1 = \frac{P_{oc}}{V^2}$

de donde se encuentra que la susceptancia de excitación

es:

$$b_1 = \sqrt{Y^2 - G_1^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-9}$$

Estas medidas de circuito abierto se llevan a cabo más convenientemente aplicando la tensión de alimentación al devanado de baja tensión, tanto porque la tensión normal de régimen de la parte de baja tensión es más probable que esté dentro de las escalas de los instrumentos usuales como por el menor peligro al trabajar en la parte de baja tensión.

PRUEBA DE CORTO CIRCUITO.

Mediante esta prueba se encuentra la impedancia equivalente, resistencia equivalente y reactancia equivalente.

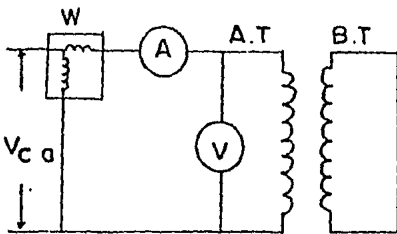


FIG. 2-9

La prueba de corto circuito se realiza haciendo corto circuito en un embobinado (usualmente el embobinado de baja tensión como un hecho de conveniencia) y aplicando voltaje a

frecuencia nominal de tal forma que resulte la corriente nominal. Se realizan mediciones de corriente de entrada, potencia y voltaje como se muestra en la Fig. 2-9.

Para transformadores convencionales la corriente de excitación es pequeña comparada con la corriente nominal y puede por lo tanto ser despreciada. La impedancia de cortocircuito Z_{cc} es por lo tanto, para igualar las series equivalentes de impedancia del transformador por lo que tenemos

$$Z_{eq} = Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$$

y debido a que las pérdidas de núcleo son despreciables al valor bajo de V_{cc} , la resistencia serie equivalente es prácticamente igual a la resistencia de corto circuito.

$$R_{eq} = R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}$$

La reactancia de dispersión equivalente del transformador es de la misma manera:

$$X_{eq} = X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-10}$$

En la Fig. 2-9 V_{cc} = Voltaje aplicado como se lee en el voltímetro V

I_{cc} = Corriente de entrada de corto circuito como se lee por el amperímetro A.

P_{cc} = Potencia de entrada como se lee por el wattorímetro.

PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

Las pérdidas en un transformador están formadas por tres componentes:

- a) Las pérdidas en el cobre (I^2R), que comprenden, además de las pérdidas óhmicas puras, las pérdidas en la carga, producidas por la desigual distribución de densidad de la corriente en los conductores. Dicha desigualdad de densidad de corriente puede suponerse que obedece a las corrientes parásitas superpuestas a la densidad de corriente teórica e -

uniforme, que solamente produciría pérdidas óhmicas puras.

b) Las pérdidas por histéresis producidas por un fenómeno afín a la fricción molecular, ya que las partículas más pequeñas del núcleo tienden a alinearse primero en un sentido y después en el otro, a medida que el flujo magnético varía periódicamente.

c) Las pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo producidas por las corrientes inducidas de la misma forma que la corriente de trabajo se induce en los devanados del transformador.

RENDIMIENTO

El rendimiento de un transformador es la razón de la potencia de salida a la de entrada expresado en tanto por ciento: es decir, el rendimiento es:

$$\eta = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de entrada}} \times 100 = \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de salida} + \text{pérdidas}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\text{potencia de entrada} - \text{pérdidas}}{\text{potencia de entrada}} \times 100$$

Las pérdidas correspondientes a la temperatura de trabajo de 75°C están formadas por las pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas en el núcleo y las pérdidas en el cobre de los devanados.

REGULACION DE VOLTAJE

La regulación de voltaje es una medida importante del

funcionamiento de un transformador y se expresa en porcentaje por:

$$\text{Regulación en porcentaje} = \frac{E_{oc2} - V_2}{V_2} \times 100 = \frac{aE_{oc2} - aV_2}{aV_2} \\ \times 100 = \frac{V_1 - aV_2}{aV_2} \times 100$$

donde V_2 es el voltaje secundario nominal bajo carga nominal y E_{oc2} es el voltaje secundario a cero carga con el mismo valor que el voltaje primario tanto para carga nominal como cero carga.

2.1.2.- CONEXIONES DE TRANSFORMADORES

POLARIDAD.

Cada uno de los dos bornes del primario de un transformador es alternativamente, positivo y negativo con respecto al otro, lo que es igualmente cierto con respecto a los bornes del secundario. Pero es evidente, que si dos o más transformadores han de conectarse en paralelo en una red monofásica, o se han de interconectar en un sistema polifásico, es necesario conocer en cualquier instante las respectivas polaridades de los bornes de los primarios y secundarios con objeto de que las conexiones se efectúen correctamente. Esta información se obtiene con facilidad mediante el sencillo ensayo de polaridad ilustrado en la Fig. 2-10, donde mirando a la parte de alta tensión de la caja receptora, se conectan los bornes de la izquierda a los de anodos de alta tensión y baja tensión. Se excita el devanado de alta tensión aplicando una tensión moderada V comprendida en la es-

cala de un voltmetro ordinario, con lo que la tensión V' -- será mayor o menor que V en una cantidad igual a la fem inducida en el devanado de baja tensión; si $V' > V$, las fems en -- los dos devanados tienen una relación aditiva, diciendose -- que el transformador tiene una polaridad aditiva; pero si $V' < V$, las dos fems son sustractivas diciendose que el transformador tiene polaridad sustractiva.

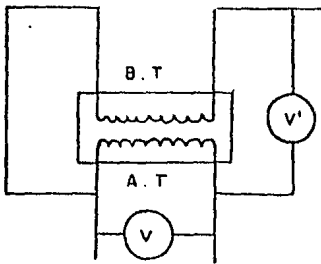


FIG. 2-10

Los bornes de alta tensión se designan $H_1, H_2, H_3,$ etc., estando el borne H_1 en la parte derecha de la caja -- mirando el lado de alta tensión. Los bornes de baja tensión, análogamente X_1, X_2, X_3 etc., pero X_1 puede estar en cualquiera de las dos partes, bien contigua a H_1 o en el lado diametralmente opuesto. Los números deben disponerse de forma que la diferencia de potencial entre dos conductores -- cualesquiera del mismo grupo tomados de menor a mayor, debetener el mismo signo que la existente entre cualquier otro -- par del grupo, tomados en el mismo orden. Se especifica además, que cuando la tensión instantánea se dirige desde H_1 -- hasta H_2 , se dirige simultáneamente desde X_1 hasta X_2 de lo -- que se deduce que cuando los bornes están situados como se -- indica en la Fig. 2-11a, el transformador tiene polaridad -- sustractiva, mientras que la disposición de la Fig. 2-11b. re -- presenta polaridad aditiva.

Los bornes de alta tensión se designan $H_1, H_2, H_3,$ etc., estando el borne H_1 en la parte derecha de la caja -- mirando el lado de alta tensión. Los bornes de baja tensión, análogamente X_1, X_2, X_3 etc., pero X_1 puede estar en

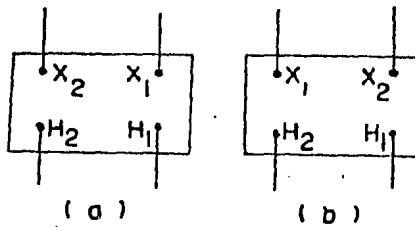


FIG. 2-11

CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES EN CIRCUITOS MONOFÁSICOS.

Los transformadores normales de distribución se suelen construir con devanados de alta y baja tensión en dos secciones iguales, si bien también se fabrican secundarios de una sola bobina. Cuando los devanados de alta y baja tensión tienen dos partes iguales, los cuatro pares de bornes se llevan al exterior a través de aberturas convenientemente aisladas en la caja receptora, o bien, se llevan hasta el cuadro de conexiones fácilmente accesible situado en la parte interior de la cubierta. Así, pues, en un transformador para un primario de 2300 voltios y un secundario de 230 voltios, cada mitad del devanado de alta tensión está diseñado para 1150 voltios y cada mitad del devanado de baja tensión para 115 voltios. Los bornes pueden estar conectados formando cualquiera de las combinaciones que se indican en la Fig. 2-12. Aunque se muestran seis disposiciones, la disposición b difiere de la a, y la e de la d únicamente en la adición de un hilo con el objeto de formar un sistema secundario trifilar, lo que permite disponer de 230 voltios -

entre los hilos extremos y de 115 voltios para alumbrado -- (o su equivalente) entre el neutro y cada uno de los hilos extremos. Tenase presente que si se utiliza un hilo neutro debe ser puesto a tierra con objeto de que la diferencia no exceda de 115 voltios. En los circuitos secundarios bifilares, uno de los hilos se conecta a tierra, como precaución contra la posibilidad de una perforación del aislamiento entre los devanados de alta y baja tensión que, de ocurrir, - sometería al secundario al elevado potencial del primario.

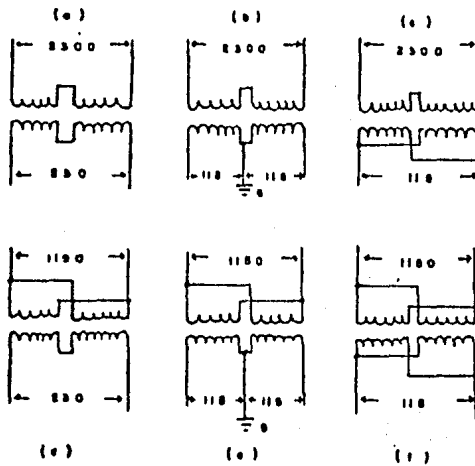


FIG. 2-12

CONEXION TRIFASICA DE TRANSFORMADORES

En el caso de un transformador trifásico o de tres --- transformadores monofásicos, se pueden usar varios arreglos trifásicos. Los siguientes son bastante comunes:

- a) Conexión delta-delta.
- b) Conexión estrella-estrella.
- c) Conexión estrella-delta o delta-estrella.

En el caso de transformadores idénticos en un arreglo dado, cada transformador lleva un tercio de la carga trifásica bajo condiciones de carga y voltajes balanceados.

a) CONEXION DELTA-DELTA.

Tres transformadores monofásicos, que se consideran -- idénticos, se muestran en la Fig. 2-13 con sus primarios y secundarios conectados en delta. En este tipo de conexión -- si se desprecian las impedancias de dispersión de los transformadores, los voltajes secundarios de línea a línea V_{ab} , V_{bc} y V_{ca} están en fase con los voltajes primarios de línea a línea V_{AB} , V_{BC} y V_{CA} con las relaciones de voltajes igualando la relación de vueltas, es decir

$$\frac{V_{AB}}{V_{ab}} = \frac{V_{BC}}{V_{bc}} = \frac{V_{CA}}{V_{ca}} = a$$

Bajo condiciones balanceadas, las corrientes de línea son $\sqrt{3}$ veces las corrientes en los embobinados cuando las terceras armónicas en la corriente de excitación son despreciadas, por lo tanto

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_A = \sqrt{3} I_{AB} \angle -30^\circ, \quad I_B = \sqrt{3} I_{BC} \angle -30^\circ, \quad I_C = \sqrt{3} I_{CA} \angle -30^\circ$$

Lo anterior se puede apreciar en el diagrama fasorial de un banco de transformadores ideales conectados en delta-delta Fig. 2-14.

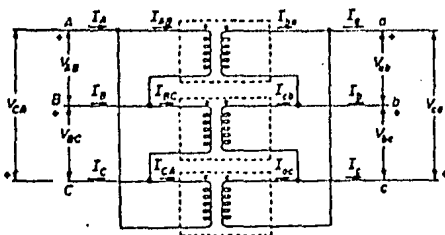


Fig. 2-13

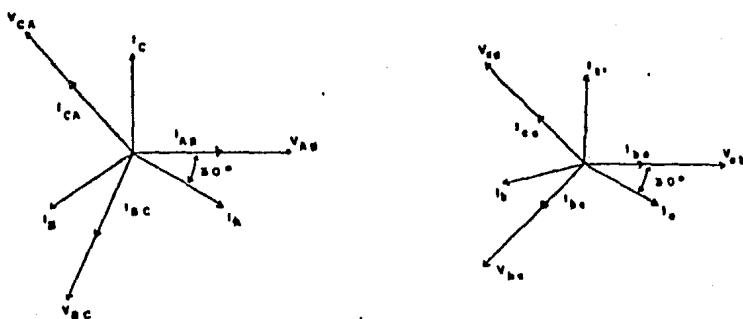


FIG. 2-14

La conexión delta-delta se usa generalmente en sistemas con voltajes moderados debido a que los embobinados operan con un voltaje completo de línea a línea.

b) CONEXION ESTRELLA-ESTRELLA

En la Fig. 2-15 se muestran tres transformadores monofásicos con sus primarios y secundarios conectados en estrella. Una conexión neutral (en muchos casos consistiendo de tierra) se muestra en ambos lados del banco de transformadores. La conexión del neutro entre el primario de los transformadores y la fuente asegura un balance del voltaje de línea a neutro y proporciona una trayectoria para las componentes de la tercera armónica en las corrientes de excita--

ción.

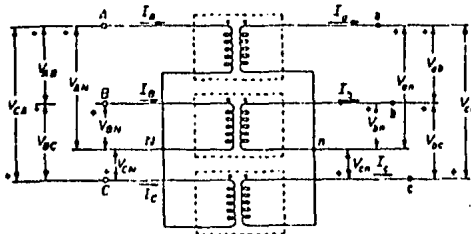


FIG. 2-15

Bajo condiciones trifásicas balanceadas el conductor -- neutral conduce componentes no fundamentales de la corriente debido a que las fundamentales en las tres fases son iguales --y 120° aparte y su suma es por lo tanto cero. Sin embargo, -- las terceras armónicas están desplazadas entre si por $3 \times 120^\circ$ ó 360° , lo que significa que están en fase entre si y el con-- ductor neutro lleva tres veces la corriente de la tercera ar-- mónica de una fase. Esto también es cierto para todos los -- múltiplos de las terceras armónicas. En la ausencia de una -- conexión del neutro, las terceras armónicas y sus múltiplos-- están ausentes de la corriente de excitación y por consi---- guiente las armónicas correspondientes aparecen en la forma-- de onda del flujo y consecuentemente los voltajes de línea a neutro. Las terceras armónicas y sus múltiplos son desprecia-- bles en los voltajes de línea a línea debido a que los volta-- jes de línea a línea son la diferencia de fasores entre los

voltajes de línea a neutro. Por lo tanto se anulan al estar en fase las terceras armónicas y sus múltiplos.

Es evidente, que la corriente en el embobinado del -- transformador, cuando se conecta en estrella, es la corriente de línea, Entonces para los transformadores ideales, las relaciones de los voltajes son:

$$\frac{V_{AN}}{V_{an}} = \frac{V_{BN}}{V_{bn}} = \frac{V_{CN}}{V_{cn}} = a$$

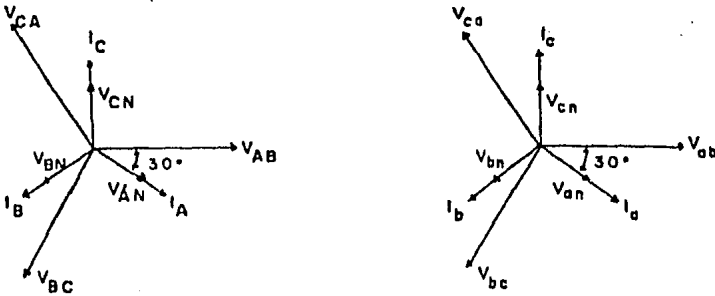


FIG. 2-16

En el diagrama fasorial para la conexión estrella-es--trella mostrado en la Fig. 2-16 bajo condiciones balancea--das, y de donde las siguientes relaciones entre los volta--jes de línea a línea y línea a neutro son evidentes.

$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN}$$

$$V_{AB} = \sqrt{3} V_{AN} \angle 30^\circ ; V_{BC} = \sqrt{3} V_{BN} \angle 30^\circ ;$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} V_{CN} \angle 30^\circ$$

Se usa generalmente la conexión estrella-estrella en aplicaciones de alto voltaje debido, a que el voltaje a través del embobinado del transformador es solamente $1/\sqrt{3}$ del voltaje de línea a línea.

c) CONEXION ESTRELLA-DELTA

Se muestra en la Fig. 2 - 17 la conexión estrella-delta y su correspondiente diagrama fasorial en la Fig. 2-18.

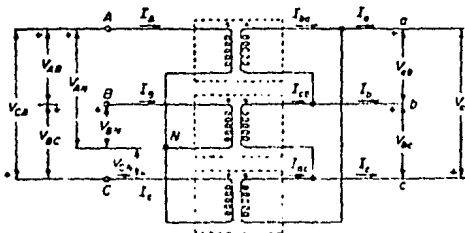


FIG. 2-17

En los sistemas de transmisión de alto voltaje se conecta en estrella y el lado de bajo voltaje en delta. - Un arreglo común en circuitos de distribución es el sistema 208/120 volts alimentado por la conexión estrella en el lado de bajo voltaje con el lado de alto

voltaje del banco de transformadores o transformador trifásico conectado en delta. En tales sistemas el punto neutro de la estrella esta aterrizado y se conectan cargas monofásicas de línea a tierra para operación de 120 volts, mientras que el equipo trifásico, como motores, se conectan a los tres conductores para una operación de 208 volts.

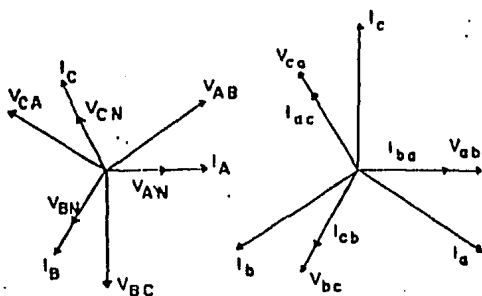


FIG. 2-16

La conexión delta asegura un voltaje balanceado de línea a neutro en el lado de la estrella y proporciona una trayectoria para la circulación de las terceras armónicas y sus múltiplos sin el uso de alambre neutro.

DELTA ABIERTA O CONEXION V-V

En la delta abierta o conexión V-V, se usan dos en lugar de tres transformadores monofásicos para la operación trifásica como se muestra en la Fig. 2-19. Esta conexión se usa algunas veces en el caso de transformadores para instrumentos por razones de economía y algunas veces inicialmente en centro de carga, en donde su crecimiento total puede tardar varios años agregandose entonces un tercer transformador para una opción delta-delta.

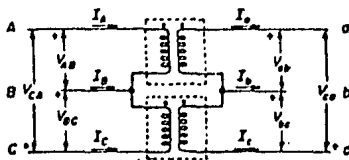


FIG. 2-19

Dado que la corriente de línea también es la corriente de los embobinados de los transformadores, el valor nominal

de los transformadores idénticos operando con una delta --- abierta es solamente $1/\sqrt{3}$ de tres transformadores semejantes conectados en delta-delta. Un voltaje balanceado trifásico - aplicado al primario produciría un voltaje trifásico balan- ceado en el lado secundario si la impedancia de dispersión - se desprecia. Entonces los voltajes secundarios son:

$$V_{ab} = \frac{V_{AB}}{a} ; \quad V_{bc} = \frac{V_{BC}}{a} = \frac{V_{AB}}{a} \angle -120^\circ$$

2.1.3.- CLASIFICACION Y PARTES DEL TRANSFORMADOR

CLASIFICACION GENERAL

Los transformadores pueden ser clasificados de distin- tas maneras, según se tome como base la construcción o la - operación en cada uno de sus aspectos. La primera clasifica- ción, y de mayor trascendencia, se refiere a la forma y pro- porciones del núcleo, dividiéndose los transformadores en - acorazados y no acorazados como se muestra en la Fig. 2-1.

En seguida se presenta la clasificación general

Por número de fases:	Por el medio refrigerante:
Monofásicos	En aire, o gas o pre--
Polifásicos	sión
Por la operación:	En aceite
De fuerza	En líquidos especiales
De distribución	En compound
De potencial	Por la construcción del --
De corriente	tanque:

Por la colocación:

Interiores
De intemperie
Sumergibles

Por la aplicación:

De línea, para interco-
nexión o protección.
De estación generadora
(para elevar)
De estación receptora-
(para reducir)
De potencial constante
(múltiple)
De intensidad constan-
te
(serie)

De conservador de aceite
De cámara inerte
De tubos paralelos
De radiadores simples, o
con ventilador

De gas a presión con cir-
culación cerrada
De circulación forzada -
de aceite

Por la regulación:

De ratio fija
De ratio ajustable sin -
carga, manual
De ratio ajustable con -
carga, manual o auto-
mática
De corriente constante

PARTES DE UN TRANSFORMADOR

Las partes de que se compone un transformador son nume-
rosas; pero las esenciales y las más importantes son las si-
guientes:

- a) Núcleo magnético y bastidor o armazón
- b) Enrollamientos primario, secundario, terciario, etc
- c) Boquillas terminales
- d) Tanque o cubierta
- e) Medio refrigerante

f) Serpentina y aparatos de refrigeración.

g) Indicadores

h) Conmutadores auxiliares

a) El Núcleo representa el órgano de transferencia de la energía entre un circuito y otro y es comparable a una banda de transición entre dos poleas cuyas velocidades y esfuerzos (pares motores) fueran diferentes. Su función es contener el flujo activo y está sujeto al bastidor.

b) Los Enrollamientos constituyen una parte de los circuitos de generación y carga. Pueden ser de una fase, o de dos, o de tres fases; de alambre delgado, o grueso, o barra, según el amperaje del circuito, y con pocas o muchas espiras de acuerdo con los potenciales respectivos. Su función es -- crear un campo magnético con la más pequeña pérdida de energía que sea posible, o utilizar el flujo para inducir fem.

c) Las boquillas permiten el paso de las corrientes a través de la cubierta o tanque del transformador sin ocasionar un escape indebido de corriente y con la seguridad necesaria contra flameo. Así mismo impiden la entrada de polvo y humedad de exterior y, a veces, la salida del medio refrigerante.

d) El tanque y cubierta son indispensables en los transformadores que usan un fluido distinto al aire; pero pueden ser omitidos en casos especiales, o reducidos a una simple - de lámina perforada, cuando el elemento refrigerante es aire

común y las bobinas están aisladas con materiales sólidos.

e) El Medio refrigerante debe ser al mismo tiempo aislante eléctrico y conductor del calor, o por lo menos, -- transportador del calor. Puede ser líquido, como en la mayoría de los transformadores de gran capacidad, sólido o semi-sólido, en pequeñas unidades, y gaseoso a presión, o sin ella, en algunas instalaciones recientes.

f) Los serpentines y aparatos de refrigeración tienen por objeto hacer pasar el calor del medio interior a otro medio exterior, que al circular arrastre consigo el calor, y mantener la temperatura del medio interno dentro de límites especificados. De la eficiencia del sistema refrigerante depende la vida del transformador, principalmente.

g) Los indicadores son aparatos que sirven para ayudar a conservar el transformador en el propio estado, ya sea -- respecto a nivel de líquido interno, temperatura general o local, presión interior o pureza del gas empleado como medio, etc. Las indicaciones pueden ser efectuadas a distancia, cuando sea necesario, a un costo mayor.

h) Los conmutadores son órganos distintos a producir cambios en la relación de tensiones de entrada y de salida, con objeto de regular el potencial de un sistema o la transferencia de energía real o reactiva entre dos sistemas interconectados. Hay el tipo sencillo, de cambio sin carga, y el perfeccionado de cambio sin carga, voluntario y automático.

2.2.- MOTOR DE INDUCCION

FUNCIONAMIENTO

El estator del motor de inducción trifásico es análogo al de una máquina síncrona trifásica y, en el se coloca un devanado trifásico simple, que se conecta a la red trifásica de corriente alterna.

El rotor del motor de inducción representa un cuerpo cilíndrico compuesto de chapas de acero al silicio con ranuras para instalar el devanado. Se distinguen:

1. Los motores de inducción con rotor bobinado. Estos tienen en su rotor un devanado hecho del mismo tipo que el devanado trifásico del estator. Los devanados de los rotores se conectan generalmente en estrella y sus terminales se sacan a través de anillos de colector y escobillas al exterior, al reóstato de arranque.

2. Los motores de inducción con rotor en corto circuito o de jaula de ardilla. Estos se dividen en tres modificaciones principales: con rotor en simple jaula ardilla; con rotor en grande reactancia, llamadas también de corrientes-Foucault, y con rotor de doble jaula de ardilla.

El funcionamiento de un motor de inducción se basa en el principio de la interacción electromagnética entre el campo magnético giratorio, creado por un sistema de corriente trifásica suministrada desde la red al devanado del estator, y las corrientes que se inducen en el devanado del ro-

tor cuando el campo giratorio cruza sus hilos conductores, - Así pues, el trabajo del motor de inducción por su esencia física es semejante al funcionamiento de un transformador -- considerando el estator como devanado primario y el rotor como secundario que, el caso general, puede girar a una velocidad n .

Cuando el campo giratorio tiene carácter sinusoidal su velocidad de rotación es:

$$n_{\text{sin}} = \frac{f}{p}$$

donde f es la frecuencia y p el número de pares de polos.

La interacción electromagnética entre ambas partes del motor de inducción sólo es posible cuando las velocidades -- del campo giratorio (n_{sin}) y del rotor (n) son distintas, es decir, a condición de que $n \neq n_{\text{sin}}$, puesto que si $n = n_{\text{sin}}$ el campo sería inmóvil con respecto al rotor y en el devanado del rotor no se induciría corriente alguna.

DESLIZAMIENTO

Suponga que el circuito del rotor está abierto y que se hace que el rotor gire por algún medio externo a una velocidad de n rpm en la dirección del flujo rotatorio ϕ_M . Si n_{sin} es la velocidad sincrónica en rpm, es decir, la velocidad rotacional de ϕ_M , entonces el deslizamiento se define por:

$$S = \frac{n_{\text{sin}} - n}{n_{\text{sin}}} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-11}$$

CORRIENTE DEL ROTOR

Si R_2 es la resistencia del rotor devanado en ohms por-fase (línea a neutro o un medio de resistencia entre los anillos de deslizamiento) y X_2 es la reactivancia del devanado secundario por fase, medida a la frecuencia de línea.

Cuando los anillos de deslizamiento están en corto-circuito, la corriente del rotor está dada por:

$$I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + s^2 X_2^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}} \quad \dots\dots \text{Ec.2-12}$$

donde SE_2 es la fem en el rotor, en condiciones de funcionamiento.

CIRCUITO EQUIVALENTE

El correspondiente diagrama del transformador fijo nos indica que del mismo modo que existe un circuito equivalente para el transformador, debe existir uno análogo para el motor de inducción. No puede esperarse que los dos circuitos equivalentes sean idénticos en toda su extensión, ya que en caso del motor los circuitos primario y secundario son mutuamente móviles a una velocidad que varía con la carga, por lo que no tienen necesariamente el mismo número de fases.

Así pues, en condiciones de reposo la fem desarrollada en cada fase del primario y del secundario vendrá dada, respectivamente, por:

$$E_1 = 4.44 K_{d1} K_{p1} f_1 N_1 \phi \dots\dots\dots \text{Ec. 2-13}$$

$$E_2 = 4.44 K_{d2} K_{p2} f_1 N_2 \phi \dots\dots\dots \text{Ec. 2-14}$$

donde K_{d1} , K_{d2} = factores de distribución

K_{p1} , K_{p2} = factores de paso

N_1 , N_2 = espiras en serie por fase

ϕ = flujo por polo

La razón de la fem del primario a la del secundario, -- por fase es:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_{d1} K_{p1} N_1}{K_{d2} K_{p2} N_2} = a \dots\dots\dots \text{Ec. 2-15}$$

Por tanto, las fems de los secundarios reducidas a valores equivalentes en reposo, si se multiplican por esta relación de transformación de tensión; resultarán expresadas a términos equivalentes de los primarios.

Por razones de conveniencia en el desarrollo del análisis resulta más oportuno trabajar con magnitudes del secundario expresadas en función del primario; pero con objeto de distinguir estos valores equivalentes de los valores verdaderos, las magnitudes equivalentes se designarán mediante un subíndice e; así E_{2e} representará la fem del secundario reducida a función del primario, por lo que E_{2e} es igual a E_1 .

Así Pues, utilizando la Ec. 2-12

$$I_{2e} = \frac{SE_{2e}}{R_{2e} + jSX_{2e}} = \frac{E_2}{R_{2e}/S + jX_{2e}} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-16}$$

Aplicando el mismo razonamiento que en caso del transformador fijo, es posible escribir .

$$I_o = \frac{-E_1}{R_o + jX_o} = -E_1(G_o - jB_o) \dots\dots\dots \text{Ec. 2-17}$$

donde $R_o + jX_o$ es la impedancia de excitación y $G_o - jB_o$ es la admitancia de excitación.

La forma del circuito equivalente se muestra en la -- Fig. 2-20 que es análogo al circuito equivalente del transformador.

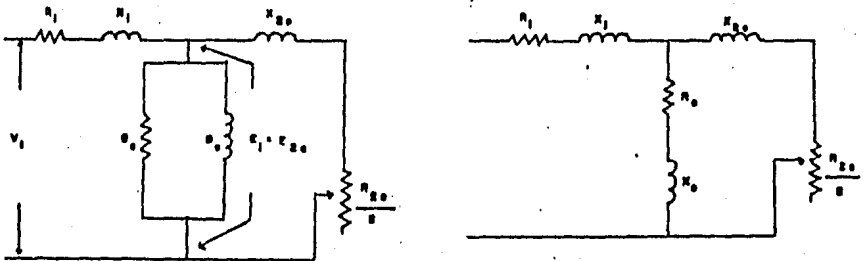


FIG. 2-20

POTENCIA MECANICA

La potencia por fase suministrada al motor desde la -- línea es:

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta, \text{ vatios}$$

Una parte de esta potencia, que asciende a $I_{2e}^2 (R_1 + R_{2e})$ -vatios por fase, se consume como pérdidas óhmicas en los devanados del primario y del secundario, mientras la restante se convierte en potencia mecánica. No toda la potencia mecánica desarrollada de esta forma resulta útil en el eje, ya que existen otras pérdidas a las resistencias pasivas, por histéresis y corrientes parásitas en el núcleo. Por lo tanto la potencia mecánica neta de salida por fase es:

$$P = V_1 I_1 \cos \theta_1 - I_{2e}^2 (R_1 + R_{2e}) - V_1 I_0 \cos \theta_0 \dots \text{Ec. 2-18}$$

La potencia mecánica por fase en función del deslizamiento es:

$$P = \frac{V_1^2 R_{2e}}{(R_1 + R_{2e}/s)^2 + (X_1 + X_{2e})^2} \frac{1-s}{s} \dots \text{Ec. 2-19}$$

$$\text{ó } P = I_{2e}^2 R_{2e} \frac{1-s}{s} \dots \text{Ec. 2-20}$$

que significa que la potencia mecánica desarrollada por fase puede considerarse como las pérdidas óhmicas de una resistencia ficticia del secundario de $R_{2e}(1-s)/s$ ohmios por fase.

FAR MOTOR

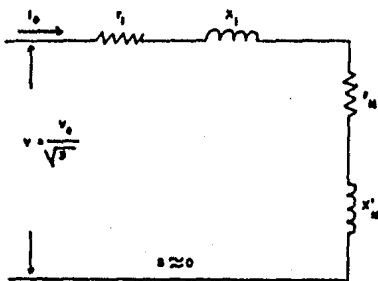
La potencia mecánica por fase determina la magnitud del par motor. Si el par motor en libras-pie se indica por T y la velocidad del rotor es n_2 rpm, tendremos que

$$T = \frac{33000}{2 n_2 \pi + 746} \frac{m_1 (I_{2e}^2 R_{2e})}{s} \dots \text{Ec. 2-21}$$

PRUEBA DE CERO CARGA

Se aplica un voltaje balanceado a frecuencia nominal al estator mientras que el motor gira sin carga. Se toman medidas de voltaje, corriente y potencia de entrada al estator.

Debido al bajo valor de deslizamiento a cero carga, la resistencia equivalente r_2/s es tan alta que la corriente del rotor a cero carga es despreciable. Sin embargo una pequeña cantidad de la corriente del rotor aún a cero desplazamiento debido a las armónicas en la onda de flujo densidad y una ligera no-uniformidad en el entrehierro. Para la prueba a cero carga en un motor trifásico, sea



V_0 = el voltaje nominal de línea a línea

I_0 = la corriente de línea

P_0 = la potencia de entrada

r_1 = la resistencia del estator en ohms por fase en base a una conexión Y.

FIG. 2-21

Debido a que la corriente de cero carga del rotor es despreciable, el circuito del rotor puede omitirse del circuito equivalente, resultando el de la Fig. 2-21, en donde Z_M está representado por una impedancia equivalente serie, de donde

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{3}} \text{ volts por fase}$$

$$Z = \frac{V}{I_0} \text{ ohms por fase}$$

$$P_0 = 3I_0^2 r_0 \dots\dots\dots \text{Ec. 2 - 22}$$

donde $r_0 = r_1 + r_M$

en donde la resistencia r_1 es la resistencia del estator tomada como el valor de c.d., la resistencia serie $r_M \ll X_M'$ y por lo tanto $X_M' = X_M$,

Entonces:

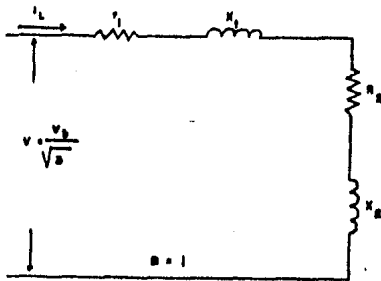
$$X_0 \approx X_1 + X_M \quad \text{y} \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-23}$$

Las pérdidas rotacionales, es decir la suma de las pérdidas de fricción de viento, fricción, núcleo, se encuentran restando las pérdidas de cobre del estator de la potencia de cero carga de entrada por lo tanto:

$$P_{ro} = P_0 - 3I_0^2 r_1 \dots\dots\dots \text{Ec. 2 - 24}$$

PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO

Las cantidades X_1 , X_2 y r_2 pueden ahora determinarse de los datos de la prueba de rotor bloqueado que se obtiene con el rotor trabado para evitar que gire, es decir, para $S=1$.



En la prueba de rotor bloqueado en un motor trifásico, - - sean:

V_L = voltaje de línea a línea.

I_L = corriente de línea

P_L = potencia de entrada.

FIG. 2-22

Entonces la impedancia del motor es: $Z_L = \frac{V_L}{\sqrt{3} I_L}$

siendo su resistencia equivalente $r_L = r_1 + R_2 = \frac{P_L}{3I_L^2}$ --

..... Ec. 2-25

y su reactancia equivalente $X_L = X_1 + X_2 = \sqrt{Z_L^2 - r_L^2}$..Ec. -
2-26

Estos parámetros se muestran en el circuito equivalente --
Fig. 2-22

MOTORES DE INDUCCION MONOFASICOS

Los motores de inducción monofásicos tienen capacidades nominales desde una pequeña fracción de un caballo de potencia, hasta cerca de 10 hp. Es generalmente mejor usar motores de inducción trifásica cuando los requerimientos exceden un caballo de potencia, considerando que la alimentación trifásica está disponible. Los motores de inducción monofásica, como los motores de inducción trifásica, tienen una característica de la velocidad casi constante y se usan para impulsar tales equipos domésticos como abanicos, refrigeradores, máquinas lavadoras y quemadores de aceite.

Un motor de inducción trifásico puede operar como un motor de inducción monofásico una vez que está caminando, --- abriendo una de las fases del motor.

METODOS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCION MONOFASICOS.

Los motores de inducción monofásicos tienen generalmente rotores de jaula de ardilla similares a los de los motores de inducción trifásica. Un motor de inducción monofásico no puede arrancar como tal, pero una vez que arranca en una dirección dada por medios mecánicos, u otros, desarrolla un par en esa dirección.

Los métodos más ampliamente usados para arrancar motores de inducción monofásicos incorporan una característica para producir un campo magnético rotatorio en el punto de reposo, se clasifican de la siguiente manera:

- a) Motor de fase partida.
- b) Motor de arranque con capacitor
- c) Motor de polos sombreados

Los Motores de fase partida y de arranque con capacitor tienen dos embobinados en el estator, es decir, un embobinado principal y otro auxiliar desplazados entre si por 90° medidos eléctricamente, de esta manera simulando hasta un cierto grado un embobinado de dos fases.

a) Los embobinados principal y auxiliar del motor de fase partida estan conectados en paralelo durante el arranque, y cuando el motor alcanza el 75% de su velocidad nominal un conmutador centrífugo desconecta el embobinado auxiliar. El embobinado auxiliar tiene un alambre de menor calibre y usualmente de menos vueltas que el embobinado principal, dando como resultado que el embobinado auxiliar tenga-

una relación mayor de la resistencia de dispersión que el embobinado principal. Por lo tanto, la corriente en el embobinado principal va atrasada a la del embobinado auxiliar, dando como resultado dos frms del estator desplazadas entre si en fase del espacio así como fase del tiempo, condiciones necesarias para la producción de un par.

b) El motor de arranque con capacitor es similar al motor de fase partida con la excepción que tiene un capacitor en serie con el embobinado auxiliar. El capacitor, generalmente un capacitor electrolítico de c.a. tipo seco, tiene un alto valor de capacitancia con un rango entre aproximadamente 70 a 400 μ f para motores de 115 volts desde 1/8 a 1-hp, haciendo posible para las corrientes en los embobinados principal y auxiliar al estator desplazados entre si por -- aproximadamente 90° en el arranque. Cuando los embobinados están desplazados 90° medidos eléctricamente y sus frms son iguales en magnitud pero 90° aparte en fase de tiempo, la acción es la de un motor polifásico que representa un funcionamiento óptimo.

c) La Fig. 2-23, muestra un motor de inducción de polos sombreados de cuatro polos con un embobinado del estator concentrado. Cada polo esta hueco para acomodar una bobina en corto circuito usualmente de una vuelta y abarcando cerca de un tercio del polo. En algunos motores, dos o más bobinas sombreadas se usan en cada polo con cada bobina abarcando una diferente fracción de la cara del polo.

La corriente de corto circuito inducida en la bobina --
sombreada causa que el flujo a través de la porción sombrea-
da esté atrasado respecto al flujo a través de la porción no
sombreada del polo en fase de tiempo. Como resultado se tie-
ne una pequeña componente del flujo barriendo a través de la
cara del polo desde la porción no sombreada hasta la porción
sombreada de la misma manera que un campo magnético rotato--
rio. Las pérdidas en las bobinas sombreadas a velocidad nomi-
nal son cuantiosas, con el resultado de un funcionamiento in-
ferior al de otros tipos de motores de inducción monofásicos

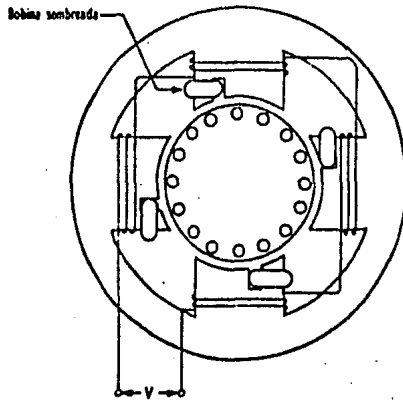


FIG. 2 - 23

2.3.- MAQUINAS SINCRONAS

2.3.1.- GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

El generador de corriente alterna o alternador es una máquina que gira a velocidad constante, conocida como velocidad síncrona representada como n_s , que se utiliza para obtener energía eléctrica a partir de la energía mecánica proporcionada por una máquina motriz.

La frecuencia del voltaje de generación es función de la velocidad que proporciona la máquina motriz y del número de polos magnéticos, del alternador. Normalmente la velocidad de la máquina motriz se expresa en revoluciones por minuto (rpm) y representa la velocidad síncrona (n_s) y el número de polos del alternador con la letra (P), así la frecuencia del voltaje del inducido se expresa en la forma siguiente:

$$f = \frac{Pn_s}{120} \text{ Hz} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-27}$$

expresión muy importante en máquinas de corriente alterna.

TIPOS DE ALTERNADOR

Los alternadores se pueden clasificar atendiendo a diversos aspectos entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes:

I- Por su aplicación:

- a) Alternadores para turbinas hidráulicas.
- b) Alternadores para turbinas de vapor y de gas.
- c) Alternadores para máquinas de combustión interna.

..II- Por la posición de su flecha:

- a) Alternadores verticales
- b) Alternadores horizontales
- a) Alternadores verticales

Este tipo se tiene en las plantas hidroeléctricas que disponen de turbinas de baja velocidad y de gran potencia.

- b) Alternadores horizontales.

Este tipo de alternadores se tiene en plantas hidroeléctricas, termoeléctricas y en plantas de combustión interna y pueden ser de alta o baja velocidad.

III- Por la forma de los polos:

- a) De rotor de polos salientes
- b) De rotor cilíndrico o de polos lisos
- a) Alternador de rotor de polos salientes.

Se usan en las plantas hidroeléctricas o bien cuando la máquina es un motor síncrono, generalmente de baja velocidad ya que este tipo de rotor produce altas pérdidas por fricción y ventilación. Se fabrican con laminaciones de acero al silicio de 0.35 mm de espesor, rodeando la pieza polar se encuentra la bobina de excitación.

Este tipo de rotor se tiene en las máquinas en donde el número de polos es mayor de 6.

FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA

Se supone que el alternador elemental ideal de la Fig.- 2-24 consiste en una bobina concentrada de N espiras, que gira a velocidad uniforme n_s rpm en un campo magnético uniforme producido por los polos N, S.

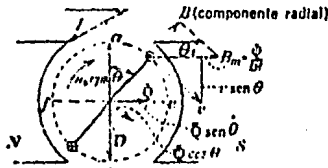


FIG. 2-24

En el instante en que la bobina ocupa la posición definida por el ángulo θ , el flujo que atraviesa la bobina es $\psi = \Phi \cos \theta$ y la correspondiente fem instantánea desarrollada en el devanado es:

$$e = -N \frac{d\psi}{dt} = N\Phi \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \dots\dots \text{Ec. 2-28}$$

Pero $d\theta/dt$ es la velocidad angular de la bobina y puede escribirse $\omega = 2\pi f$; y θ puede remplazarse por su equivalente ωt , donde t es el tiempo contado desde el instante en que la bobina se sitúa en el plano ab. Por lo tanto, según la Ec. - 2-28

$$e = 2\pi f N \Phi \sin \omega t \dots\dots\dots \text{Ec. 2-29}$$

y los valores máximos y eficaz de esta fem que varía sinusoidalmente son respectivamente

$$E_m = 2 \pi f N \Phi \dots\dots\dots \text{Ec. 2-30}$$

$$E = \sqrt{2} \pi f N \Phi = 4.44 f N \Phi \dots\dots\dots \text{Ec. 2-31}$$

FACTORES QUE AFECTAN LA FEM INDUCIDA

Paso Polar: Es la distancia entre centros de polos adyacentes e igual a 180° eléctricos o a su equivalente en número de ranuras.

Bobina de Paso Completo: Una bobina de paso completo es aquella cuyos costados se encuentran a una distancia igual - al paso polar.

Bobina de Paso Fraccionario: Una bobina de paso fraccionario es aquella cuyos costados se encuentran a una distancia menor que el paso polar Fig. 2-25.

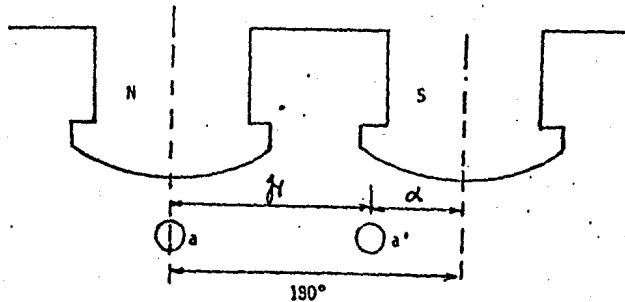


FIG. 2-25

Para una bobina de paso completo $E = 2E_a$ Ec. 2-32

Para una bobina de paso fraccionario que en un instante dado, por ejemplo el lado a está afectado por el máximo de una distribución de densidad de flujo senoidal que induce en la bobina una fem dado por el valor E_a . Para el costado a' el valor de la fem inducida es menor debido a que se-

encuentra antes del valor máximo a un ángulo α de aquí que la fem inducida en la bobina es igual: E_a más E_a' , pero desplazado éste un ángulo como se muestra en la Fig. 2-26

Si el factor de paso K_p se define:

$$\text{Factor de paso } K_p = \frac{\text{fem inducida en una bobina de paso frac}}{\text{fem inducida en una bobina de paso - - - completo}}$$

Sustituyendo los valores de la Ec. 2-32 y de la Fig. 2-26 en la definición de K_p , se tiene:

$$K_p = \frac{2E_a \cos \frac{\alpha}{2}}{2E_a} = \cos \frac{\alpha}{2}$$

FACTOR DE DISTRIBUCION

En la mayoría de las máquinas los costados de bobina de los devanados de inducido, no se encuentran en una sola ranura/polo/fase sino se tienen distribuidos en varias ranuras/polo/fase.

Si tuvieramos un costado de bobina concentrado en una ranura, en máquinas donde la corriente es grande la bobina sería de un gran calibre lo cual implicaría una ranura de grandes dimensiones y como consecuencia variación de flujo y variaciones muy grandes en el entrehierro; para minimizar estos efectos se acostumbra a distribuir el costado de bobina en dos o más ranuras más pequeñas, lo que proporciona mayor uniformidad en la periferia de la ranura que es lo que trae consigo el efecto de la distribución.

Considerese el arreglo de la Fig. 2-27 donde a, b y c representan costados de bobina de una misma fase, que se encuentran separados uno con respecto de otro por un ángulo β . Por lo cual tendremos para un devanado distribuido en tres ranuras:

$$E_r = E_a + 2 E_a \cos \beta, \text{ dado que}$$

$$E_a = E_b = E_c.$$

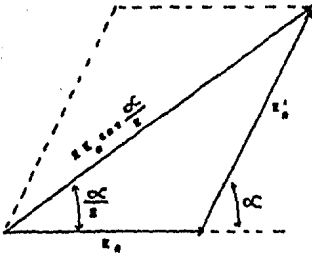


Fig. 2-26



Fig. 2-27

Si el devanado estuviera concentrado en una ranura tendríamos:

$$E_r = E_a + E_b + E_c$$

Se define el factor de distribución como:

$$K_d = \frac{\text{fem inducida en un devanado distribuido}}{\text{fem inducida en el mismo devanado pero concentrado}}$$

Para el caso de una distribución de tres ranuras/polo/fase:

$$K_d = \frac{E_a + 2 E_a \cos \beta}{3 E_a}$$

FACTOR DE FORMA

La expresión de la tensión inducida dada por la Ec. 2-31, se aplica cuando la distribución de densidad de flujo

es senoidal, pero si se tiene una distribución como la que se puede representar por la siguiente expresión:

$$B = B_1 \text{sen } \theta + B_3 \text{sen } 3\theta + B_9 \text{sen } 9\theta \dots \dots \dots \text{Ec. 2-33}$$

entonces el valor de la tensión generada será la suma de cada una de las componentes dado que:

$$\phi_{\text{total}} = \phi_{1a} + \phi_{3a} + \phi_{9a}$$

y por lo tanto:

$$e_{1a} \text{ armónica} = 4.44Nf_{1a} \phi_{1a} = e_1$$

$$e_{3a} \text{ armónica} = 4.44Nf_{3a} \phi_{3a} = e_2$$

$$e_{9a} \text{ armónica} = 4.44Nf_{9a} \phi_{9a} = e_3$$

donde e_1 , e_2 , e_3 son valores efectivos con lo cual cada armónica contribuye para determinar el valor de fem total.

Sin embargo, no se sigue este criterio sino que se determina el factor de forma el cual se define:

$$K_f = \frac{\text{valor eficaz}}{\text{valor medio}}$$

Por lo tanto la expresión general para la fem inducida para un devanado con bobinas de paso fraccionario, distribuido en varias ranuras con una distribución de flujo no senoidal es:

$$E = 4K_f K_p K_d N f \phi \dots \dots \dots \text{Ec. 2-34}$$

NOTA: El factor 4.44 proviene del producto de 4 x 1.11 donde el factor de forma de una función senoidal es 1.11

CIRCUITO EQUIVALENTE

El generador como parte de un sistema de potencia se le representa mediante un circuito equivalente el cual es útil para los estudios de estabilidad y análisis de potencia. En la Fig. 2-28 se muestra el circuito equivalente de un generador de rotor cilíndrico.

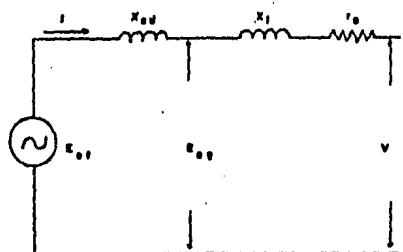


FIG. 2-28

$$X_d = X_{ad} + X_1$$

donde:

X_{ad} es la reactancia magnética

X_1 es la reactancia de dispersión.

E_{af} es el voltaje generado

V es el voltaje terminal

X_d es la reactancia síncrona

r_a es la resistencia de armadura.

El voltaje generado es: $E_{af} = V + (r_a + jX_d) I \dots$ Ec:2-35, para un generador de rotor cilíndrico. La relación para un generador de polos salientes incluye un término de reactancia adicional para tomar en cuenta la no uniformidad del entrehierro. La Ec. 2-35 se aplica algunas veces para máquinas de polos salientes para cálculos en donde el efecto sobresaliente de los polos no es importante. Aún cuando los motores síncronos tienen prácticamente sin ninguna excepción, polos salientes, muchas veces se les trata como máquinas de rotor-

cilíndrico y la Ec. 2-35 es aplicable si el signo de la I se hace negativo para dar:

$$V = E_{af} + (r_a + jX_d) I \dots\dots\dots \text{Ec. 2-36}$$

La resistencia de la armadura de máquinas síncronas trifásicas es mucho más pequeña que la reactancia síncrona, por lo cual la impedancia síncrona es:

$$Z_d = \sqrt{r_a^2 + X_d^2} \cong X_d$$

Por esta razón r_a se omite en muchos análisis del funcionamiento de estado estable de máquinas síncronas.

PRUEBAS DE CIRCUITO ABIERTO Y CORTO CIRCUITO

El efecto de saturación en el funcionamiento de máquinas síncronas se toma en cuenta dentro de la curva de magnetización y otros datos obtenidos por pruebas en una máquina existente o de datos de diseño. La impedancia síncrona no saturada y un valor aproximado de la impedancia síncrona saturada se obtiene en las pruebas de circuito abierto y corto circuito.

La reactancia síncrona no saturada es constante debido a que la reluctancia del hierro no saturado es despreciable. El circuito equivalente de una fase de una máquina síncrona polifásica se muestra en la Fig. 2-29(a) para la condición de circuito abierto y en la Fig. 2-29(b) para la condición de corto circuito. Ahora E_{af} es la misma en ambos casos cuando la impedancia $Z = E_{af} / I_{sc}$, donde E_{af} son los volts de cir-

cuito abierto por fase y I_{sc} es la corriente de corto circuito por fase.

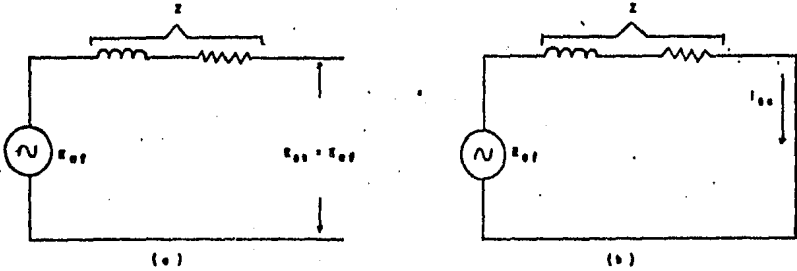


FIG. 2-29

REGULACION DE VOLTAJE

Si V es el voltaje nominal en las terminales para una carga y factor de potencia dados y velocidad nominal, E_{oc} es el voltaje de circuito abierto a velocidad nominal cuando la carga se quita sin cambiar la corriente de campo, entonces la regulación es:

$$\text{Reg} = \frac{E_{oc} - V}{V} \dots\dots\dots \text{Ec. 2- 37}$$

OPERACION EN PARALELO DE GENERADORES SINCRONOS

Existen varias razones por las cuales es necesario conectar dos o más generadores en paralelo, entre ellas podemos mencionar las siguientes:

- 1º Para compensar la demanda de energía
- 2º Para lograr la flexibilidad del sistema de potencia.

1º Para compensar la demanda de energía.- De acuerdo con las estadísticas y gráficas de demanda se observa en esta que un sistema de potencia no permanece constante con el tiempo, sino que sufre variaciones durante el día, durante el año; alcanzando valores máximo de demanda. A estos valores máximos inevitables, debemos agregar la demanda provocada por: ampliación de industrias, creación de nuevas zonas industriales y de centros de población; siendo entonces imposible que las fuentes instaladas puedan absorber una carga mayor a la máxima que pueden proporcionar, siendo necesario entonces que nuevas plantas sean puestas en operación para ayudar al sistema por lo cual, nuevas unidades deberán conectarse en paralelo.

2º Para lograr la flexibilidad del sistema de potencia En algunos sistemas de potencia puede darse la posibilidad que los máximos de demanda de energía puedan ser cubiertos con cierto número de plantas, menor del que se dispone presentandose la posibilidad de poder elaborar un programa de mantenimiento preventivo debidamente ordenado para todo el sistema sin que se tenga el riesgo de proporcionar un servicio deficiente.

Requisitos para Conectar Generadores Síncronos en Paralelo.

Para efectuar la sincronización de dos o más generadores se deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Secuencia correcta de fases
2. Los voltajes de fase deben estar en fase con aquellos del sistema
3. La frecuencia debe ser casi exactamente igual a la del sistema.
4. El voltaje de la máquina debe ser aproximadamente igual al voltaje del sistema.

Si se tienen diferentes magnitudes de tensión, es necesario incrementar o disminuir la corriente de excitación mediante el control de campo de la excitatriz.

Se dice que dos sistemas tienen igual frecuencia cuando la rotación de los vectores de las tensiones respectivas es a la misma velocidad angular. Si estas tienen diferente frecuencia, es necesario incrementar la velocidad del grupo por sincronizar.

Para lograr que las tensiones de las máquinas por sincronizar estén en fase, debe adelantarse o retrasarse su primer motor, con aceleraciones o desaceleraciones momentáneas.

2.3.2.- MOTOR SINCRONO

INTRODUCCION.

La máquina síncrona trabajando como motor síncrono tiene múltiples aplicaciones en la industria.

Existe un tamaño y un voltaje para el cual estos motores son insustituibles para ciertas aplicaciones, y dado -- que su velocidad y número de polos están relacionados con -- la frecuencia de acuerdo con:

$$\text{rpm} = \frac{120 f}{p} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 2-38}$$

Es muy común su uso para bajas velocidades con gran número de polos en motores de rotor de polos salientes.

Toda la teoría que se ha estudiado para los generadores es válida para el motor síncrono y salvo pequeñas diferencias en el devanado de arranque o amortiguador como se llama en el generador, puede decirse que un generador puede utilizarse como motor y viceversa. La única gran diferencia es que los generadores son muy grandes y los motores son de capacidad moderada.

PRINCIPIOS DE OPERACION DEL MOTOR SINCRONO

Quando en un alternador trifásico aplicamos corriente directa a los polos y los hacemos girar a velocidad de sincronismo, tenemos un campo magnético giratorio causado por dichos polos en movimiento, el cual corta a los conductores del estator apareciendo en las terminales de éste ondas senoidales trifásicas de voltaje.

Si operamos en sentido inverso y aplicamos en el estator de una máquina síncrona una onda senoidal trifásica de voltaje, aparecerá en su entrehierro un campo magnético gi-

ratorio, el cual se acoplará con el campo magnético de los polos que también deben estar girando, a velocidad de sincronismo y excitados (el que los polos también deben girar a velocidad de sincronismo para que pueda haber acoplamiento magnético es la particularidad más relevante del motor síncrono pues nos indica que sólo a esta velocidad existe par).

Entonces puede verse el motor síncrono como un par de engranes magnéticos acoplados norte con sur y sur con norte girando a igual velocidad.

Siempre que un rotor de motor síncrono no gire a velocidad de sincronismo no habrá par, debido a que no hay acoplamiento magnético, por lo tanto en esos casos habrá que quitar la corriente de excitación a los polos para que no haya problemas y no exista el riesgo de destruirse, en otras palabras, a un motor sólo debe aplicarsele corriente de excitación en los polos, cuando éste ya está moviéndose a velocidad de sincronismo.

Otra manera de ver el principio de funcionamiento, es considerar el motor desplegado y observar el par que se ejerce sobre un conductor de armadura bajo el centro de un polo durante el primer medio ciclo, de tal forma que durante el próximo medio ciclo el conductor tendrá una corriente en sentido opuesto, por lo tanto deberá estar bajo un polo de polaridad opuesta para que el par sea en el mismo sentido, esto sólo ocurre a velocidad síncrona.

PAR EN EL MOTOR SINCRONO

El par de un motor síncrono no está presente durante el arranque de una máquina, por lo tanto necesitamos de medios-auxiliares para el arranque y estos pueden ser:

1º Un motor especial para el arranque que puede ser de gasolina, de corriente directa operado con baterías, motor de corriente alterna de inducción, etc.

2º Se utiliza un devanado de jaula de ardilla construído sobre las caras polares y que en un generador serviría como devanado amortiguador y en el rotor sirve como devanado de arranque (prácticamente consiste en la construcción de un motor de inducción dentro del motor síncrono).

EXCITACION DEL MOTOR SINCRONO

El motor síncrono aparte de que necesita corriente alterna en el estator, necesita una alimentación de corriente-directa para los polos del rotor, generalmente esta excitación suele ser de 125 volts, si bien algunas veces se utilizan circuitos de 250 volts.

Otra fuente que a últimas fechas se ha utilizado frecuentemente es un rectificador estático que se alimenta del mismo alimentador que el estator y después se conecta a los anillos rozantes del rotor dando el voltaje y capacidad adecuado de corriente directa.

DEVANADOS DE ARRANQUE

En un motor síncrono, como ya se explicó anteriormente no existe par de arranque y para ello se dota a la máquina, de un devanado que trabaja bajo el principio de inducción y que se denomina rotor jaula de ardilla. Este devanado -- también en el generador está presente pero en dicho caso re cibe el nombre de devanado amortiguador. fig. 2-30.

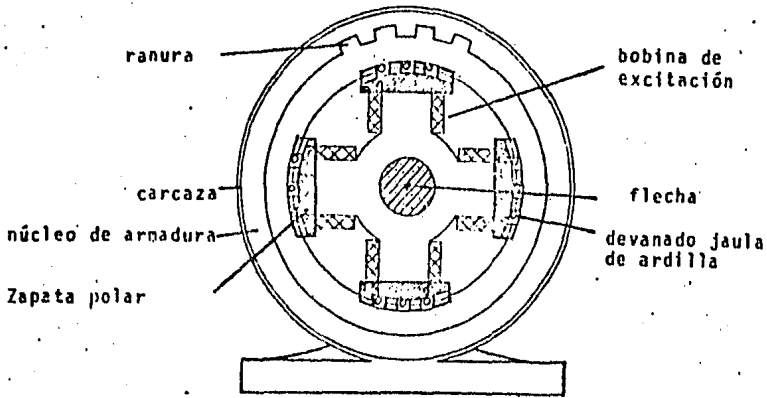


FIG. 2-30

Cuando un generador está girando a la velocidad de sin cronismo, el rotor de jaula de ardilla girará a la misma ve locidad que el campo giratorio del estator, o sea que no -- hay velocidad relativa entre ambos y por lo tanto no habrá corte de flujo.

Cuando el rotor del generador trata de disminuir su ve locidad por una aplicación súbita de carga, el devanado de

jaula de ardilla empieza a cortar flujo y dará un par que ayuda al rotor a recuperar su velocidad, cuando la carga al eliminarse súbitamente trata de sobre-acelerar al rotor del alternador, entonces también habrá corte de flujo en sentido opuesto que el anterior y habrá un par retardatorio que ayudará al motor a conservarse en velocidad de sincronismo. Por lo anterior, a este devanado se le llama amortiguador y trata de evitar las oscilaciones de uno a otro lado de velocidad de sincronismo causadas por variaciones de carga.

Este mismo devanado, cuando se trata de motor síncrono opera de la siguiente manera:

Cuando el motor va a iniciar su marcha se aplica el voltaje de estator causando el campo giratorio; como el rotor jaula de ardilla está parado en ese momento, sus barras cortarían dicho flujo induciendo en ellas un voltaje y una corriente que causará un par. Este par no desaparecerá hasta que deje de cortarse el flujo, o sea a velocidad de sincronismo.

CURVAS "V" DEL MOTOR SINCRONO.

Si tenemos un motor síncrono trabajando, tendríamos que su potencia está dada por:

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta \dots\dots\dots \text{Ec. 2-39}$$

de donde: V= voltaje entre fases, I = corriente de fase.

Si mantenemos la potencia del rotor constante y además

mantenemos el voltaje de alimentación constante, entonces - tendrédmos:

$I \cos \phi$ permanecerá constante.

En otras palabras, tendrédmos que para máximo factor de potencia (que es 1) habrá corriente mínima y para factores de potencia menores que la unidad habrá corrientes mayores.

En tal forma que si hacemos una prueba en que el motor entrega una potencia constante a un voltaje constante y variemos la excitación del rotor habrá variaciones de corriente en el estator dados por la gráfica Fig. 2-31

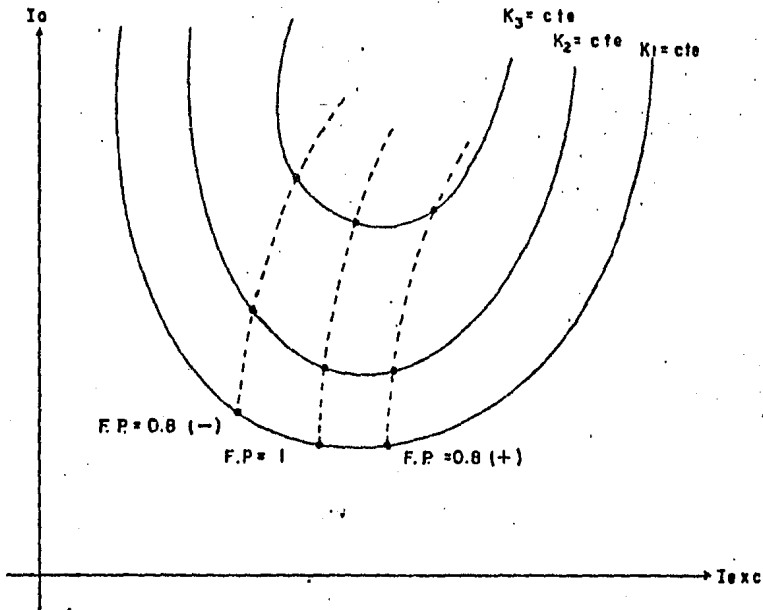


FIG. 2-31

Si efectuamos esta prueba para diferentes potencias obtendremos una familia de curvas, a estas curvas por la forma que tienen se les denomina "CURVAS V" y su importancia se deriva de que muestra las variaciones de factor de potencia que ocurren con las variaciones de excitación. Estas curvas que se ven en la Fig. 2-31 en donde también se muestra la curva de factor de potencia 0.8 atrasado, la curva de factor de potencia 1 y la curva de factor de potencia 0.8 adelantado.

2.4.- TEORIA DE MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA

La máquina de corriente directa usual depende para su operación en la rotación de un embobinado de armadura, en un campo magnético producido por un embobinado estacionario conocido como el embobinado de campo. El embobinado de la armadura consiste en un número de bobinas usualmente idénticas colocadas en ranuras uniformemente distribuidas alrededor de la periferia del hierro del rotor. Las bobinas están aisladas entre sí. El conmutador sirve para rectificar el voltaje inducido y la corriente de armadura, ambos son de c.a. excepto en el caso de máquinas acíclicas u homopolares que operan sin un conmutador.

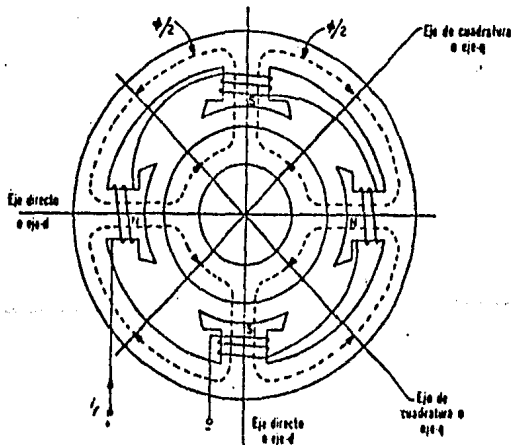
Los polos de conmutación o interpolos son bobinas localizadas entre las bobinas de campo principal y su función es la de ejercer una fmm en oposición a la de la armadura, con el objeto de alcanzar una conmutación sin tener prácticamente ninguna chispa en las escobillas, que están montadas en el conmutador para recolectar la corriente de la armadura. Los polos conmutadores son generalmente omitidos en máquinas pequeñas tales como motores de caballos de potencia fraccionales, debido a que la resistencia de las bobinas de la armadura es lo suficientemente alta en relación a otros parámetros, para prevenir un chisporroteo excesivo en las escobillas.

El número de polos usados en una máquina de c.d. está-

governado por el valor de voltaje y la corriente de la máquina. Mientras mayor sea el voltaje para un diámetro dado de la armadura, menor será el número de polos. Esto es necesario para proveer un espacio para el mayor número de barras conmutadoras requeridas para el voltaje más alto, ya que hay usualmente tantos juegos de escobillas, como hay de polos, y el espacio entre juego de escobillas adyacentes es el mismo que el existente entre polos adyacentes.

El diagrama esquemático del circuito magnético de una máquina de cuatro polos en la Fig. 2-32, muestra las trayectorias aproximadas que toma el flujo debido a la excitación del campo. Se desprecia la dispersión magnética, y el flujo por polo del entrehierro es 0 mientras que el del yunque es: $0'2$. Esta estructura simple se muestra sin los polos conmutadores, una omisión que no afecta la trayectoria principal -- que toma el flujo debido a que la fmm del campo. Los polos conmutadores están a lo largo de un eje en donde la fmm debida a la excitación del campo es idealmente cero.

FIG. 2-32



VOLTAJE INDUCIDO EN UNA BOBINA DE ARMADURA DE PASO COMPLETO

Una bobina de armadura de paso completo de una o más vueltas es aquella que se alarga un paso polar, es decir, cuando uno de sus dos lados cae bajo el centro de un polo del campo, su otro lado cae bajo el centro de un polo del campo adyacente. Por lo tanto, en una máquina de dos polos, una bobina de paso completo es de dimensión igual al diámetro, y en una máquina de P polos, su dimensión es una cuerda que tiene un ángulo de $2\pi/P$ en la periferia de la armadura.

Para una onda especial simétrica de densidad de flujo, corriente de campo constante y una velocidad angular constante, la forma de onda (función del tiempo) del voltaje inducida en una bobina de la armadura de paso completo, es la misma que aquella onda de distribución del flujo-densidad (función en el espacio) en el entrehierro. La Fig. 2-33 muestra la curva aproximada de la distribución de la densidad de flujo para una máquina de c.d. a cero carga con los efectos en las ranuras de la armadura despreciados. La corriente de armadura es cero y el flujo se debe enteramente a la corriente de campo.

El voltaje promedio inducido en una bobina de paso completo se expresa:

$$E_{(bob)} = \frac{2FN(bob)\omega n}{60} \dots \text{Ec. 2-40}$$

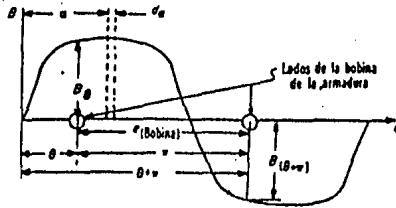


FIG. 2-33

ECUACION GENERAL DE LA FEM PARA MAQUINAS DE C-D.

Distribuyendo el embobinado de la armadura entre varias ranuras por polo en las máquinas de c.d. se suprime la ondulación del voltaje y las pulsaciones del par y además se mejora la disipación del calor. La bobina de armadura única en la discusión anterior, es decir, una que ocupa una ranura -- por polo representa un embobinado concentrado. Para un número dado de vueltas y trayectorias de una máquina de c.d. el voltaje de c.d. resultante es el mismo ya sea que el embobinado sea distribuido o concentrado dado que en ambos casos, debido a la acción del conmutador, el voltaje entre las escobillas es la suma de los voltajes que tienen polaridad parecidas. Aún cuando, la Ec. 2-40 fue derivada para una bobina de paso completo, se aplica con un error despreciable a bobinas de paso fraccionario comúnmente usadas en la armadura de máquinas de c.d. las bobinas de paso fraccionario se alargan menos que un paso polar. Sin embargo, el paso de una bobina-

de la armadura de c.d., es generalmente superior a 2/3, y además, los lados de una bobina de la armadura cuando sufren una conmutación están situados en regiones de baja densidad del flujo de tal manera que el flujo máximo que encadena a la bobina es substancialmente igual al flujo por polo. Entonces, si

a = número de trayectorias de corriente paralelas en el embobinado de la armadura.

P = número de polos.

N_a = número de vueltas en el embobinado de la armadura.

n = velocidad de rotación en rpm.

ϕ_d = flujo por polo.

Es por costumbre expresar el voltaje de la armadura de c.d. en términos del número de conductores Z de la armadura, donde:

$$Z = 2N_a$$

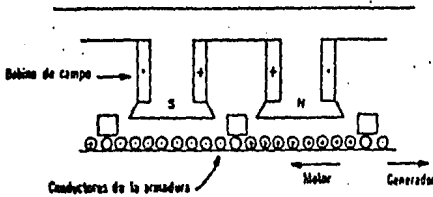
de tal forma que:
$$E = \frac{PnZ\phi_d}{60a} = \frac{PZ\phi_d \omega_m}{2\pi a} \dots\dots \text{Ec. 2-41}$$

donde ω_m es la velocidad angular de la armadura medida mecánicamente.

REACCION DE ARMADURA

Bajo condiciones de carga, se tiene una fmm debida a la corriente de armadura y a la dirección, la cual está determinada por la posición de las escobillas. Cuando las escobillas están fijas en el neutro geométrico, la fmm de la

armadura está dirigida a lo largo de un eje equidistante entre los polos del campo. Este se llama el eje de cuadratura.



El eje magnético del embobinado de campo se llama eje directo. Vistas desarrolladas de un par de polos del campo y los conductores de la armadura correspondientes se muestran en la Fig. -

FIG. 2-34

2-34. La distribución de la densidad de flujo debida únicamente a la corriente del campo. La onda de la fmm de la armadura se aproxima a una forma triangular lo que representa limitantes a medida que el número de ranuras se incrementa indefinidamente. Por lo tanto, la fmm de la armadura produce una apreciable densidad del flujo equidistante a los polos cuando las escobillas están en el neutro geométrico.

Una componente del flujo en el eje de cuadratura causa dificultades en la conmutación en máquinas de c.d., y se toman usualmente medidas para minimizarlas. Como se mencionó anteriormente, los lados de las bobinas de la armadura que sufren una conmutación deben caer en una región con una baja densidad de flujo.

La fmm de la armadura produce una reacción de armadura mientras que la componente principal de la fmm de la armadura está en el eje de cuadratura, la reacción de armadura en la máquina de c.d. usual, también tiene un efecto demagneti

zante en el campo. Dos métodos usados comúnmente para sobreponer los efectos indeseables de la fmm de la armadura en la conmutación se discutirán. El primero de estos, usados en máquinas más antiguas y en máquinas actuales pequeñas -- consiste en desplazar las escobillas hacia la zona del neutro eléctrico, es decir, en la dirección de rotación para los generadores y en contra de la dirección de rotación para los motores. El segundo método, hace uso de los polos -- conmutadores o interpolos colocados en el eje de cuadratura que tiene embobinados conectados en serie opuestos a la armadura. La fmm de los polos de conmutación es, por lo tanto siempre proporcional a la corriente de la armadura.

Otro efecto que influye en la conmutación es el voltaje de reactancia producido por la inversión del encadenamiento del flujo de dispersión con las bobinas de la armadura en corto circuito, a medida que la corriente se invierte durante la conmutación. A menos que este voltaje se mantenga en un valor despreciable, un chisporroteo ocurre a través del aislamiento delgado entre las barras. El voltaje de reactancia se reduce en máquinas sin polos conmutadores al desplazar las escobillas después del neutro geométrico en ángulo ligeramente mayor que aquél que fijaría las escobillas en el neutro eléctrico para motores, así como para generadores. El neutro eléctrico corresponde a la posición de una escobilla de tal forma que los lados de las bobinas de la armadura que sufren una conmutación, caen en una región con una densidad de flujo de cero. Al avanzar las escobi---

llas después de este punto se genera una fem en la bobina -- en corto circuito que se opone al voltaje de reactancia. El número de vueltas en polos de conmutación se ajusta de tal forma que su fmm es algo mayor que la de la armadura y las escobillas se fijan en el neutro geométrico en máquinas con polos conmutadores.

POLOS CONMUTADORES O INTERPOLOS

Un diagrama simplificado de una máquina de cuatro polos con dos polos conmutadores se muestra en la Fig. 2-35. El embobinado de los polos conmutadores está en serie con la armadura. Algunas máquinas tienen la mitad de polos conmutadores de lo que tienen polos del campo principal, mientras que otros tienen el mismo número. Cuando se usa el mismo número de polos conmutadores, el número de vueltas en el embobinado del polo conmutador es tal como para producir una fmm de 1.2 a 1.4 veces la de la armadura. Cuando solamente se usa la mitad de polos conmutadores, la fmm se incrementa de 1.4 a 1.6 veces la fmm de la armadura. En algunas máquinas el embobinado del polo conmutador se hace para conducir solamente una

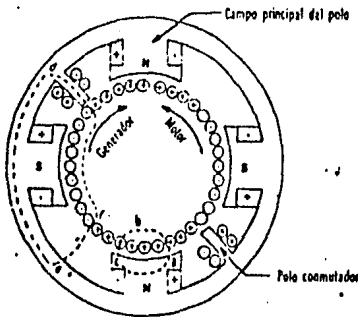


Fig. 2-35

fracción de la corriente de la armadura al poner en paralelo el restante de la corriente a través de una baja resistencia en paralelo. El embobinado de los polos conmutadores tienen entonces un número relativamen

te grande de vueltas con una correspondiente pequeña área de sección transversal de material conductor. Sin embargo, este arreglo en paralelo no es satisfactorio en aplicaciones donde la corriente de la armadura está sujeta a fluctuaciones considerables debido a que la constante de tiempo del paralelo es mucho menor que la del embobinado de interpolos, y la corriente transitoria no dividirá correctamente entre el paralelo y el embobinado. Calzas ajustables no-magnéticas se colocan entre la base de los polos conmutadores y la estructura para obtener el valor deseado del flujo conmutador y para prevenir a los núcleos de los polos conmutadores de saturarse, por lo tanto, se mantiene lineal esa posición del circuito magnético.

Los polos conmutadores sirven solamente para proporcionar una suficiente resistencia de campo en el eje de cuadratura para asegurar una buena conmutación.

EMBOBINADOS COMPENSADORES

Si el voltaje existente entre segmentos del conmutador adyacente se grafica como una función de la posición angular alrededor de conmutador, el resultado es una curva que se aproxima a la de la distribución densidad-flujo, siendo el voltaje más elevado entre segmentos adyacentes donde el lado de la bobina conectada cae en el campo más fuerte. La magnetización cruzada distorsiona la distribución del voltaje alrededor del conmutador de la misma for-

ma que la de la distribución flujo-densidad resultante mostrada en la Fig. 2-34

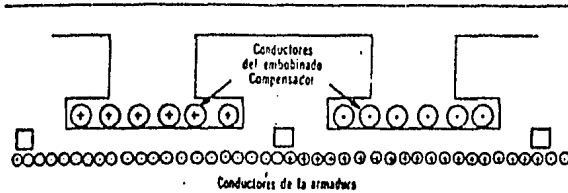


FIG. 2-36

En algunas aplicaciones las máquinas están sujetas a fuertes sobrecargas o cargas que varían rápidamente, como en el caso de motores de las fábricas de acero. Durante sobrecargas extremas o cambios de carga repentinos, el voltaje entre los segmentos del conmutador adyacentes puede volverse lo suficientemente elevado para causar que el conmutador se arquee desde una escobilla hasta la siguiente de polaridad opuesta, resultando en un corto circuito y algunas veces quemando el conmutador a menos de que se tomen algunas precauciones para sobreponer los efectos de la magnetización cruzada se neutraliza mediante el uso de un bobinado compensador colocado en las caras de los polos del campo principal como se indica en la Fig. 2-36. El bobinado compensador está conectado en serie con la armadura y el número de conductores en él son tantos como para hacer su fmm igual al de los conductores de la armadura -- bajo cada cara de polo.

Cuando se usan los polos conmutadores en combinación con un embobinado compensador, la suma de las frms en el embobinado compensador deberá ser aproximadamente igual al del embobinado del polo conmutador cuando no se tiene un embobinado compensador. La suma de un embobinado compensador requiere por lo tanto de una correspondiente reducción de las vueltas del embobinado del polo conmutador.

GENERADOR SERIE

El circuito del campo de un generador serie está en serie con la armadura, como se muestra en la Fig. 2-37. El voltaje de cero carga es bastante bajo ya que depende del flujo residual. Sin embargo, a medida que se agrega carga, el flujo se aumenta debido a que la corriente de la carga

es también la corriente del campo. El voltaje en terminales del generador serie es menor que el voltaje en las terminales de la armadura por una cantidad igual a la caída de voltaje en el embobinado del campo serie, de tal forma que:

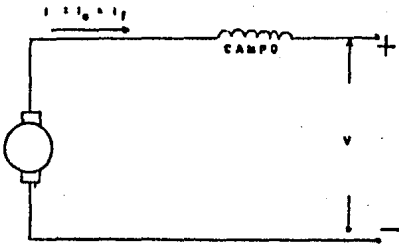


FIG. 2-37

$$V = E - (r_a + r_s) I_a \dots\dots\dots \text{Ec. 2-42}$$

donde r_s es la resistencia del circuito del campo serie. La

resistencia del embobinado del campo serie debe ser baja para una buena eficiencia y para una caída de voltaje.

Se hace muy poco uso del generador serie. Su uso en antiguos sistemas de corriente constante operando en un rango donde el voltaje en terminales cae muy rápidamente con corriente que se incrementa.

GENERADOR EN DERIVACION CON EXCITACION SEPARADA.

Considere un generador en derivación con excitación separada operando a velocidad constante y corriente de campo constante. Si no hubiese una reacción de armadura la fem generada E sería constante. Sin embargo, para el caso general asuma que la reacción de armadura está presente. Si la máquina no tiene polos conmutadores, las escobillas están usualmente desplazadas del neutro geométrico y la corriente de armadura produce una fem demagnetizante además de la fem de la magnetización cruzada. El efecto de la reacción de armadura es entonces más pronunciada que en máquinas del mismo diseño pero con intérpolos. A menos que se tenga un embobinado compensador, la magnetización cruzada de la reacción de armadura, debido a su efecto demagnetizante, causará una caída de voltaje generado E a velocidad constante como se muestra en la Fig. 2-38, aún cuando los polos conmutadores están presentes, El voltaje generado E no cae linealmente debido a que la curva de magnetización de la máquina es no lineal.

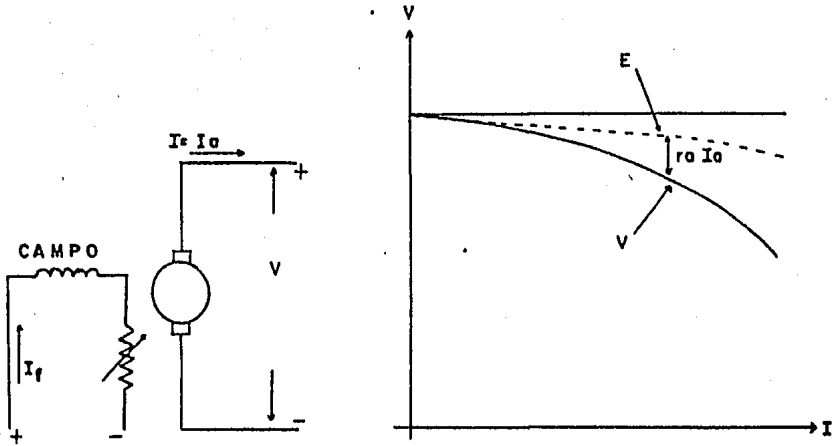


FIG. 2 -3a

Debido a que la corriente del campo de una máquina con excitación separada es proporcionada por una fuente externa, la corriente de armadura es igual a la corriente de carga. Los generadores excitados separadamente se usan en cargas que requieren una amplia variación en el voltaje de salida, tales como los motores que deben operar a través de grandes rangos de velocidad. El generador con excitación separada permanece estable aún a una muy baja excitación del campo, lo que no es cierto para generadores en paralelo con una excitación propia, ya que estos se vuelven inestables después de que el voltaje en terminales se reduce abajo de un valor crítico que usualmente es aún una fracción substancial del valor nominal. El generador de excitación separada tiene la desventaja de requerir una fuente externa para excitación de su campo.

GENERADOR EN DERIVACION CON EXCITACION PROPIA

Se consideró una corriente del campo constante para el generador con excitación separada. En el generador en derivación con excitación propia el voltaje en terminales está-impresa en el circuito del campo. Por lo tanto, la corriente del campo disminuye con un voltaje en terminales que decrece si la resistencia del circuito del campo es constante. Como resultado, aún si no hubiera ninguna reacción de armadura, el flujo del eje directo decrece con una carga -- que aumenta. La característica de carga de un generador en paralelo de excitación propia cuando la velocidad y la resistencia del campo son constantes se muestra en la Fig. -- 2-39. La corriente de armadura se aumenta con una resistencia de la carga que decrece, alcanzando un máximo y después cayendo a un mínimo a medida que la resistencia de la carga cero, el voltaje en terminales y la corriente del campo son cero, se tiene corriente de la armadura debido al flujo residual.

A medida que la resistencia de la carga se aumenta -- desde cero, el voltaje en terminales crece, pero debido a -- la histéresis no sigue la característica que siguió al disminuir. En vez de eso, crece en una forma algo parecida a -- la representada por la línea punteada de la Fig. 2-39. El -- generador de excitación propia aumenta el voltaje debido al flujo residual mientras que la resistencia del circuito del campo esté bajo de su valor crítico.

En el generador de excitación propia la armadura proporciona la corriente del campo además de la corriente de la carga, por lo tanto:

$$I_a = I + I_f \dots\dots\dots \text{Ec. 2-43}$$

donde I_a es la corriente de armadura, I la corriente de carga e I_f la corriente del campo.

El generador de excitación propia es adecuado para cargas que requieren casi un voltaje constante. En una máquina propiamente diseñada la caída de voltaje de cero carga a plena carga, cuando se impulsa a velocidad constante, es relativamente pequeña. El generador de excitación propia es más sencillo y económico que el generador de excitación separada dado que no requiere de una fuente externa para su corriente de campo. Cuando opera con reguladores de voltaje automáticos para ajustar la corriente del campo, el voltaje en terminales puede mantenerse a límites muy estrechos para cargas variables o cuando el motor primario sufre cambios apreciables de velocidad.

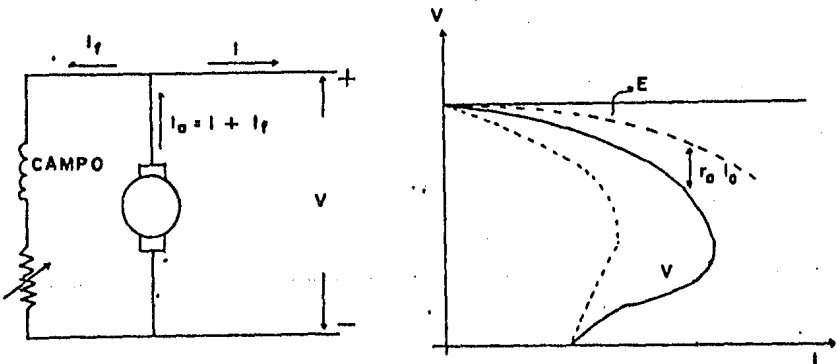


FIG. 2 - 39

GENERADOR COMPUESTO

Las características de los generadores compuestos se muestran en la Fig. 2-40. Cuando los embobinados del campo serie y derivación están ayudando, se dice que es compuesto acumulativo, y cuando el embobinado serie se opone al embobinado del campo derivación, el generador es compuesto diferencial. Los generadores compuestos acumulativos pueden ser sobrecompuestos, compuestos normal y bajo-compuesto. En el generador sobrecompuesto el campo serie es lo suficientemente fuerte para dar una característica creciente del voltaje en terminales en el rango de carga normal a velocidad constante y puede por lo tanto, contr restar el efecto de una disminución de la velocidad del motor primario con una carga creciente. El efecto de sobrecompuesto puede usarse también para compensar por la caída de línea cuando la carga está a una distancia considerable del generador. En el generador compuesto normal, el voltaje a plena carga y el voltaje de cero son prácticamente iguales a velocidad constante. El generador bajo-compuesto tiene un campo serie relativamente débil y hay una pequeña disminución en el voltaje en terminales a plena carga de su valor de cero carga a velocidad constante, siendo la disminución algo menor que si no hubiese un campo serie es decir, como si la máquina estuviera operando como un generador en derivación de excitación propia. La diferencia de las características entre una operación en derivación larga o en derivación corta de una máquina-

dada es poca, así como en el anterior, la corriente del campo serie es algo mayor y la corriente del campo en derivación es menor que en el modo de operación posterior, de tal forma que la excitación del campo resultante en ambos casos es aproximadamente la misma para una carga dada.

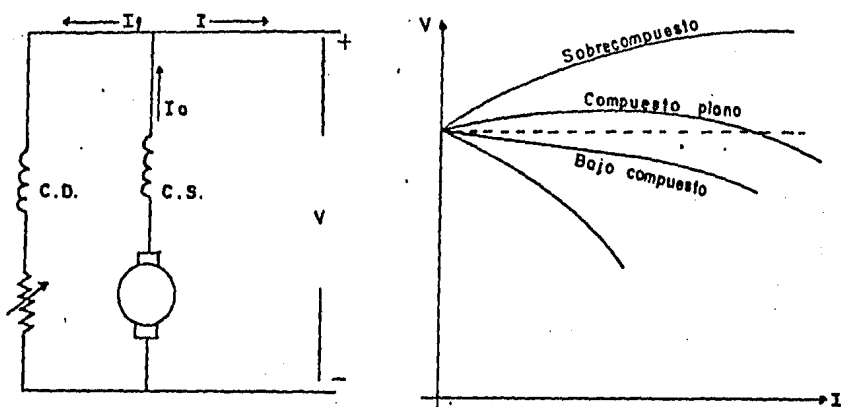


FIG. 2 - 40

El embobinado del campo en derivación, como en el caso del generador en derivación, deberá tener una resistencia grande en comparación con la del circuito de la armadura en orden de mantener una baja corriente del campo en derivación en relación a la corriente de carga nominal. El embobinado del campo en derivación tiene por lo tanto, un número relativamente grande de vueltas con una correspondiente pequeña sección transversal del alambre. El embobinado del campo serie, como en el generador serie, deberá tener una baja resistencia debido a que conduce toda o una porción principal de la corriente de carga. Tiene por lo tanto,

unas pocas vueltas de una relativamente grande sección -- transversal del conductor. El embobinado del campo en derivación y el embobinado del campo serie se colocan en los -- principales polos del campo.

El generador compuesto diferencial se usa en aplica-- ciones donde una variación amplia en el voltaje de la carga puede tolerarse y donde el generador puede exponerse a condiciones de carga que se aproximen en aquéllas de corto circuito. Los polos de potencia ofrecen un buen ejemplo de bido a que el motor alimentado por el generador está fre-- cuentemente sujeto a cargas que producen paros.

FAR-MOTOR

Los motores de corriente directa convencionales caen en la misma clasificación que los generadores en deriva-- ción serie y compuesto. De hecho, el generador de c.d. puede operarse como un motor de c.d. y viceversa. Ya sea que una máquina de c.d. opera como un motor o como un genera-- dor, la rotación de la armadura en un campo magnético genera una fem en la armadura igual que en el caso del generador. En un motor la dirección de la corriente de la armadura es opuesta a aquélla para la operación de un generador para la misma dirección de rotación, si las polaridades -- del voltaje no se cambian. Si V es el voltaje aplicado a -- las terminales de la armadura, entonces;

$$V = E + r_a I_a \dots\dots\dots \text{Ec. 2-44}$$

en donde E es el voltaje generado. La entrada de potencia a la armadura del motor es;

$$P_{en} = VI_a = EI_a + r_a I_a^2$$

donde $r_a I_a^2$ son las pérdidas de cobre en la armadura. La diferencia entre la entrada de potencia a la armadura y las pérdidas de cobre de la armadura es la potencia electromagnética que se convierte en potencia mecánica. Si T_{em} es el par desarrollado, entonces la potencia mecánica desarrollada debe ser:

$$P_{em} = T_{em} \omega_m = EI_a \dots\dots\dots \text{Ec. 2-45}$$

y se encuentra de las ecuaciones Ec. 2-44 y Ec. 2-45 que el par electromagnético es:

$$T_{em} = \frac{FZ\phi_d I_a}{2 a\pi} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-46}$$

MOTOR EN DERIVACION

El circuito del motor en derivación es el mismo que el de un generador en derivación de excitación propia. Sin embargo, en el motor la línea alimenta tanto a la armadura como al campo, de tal forma que la dirección de la corriente de la armadura son inversas de las indicadas. La corriente de línea es por lo tanto.

$$I = I_a + I_f \dots\dots\dots \text{Ec. 2-47}$$

donde I_a e I_f son las corrientes de la armadura y del campo respectivamente.

En un motor en derivación con polos conmutadores y --
embobinado compensador, el flujo por polo es prácticamente
no afectado por la corriente de la armadura y es por lo tan
to constante. Entonces, en base a la Ec. 2-46, la corriente

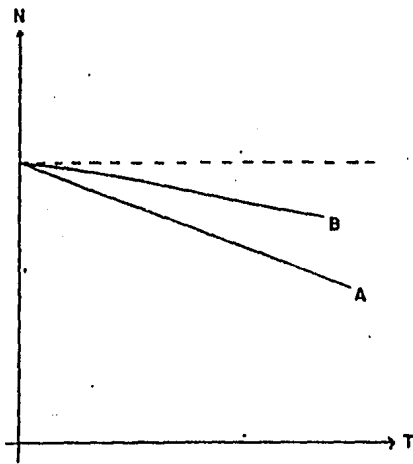


FIG. 2-41

de la armadura y el par son--
proporcionales entre si. Por
lo tanto, si el motor está --
girando a una cierta veloci--
dad y el par demandado por --
la carga aumenta, la veloci--
dad disminuye hasta que la --
corriente de la armadura au--
mente el valor requerido por
el par incrementado. La ca--
racterística de par veloci--

dad en ese caso es lineal como se muestra por la curva A en
la Fig. 2-41. En la ausencia de interpolos y un embobinado--
compensador se tiene algún debilitamiento en el campo debi--
do a la reacción de armadura y, para un valor dado de la re--
sistencia en el circuito de la armadura, la velocidad es --
más cercana a ser constante como se muestra por la curva B.
En el caso de una reacción de la armadura pronunciada, la --
velocidad puede realmente aumentar después de que el par --
exceda un cierto valor haciendo que el motor se vuelva ines--
table.

El motor en derivación puede hacerse operar eficientemente sobre un rango de velocidades variando la corriente del campo como es evidente de la siguiente relación basada en las Ec. 2-44 y Ec. 2-44, cuando la caída de la resistencia de la armadura $r_a I_a$ es pequeña en comparación con el voltaje V aplicado a la armadura.

$$\omega_m = \frac{V - I_a r_a}{\phi_d K_E} \dots\dots\dots \text{Ec. 2-48}$$

donde $K_E = \frac{P\phi}{2\pi a}$

Dado que el flujo es una función de la corriente del campo, como se representa por la curva de magnetización, una disminución de la corriente del campo produce un incremento en la velocidad del motor y viceversa. Mientras los rangos de velocidad tan altos como 6 a 1 son algo comunes; las consideraciones económicas restringen la velocidad para motores muy grandes a un rango de aproximadamente 2 a 1.

Los motores en derivación también se usan en aplicaciones que requieren una velocidad casi constante, pero que no requieren un alto par de arranque. Algunos ejemplos son abanicos, bombas centrífugas, ventiladores, máquinas herramientas.

MOTOR SERIE

Debido a que el motor serie tiene un campo en serie con la armadura, la corriente de la armadura proporciona la

excitación del campo. Consecuentemente a medida que la corriente de la armadura, el flujo también aumenta. En la re-

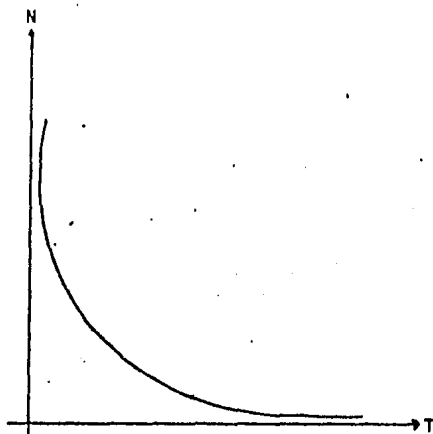


FIG. 2-42

gión lineal de magnetización el flujo está proporcionalmente aproximado al cuadrado de la corriente. Sin embargo cuando el hierro está saturado, solamente se tiene un aumento gradual en el flujo con una corriente que aumenta, y el par aumenta en una proporción menor que el cua-

drado de la corriente, pero algo menor que la corriente a la primera potencia. Cuando el par demandado por la carga es bajo, un bajo valor correspondiente del flujo es requerido, y es evidente de la EC. 241, que la velocidad es correspondientemente alta y puede alcanzar valores destructivos a cargas muy bajas. A cargas grandes, el flujo es alto y la velocidad es correspondientemente baja. La velocidad del motor serie es por lo tanto, sensitiva a la carga, como se muestra en la Fig. 2-42, y su par de arranque es alto debido a que la alta corriente de arranque también produce un alto valor del flujo.

El motor serie es adecuado para tranvías eléctricos, autobuses, malacates, donde la variación de la velocidad no es objetable y donde el motor, bajo una operación normal, siempre impulsa una carga apreciable.

MOTOR COMPUESTO

El motor compuesto, igual que el generador compuesto, tiene un embobinado serie y uno del campo en derivación montados en los polos del campo principal. Si el motor compuesto debe tener un par de arranque que sea alto comparado con uno de un motor en derivación equivalente, pero considera-

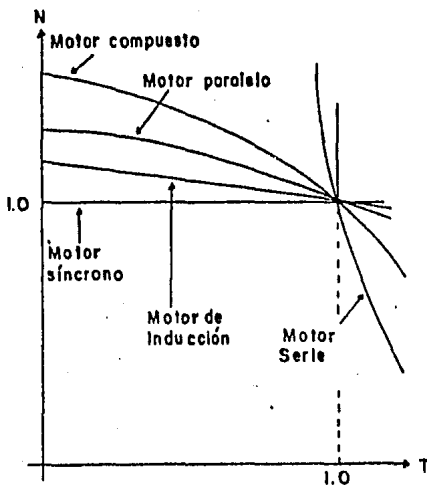


FIG. 2-43

blemente menor que el de un motor serie correspondiente, el embobinado del campo en derivación predomina y el embobinado del campo serie es el más pequeño de los dos. Un motor tal también tiene una velocidad constante regular y es adecuado para cargas oscilatorias con acción de un volante e impulso para

cargas tales como bombas de émbolo, prensas punzonadoras, trituradoras, transportadores y malacates. Un pequeño embobinado del campo serie, conocido como embobinado estabilizador se usa en algunos motores en derivación para contrarrestar los efectos demagnetizantes de la reacción de la armadura, por lo tanto, previniendo la inestabilidad. Por el otro lado, se usa un pequeño embobinado del campo en derivación en algunos motores serie, para prevenir una velocidad excesiva en, o cerca de cero carga.

La Fig. 2-43, muestra una comparación de las características de la velocidad para varios tipos de motores eléctricos donde 1.0 por unidad representa los valores nominales.

EFICIENCIA

La eficiencia se define como la relación de la salida útil a la entrada, y la expresión preferida para los cálculos de la eficiencia es:

$$\text{Eficiencia} = 1 - \frac{\text{pérdidas}}{\text{entrada}}$$

Por consiguiente si se conocen las pérdidas para una salida dada, la entrada es la suma de las pérdidas y la salida y la eficiencia puede calcularse con un alto grado de precisión, aún si hay pequeños errores en las pérdidas.

Las pérdidas en máquinas eléctricas rotatorias pueden clasificarse como (a) pérdidas eléctricas, y (b) pérdidas de rotación. Las pérdidas eléctricas en máquinas de C.D. - (motores así como generadores) incluyen las pérdidas del circuito I^2R en los circuitos del campo y de la armadura, mientras que las pérdidas rotacionales incluyen fricción del aire y fricción además de pérdidas por fricción de las escobillas, pérdidas del núcleo y pérdidas de carga parásitas. Las pérdidas de cobre se calculan para una temperatura de 75°C.

Las pérdidas de carga parásitas resultan de la carga - en la máquina y no se presentan para mediciones directas o cálculos precisos. Los efectos que contribuyen a las pérdidas de carga parásitas son la distorsión de la onda de distribución flujo-densidad, causando las pérdidas de núcleo, - que no varían linealmente con la densidad del flujo, para - incrementar su valor de cero carga; las corrientes de eddy- producidas en las bobinas que sufren una conmutación por la inversión del flujo debido a la corriente de la carga; co- rrientes circulantes entre las bobinas de la armadura por - las escobillas que cubren varios segmentos conmutadores, lo que es el caso normal.

C A P I T U L O 3

P R O G R A M A D E P R A C T I C A S D E L L A B O R A T O R I O D E M A Q U I N A S E L E C T R I C A S

Se mencionó en el primer capítulo, que las prácticas del Laboratorio de Máquinas Eléctricas se desarrollen en base al texto de "Experimentos con Equipo Eléctrico", por lo cual es necesario contar con una relación de prácticas que puedan ser desarrolladas de acuerdo a los programas de estudio de las asignaturas de Máquinas Eléctricas I, II y III, con la finalidad que el estudiante ponga en práctica y verifique sus conocimientos teóricos adquiridos.

En seguida se presentan los programas de estudio de las asignaturas, y a continuación se establece la relación de prácticas para el Laboratorio respectivo; considerando que en el Plan de Estudios marca tanto la asignatura teórica, como el Laboratorio conjuntamente en el mismo semestre, y tomando en cuenta el contenido del programa de la asignatura teórica, se elabora la selección, el número y el orden establecido en la relación de prácticas del Laboratorio correspondiente.

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

(OCTAVO SEMESTRE)

1. PRINCIPIOS BASICOS DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS.

1. Estructuración general de las máquinas eléctricas.
2. Leyes fundamentales de las máquinas eléctricas.
3. Devanados de armadura.
4. Devanados de campo
5. Tipos de generadores de c.d.
6. Características de voltaje en los generadores de c.d.
7. Velocidad de los generadores de c.d.
8. Generadores de c.a.
9. Tipos y características de los motores de c.d.
10. Folos de conmutación para las máquinas de c.d.
11. Tipos y características de los motores de c.a.
12. Arranque de motores de c.a.
13. Transformadores.

II. MAQUINAS ELECTRICAS DE C.D.

1. Principios de generadores y motores de c.d.
 - a). Principio de la acción generadora.
 - b). Ecuación de voltaje generado en el generador de c.d.
 - c). Dirección de voltaje generado.
 - d). El generador de corriente alterna elemental.
 - e). El proceso de conmutación.
 - f). El principio de la acción motor.
 - g). Fuerza y par desarrollados en el motor de c.d.
 - h). Conmutación en el motor de c.d.
 - i). Campos principales en máquinas de c.d.

2. Devanados de armadura de las máquinas de c.d.
 - a). Construcción de los generadores y motores de c.d.
 - b). Tipos de devanados de armadura.
 - c). Fasos de bobina para todos los tipos de devanado.
 - d). Paso de conmutador para devanados imbricados.
 - e). Trayectorias en devanados ondulados sencillos y múltiples.
 - f). Número de trayectorias paralelas en devanados ondulados sencillos.
 - g). Devanados ondulados múltiples.
 - h). Armaduras con mayor número de delgas que de ranuras.
 - i). Elemento muerto o simulado en devanados de armadura.
 - j). Conexiones equilibradoras para los devanados imbricados.

3. Características de generadores de c.d.
 - a). Tipos de generadores de c.d.
 - b). Características de vacío de los generadores.
 - c). Formación del voltaje del generador shunt excitado por separado.
 - d). Comportamiento de un generador shunt bajo carga.
 - e). Comportamiento de un generador serie bajo carga.
 - f). Comportamiento de un generador compound bajo carga.
 - g). Interpolos para los generadores de c.d.

- h). Devanados compensadores para los generadores de c.d.
 - i). Operación de generadores shunt en paralelo.
 - j). Operación de generadores compound en paralelo.
4. Características de los motores de c.d.
- a). Diferencias de operación entre motores y generadores.
 - b). Clasificación de los motores de c.d.
 - c). Fuerza contraelectromotriz (F.c.e.m.).
 - d). Arranque de un motor de c.d.
 - e). Arrancadores para los motores shunt y compound.
 - f). Controladores para los motores serie.
 - g). Controladores para los motores shunt y compound
 - h). El arrancador automático para los motores shunt y compound.
 - i). Carga sobre un motor, efecto sobre la velocidad y la corriente de armadura.
 - j). Características de par para los motores de c.d.
 - k). Características de velocidad para los motores de c.d.
 - l). Regulación de velocidad para los motores de c.d.
 - m). Motores compound-diferencial.
 - n). Control de velocidad de los motores de c.d.
 - o). Reacción de armadura en los motores de c.d.
 - p). Inversión de la dirección de giro de los motores de c.d.

5. Eficiencia, capacidad y aplicaciones de las máquinas de c.d.

- a). Pérdidas de potencia en las máquinas de c.d.
- b). Eficiencia en los generadores de c.d.
- c). Eficiencia en los motores de c.d.
- d). Capacidad en los motores y generadores.
- e). Máquinas especiales de c.d. y sus aplicaciones.
- f). Dinamotrices.
- g). Sistema booster.
- h). Freno eléctrico de motores de c.d.
- i). Aplicaciones de las máquinas de c.d.

III. GENERADORES DE C.A.

- 1. Construcción del generador.
- 2. Frecuencia de los generadores de c.a.
- 3. El campo giratorio.
- 4. El estator.
- 5. Voltaje generado en el generador de c.a.
- 6. Devanados de armadura.
- 7. Factor de paso (K_p) y factor de distribución (K_d).
- 8. Voltaje corregido en un alternador.
- 9. Regulación de voltaje en un alternador.
- 10. Caídas de voltaje en armaduras del alternador
- 11. Diagrama de fasores del alternador
- 12. Reactancia e impedancia síncronas.
- 13. Eficiencia del alternador
- 14. Operación del alternador en paralelo.

3.1.- PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I

(OCTAVO SEMESTRE)

MÁQUINAS DE C.D.

1. Identificación de las partes principales de la máquina de c.d.
- 1.a. Medición de las resistencias de aislamiento, de una máquina de corriente directa.
- 1.b. Medición de las resistencias óhmicas de los campos, de una máquina de corriente directa.
2. Curvas de respuesta en estado estable de los generadores de c.d., para los diferentes tipos de excitación.
3. Determinación de la posición del eje neutro.
4. Curvas de magnetización de los generadores de c.d., para los diferentes tipos de excitación.
5. Operación de generadores de c.d. en paralelo.
6. Arranque de motores de c.d.
7. Curvas de regulación de velocidad de los motores de corriente directa.
8. Control de velocidad de los motores de c.d.
 - a) Por el sistema Ward Leonard.
 - b) Por control reostático.
9. Eficiencia de la máquina de c.d.

GENERADORES DE C.A.

10. Curva de magnetización de un generador de c.a.
11. Determinación de la impedancia síncrona.
12. Triángulo de Potier.

13. Regulación de voltaje de un alternador.
14. Eficiencia del alternador
15. Operación de alternadores trifásicos en paralelo y -
distribución de la carga.

PROGRAMA DE MAQUINAS ELECTRICAS II

(NOVENO SEMESTRE)

I. TRANSFORMADORES

- a). Circuitos magnéticos acoplados
- b). La acción transformadora
- c). Construcción del transformador
- d). Voltajes del transformador y la ecuación general --
del transformador
- e). La razón de voltaje y corriente en los transformadores.
- f). Razón de transformación
- g). El transformador en vacío
- h). El transformador con carga
- i). Cálculos de regulación usando valores de voltaje
- j). Reactancia de dispersión
- k). Resistencia, reactancia e impedancia equivalente
- l). Circuito equivalente del transformador, diagrama fasorial
- m). Prueba de corto circuito
- n). Prueba de circuito abierto
- o). Cálculos de regulación empleando los datos de la --

prueba en corto circuito.

- p). Cálculos de la eficiencia empleando los datos de --
las pruebas de corto circuito y circuito abierto
- q). Eficiencia máxima
- r). Eficiencia diaria
- s). Autotransformadores
- t). Transformadores de instrumentos
- u). Polaridad de los transformadores
- v). Operación de transformadores en paralelo
- w). Conexiones del transformador trifásico
- x). El transformador trifásico
- y). El transformador de corriente constante

II. MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION

1. Naturaleza de las máquinas eléctricas rotatorias
2. El simple circuito serie
3. Cálculo de resistencias
4. Cálculos magnéticos
5. Cálculo de voltaje inducido
6. Energía magnética y electrostática almacenada
7. Fuerzas magnéticas

III. EL CAMPO MAGNETICO ROTATORIO

1. La estructura magnética idealizada
2. Ondas de corriente y fuerza magnetomotriz
3. Par
4. Salida de potencia
5. Devanados de armadura

6. Voltajes generados.
7. Producción de f.m.m. rotatorias.
8. Las f.m.m. producidas por una sola bobina que conduzca corriente directa.
9. Cambio de c.d. a c.a.
10. Resolución de f.m.m.s giratorias.

IV. EL MOTOR DE INDUCCION POLIFASICO.

1. Principio de operación.
2. Estructura electromagnética.
3. Par y deslizamiento.
4. Diagrama de fasores.
5. Diagrama de círculo.
6. Condiciones en el arranque.
7. Pruebas en vacío.
8. Pruebas con cargas.
9. Medición de pérdidas extrañas.

3.2.- PRACTICAS DEL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS II (NOVENO SEMESTRE)

TRANSFORMADORES.

1. Método para la determinación de la inductancia mutua.
2. Relación de transformación.
3. Resistencias óhmicas.
4. Resistencia de aislamiento.
5. Circuito equivalente y determinación de la curva de.

magnetización.

6. Regulación de voltaje.
7. Polaridad de transformadores.
8. Conexión de transformadores en paralelo.
9. Conexiones de transformadores monofásicos.
10. Eficiencia en transformadores.

MOTORES DE INDUCCION.

11. Identificación de las partes principales del motor de inducción.
12. Arranque de motores de inducción.
13. Prueba en vacío.
14. Prueba a rotor bloqueado.
15. Curvas par-velocidad.
16. Eficiencia de motores de inducción.
17. Diagrama circular.
18. El motor de inducción como convertidor de frecuencia.

PROGRAMA DE MAQUINAS ELECTRICAS III (DECIMO SEMESTRE)

- I. MOTOR SINCRONO.
- II. CONTROL DE MOTORES.

3.3.- PRACTICAS DEL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS III (DECIMO SEMESTRE)

MOTOR SINCRONO.

1. Métodos de arranque para el motor síncrono.

2. Curvas "V" del motor síncrono

3. Par, potencia y eficiencia

CONTROL DE MOTORES

4. Arranque a tensión plena de un motor trifásico de inducción jaula de ardilla, mandado por un dispositivo piloto (dos hilos) y una estación de botones (tres hilos).
5. Arranque a tensión plena de dos motores trifásicos de inducción jaula de ardilla, en secuencia mandados desde una estación de botones.
6. Arranque a tensión plena de un motor trifásico de inducción jaula de ardilla, con inversión de rotación.
7. Arranque a tensión reducida de un motor trifásico de inducción jaula de ardilla, por el método de resistencias.
8. Arranque manual de motores de corriente directa.
9. Aceleración a límite de tiempo de un motor de corriente directa.
10. Inversión de rotación de motores de corriente directa.

C A P I T U L O 4

D E S A R R O L L O D E L P R O G R A M A

Ante la necesidad de contar para la realización de los tres programas de Laboratorio de Máquinas Eléctricas, con un manual de prácticas desarrolladas, en éste capítulo se pretende elaborar las prácticas más importantes sobre: Máquinas de corriente directa, Generadores de corriente directa, Generadores de corriente alterna, Transformadores, Motores de inducción, Motores Síncronos y Control de Motores.

Este trabajo consta de un total de 43 prácticas repartidas en 9 prácticas sobre Máquinas de corriente directa, 6 prácticas de Generadores de corriente alterna, 10 prácticas sobre Transformadores, 8 prácticas sobre Motores de Inducción, 3 prácticas sobre Motores Síncronos y 7 prácticas sobre Control de Motores.

Las prácticas se han estructurado de tal forma, que pueden ser seguidas con facilidad por el alumno, para que adquiera seguridad, confianza y esto lo motive a que realice experimentaciones e investigaciones.

En el inicio de las prácticas se dan los objetivos que se pretenden alcanzar, se enlista el material y equipo a utilizar; en seguida se pasa a la teoría básica necesaria para el desarrollo de la práctica, esta teoría será

un trabajo de investigación que el estudiante deberá realizar antes de presentarse a la ejecución de la práctica-respectiva, con la finalidad de aprovechar al máximo el tiempo disponible, además se contará con una información más amplia por parte del estudiante, y esta será complementada por el instructor con una explicación, abundando en los tópicos de mayor importancia.

Se continúa con el desarrollo, donde se describen los pasos a seguir durante el proceso del experimento, se da el o los circuitos a utilizar y las tablas donde se registrarán los datos obtenidos durante la práctica. Finalmente en resultados y observaciones se harán los cálculos que las prácticas así lo requieran y se interpretarán los datos obtenidos; se presenta un pequeño cuestionario sobre el tema que se está tratando en la práctica.

Es conveniente aclarar que los aspectos de investigación que realizará el estudiante, relativos a cada práctica, se encuentran enunciados en el punto que corresponde a teoría básica.

4.1.- LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS I

PRACTICA No. 1

IDENTIFICACION DE LAS PARTES PRINCIPALES DE LA MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA

1.- OBJETIVO: Estudio físico de la máquina de corriente directa y medición de las resistencias óhmicas de los campos, así como de la resistencia de aislamiento para los diferentes tipos de máquinas.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Una máquina de corriente directa

Un puente de Kelvin

Un Megger

Un Termómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante):

a). Esquema que muestre las partes principales de la máquina de corriente directa.

b)..Descripción de la función de cada una de las partes principales.

c). Diferencia que existe entre un motor y un generador de c.d.

4.- DESARROLLO:

- a). Registre los datos de placa de la máquina asignada.
- b). Trace un dibujo de la máquina perpendicular a la -- flecha, que muestre los circuitos magnéticos de la misma.
- c). Mencione las partes principales de una máquina, y - de una explicación del funcionamiento de cada una - de ellas.
- d). Dibuje un diagrama de la máquina con campo serie.
- e). Conecte la máquina con campo serie y mida su resis- tencia.
- f). Dibuje un diagrama de la máquina con campo shunt.
- g). Conecte la máquina con campo shunt y mida su resis- tencia.
- h). Dibuje un diagrama de la máquina con campo compound
- i). Conecte la máquina con campo compound y mida su re- sistencia.
- j). Mida la resistencia del embobinado de armadura y de los embobinados serie y shunt.
- k). Mida la resistencia de aislamiento de armadura con- tra carcaza y campo contra carcaza con el Megger. -

Fig. 4 - 1

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular la resistencia de armadura y de los embobi- nados por la fórmula:

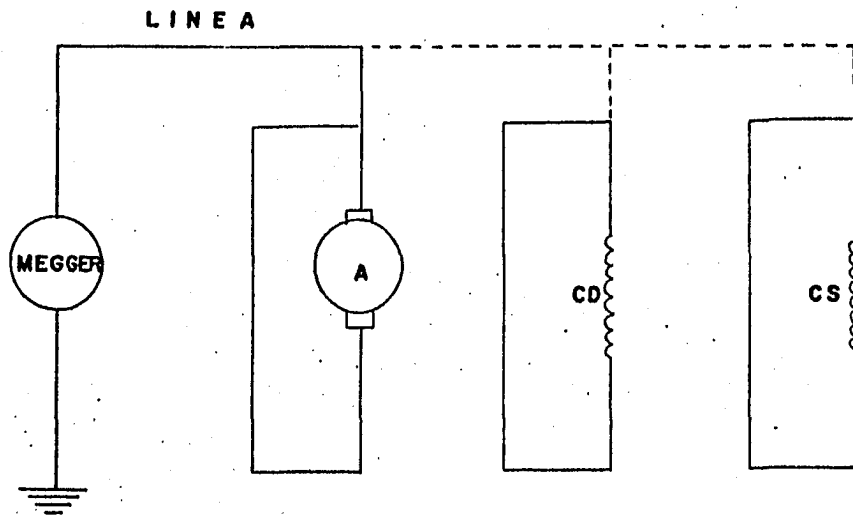


FIG. 4-1

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

t_1 = temp. ambiente

R_1 = Resistencia medida

t_2 = temp. nominal a 75°C

R_2 = Resistencia corregida.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué entiende por resistencia de aislamiento?
- b). ¿Por qué debe medirse la resistencia de aislamiento?
- c). ¿Qué es un Megger?

PRACTICA No. 2

CURVAS DE RESPUESTA EN ESTADO ESTABLE DE LOS GENERADORES DE C.D. PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE EXCITACION

(Estas pruebas se tienen que realizar a velocidad constante).

- 1.- OBJETIVO: Trazar las curvas voltaje-corriente de carga de los generadores de corriente directa, con diferentes tipos de excitación.
- 2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Voltímetros

Amperímetros

Resistencia variable

Reóstato de campo

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Descripción de las características de los generadores con excitación independiente, derivación, serie y compuestos.
- b). Desarrollar la ecuación general de operación de los generadores de corriente directa con carga.

4.- DESARROLLO:

I. GENERADOR CON EXCITACION SEPARADA

- a). Armar el circuito del generador de c.d. con excitación separada: Fig. 4 - 2
- b). Arrancar el motor síncrono
- c). Enérgice el campo de excitación del generador de c.d., ajustar esta corriente de tal manera que se obtenga el voltaje nominal del generador.
- d). Tomar las lecturas del voltímetro y del amperímetro del generador, variando la carga en valores aproximados al 10% de la corriente nominal, hasta llegar al 100% de esta corriente.
- e). Llenar la tabla No. 1 y obtenga la gráfica No. 1

II. GENERADOR CON EXCITACION SHUNT.

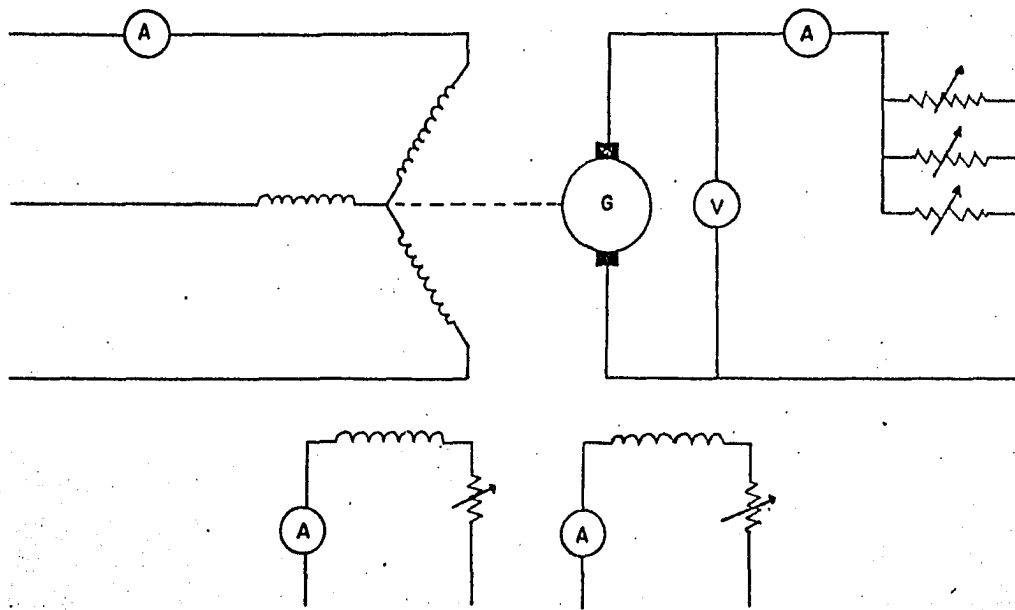
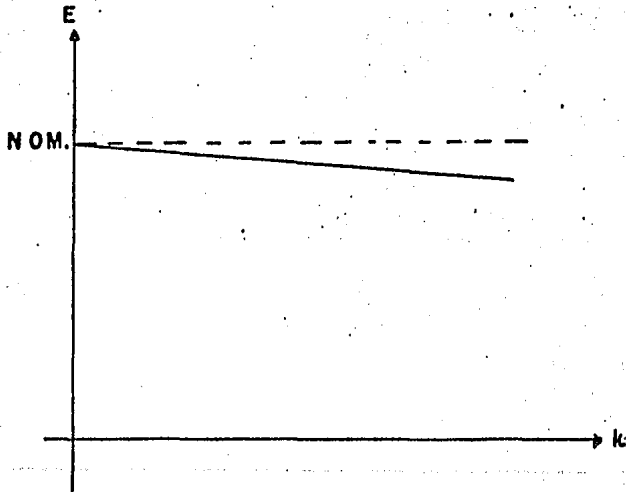


FIGURA 4-2

T A B L A N° 1

N	E	l _L	l _c
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			



G R A F I C A N° 1

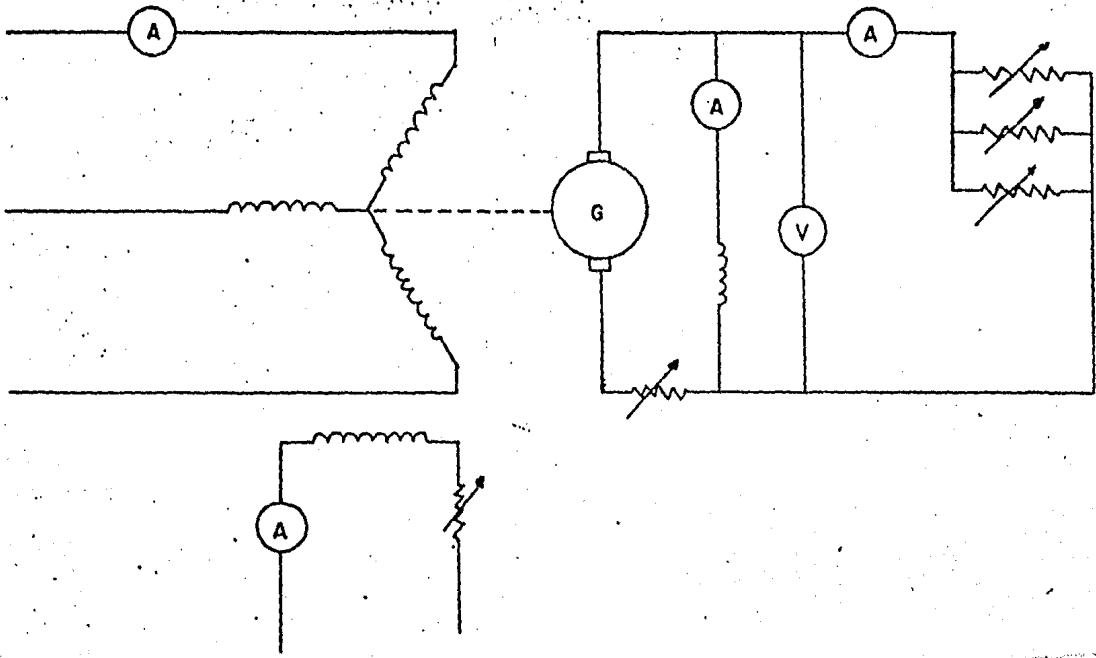
- a). Armar el circuito del generador de c.d. con excitación shunt de acuerdo a la Fig. 4 - 3
- b). Arrancar el motor síncrono
- c). Ajustar la I_c , hasta obtener el voltaje nominal -- del generador.
- d). Tomar las lecturas del voltímetro y del amperímetro del generador, variando la carga en valores -- aproximados al 10% de la corriente nominal, hasta llegar al 100% de esta corriente.
- e). Llenar la tabla No. 2 y obtener la gráfica No. 2

III. GENERADOR CON EXCITACION SERIE.

- a). Armar el circuito del generador de c.d. con excitación serie de acuerdo a la Fig. 4 - 4
- b). Arrancar el motor síncrono
- c). Tomar las lecturas del voltímetro y del amperímetro del generador, variando la carga en valores -- del 10% de la corriente nominal, hasta llegar al -- 100% de esta corriente.
- d). Llenar la tabla No. 3 y obtener la gráfica No. 3

IV. GENERADOR CON EXCITACION COMPUESTA ACUMULATIVA

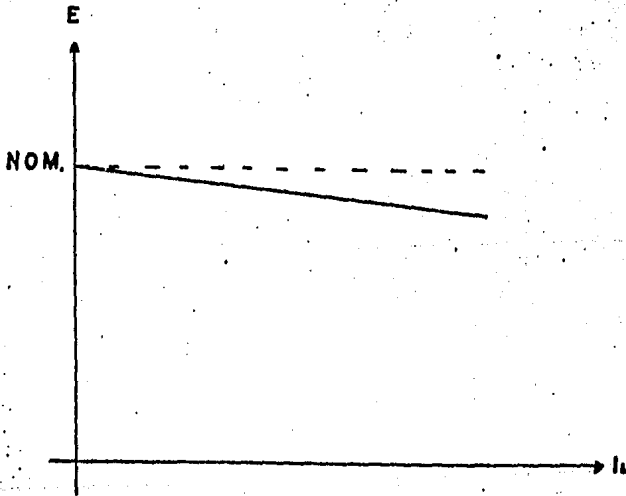
- a). Armar el circuito del generador de c.d. con excitación compuesta acumulativa, como se muestra en la Fig. 4 - 5a.



F I G U R A 4 - 3

TABLA Nº 2

N	E	IL	Ic
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			



GRAFICA Nº 2

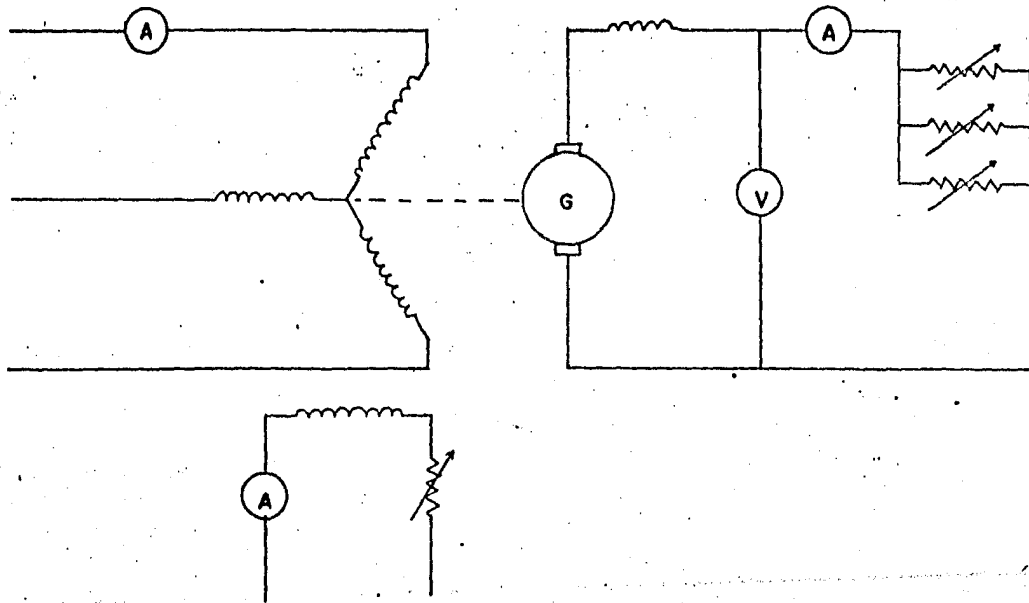
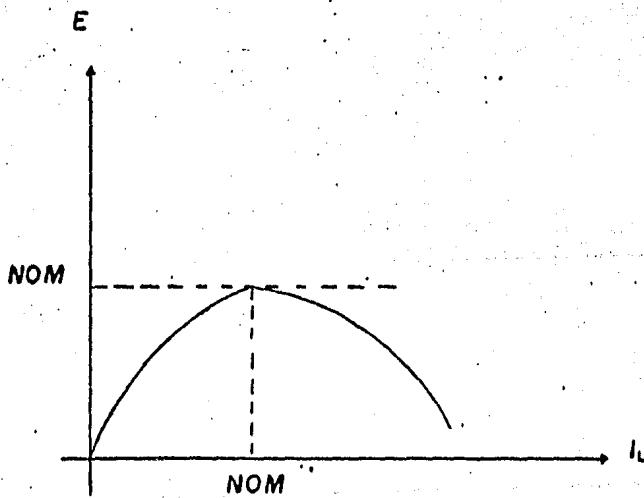


FIG. 4-4

TABLA No 3

N	E	I_L
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA No 3

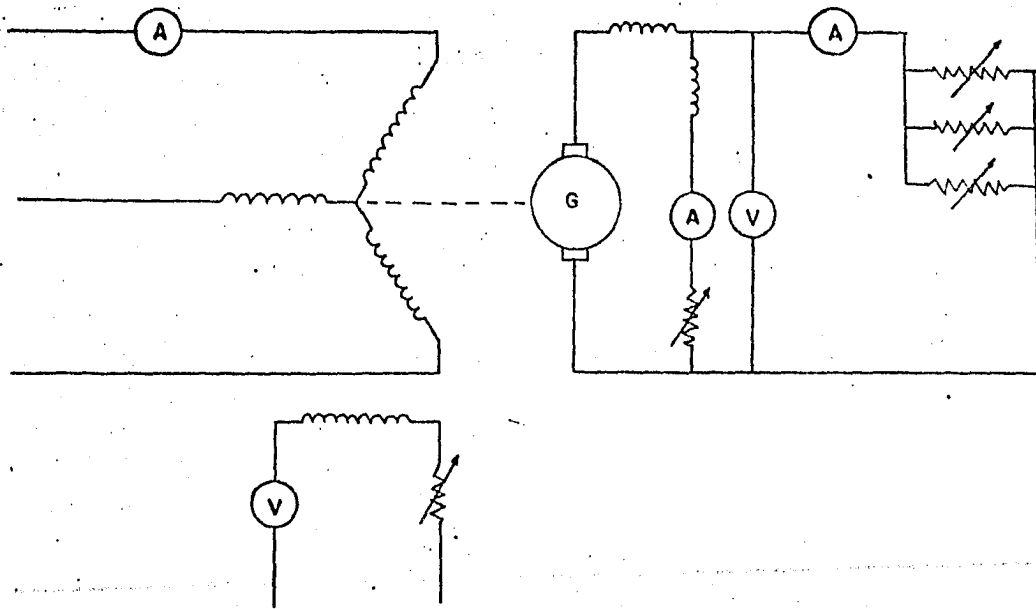


FIG. 4-5a

- b). Arrancar el motor síncrono.
- c). Ajustar la I_c hasta obtener el voltaje nominal del generador.
- d). Tomar las lecturas del voltímetro y del amperímetro del generador, variando la carga en valores aproximados al 10% de la corriente nominal del generador, hasta llegar al 100% de esta corriente.
- e). Llene la tabla No. 4 y obtener la gráfica No. 4

V. GENERADOR CON EXCITACION COMPUESTA DIFERENCIAL

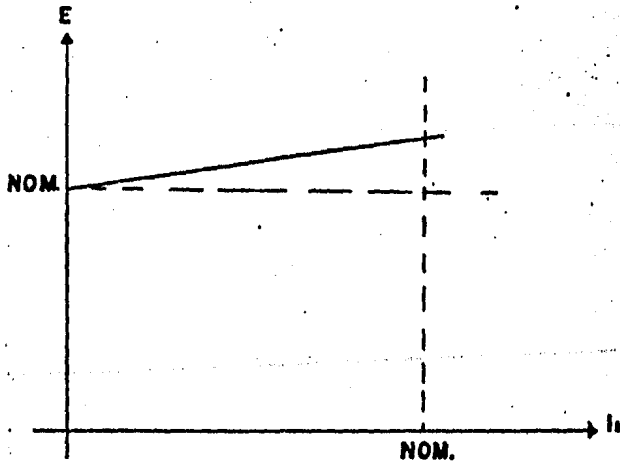
- a). Armar el circuito del generador de c.d. con excitación compuesta diferencial como se muestra en la -- Fig. 4 - 5b
- b). Arrancar el motor síncrono
- c). Ajustar la I_c hasta obtener el voltaje nominal del generador
- d). Tomar las lecturas del voltímetro y del amperímetro del generador, variando la carga en valores aproximados al 10% de la corriente nominal del generador, hasta llegar al 100% de esta corriente.
- e). Llene la tabla no. 5 y obtener la gráfica No. 5

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Trazar la gráfica indicando en las abscisas la corriente de carga y en las ordenadas el voltaje gene

TABLA Nº 4

N	E	I_L	I_c
cfe			
cfe			
cfe			
cfe			
cfe			
cfe			



GRAFICA Nº 4

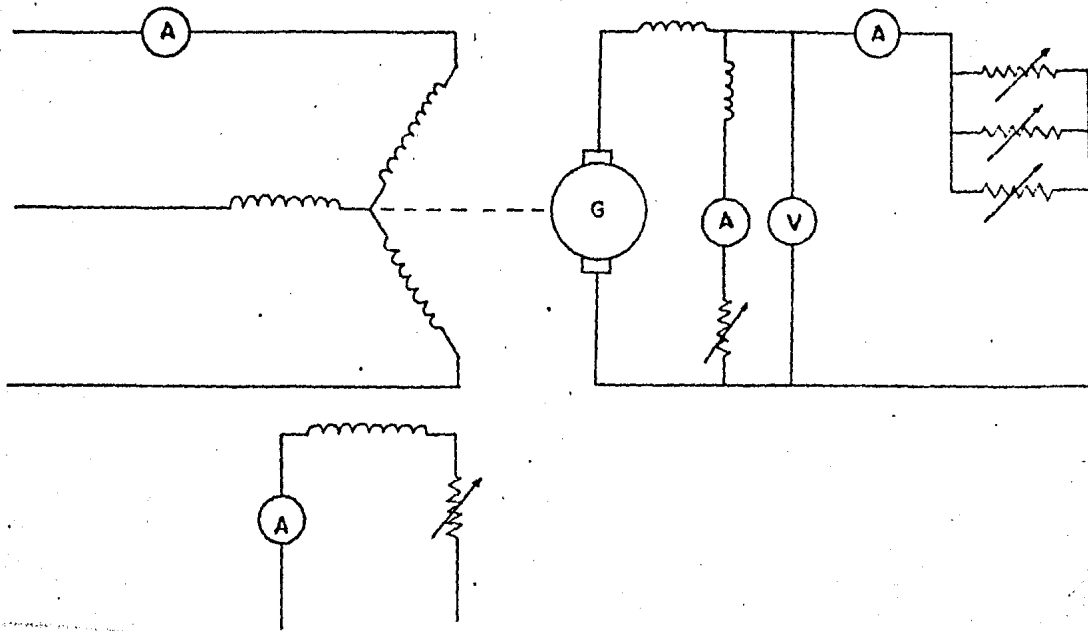
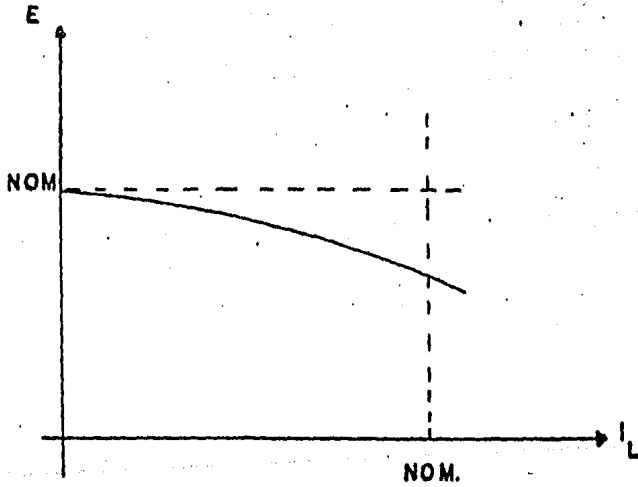


FIG. 4-5b

TABLA No. 5

N	E	I_L	I_c
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			



GRAFICA No. 5

rado. con los datos obtenidos en cada uno de los casos.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿En qué casos se usan los generadores con las excitaciones antes realizadas?
- b). Explique las diferencias que se observaron en la operación con carga para los generadores de corriente directa, en sus diferentes excitaciones.

PRACTICA No. 3

DETERMINACION DE LA POSICION DEL EJE NEUTRO

1.- OBJETIVO: Determinar la posición del eje neutro de un generador de corriente directa para obtener la conmutación óptima.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un generador de corriente directa

Voltímetro

Amperímetro

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante):

- a). Concepto de eje neutro
- b). Explicar por qué se desplazan las escobillas del eje neutro.

4.- DESARROLLO:

- a). Conectar el circuito para detectar la posición de las escobillas. Fig. 4 - 6
- b). Aplicar una tensión alterna entre las escobillas - que no exceda de 20 volts.
- c). Girar el portaescobillas hasta que el voltímetro - que está conectado indique cero, la posición de las escobillas en este punto nos da el eje neutro y se procede a fijar el portaescobillas.
- d). Para comprobar la posición determinada como zona - neutral se utiliza el circuito de la Fig. 4 - 7
- e). Se arranca el motor y se ajusta a su velocidad nominal.
- f). Se detiene el motor y se cambia el sentido de giro, medir la velocidad.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). La variación existente entre las velocidades del motor girando en uno y otro sentido no debe ser más o menos un 2% (Recomendación de los fabricantes).

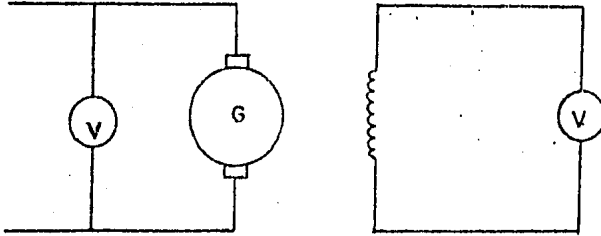


FIG. 4-6

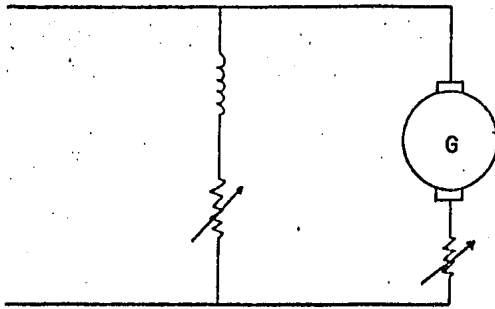


FIG. 4-7

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Cómo se evita el desplazamiento de las escobillas para determinar el eje neutro?

PRACTICA No. 4

CURVAS DE MAGNETIZACION DE LOS GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA, PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE EXCITACION

- 1.- OBJETIVO: Observar las variaciones de la tensión en los bornes de un generador de corriente directa sin carga a velocidad nominal al variar la corriente de excitación y determinar la curva de magnetización.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Voltímetros

Amperímetros

Reóstato de campo

Tacómetro

Carga resistiva

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Descripción de las características de los materiales ferromagnéticos
- b). Descripción del fenómeno de Histéresis
- c). Definir el concepto de saturación magnética

4.- DESARROLLO:

I. GENERADOR EN DERIVACION

- a). Utilizar el diagrama de conexión que se muestra en la Fig. 4 - 8
- b). Arrancar el motor síncrono cuyas características - de velocidad deben ser las mismas del generador de c.d.
- c). Tomar lecturas de voltaje generado y corriente de excitación, desde un valor cero hasta un 20% mayor de la corriente nominal de excitación.
- d). Tomar lecturas de voltaje y corriente de excitación desde un máximo del 20% más de la corriente nominal de excitación, hasta cero.
- e). Llenar la tabla No. 6 y trazar la gráfica No. 6

II. GENERADOR CON EXCITACION SERIE

- a). Utilizar el diagrama de conexiones que se muestra en la Fig. 4 - 9

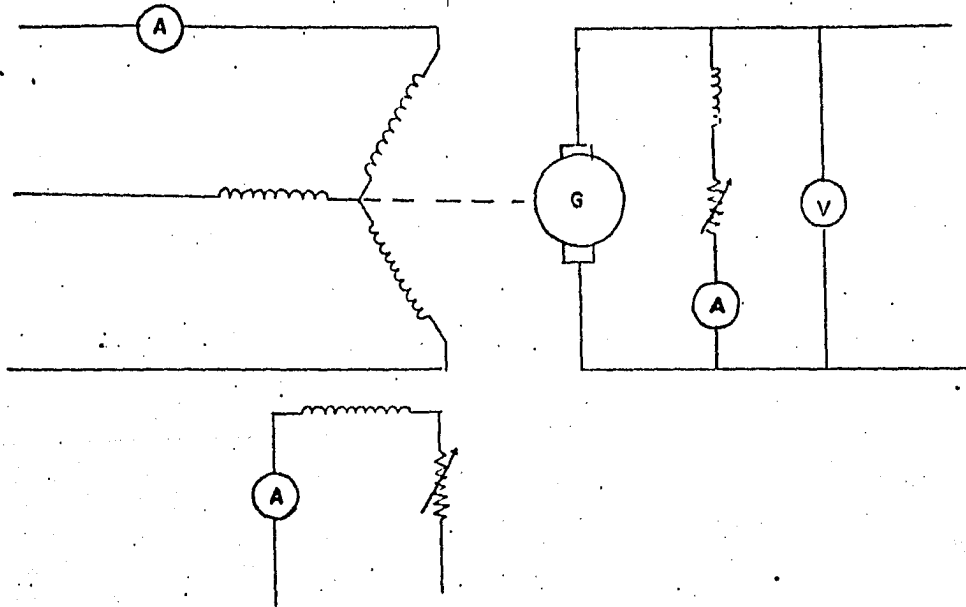
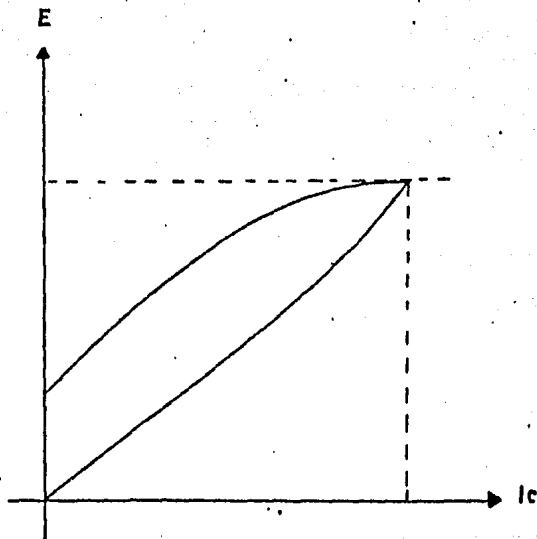


FIG. 4-8

TABLA Nº 6

N	E	Ic
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA Nº 6

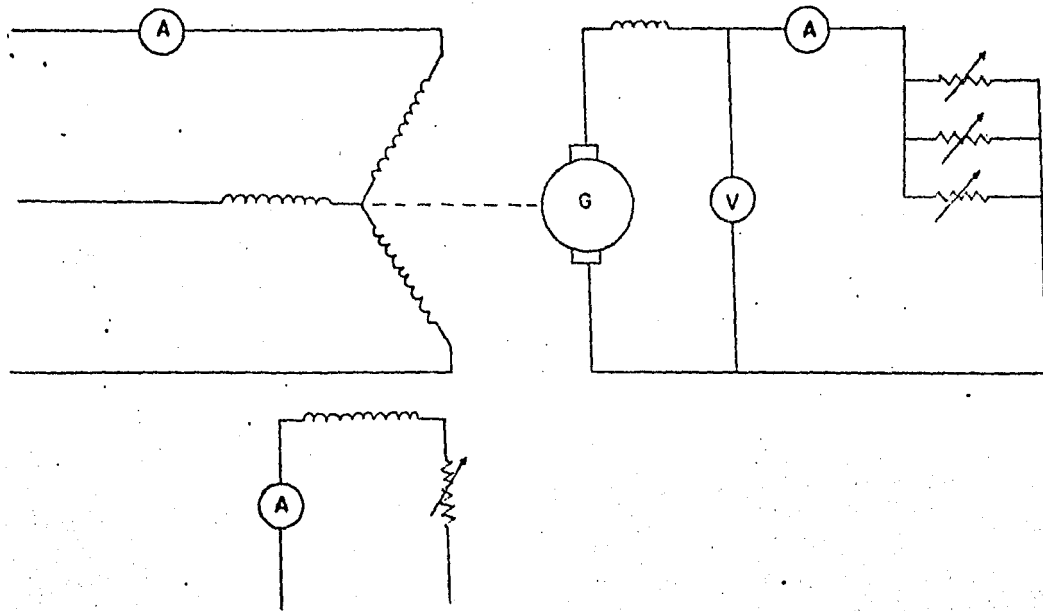


FIG. 4-9

- b). Esta prueba no se puede realizar en vacío, por lo que se aplica carga de tal forma que el voltaje aumente en valores aproximados al 10% del voltaje no minal hasta llegar al 100% de este voltaje.
- c). Llenar la tabla No. 7 y trazar la gráfica No. 7

III. GENERADOR CON EXCITACION COMPUESTA ACUMULATIVA

- a). Utilizar el diagrama de conexiones que se muestra en a Fig. 4 - 10
- b). Se sigue los mismos pasos que en la prueba en deri nación.
- c). Llenar la tabla No. 8 y trazar la gráfica No. 8

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

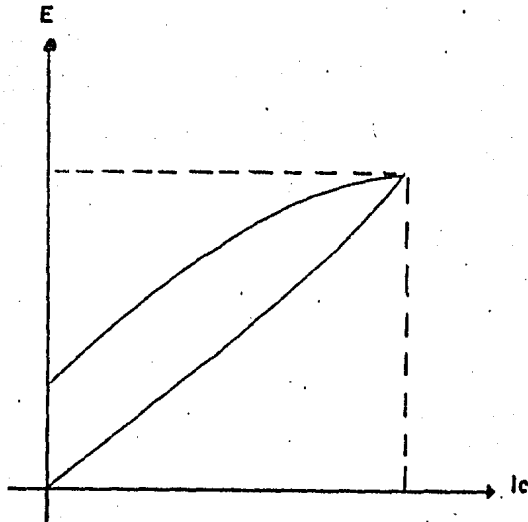
- a). Trazar la gráfica indicando en las abscisas la corriente de excitación y en las ordenadas el voltaje generado, para cada caso.

6.- PREGUNTAS:

- a). Definir el concepto de magnetismo residual y diga de acuerdo con la práctica, cómo se manifiesta en las máquinas.
- b). Exponer las diferencias que pueden existir entre las curvas con valores crecientes de la corriente excitatriz y la que se obtiene con valores decrecientes.

TABLA Nº 7

N	E	lc
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRFICA Nº 7

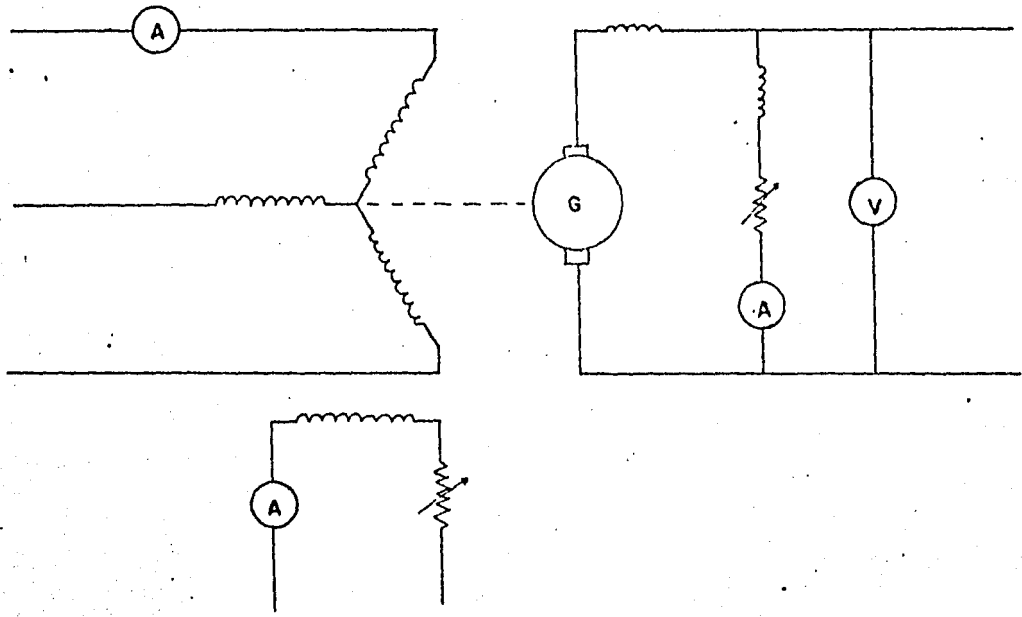
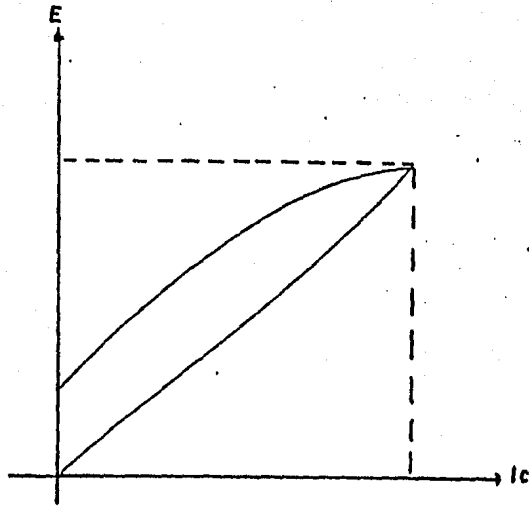


FIG. 4-10

TABLA Nº 8

N	E	Ic
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA Nº 8

PRÁCTICA No. 5

OPERACION DE GENERADORES DE CORRIENTE DIRECTA EN PARALELO

1.- OBJETIVO: Estudiar las condiciones necesarias para conectar generadores shunt en paralelo y practicar la transferencia de carga entre los mismos.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Dos grupos Motor-Generador

Voltímetros

Amperímetros

Carga resistiva

Switches

Reóstatos de campo

Reóstatos de arranque

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Condiciones que se deben de cumplir para acoplar en paralelo generadores de c.d.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito mostrado en la Fig. 4 - 11
- b). Arrancar el motor síncrono del grupo I, acoplado al generador shunt I.

GRUPO I

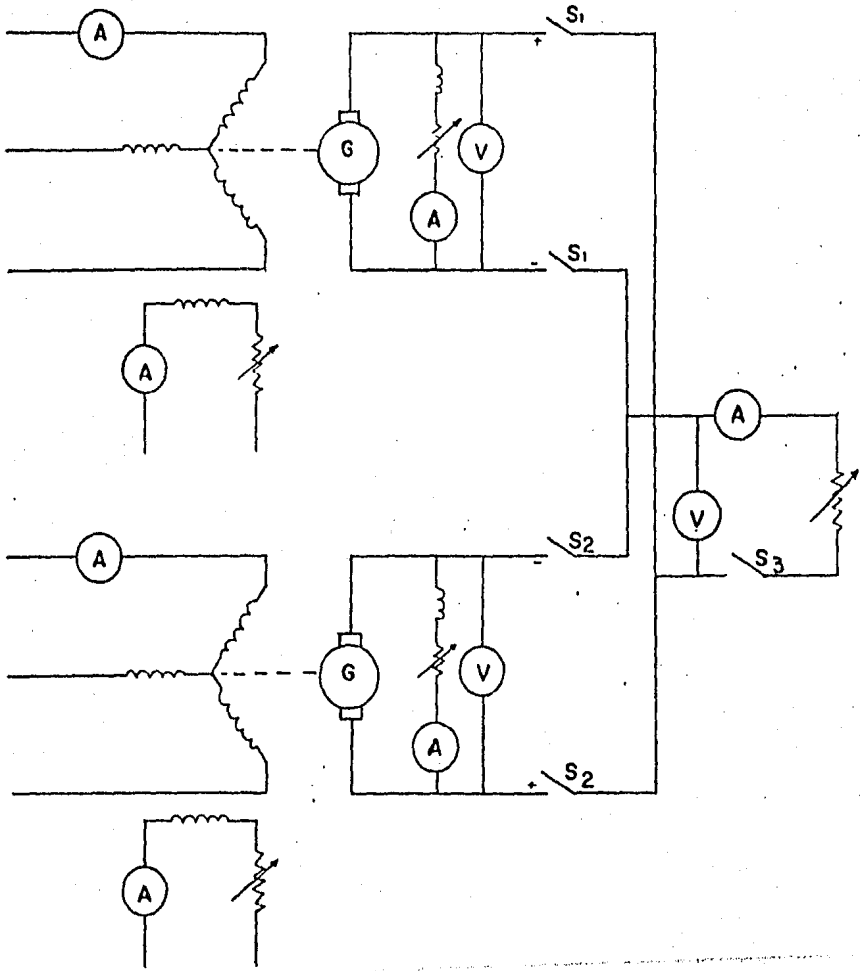


FIG. 4-II

- c). Generar el voltaje nominal del grupo I por medio - del reóstato de campo.
- d). Determinar la polaridad del grupo I
- e). Arrancar el motor síncrono del grupo II, acoplado al generador shunt II.
- f). Generar en el grupo II el mismo voltaje del grupo I.
- g). Determinar la polaridad del grupo II.
- h). Cierre el switch S_1 manteniendo abiertos los switches S_2 y S_3 .
- i). Hara ajustes si es necesario para el grupo II para obtener el voltaje del grupo I.
- j). Una vez logrado tener iguales los voltajes y estar completamente seguros de la polaridad, se cierran los switches S_2 y S_3 .
- k). Meter paulatinamente la carga manteniendo iguales las corrientes de los dos generadores. Una forma de lograr esto es aumentar la corriente de excitación magnética del generador II, con esto se aumenta su voltaje, al aumentar en uno tiende a aumentar en el otro, por tal motivo existe una caída interna en el generador I y para poder igualar el voltaje del generador II, tiene que ceder carga.

5.- PREGUNTAS:

- a). Al bajar la corriente de excitación del generador del grupo I. ¿Qué sucede con el sistema?
- b). Al aumentar la corriente de excitación del generador del grupo I ¿Qué sucede con el sistema?

FRAC TICA No. 6

ARRANQUE DE MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

1.- OBJETIVO: Arranque de un motor en derivación de corriente directa y demostrar la presencia de la fuerza contra-electromotriz (f.c.e.m.).

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de corriente directa

Reóstato de arranque

Reóstato de campo

Voltímetro

Amperímetros

Lámpara

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Describir la presencia de la f.c.e.m. en los motores de c.d.
- b). Explicar el arranque de motores de c.d.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 12
- b). Arrancar el motor y ajustarlo a su velocidad nominal.
- c). Tomar la lectura de corriente de armadura cuando arranca el motor.
- d). Observar la dirección de la corriente de la línea y la intensidad de la lámpara.
- e). Se abre el interruptor que energiza el motor y se vuelve a observar la dirección de la corriente de línea y la intensidad de la lámpara.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Comparar la corriente de arranque del motor con su corriente nominal.
- b). Se observará que al abrir el interruptor la corriente de línea cambia de sentido, así como la intensidad de la lámpara disminuirá paulatinamente, esto se debe que al desenergizar el motor, la armadura sigue girando y la fuerza contraelectromotriz se sigue generando, al cambiar el sentido de la corriente se demuestra que es opuesta al voltaje aplicado.

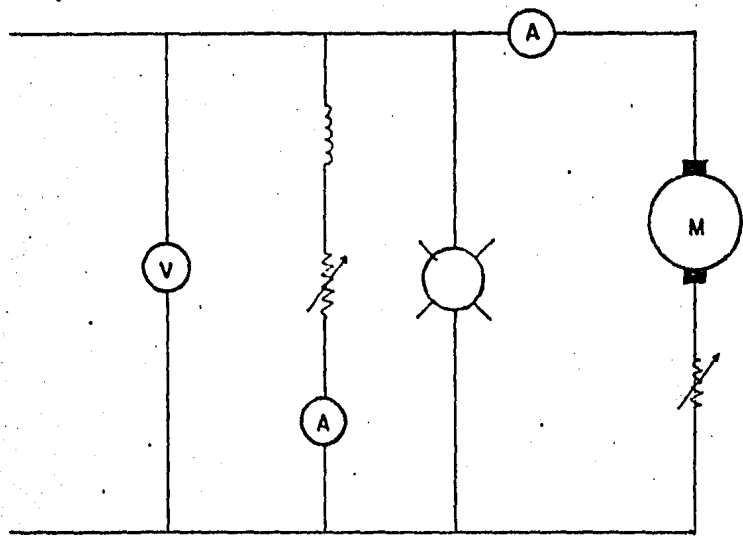


FIG. 4-12

PRACTICA No. 7

CURVAS DE REGULACION DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE

CORRIENTE DIRECTA

1.- OBJETIVO: Determinar las curvas de regulación de velocidad para los diferentes tipos de motores de corriente directa.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-generador.

Amperímetro

Voltímetro

Reóstato de arranque

Reóstato de campo

Carga resistiva

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicación de las curvas de regulación de velocidad para cada tipo de motor de corriente directa.

4.- DESARROLLO:

I. MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA EXCITACION EN DERIVACION.

a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 13

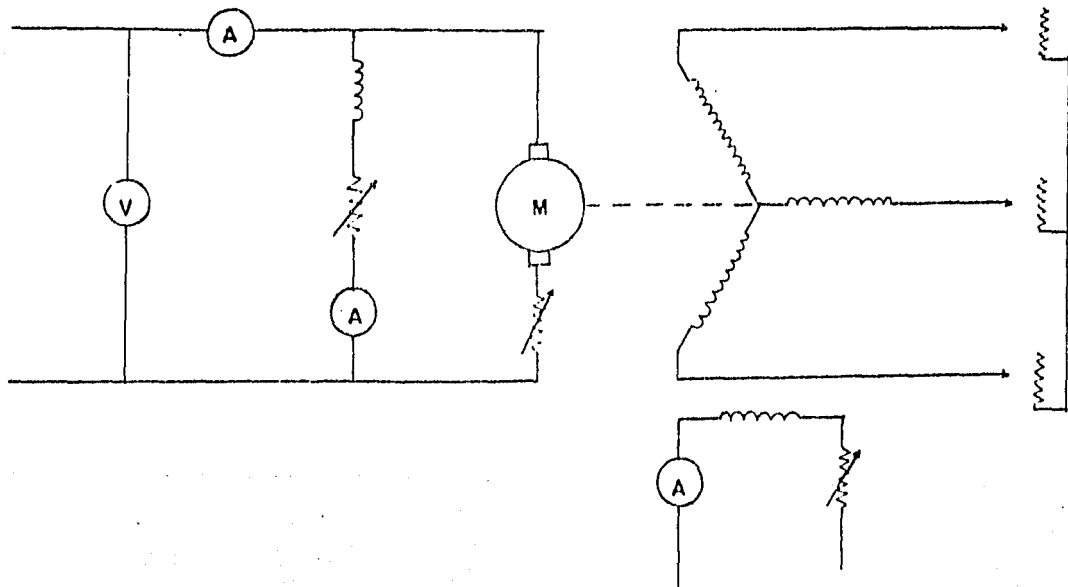


FIG. 4-13

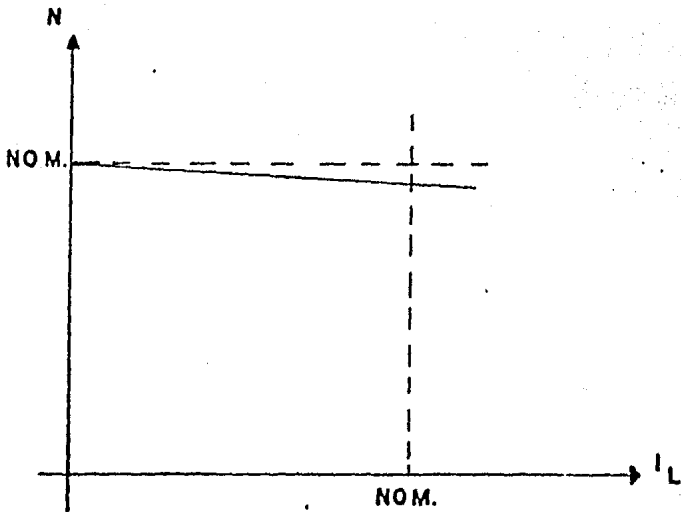
- b). Arrancar el motor bajo prueba teniendo cuidado que el voltaje aplicado sea el nominal, y llevarlo hasta su velocidad nominal.
- c). Dejar que el motor trabaje por lo menos dos horas con la finalidad de que alcance su temperatura nominal.
- d). Se excita el alternador. Se toman las lecturas de voltaje, corriente de línea, velocidad y corriente de excitación del motor, en esta prueba el voltaje aplicado al motor debe ser constante.
- e). Se toman más lecturas variando la carga en el alternador en valores aproximados al 10% de la I_c del motor, hasta el 100% de la corriente nominal de armadura, llenar la tabla No. 9 y trazar la gráfica No. 9.

II. MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA EXCITACION SERIE

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 14
- b). Se aplicará excitación independiente al generador de c.d., con el objeto de controlar la velocidad del motor bajo prueba.
- c). Se aplica la carga de tal forma que se obtenga la corriente nominal del motor en prueba y se tomarán las lecturas en forma descendente, hasta llegar a un 30% de la corriente nominal del motor serie. Tabla No. 10 y gráfica No. 10

TABLA No. 9

V	I_L	I_c	N
cfo			
cfo			
cfo			
cfo			
cfo			
cfo			



GRAFICA No. 9

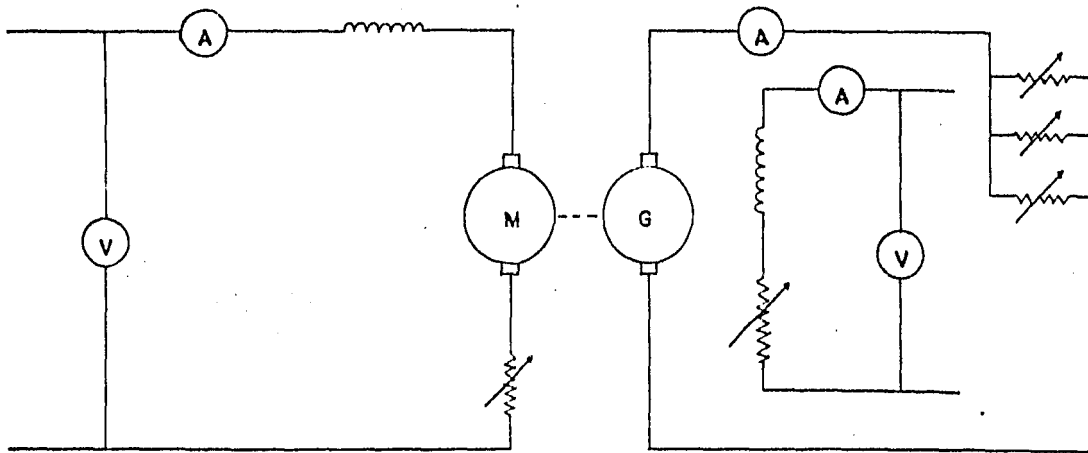
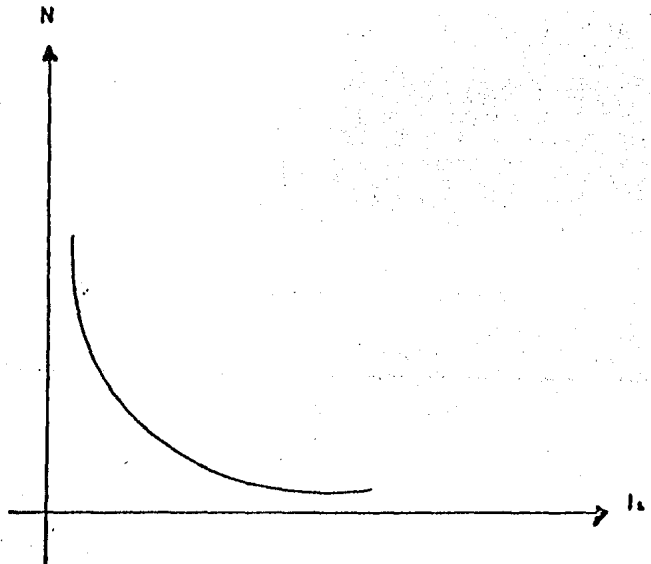


FIG. 4-14

TABLA Nº 10

V	I_L	N
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA Nº 10

III. MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA EXCITACION COMPUUESTA
ACUMULATIVO.

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 15a
- b). Seguir el procedimiento de la prueba del motor en derivación. Llenar la tabla No. 11 y trazar la gráfica No. 11

IV. MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA EXCITACION COMPUUESTA
DIFERENCIAL.

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 15b
- b). Seguir el procedimiento de la prueba del motor en derivación llenar la tabla No. 12 y trazar la gráfica No. 12.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Trazar las curvas de regulación de velocidad para cada prueba considerando en las abscisas la corriente de línea y en las ordenadas la velocidad.
- b). Calcular la regulación por la fórmula:

$$\%R = \frac{N_0 - N}{N} \times 100$$

N_0 = velocidad del motor en vacío

N = velocidad del motor a plena carga.

6.- PREGUNTAS:

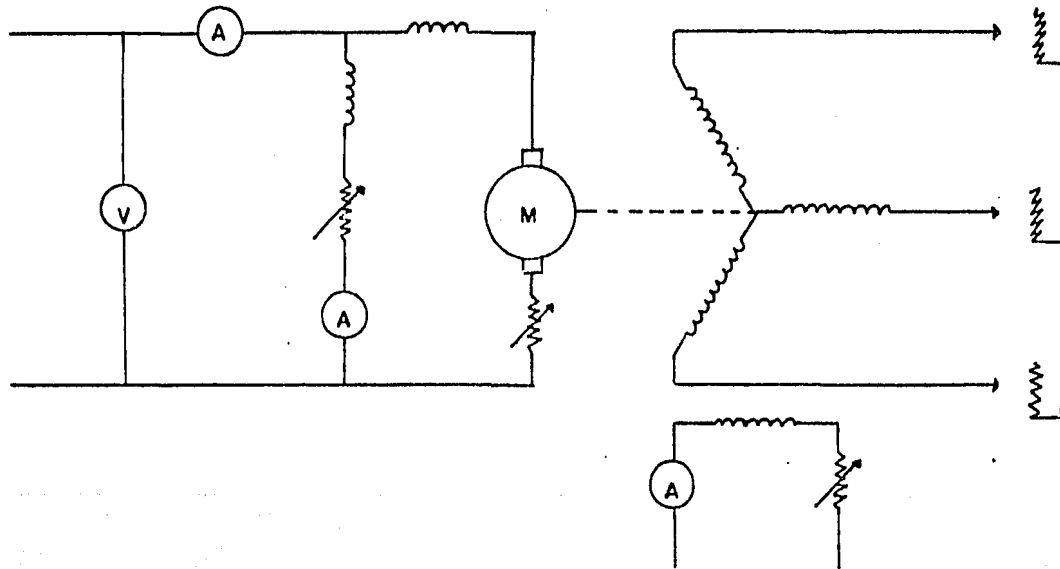
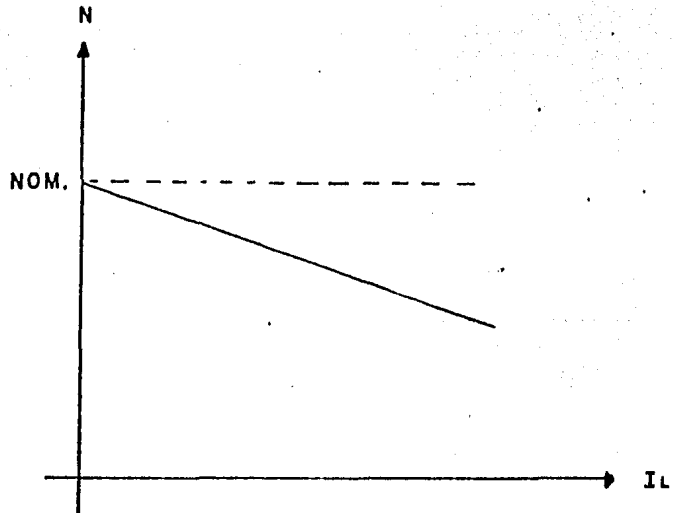


FIG. 4-15a

T A B L A N º II

V	h	lc	N
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			



G R A F I C A N º II

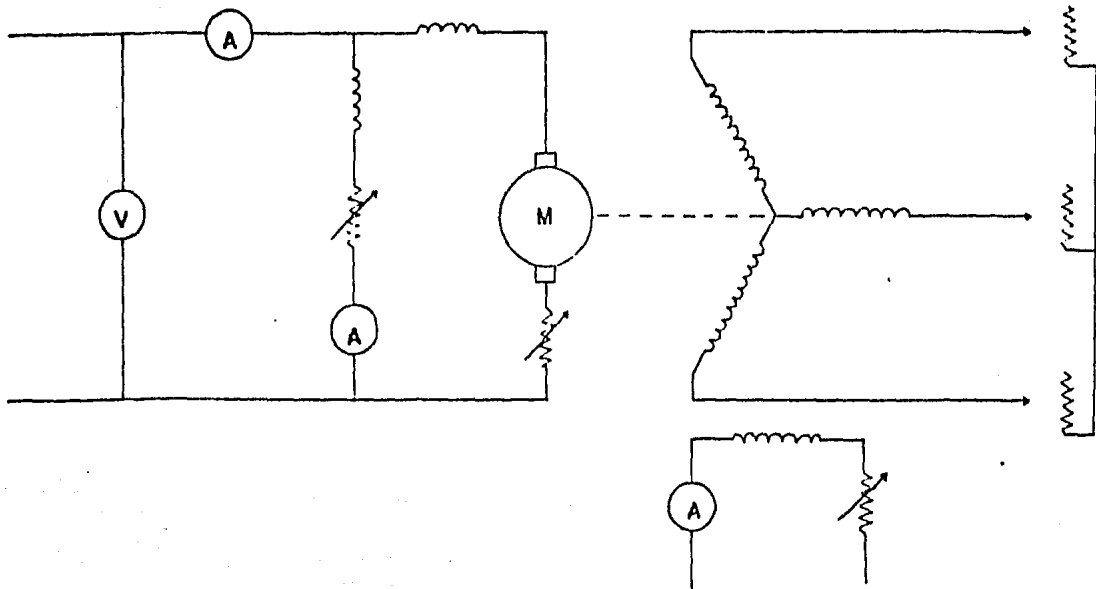
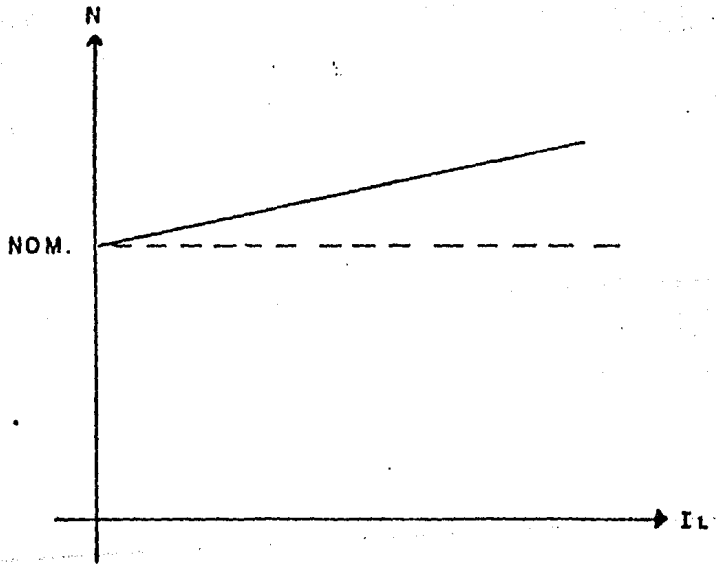


FIG. 4-15b

T A B L A N º 12

V	I _L	I _c	N
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			
cte			



G R A F I C A N º 12

- a). ¿Cuál es la finalidad de conectar un interruptor -
centrífugo en los motores de c.d. serie?

PRACTICA No. 8

CONTROL DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE CORRIENTE

DIRECTA POR EL SISTEMA WARD LEONARD Y POR

CONTROL REOSTATICO

1.- OBJETIVO: Aprender a conectar y operar los sistemas de control de velocidad Ward Leonard y por control reostático de los motores de corriente-directa.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Dos grupos Motor-Generador

Motor de c.d.

Voltímetros

Amperímetros

Reóstatos de campo

Reóstatos de arranque

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Explicar en que consisten los métodos de control -
de velocidad Ward Leonard y control reostático, pa

ra los motores de corriente directa.

4.- DESARROLLO:

I. SISTEMA WARD LEONARD

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-16
- b). Arrancar los motores síncronos.
- c). Generar voltaje para la excitación del motor de c.d. y del generador I.
- d). Incrementar el voltaje aplicado al motor de c.d. por el generador I, paulatinamente desde cero hasta su voltaje nominal, tomar lecturas de voltaje, velocidad y corriente de campo del motor manteniendo esta última constante, registrando estas en la tabla no. 13 y trazar la gráfica No. 13

II. CONTROL REOSTATICO

- a). Conectar el circuito de la Fig. 4-17
- b). Arrancar el motor a voltaje nominal y sin carga, dándole la máxima posición posible al reóstato de campo.
- c). Variar la posición del reóstato de campo y tomar lecturas de voltaje, corriente de campo y velocidad manteniendo el voltaje nominal constante.
- d). Llenar la tabla No. 14 y trazar la gráfica No. 14.

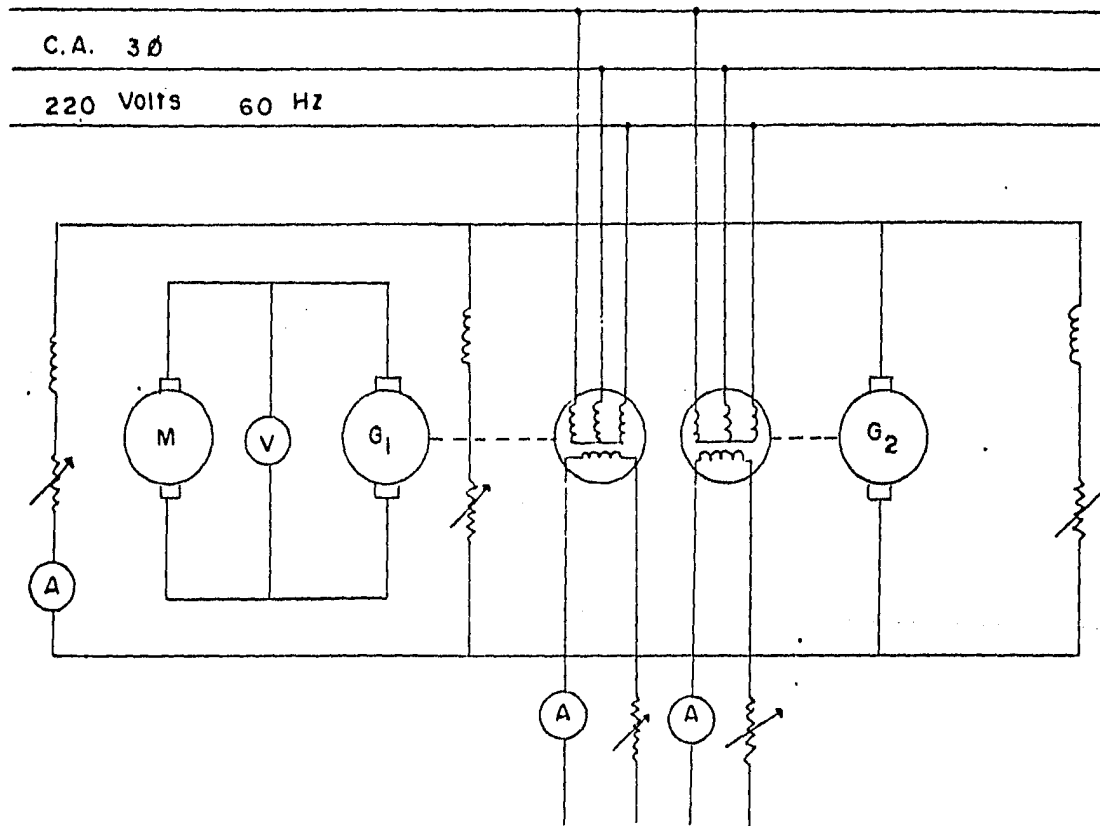
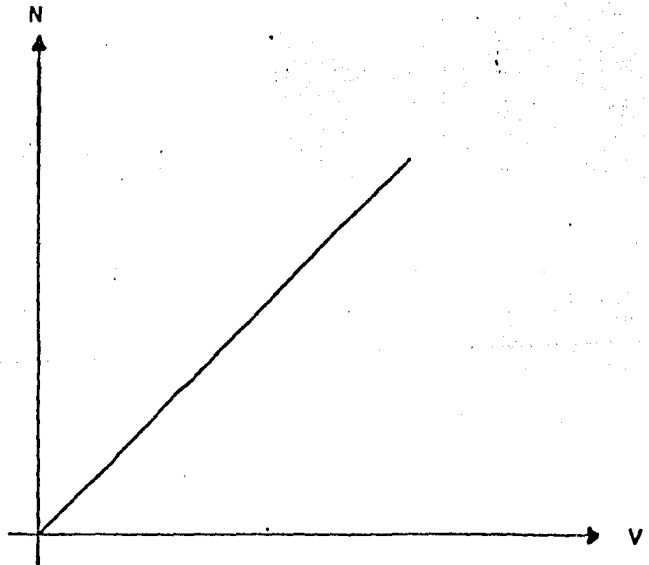


FIG. 4 - 16

TABLA N° 13

l c	V	N
c t e		
c t e		
c t e		
c t e		
c t e		
c t e		



GRAFICA N° 13

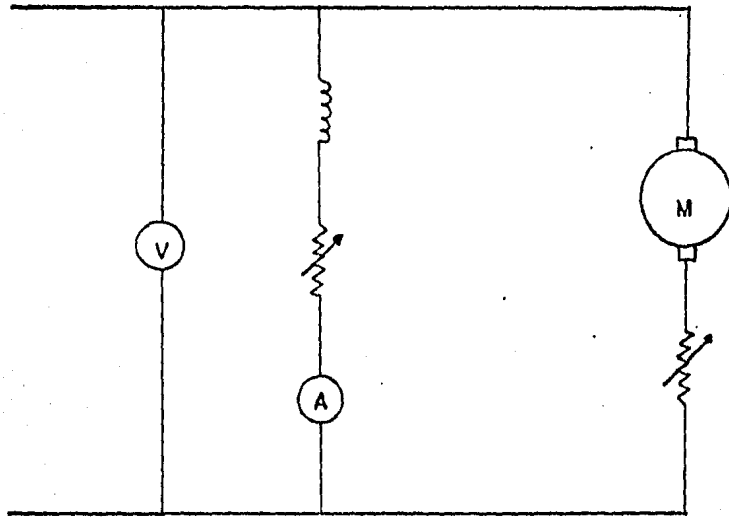
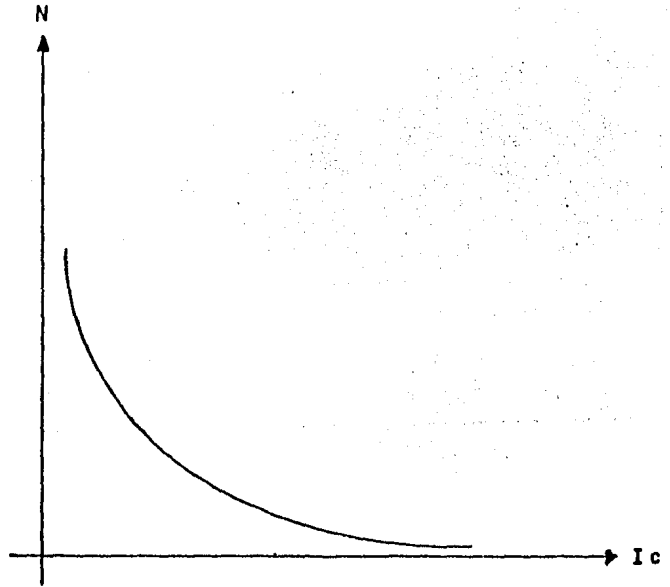


FIG. 4-17

TABLA N° 14

V	N	Ic
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA N° 14

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Con los datos obtenidos en la prueba Ward Leonard-
(d), trazar la gráfica de velocidad contra voltaje
indicando en las abscisas el voltaje y en las orde-
nadas la velocidad.
- b). Con los datos obtenidos en la prueba de control --
reostático, trazar la gráfica de velocidad contra-
corriente de campo, indicando en las abscisas la -
corriente de campo y en las ordenadas la velocidad

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Dónde es más conveniente aplicar el sistema de --
control de velocidad Ward Leonard?

PRACTICA No. 9

EFICIENCIA DE LA MAQUINA DE CORRIENTE DIRECTA

1.- OBJETIVO: Determinar la eficiencia de una máquina de -
corriente directa por el método de pérdi-
das.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Voltímetro

Amperímetros
Reóstato de campo
Tacómetro
Wattmetros
Resistencia variable

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu--
diante).

- a). Explicar en que consisten las pérdidas de cobre, -
hierro y mecánicas.
- b). Concepto de eficiencia de una máquina de corriente
directa.

4.- DESARROLLO:

I. GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA

- a). Para determinar las pérdidas eléctricas armar el -
circuito de la Fig. 4 - 18
- b). Arrancar el motor síncrono y generar el voltaje no
nominal a velocidad y corriente de armadura nominal.
- c). Tomar lectura de la corriente de armadura y campo-
derivado.
- d). Para determinar las pérdidas mecánicas se arma el-
circuito de la Fig. 4 - 19
- e). Hacer girar el motor síncrono desacoplado del gene
rador.

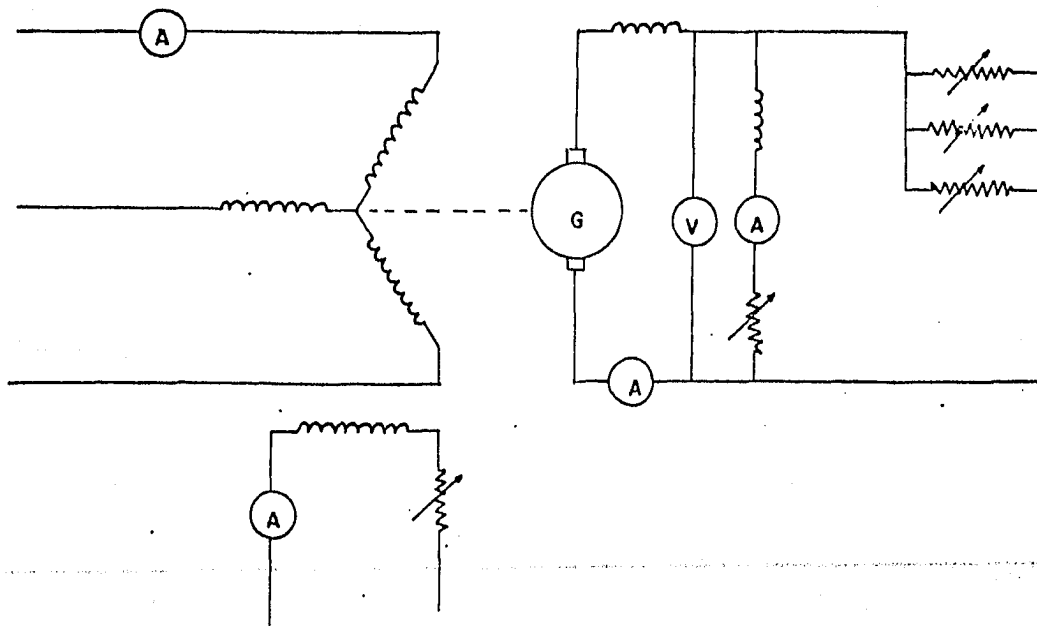


FIG. 4-18

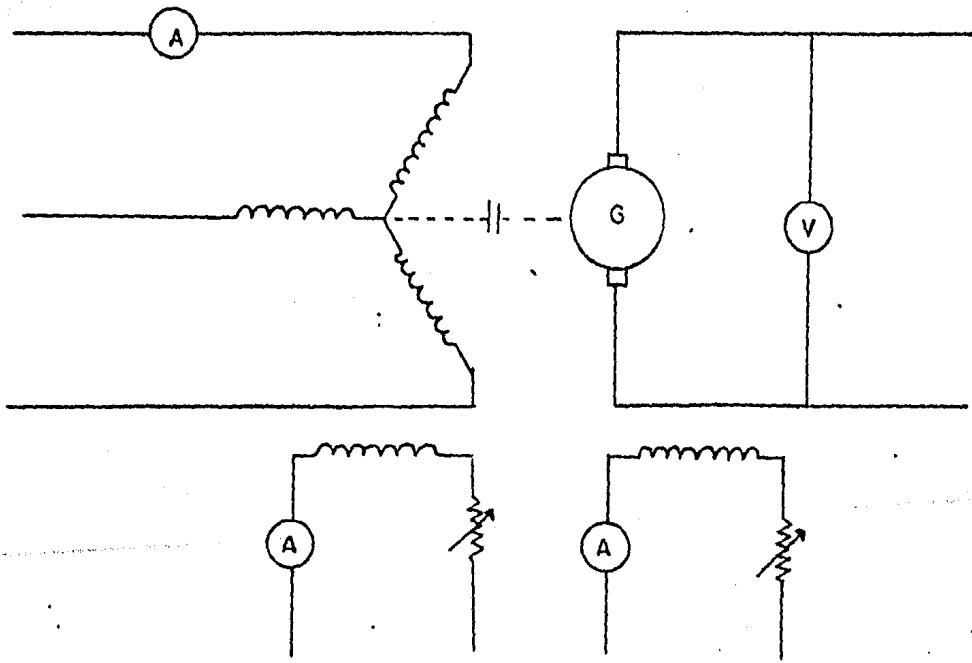


FIG. 4-19

- f). Tomar lecturas de los wattmetros o sea la potencia absorbida por el motor en dichas condiciones.
- g). Parar el motor y acoplarlo al generador. Se lleva el grupo a su velocidad nominal sin excitar el generador, y se toma lectura de los wattmetros. Las pérdidas mecánicas serán la diferencia entre la potencia inicial del motor síncrono en vacío menos la potencia del motor síncrono con el generador acoplado en vacío sin excitación.
- h). Para determinar las pérdidas en el hierro se utiliza el circuito de la Fig. 4 - 19 pero acoplado.
- i). Se lleva el grupo a la velocidad nominal.
- j). Se excita el campo del generador para obtener su voltaje nominal.
- k). Tomar la lectura de los wattmetros bajo estas condiciones.
- l). Restando a este valor se obtienen las pérdidas en el hierro.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Determinar las pérdidas eléctricas con los datos del inciso (c) y los datos obtenidos de las resistencias de armadura, campo serie y shunt en la práctica No. 1 referidas a 75°C.

Pérdidas eléctricas en el campo derivado = $I_L^2 R_d$

Pérdidas eléctricas en el campo serie = $I_L^2 R_s$

Pérdidas eléctricas en la armadura y escobillas =
 $I_L^2 R_a$

Pérdidas eléctricas = Pérd. Eléc. Camp. Der. +
Pérd. Eléc. campo serie +
Pérd. Eléc. armadura

b). Determinar las pérdidas totales por:

Pérd. Tot. = Pérd. Eléc. + Pérd. Mec. + Pérd. Hie-
rro.

c). Calcular la eficiencia por:

$$\eta = \frac{\text{Pot. Sal.}}{\text{Pot. Sal.} + \text{Pérd. Tot.}} \times 100$$

donde Pot. Sal. = KW nominales del generador

PRACTICA No. 10

CURVA DE MAGNETIZACION DE UN GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

- 1.- OBJETIVO: Observar como varía la f.e.m., generada --
cuando varía la excitación de un generador --
de corriente alterna a velocidad constante, --
y determinar la curva de magnetización o ca-

racterística de vacío.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Amperímetros

Voltímetros

Reóstato de campo

Tacómetro

Reóstato de arranque.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Ecuación básica de los generadores de corriente alterna, operado sin carga.
- b). Desarrollo matemático para obtener la relación entre H y B para trazar la curva de magnetización en función de la corriente de excitación y el voltaje generado.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 20
- b). Arrancar el motor de corriente directa hasta alcanzar la velocidad nominal del alternador.
- c). Excitar el campo del alternador, comenzando con un voltaje bajo e irlo aumentando. Mantenga la velocidad constante.

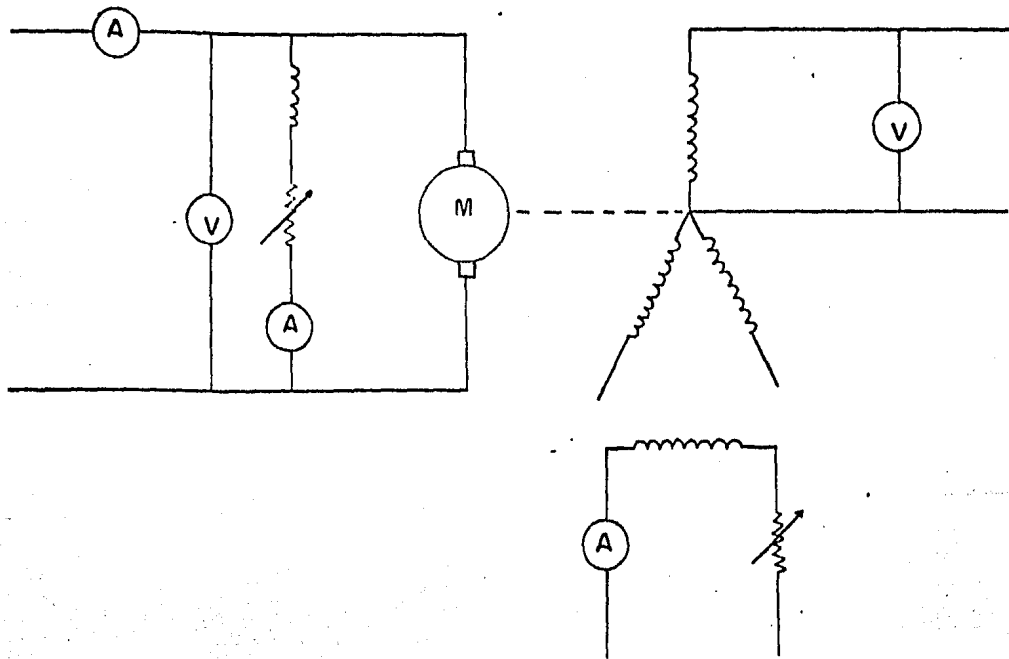
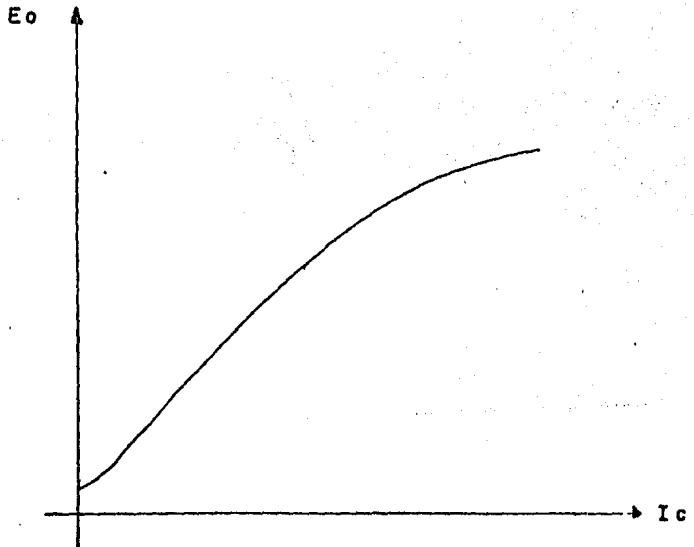


FIG. 4 - 20

TABLA N° 15

N	E _o	I _c
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		
cte		



GRAFICA N° 15

- d). Tomar lecturas de voltaje generado y corriente de excitación y llene la tabla No. 15 y trazar la gráfica No. 15

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Trazar la curva de magnetización considerando en las abscisas la corriente de excitación y en las ordenadas el voltaje generado, con los datos de la tabla del inciso (d).

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué utilidad tiene la curva de magnetización?

PRACTICA No. 11

DETERMINACION DE LA IMPEDANCIA SINCRONA

- 1.- OBJETIVO: Trazar la curva de impedancia síncrona no saturada para un alternador, a partir de la corriente de corto circuito y de la característica de vacío.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Amperímetros

Voltímetros

Reóstato de campo

Reóstato de arranque

3.- TEORIA BÁSICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Definir el concepto de impedancia síncrona.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. " - 21
- b). Arrancar el motor de corriente directa hasta alcanzar la velocidad nominal del alternador.
- c). Excitar el campo del alternador progresivamente -- por medio del reóstato, desde cero hasta un valor de la corriente que no sobrepase el valor de la corriente nominal del alternador.
- d). Tomar lectura de la corriente de corto circuito y de la corriente de campo, llenar la tabla No. 16.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Tomar los datos de la práctica anterior (Curva de Magnetización de un Generador).
- b). Con los datos obtenidos en el inciso (d) y con los de la curva de magnetización, calcular la impedancia síncrona no saturada por medio de la fórmula:

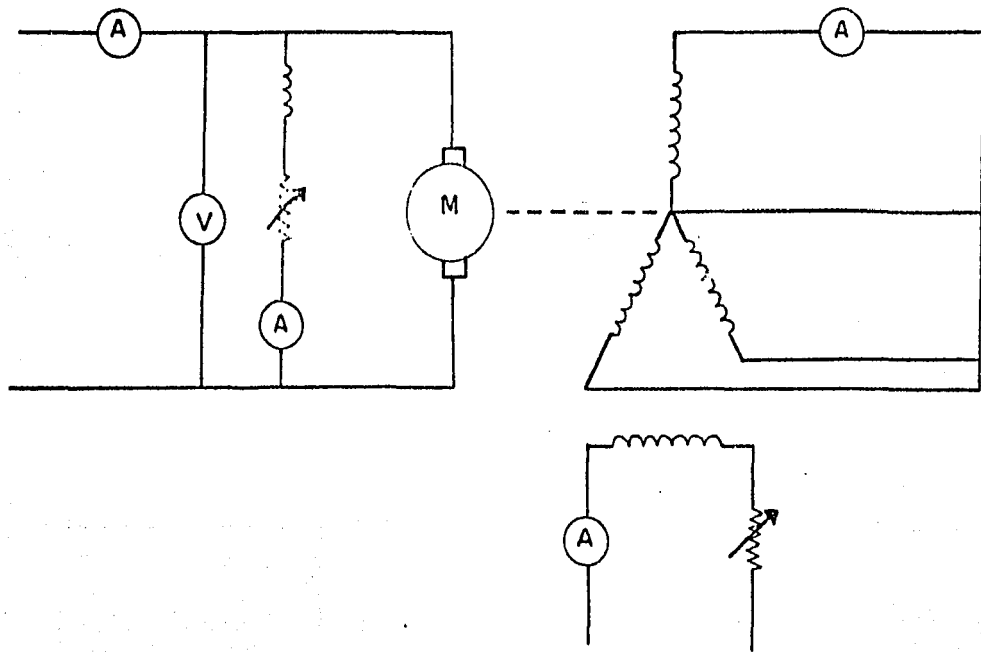


FIG. 4 - 21

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

- c). Trazar la curva de impedancia tomando como abscisas los valores de la corriente de campo y como ordenadas los valores de la tensión de línea a línea en la prueba de circuito abierto.

6.- PREGUNTAS:

- a). Análizar la curva de impedancia síncrona y diga si esta permanece constante.

PRACTICA No. 12

TRIANGULO DE POTIER

- 1.- OBJETIVO: Determinación del triángulo de Potier de un generador síncrono, a partir de las características de corto circuito y factor de potencia cero.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Carga inductiva

Interruptor de tres polos

Tacómetro

Amperímetros
Voltímetros
Frecuencímetro
Factorímetro
Reóstato de campo

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu--
diante).

- a). Determinar gráficamente el triángulo de Potier.
- b). Datos que se pueden obtener del triángulo de Po--
tier.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-22.
- b). Arrancar el motor de corriente directa y generar -
el voltaje nominal.
- c). Aplicar la carga inductiva y corregir el voltaje -
del generador a su valor nominal.
- d). Tomar lecturas de corriente de carga, factor de po
tencia, velocidad y corriente de campo.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Gráficar en panel milimétrico la curva de magneti-
zación de la práctica No. 10, tomando como absci--
sas la corriente de campo y como ordenadas el vol-
taje generado.

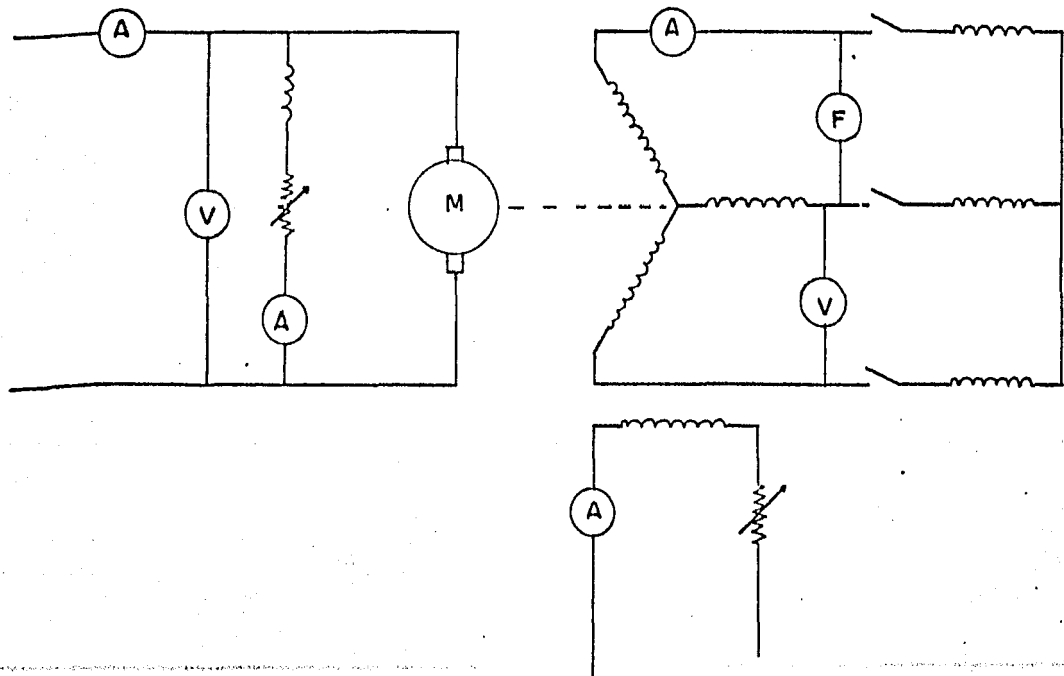


FIG. 4 - 22

- b). En la gráfica anterior se localiza el punto A con el voltaje nominal y la corriente de campo a factor de potencia cero, datos del inciso (d) de esta práctica.
- c). Se traza un segmento paralelo a las abscisas igual a la corriente de campo para obtener la corriente nominal del generador en corto circuito, de los valores obtenidos en la práctica No. 11, localizándose de esta forma el punto B.
- d). Trazar una recta que parta del origen y sea tangente a la curva de magnetización, luego trazar otra recta paralela a la anterior y que pase por el punto B, hasta que intersecte la curva de magnetización y de esta manera se obtiene el punto C.
- e). Trazar una recta perpendicular al segmento AB que pase por el punto C, el punto donde se intersecta la recta anterior con el segmento AB le llamamos punto D.
- f). Trazar el triángulo de Potier ACD.
- g). Determinar del triángulo de Potier la caída de tensión en la reactancia de dispersión.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Diga por qué es importante el triángulo de Potier?

REGULACION DE VOLTAJE DE UN ALTERNADOR

1.- OBJETIVO: Observar como varía la tensión de un alternador con una carga variable resistiva, inductiva y capacitiva. Determinar la regulación del alternador.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Amperímetros

Voltímetros

Tacómetro

Carga resistiva

Carga inductiva

Carga capacitiva

Reóstato de campo

Reóstato de arranque

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Definir el concepto de reactancia inductiva y capacitiva.

b). Definir el concepto de factor de potencia

c). Definir los conceptos de potencia aparente, activa y reactiva.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito con carga resistiva Fig. 4 - 23.
- b). Arrancar el motor de corriente directa hasta la velocidad nominal del alternador, frecuencia y voltaje nominal.
- c). Incorporar la carga resistiva paulatinamente.
- d). Tomar lecturas de voltaje y corriente de carga, -- llenar la tabla No. 17 y trazar la gráfica No. 16.
- e). Armar el circuito con carga inductiva Fig. 4 -24 .
- f). Arrancar el motor de corriente directa y llevarlo- hasta la velocidad nominal del alternador. Obtener el voltaje nominal del alternador.
- g). Incorporar la carga inductiva paulatinamente.
- h). Tomar lecturas de voltaje y corriente de carga, -- llenar la tabla No. 18 y trazar la gráfica No. 17.
- i). Armar el circuito con carga capacitiva Fig. 4 - 25
- j). Arrancar el motor de corriente directa y llevarlo- hasta la velocidad nominal del alternador. Obtener el voltaje nominal del alternador
- k). Incorporar la carga capacitiva paulatinamente.
- l). Tomar lecturas de voltaje y corriente de carga, -- llenar la tabla No. 19 y trazar la gráfica No. 18.

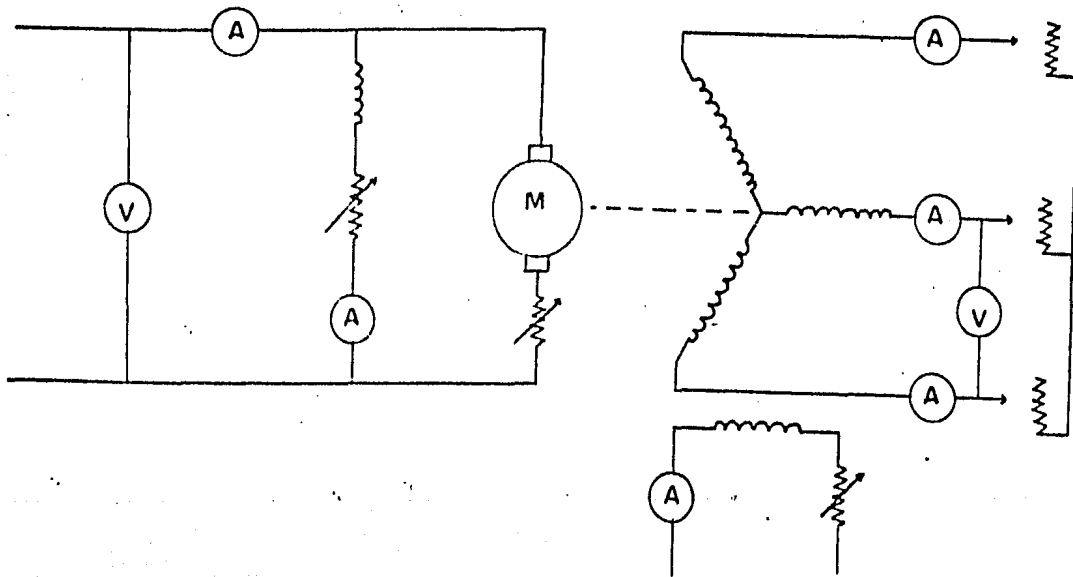
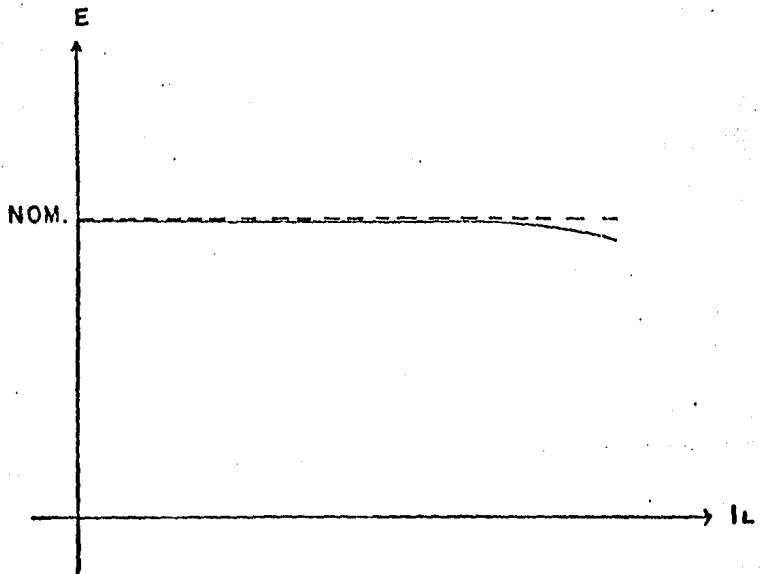


FIG. 4 - 23

TABLA N° 17

N	E	I_1	I_2	I_3
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				



GRAFICA N° 16

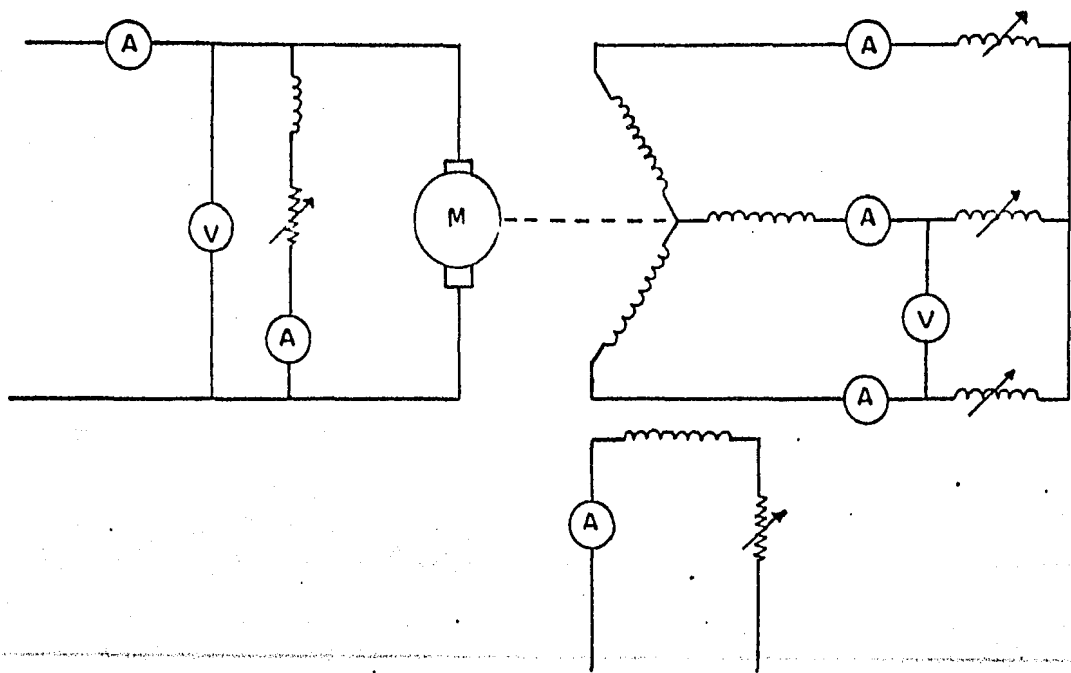
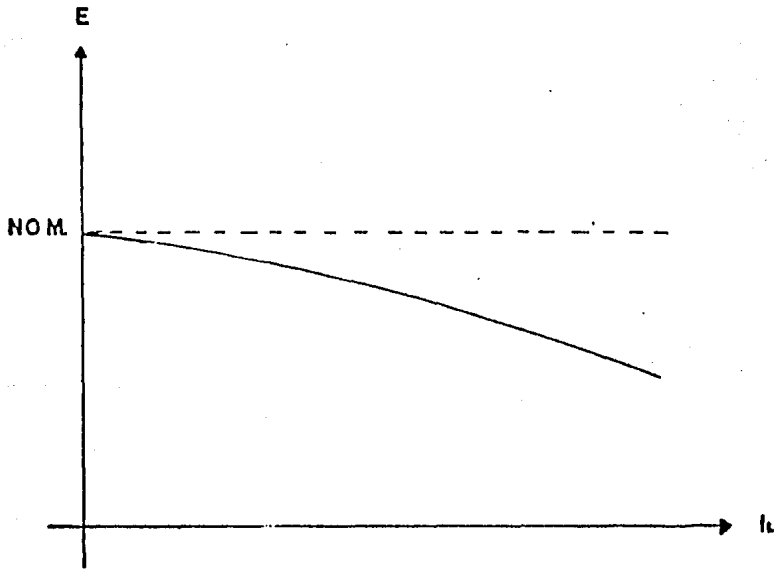


FIG. 4 - 24

T A B L A N° 18

N	E	I_1	I_2	I_3
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				



GRAFICA N° 17

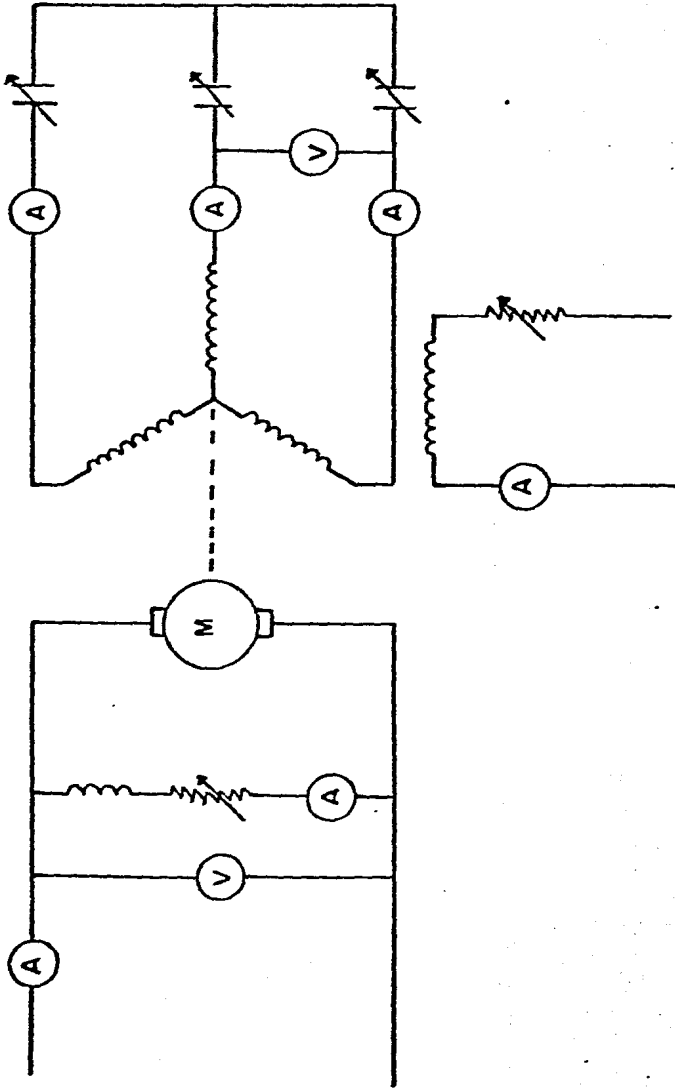
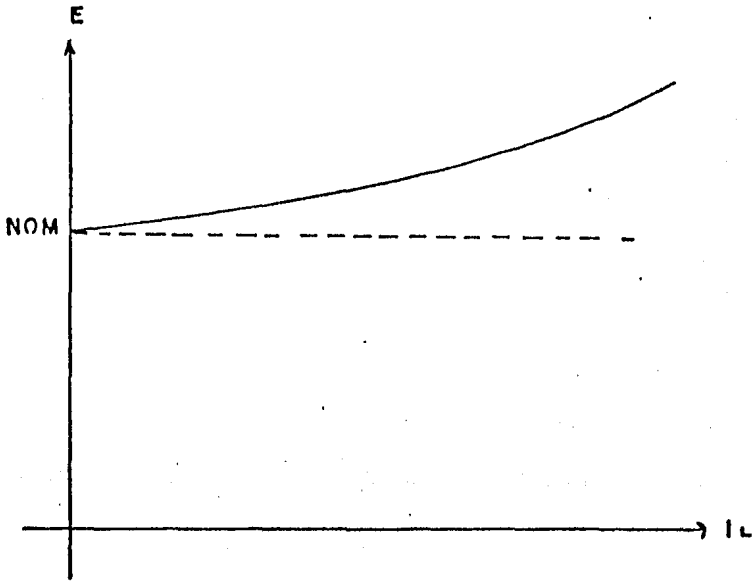


FIG. 4-25

TABLA N° 19

N	E	l_1	l_2	l_3
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				
cte				



GRAFICA N° 18

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Trazar la gráfica tomando en las abscisas la corriente de carga y como ordenadas el voltaje generado para cada una de las pruebas anteriores.
- b). Calcular el porcentaje de regulación de voltaje para cada caso.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Cuándo es positivo el porcentaje de regulación?
- b). ¿Cuándo es negativo el porcentaje de regulación?

PRACTICA No. 14

EFICIENCIA DEL ALTERNADOR

1.- OBJETIVO: Determinar las pérdidas y la eficiencia de un alternador.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor-Generador

Tacómetro

Reóstato de arranque.

Reóstato de campo

Voltímetro

Amperímetros

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Descripción de las pérdidas existentes en el generador.
- b). Definición de eficiencia
- c). Métodos para determinar la eficiencia de un alternador.

4.- DESARROLLO:

I. DETERMINACION DE LAS PERDIDAS MECANICAS

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 26
- b). Hacer girar el motor a tensión plena y velocidad nominales en vacío y desacoplado del generador.
- c). Tomar la lectura de voltaje y corriente para calcular la potencia absorbida por el motor en dichas condiciones.
- d). Parar el motor y acoplar el generador. Se lleva el grupo a velocidad nominal del alternador y se toma lectura de la potencia de entrada al motor, con el alternador sin excitación. Las pérdidas mecánicas serán la diferencia inicial del motor en vacío, menos la potencia con el generador acoplado en vacío y sin corriente de excitación.

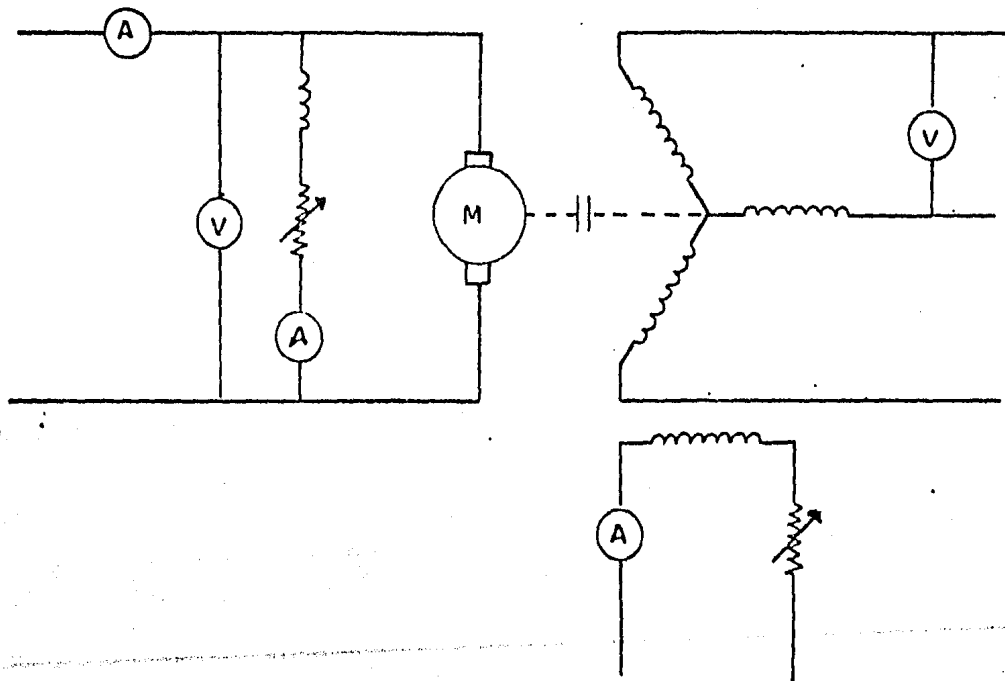


FIG. 4 - 26

II. DETERMINACION DE LAS PERDIDAS EN EL HIERRO.

- a). Se utiliza el mismo circuito anterior con el generador acoplado.
- b). Se lleva el grupo motor-generador a la velocidad nominal.
- c). Se excita el campo y se obtiene el voltaje nominal del generador.
- d). Tomar lectura del voltaje y corriente que toma el motor para las condiciones del inciso (c), y calcular la potencia.
- e). A la potencia del inciso anterior se le resta la potencia tomada por el motor en vacío, obteniendo así las pérdidas en el hierro al voltaje nominal del generador.

III. DETERMINACION DE LAS PERDIDAS EN EL COBRE.

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 27
- b). Excitar el alternador de tal manera que nos proporcione la corriente de corto circuito igual al valor de la corriente nominal del alternador, y tomar el valor de la potencia absorbida por el generador para esa corriente de corto circuito.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

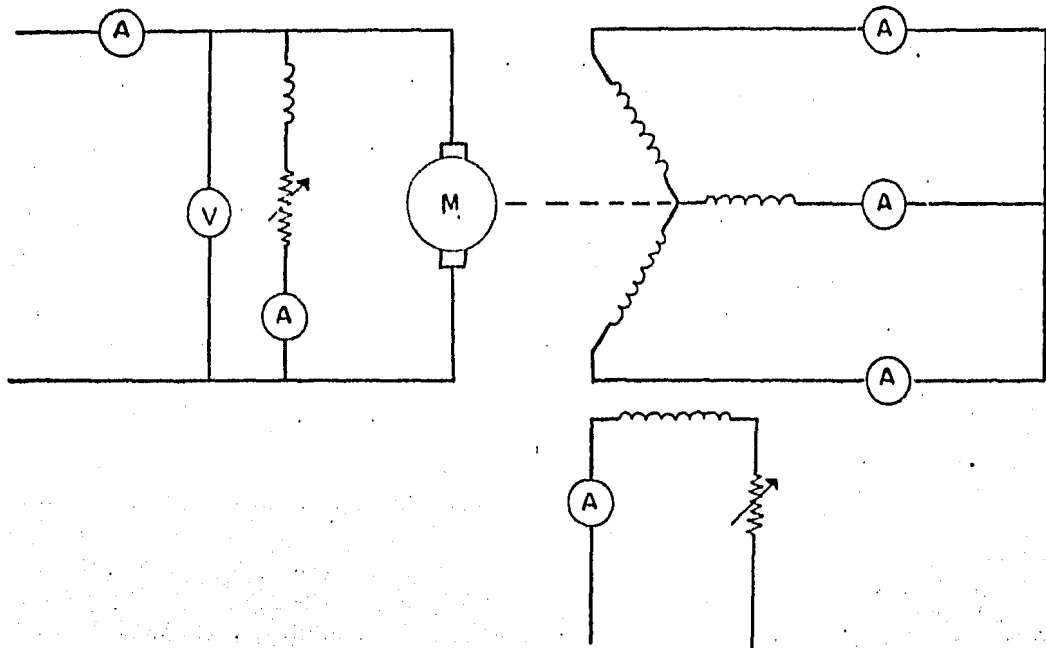


FIG. 4 - 27

a). Determinar las pérdidas de excitación por medio de

$$\text{la fórmula: } P_e = I_{exc}^2 R$$

b). Determinar las pérdidas en las escobillas:

$$P_{exc} = 2I_{cc}$$

c). Determinar las pérdidas totales

d). Determinar la potencia de la máquina por:

$$P_{sal} = \sqrt{3} VI \cos \theta$$

e). Determinar la eficiencia o rendimiento por:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + P_{tot}} \times 100$$

FRACTICA No. 15

OPERACION DE ALTERNADORES TRIFASICOS EN PARALELO Y DISTRIBUCION DE LA CARGA

1.- OBJETIVO: Adquirir práctica en la conexión de los alternadores trifásicos para que operen en paralelo por el método de las lámparas apagadas, y estudiar el comportamiento de estos cuando se cargan alternativamente.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Dos grupos Motor-Generador

Frecuencímetros

Secuencímetros

Amperímetros

Voltímetro
Tacómetro
Reóstato de campo
Lámparas
Carga resistiva

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Citar los requisitos que se deben cumplir para conectar los generadores síncronos en paralelo.
- b). Explicar el concepto de corriente circulante.

4.- DESARROLLO:

- a). El circuito a utilizar será el de la Fig. 4-28
- b). Arrancar el generador 1 a su velocidad nominal
- c). Generar el voltaje nominal por medio del reóstato de campo.
- d). Comprobar la frecuencia
- e). Cerrar el switch de conexión al bus.
- f). Hacer los mismos pasos anteriores para el generador 2, pero antes de conectarlo al bus de distribución se comprobará lo siguiente:
- g). Cuando las lámparas estén apagadas se conecta el otro switch de conexión.
- h). En caso de que las lámparas no se enciendan y apaguen simultáneamente, será debido a que la secuen-

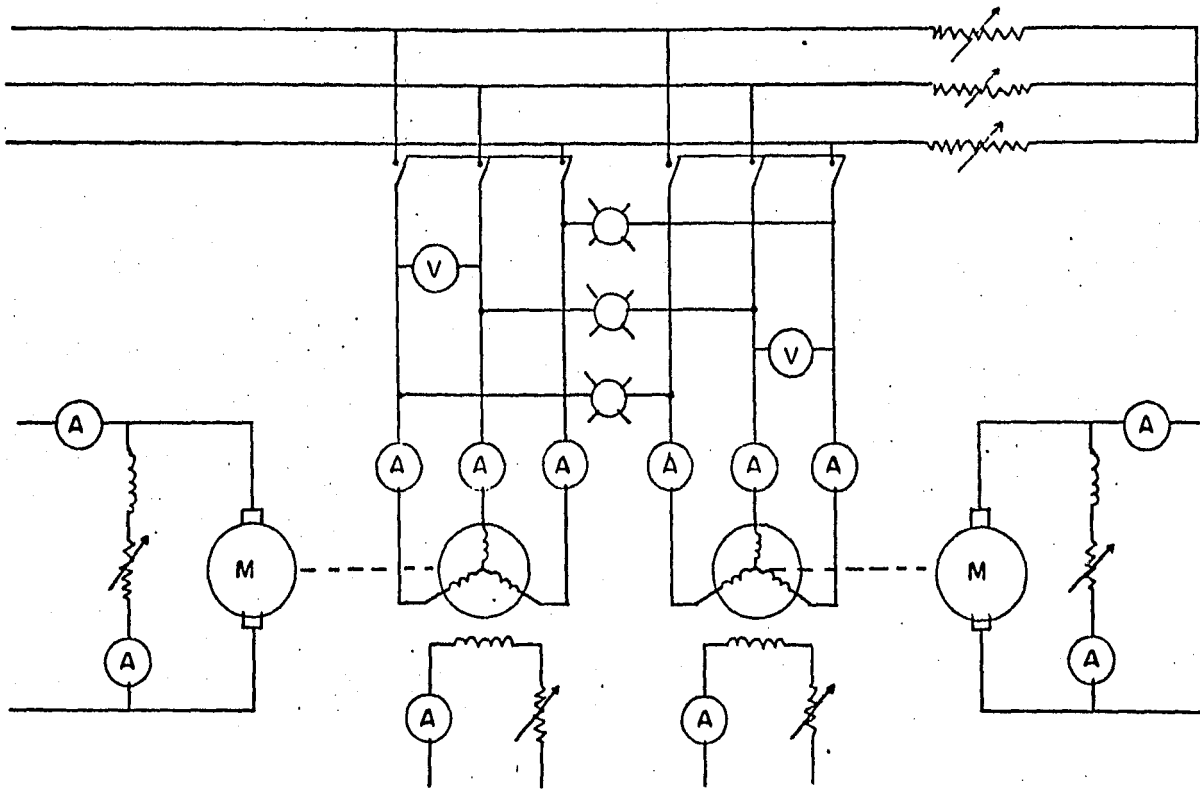


FIG. 4-28

cia de fases no es correcta en alguna de las máquinas, por lo que se corregirá al invertir dos de las fases de alguna de ellas.

- i). Aplicar la carga resistiva paulatinamente.
- j). Para distribuir la carga de los alternadores se procede de la siguiente forma:
- k). Al alternador que tenga menos corriente de carga, se le incrementa su excitación con la finalidad de equilibrar las corrientes de los alternadores.

5.- PREGUNTAS:

- a). Explique en qué consiste el método de las lámparas encendidas.
- b). Explique en qué consiste el método de las lámparas con dos encendidas y una apagada.

4.2.- LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS II

FRACTICA No. 1

METODO PARA LA DETERMINACION DE LA INDUCTANCIA MUTUA

1.- OBJETIVO: Calcular inductancias mutuas utilizando un voltímetro, un amperímetro y un frecuencímetro a un transformador.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Transformador monofásico

Voltímetro

Amperímetro

Frecuencímetro

Reóstato variable.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Definir inductancia mutua

b). Explicar de que manera influye la inductancia mutua en la operación de un transformador.

4.- DESARROLLO:

a). El circuito a utilizar será el de la Fig. 4-29

b). Se registrarán las lecturas indicadas en la tabla-
20.

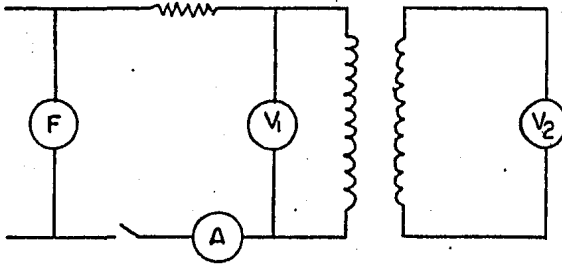


FIG. 4 - 29

F	I	V ₁	V ₂

TABLA No 20

- c). Poner el cursor de la resistencia en la posición - máxima.
- d). Tomar la lectura del frecuencímetro, de los voltímetros y amperímetros.
- e). Obtener dos lecturas más para dos posiciones diferentes del reóstato.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcule el coeficiente de inducción mutua para las tres posiciones del reóstato por la fórmula:

$$M = \frac{V_2}{I_1 2\pi f}$$

- b). Demuestre matemáticamente la fórmula empleada para calcular la inductancia mutua.

6.- PREGUNTAS:

- a). Agregue teoría sobre algunas otras maneras de medir inductancias mutuas.

PRACTICA No. 2

RELACION DE TRANSFORMACION

- 1.- OBJETIVO: Medir la relación de transformación utilizando el medidor de relación de vueltas (T.T.R)

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Medidor de relacion de vueltas (T.T.R.)

Transformador trifásico

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigacion por el estudiante).

- a). Explicar para que sirve la relación de transformación.
- b). Describir brevemente el funcionamiento del T.T.R.- (Transformador turn ratio test set).

4.- DESARROLLO:

- a). El circuito a utilizar será el de la Fig. 4-30
- b). Conecte las terminales de excitación del medidor de relación de vueltas, al devanado de menor tensión de los dos que van a ser comparados. Conecte las terminales secundarias del medidor a las terminales de mayor voltaje, según el transformador bajo prueba, asegúrese que el transformador por probar esté completamente desenergizado.
- c). Colocar en ceros las carátulas del medidor de relación de vueltas.
- d). Gire la primera perilla en sentido de las manecillas del reloj y de un movimiento lento a la manivela, registre la deflexión en la carátula.

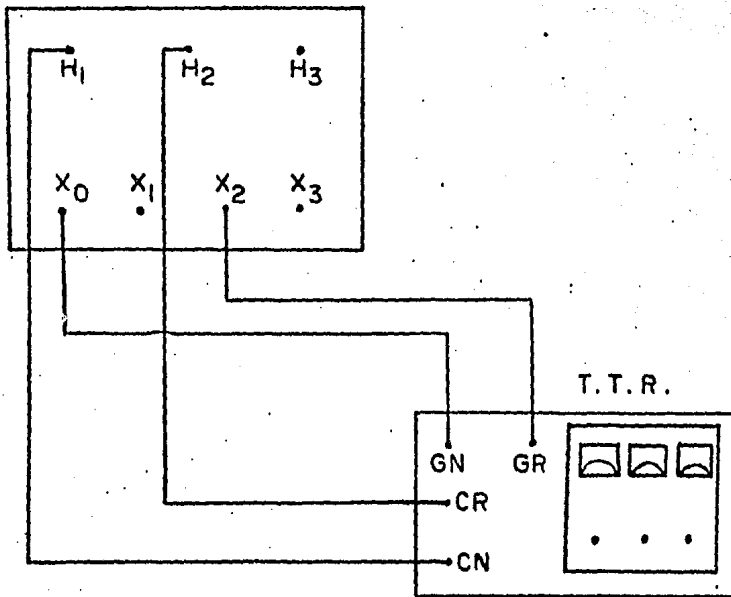


FIG. 4 - 30

CONEXIONES DE PRUEBA

PRUEBA	CN	CR	GN	GR	MEDICION
1	H ₁	H ₂	X ₀	X ₂	
2	H ₂	H ₃	X ₀	X ₃	
3	H ₃	H ₁	X ₀	X ₁	

TABLA No 21

e). Repita el paso anterior para las demás perillas.

f). Llene la tabla 21.

NOTA: Las mediciones obtenidas nos dan la relación de vueltas para cada fase del transformador.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Calcular el % de diferencia entre la relación de transformación teórica y real medida por medio de:

$$\% \text{ DIF} = \frac{\text{Rel. Teó.} - \text{Rel. Med.}}{\text{Rel. Teó.}} \times 100$$

6.- PREGUNTAS:

a). Cuando la relación de transformación es mayor de la máxima del medidor de relación de vueltas, ¿qué se debe hacer para efectuar las mediciones?

PRACTICA No. 3

RESISTENCIAS OHMICAS

1.- OBJETIVO: Medir las resistencias óhmicas de los devanados de un transformador y compararlas con las de diseño.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Puente de Kelvin

Transformador trifásico

Termómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Definir el concepto de resistencia óhmica.

4.- DESARROLLO:

a). Conectar el transformador trifásico como se indica en la Fig. 4 - 31

b). Efectuar las mediciones de resistencia entre terminales del transformador bajo prueba.

c). Asentar las mediciones en la tabla 22

d). Medir temperatura ambiente.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Calcular $(r_1)_t$ y $(r_2)_t$ mediante las fórmulas:

Conexión delta:

$$(r_1)_t = \frac{1}{2} (r_{A1B1} + r_{B1C1} + r_{C1A1})$$

Conexión estrella:

$$(r_2)_t = \frac{1}{6} (r_{a1b1} + r_{b1c1} + r_{c1a1})$$

b). Corregir los resultados a 75° C.

6.- PREGUNTAS:

a). Mencionar otros métodos para la medición de resistencias óhmicas y en qué consisten.

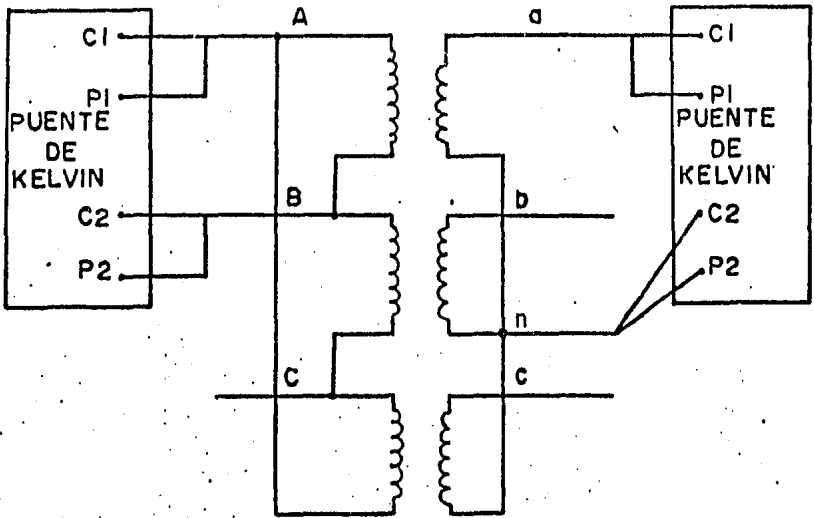


FIG. 4 - 31

ALTA TENSION	BAJA TENSION
r_{AIBI}	r_{aibi}
r_{BICI}	r_{bici}
r_{CIAI}	r_{ciai}

TABLA No 22

PRACTICA No. 4

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

1.- OBJETIVO: Medir la resistencia de aislamiento para establecer una de las bases que determinan si el transformador, está o no en condiciones de someterse a las pruebas de tensión aplicada e inducida.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Megóhmetro (Megger)

Transformador trifásico

Termómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Descripción de las partes entre las que debe existir aislamiento.

b). Materiales que se utilizan comunmente en los transformadores como aislante.

4.- DESARROLLO:

a). Efectuar las conexiones de acuerdo a los diagramas de la Fig. 4-32

b). Las terminales de los devanados que no se prueban, deberán cortocircuitarse y conectarse a tierra.

c). Girar la manivela del megóhmetro a velocidad cons--

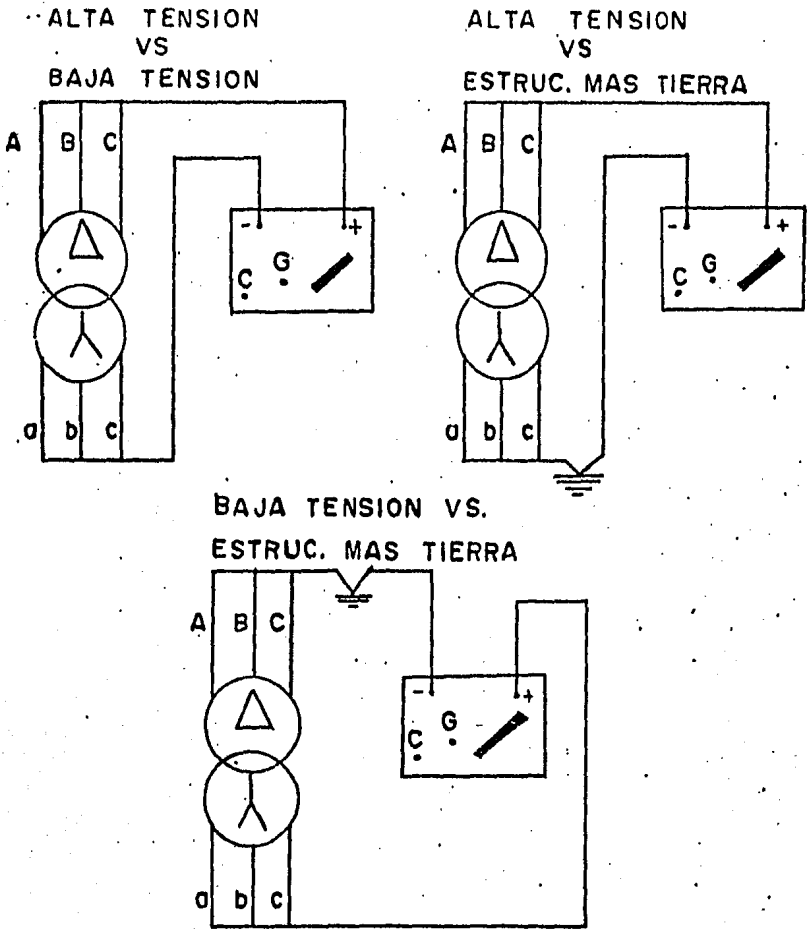


FIG. 4 - 32

REFERENCIA	MEDICION	MEGOHMS
A.T. VS. B.T.		
A.T. VS. EST. + TIE.		
B.T. VS. EST. + TIE.		

tante y no inferior a la indicada por el aparato.

d). Medir la temperatura de los devanados.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Calcular la resistencia para 75°C

b). Llenar la tabla 23

6.- PREGUNTAS:

a). Diga en que condiciones está el aislamiento del transformador bajo prueba.

PRACTICA No. 5

CIRCUITO EQUIVALENTE Y DETERMINACION DE LA CURVA DE
MAGNETIZACION

1.- OBJETIVO: Determinar los parámetros que integran el circuito equivalente de un transformador, mediante las pruebas de circuito abierto y corto circuito. Trazar la curva de magnetización.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Wattmetros

Voltímetros

Amperímetros

Transformador monofásico.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu--
diante).

a). Desarrollo matemático del circuito equivalente.

4.- DESARROLLO:

I. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

a). Conectar como se muestra en la Fig. 4 - 33

b). Aplicar al lado de baja tensión su voltaje nominal
y tomar lecturas.

II. PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

a). Conectar como se muestra en la Fig. 4 - 34

b). Calcular la corriente nominal en el lado de alta --
tensión.

c). Aplicar al lado de alta tensión su corriente nomi--
nal y tomar lecturas de los aparatos, el voltaje de
be ser reducido.

d). Aplicar al lado de alta tensión el 80%, 60%, 40% y
20% de su corriente nominal y tomar lecturas de ca-
da una.

e). Llenar las tablas Nos. 24 y 25.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Encontrar la admitancia de excitación, la conductan-
cia de excitación y la susceptancia de excitación.

b). Encontrar la impedancia, la resistencia y la reac--
tancia equivalente, referidas al primario.

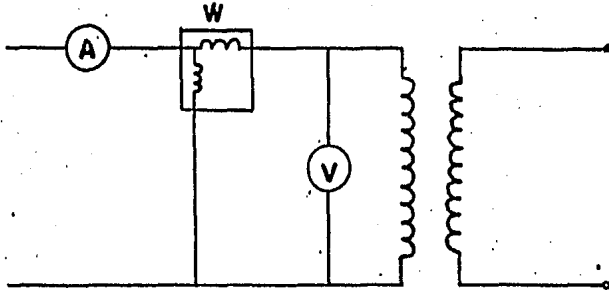


FIG. 4 - 33

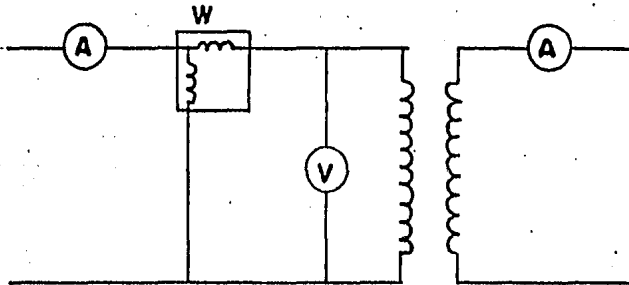


FIG. 4 - 34

- c). Dibujar el circuito equivalente del transformador, - referido al primario.
- d). Trazar la curva de magnetización tomando como abscisas los valores de I_{cc} , y tomando como ordenadas -- los valores de V_{cc} .

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Por qué es conveniente utilizar el devanado de baja tensión conectado al equipo de medición y a la fuente de alimentación, en la prueba de circuito abierto?
- b). ¿Por qué es conveniente cortocircuitar el devanado de baja tensión en la prueba de corto circuito?

PRACTICA No. 6

REGULACION DE VOLTAJE

1.- OBJETIVO: Determinar la regulación de un transformador por mediciones y notar como estas mediciones son afectadas por la carga.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un transformador monofásico

Voltímetros

Amperímetros

Resistencia variable

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Desarrollo matemático de la regulación de voltaje, incluyendo su diagrama vectorial.

4.- DESARROLLO:

a). Conectar el circuito de la Fig. 4 - 25

b). Energize el primario del transformador y empiece a tomar lecturas tanto en el primario como en el secundario, con la resistencia de carga máxima.

c). Varíe la carga en unas cinco posiciones y siga tomando valores tanto en el primario como en el secundario.

d). Llenar la tabla 26.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Calcular la regulación con los datos obtenidos.

6.- PREGUNTAS:

a). ¿Es buena la regulación para el transformador en prueba ?

b). ¿De qué otra manera se puede determinar la regulación en los transformadores?

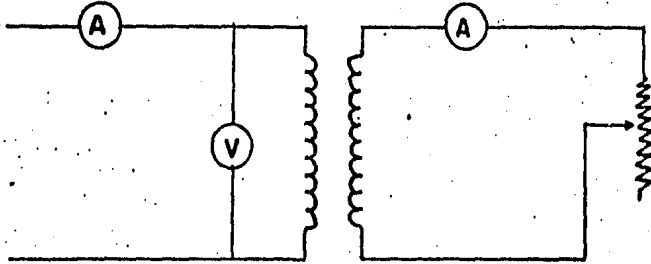


FIG. 4 - 35

I_1	V_1	I_2	V_2

TABLA No 26

PRACTICA No. 7

POLARIDAD DE TRANSFORMADORES

1.- OBJETIVO: Determinar lapolaridad de los devanados prima
rio y secundario de un transformador.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Transformador trifásico

Voltímetros

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu---
dante).

a) Métodos para la determinación de la polaridad en un
transformador.

b) Explicar para que es útil la polaridad.

4.- DESARROLLO:

a). Conectar el circuito de la Fig. 4 - 36

b). Alimentar el transformador por el lado de alta ten-
sión aplicando una tensión moderada, comprendida en
la escala del voltímetro.

c). Tomar la lectura de los dos voltímetros.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Determine la polaridad del transformador en prueba.

6.- PREGUNTAS:

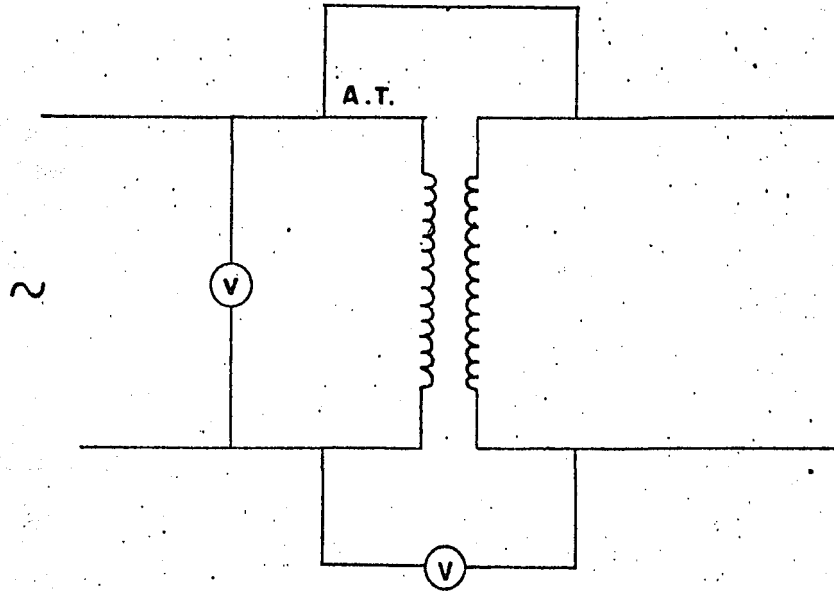


FIG. 4 - 36

- a). ¿Cuándo se emplea la polaridad sustractiva o aditiva en los transformadores monofásicos?
- b). ¿Cuándo se emplea la polaridad sustractiva o aditiva en los transformadores trifásicos?

PRACTICA No. 8

CONEXION DE TRANSFORMADORES EN PARALELO

1.- OBJETIVO: Determinar en forma práctica, la posibilidad de acoplar dos transformadores trifásicos en paralelo.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Dos transformadores trifásicos

Secuencímetro

Voltímetros

Carga resistiva

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Explicar en que casos se conectan en paralelo los transformadores.

4.- DESARROLLO:

- a). Conectar los dos transformadores a la línea de alimentación, como se muestra en la Fig. 4 - 37.

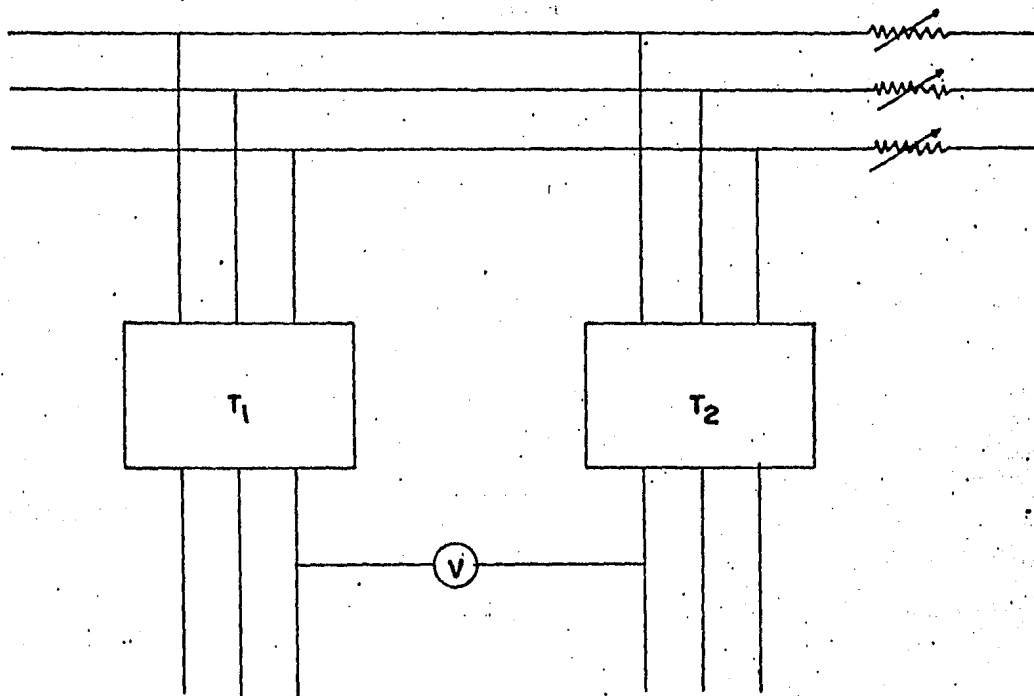


FIG. 4 - 37

- b). Determinar la secuencia de fases de cada transformador, si la secuencia de fases es la misma en los dos transformadores proceder con el siguiente paso, en el caso contrario se tendrá que invertir la conexión de dos de las terminales de cualquiera de los transformadores.
- c). Medir el voltaje en las terminales de los transformadores, donde el voltaje medido sea cero se procede a conectar las terminales entre si.
- d). Aplicar carga trifásica equilibrada a ambos transformadores.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué sucede si no se tiene la misma relación de transformación en los dos transformadores?

PRACTICA No. 9

CONEXIONES DE TRANSFORMADORES MONOFASICOS

1.- OBJETIVO: Efectuar la conexión de tres transformadores monofásicos en estrella-estrella, delta-delta y delta-estrella.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Tres transformadores monofásicos

Voltímetros

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Describir la forma en que se comprueba cuando una conexión trifásica está correctamente realizada.

4.- DESARROLLO:

- a). Conectar los tres transformadores en estrella-estrella, como se muestra en la Fig. 4-38.
- b). Aplicar voltaje en el primario.
- c). Efectuar mediciones de voltaje entre fases, tanto del primario como del secundario.
- d). Conectar los tres transformadores en delta-delta, como se muestra en la Fig. 4-39.
- e). Aplicar voltaje en el primario.
- f). Efectuar las mediciones de voltaje entre fases, tanto del primario como del secundario.
- g). Conectar los tres transformadores en delta-estrella, como se muestra en la Fig. 4-40.
- h). Aplicar el voltaje en el primario.
- i). Efectuar las mediciones de voltaje entre fases, tanto del primario como del secundario.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Llenar la tabla 27.

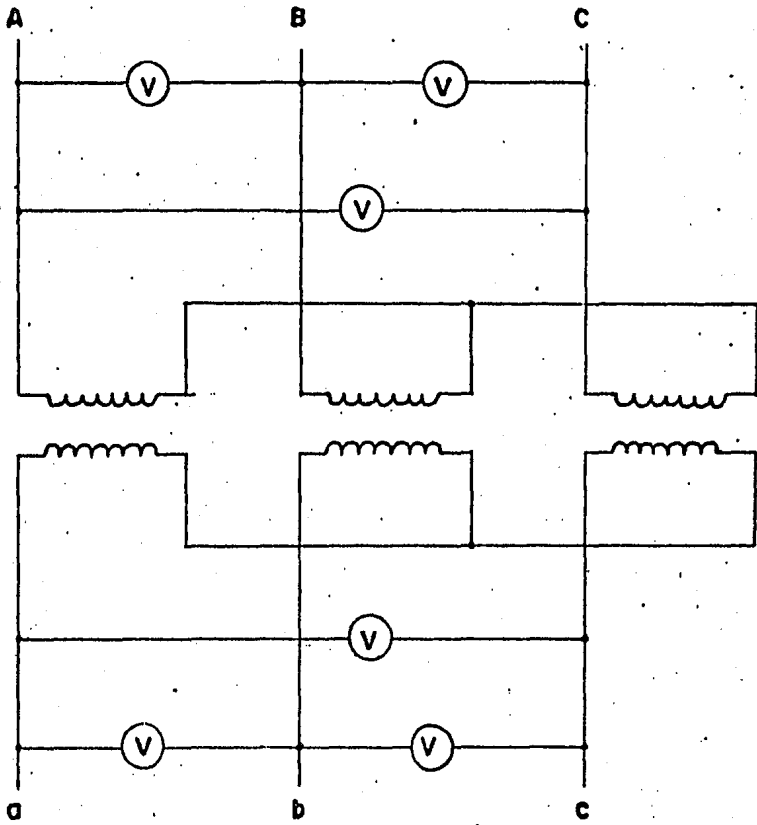


FIG. 4 - 38

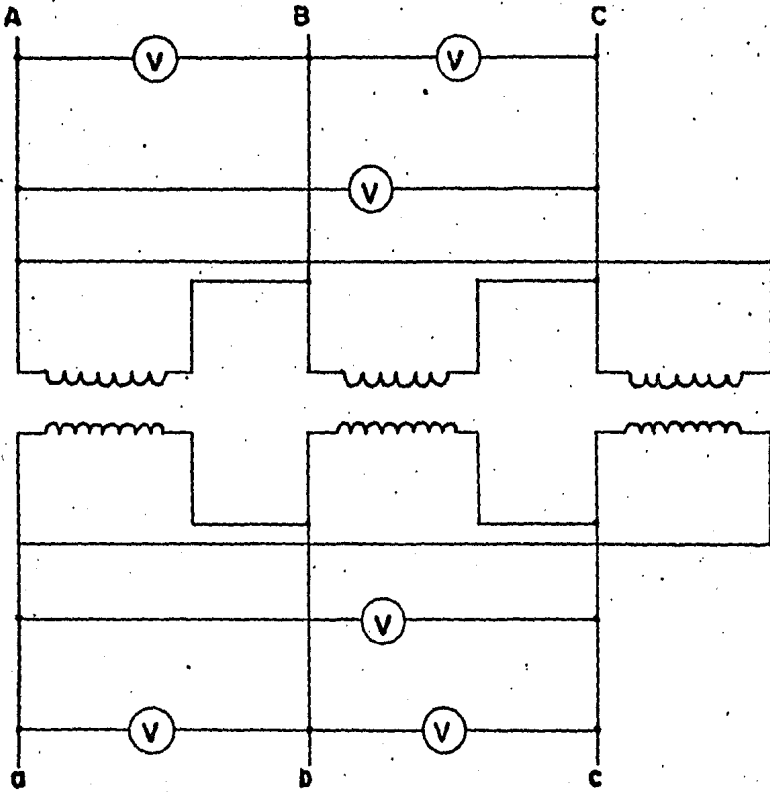


FIG. 4 - 39

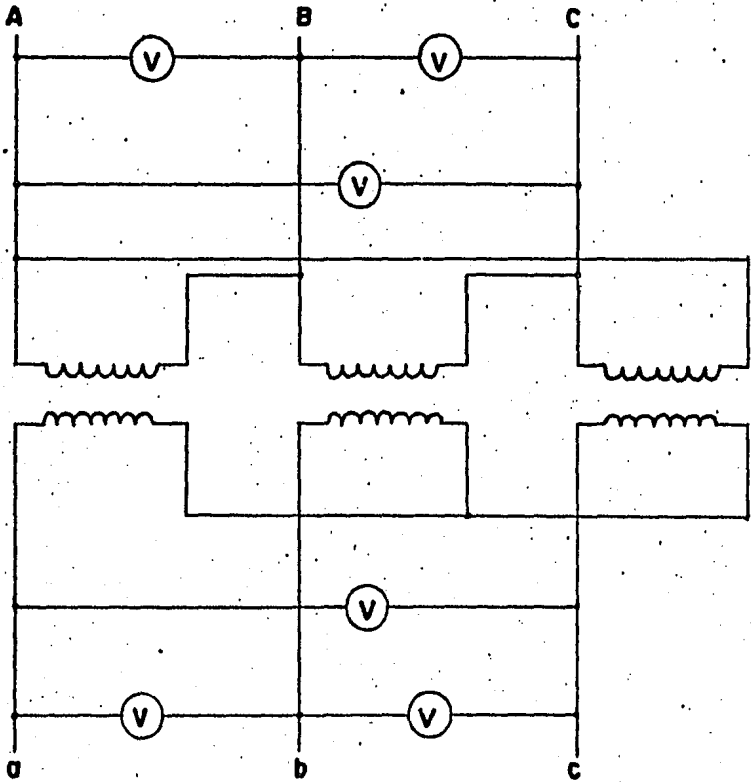


FIG. 4 - 40

TABLA No 27

CONEXION	V_{AB}	V_{BC}	V_{CA}	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿En qué circunstancias se usan generalmente las co
nexiones anteriores?

FRACTICA No. 10

EFICIENCIA EN TRANSFORMADORES

1.- OBJETIVO: Determinar las pérdidas de un transformador-
y calcular la eficiencia.

2.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu-
diente).

- a). Determinar las pérdidas en un transformador
b). Fórmula para el cálculo de la eficiencia de un - -
transformador.

3.- DESARROLLO:

- a). Obtener de la práctica No. 5 las pérdidas en vacío
 P_{oc} .
b). Obtener de la práctica No. 5 las pérdidas en el --
cobre P_{cc} .
c). Calcular las pérdidas por efecto Joule por la fór-
mula:

$$(\Sigma rI^2)_{tcc} = (r_1)_{tcc} I_1^2 + (r_2)_{tcc} I_2^2$$

Para alta tensión:

$$(r_1)_{tcc} = \frac{234.5 + tcc}{234.5 + t_1} (r_1)$$

Para la baja tensión:

$$(r_2)_{tcc} = \frac{234.5 + tcc}{234.5 + t_2} (r_2)$$

y referidas las pérdidas a 75°C:

$$(\sum rI^2)_{75} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + tcc} (\sum rI^2)_{tcc}$$

siendo: tcc = temperatura de la prueba de corto circuito.

r_1 y r_2 = resistencia de alta y baja tensión -- respectivamente.

t_1 y t_2 = temperatura de medición para cada resistencia.

d). Calcular las pérdidas indeterminadas por:

$$P_i = P_{cc} - (\sum rI^2)_{tcc}$$

referir estas pérdidas a 75°C:

$$(P_i)_{75} = \frac{234.5 + tcc}{234.5 + 75} P_i$$

e). Calcular las pérdidas totales por:

$$P_{tot} = P_{oc} + (\sum rI^2)_{75} + (P_i)_{75}$$

f). Calcular la eficiencia por:

$$\eta = \frac{\text{Potencia Entrada} - \text{Perd. Tot.}}{\text{Potencia Entrada}} \times 100$$

PRACTICA No. 11

IDENTIFICACION DE LAS PARTES PRINCIPALES DEL MOTOR DE
INDUCCION

1.- OBJETIVO: Estudio físico del motor de inducción y medición de la resistencia del estator y de la resistencia de aislamiento.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor trifásico de inducción

Un puente de Kelvin

Un Megger

Un termómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Esquema que muestre las partes principales del motor de inducción.

b). Descripción de la función de cada una de las partes principales.

4.- DESARROLLO:

a). Registre los datos de placa del motor asignado.

b). Trace un diagrama de las conexiones del estator y del rotor.

c). Diga que tipo de conexión tiene el estator del motor en prueba.

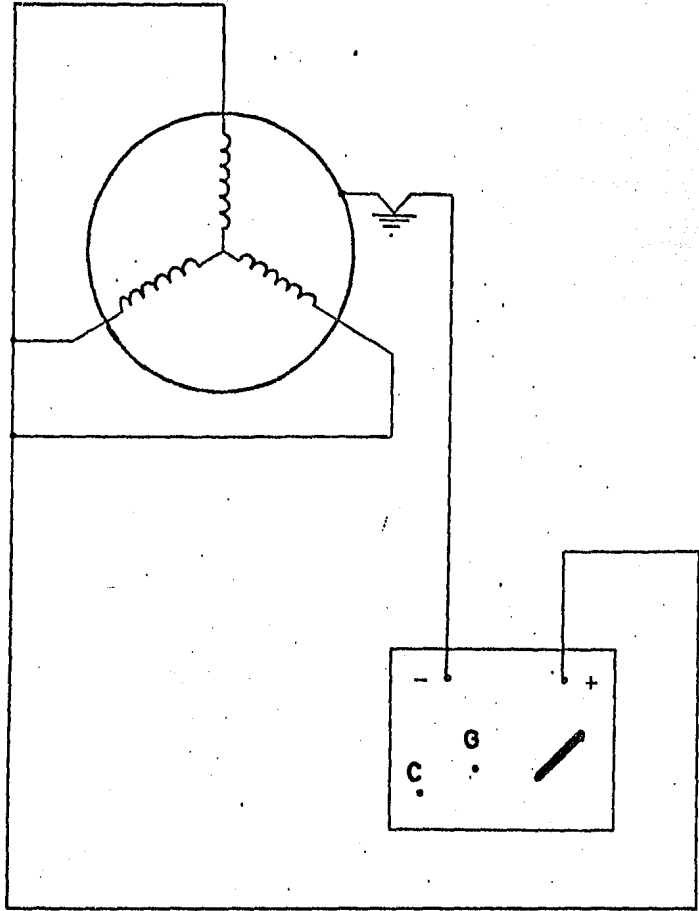


FIG. 4 - 41

- d). Con el puente de Kelvin mida la resistencia de los devanados del estator.
- e). Con el circuito mostrado en la Fig. 4-41, mida la resistencia de aislamiento.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular las resistencias de los embobinados del estator para 75°C

6.- PREGUNTAS:

- a). Indique algunas características y aplicaciones importantes de los motores de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado.

PRACTICA No. 12

ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCION

1.- OBJETIVO: Estudiar el arranque y regulación de velocidad de motores de inducción a voltaje nominal con resistencias en el rotor, a voltaje y resistencias en el rotor, a voltaje reducido y rotor abierto.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de inducción de rotor devanado

Voltímetros

Amperímetros

Reóstato de arranque

Transformador trifásico

Tacómetro

Frecuencímetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Explicar el arranque de los motores de inducción.
- b). Definir el deslizamiento de un motor de inducción.

4.- DESARROLLO:

I. ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCION A VOLTAJE NOMINAL.

- a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 42.
- b). Colocar la palanca del reóstato de arranque en la posición máxima y energizar el motor.
- c). Mover la posición de la palanca del reóstato de arranque al mínimo y tomar lectura de la velocidad del rotor, corriente de arranque y voltaje.

II. ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCION A VOLTAJE REDUCIDO

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-43.
- b). Realizar los mismos pasos de la prueba anterior.

III. ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCION A VOLTAJE REDUCIDO Y ROTOR ABIERTO.

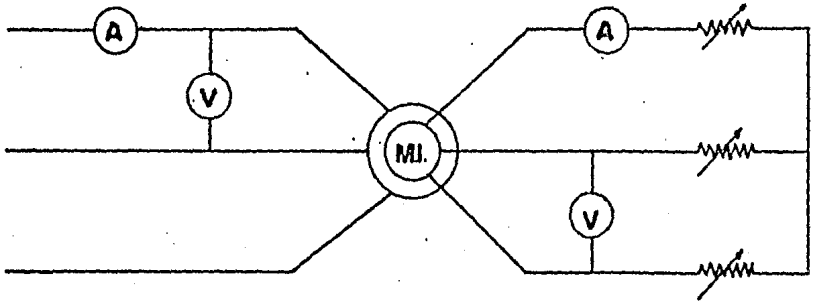


FIG. 4 - 42

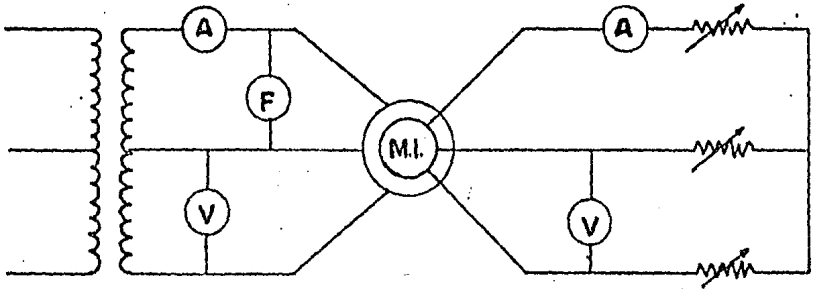


FIG. 4 - 43

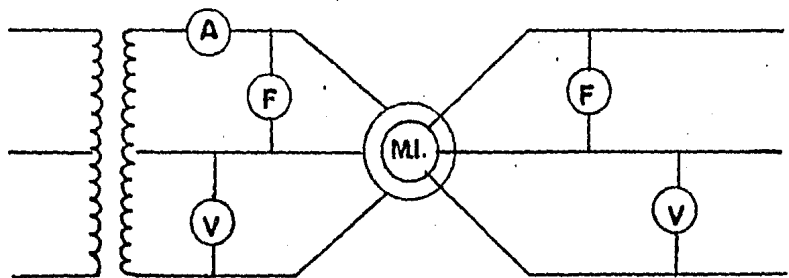


FIG. 4 - 44

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-44
- b). Llevar el motor a sus valores nominales de voltaje y corriente.
- c). Tener cuidado de no pasar de la corriente nominal.
- d). Tomar lecturas de la velocidad del rotor.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular el deslizamiento para cada una de las - - pruebas por medio de las fórmulas:

$$S = \frac{N - N_r}{N}$$

N = Velocidad síncrona

N_r = Velocidad del rotor.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Es conveniente arrancar los motores de inducción a voltaje reducido cuando son de gran potencia?
- b). ¿Qué se debe hacer para invertir el sentido de rotación de un motor de inducción trifásico?

PRACTICA No. 13

PRUEBA EN VACIO

1.- OBJETIVO: Encontrar la corriente, voltaje y potencia - de un motor de inducción para determinar su impedancia sin carga.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Motor de inducción

Wattmetros

Voltímetros

Amperímetros

Tacómetro

Frecuencímetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Determinar la impedancia a cero carga de un motor de inducción.

b). Determinar el circuito equivalente de un motor de inducción sin carga.

4.- DESARROLLO:

a). Armar el circuito como se muestra en la Fig. 4-45.

b). Arrancar el motor

c). Tomar los valores de corriente, voltaje, potencia y frecuencia nominales sin carga.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

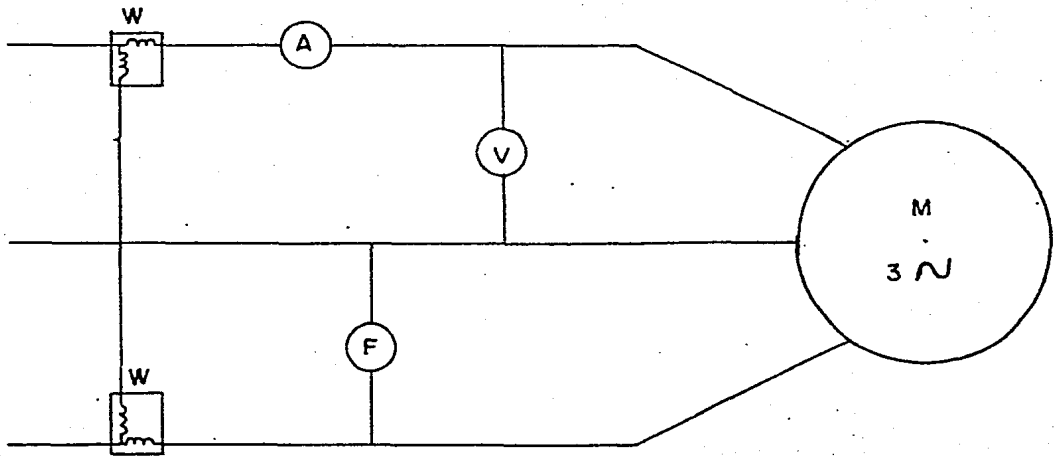


FIG. 4 - 45

a). Calcular la impedancia a cero carga por:

$$Z_0 = \frac{V_0}{\sqrt{3} I_0}$$

b). Calcular la resistencia a cero carga por:

$$R_0 = \frac{P_0}{3 I_0^2}$$

c). Calcular la reactancia a cero carga por:

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

d). Representar el circuito del motor de inducción a -
cero carga, con los valores obtenidos.

PRACTICA No. 14

PRUEBA A ROTOR BLOQUEADO

1.- OBJETIVO: Determinar los parámetros del circuito equivalente de un motor de inducción con el rotor bloqueado.

2.- MATERIAL Y EQUIPO: .

Motor de inducción

Wattmetros

Voltímetros

Amperímetros

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Determinar el circuito equivalente de un motor de inducción con el rotor bloqueado.

4.- DESARROLLO:

a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 46.

b). Frenar el rotor del motor de inducción

c). Aplicar una tensión de tal forma que se obtenga la corriente nominal.

d). Tomar lectura de voltaje, corriente y potencia.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Calcular la impedancia del motor por:

$$Z_b = \frac{V}{\sqrt{3} I_b}$$

b). Calcular la resistencia equivalente por:

$$R_b = \frac{P_b}{3I_b^2}$$

c). Calcular la reactancia equivalente por:

$$X_b = \sqrt{Z_b^2 - R_b^2}$$

d). Representar el circuito equivalente del motor de inducción con rotor bloqueado, con los datos obtenidos.

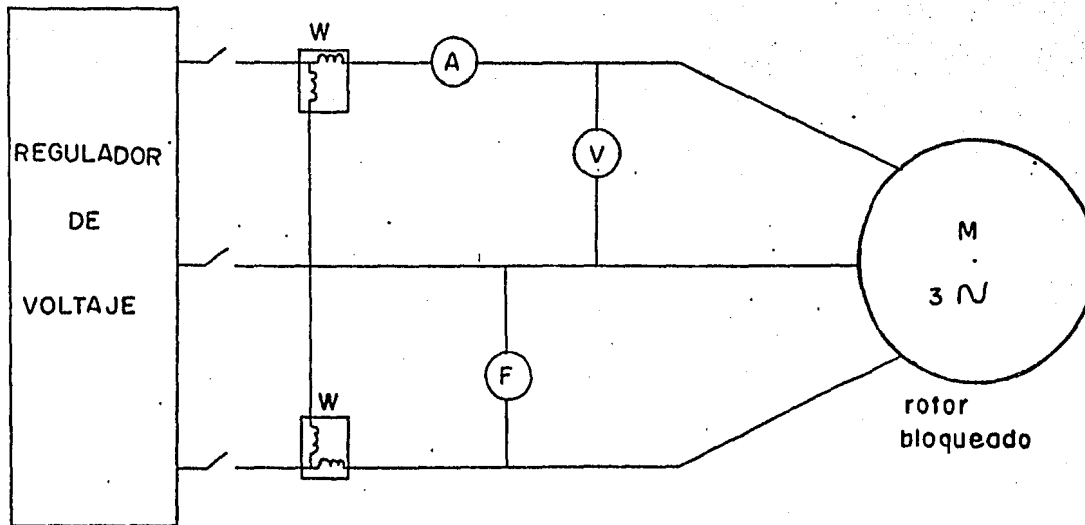


FIG. 4 - 46

PRACTICA No. 15

CURVAS PAR-VELOCIDAD

1.- OBJETIVO: Trazar la curva de par velocidad de un motor de inducción.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Motor de inducción
Dinamofreno
Amperímetros
Voltímetros
Reóstatos de arranque
Reóstato de campo
Tacómetro
Metro
Frecuencímetro
Carga resistiva

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Determinar el par desarrollado por un motor de inducción.
- b). Determinar la curva par-velocidad.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-47.

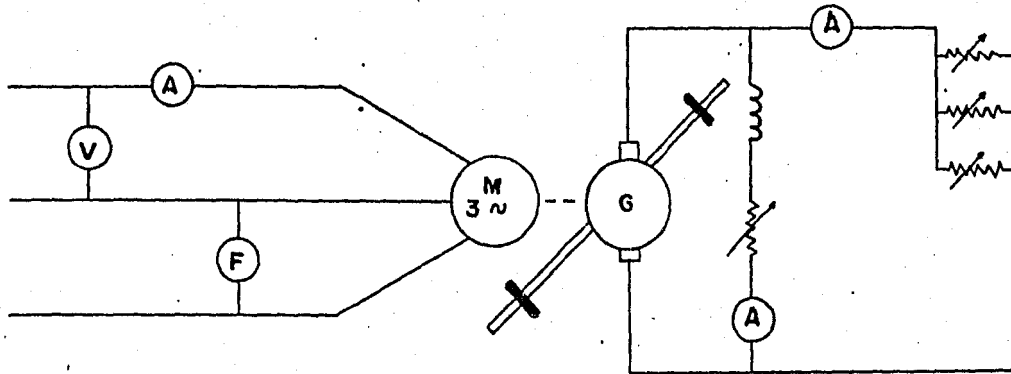


FIG. 4 - 47.

- b). Estando el motor parado, la armadura de la dínamo se pone en equilibrio con uno de los pesos llamado de calibración.
- c). Se arranca el motor y se vuelve a equilibrar la dínamo moviendo el otro peso en su brazo.
- d). Parar el motor y variar la carga del generador, calibrando nuevamente el dínamofreno como se indicó antes.
- e). Tomar lecturas de velocidad, par, voltaje y corriente para varias posiciones del reóstato de carga.
- f). Llene la tabla 28 y trazar la gráfica 19.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

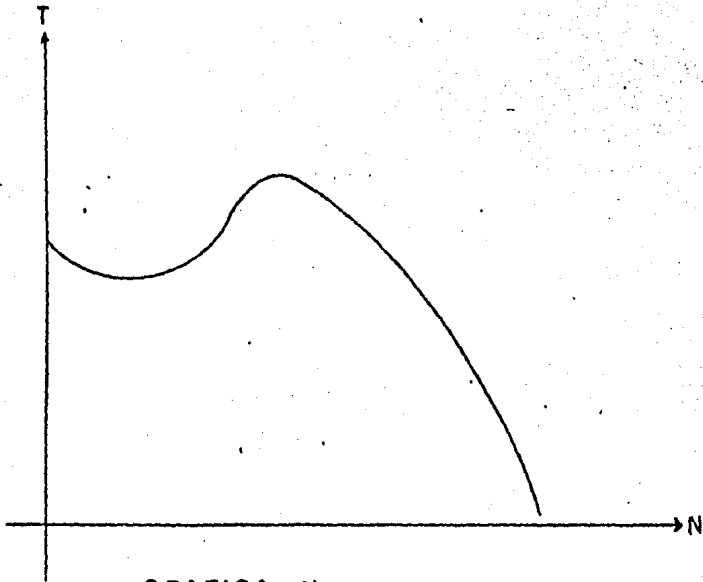
- a). Trazar la gráfica par-velocidad indicando en las abscisas la velocidad y en las ordenadas el par.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué es el par de arranque?
- b). ¿Qué es el par mínimo de arranque?
- c). ¿Qué es el par nominal?
- d). ¿Qué es el par máximo?

TABLA No 28

V	I	N	T



GRAFICA No 19

FRACTICA No. 16

EFICIENCIA DE MOTORES DE INDUCCION

1.- OBJETIVO: Determinar la eficiencia efectiva del motor-
de inducción en base a los datos obtenidos -
en la práctica de Curvas Par-Velocidad.

2.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu-
diante).

a). Definir la eficiencia convencional para motores de
inducción.

b). Definir la eficiencia efectiva.

3.- DESARROLLO:

a). Calcular la potencia de salida para cada par desa-
rrollado en la práctica Curvas Par-Velocidad, por-
medio de la fórmula:

$$P_s = TN$$

siendo: T el par en Newton-Metro.

N velocidad del rotor en radianes_{por} seg.

b). Calcular la potencia de entrada por la fórmula:

$$P_e = 3 I^2 R$$

siendo: I corriente del estator.

R resistencia a 75°C/fase del estator.

c). Calcular la eficiencia efectiva por:

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

FRACTICA No. 17

DIAGRAMA CIRCULAR

- 1.- OBJETIVO: Trazar el diagrama circular en base a las pruebas de vacío y corto circuito para determinar los parámetros deducibles de él.
- 2.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).
 - a). Definir el diagrama circular de Heyland.
- 3.- DESARROLLO:
 - a). De la práctica de prueba en vacío se requiere la corriente y la potencia consumida a voltaje nominal.
 - b). De la práctica de prueba a rotor bloqueado se requiere la corriente y la potencia consumida a voltaje nominal.
 - c). Calcular el ángulo de fase para la prueba en vacío y a rotor bloqueado.
 - d). Seleccionar la escala de corrientes para el trazado del diagrama circular y efectuarlo en la forma siguiente:

- e). En la Fig. 4-48 se trazan primeramente los ejes de referencia, para localizar el punto A se traza el segmento OA con una magnitud equivalente a la corriente en vacío formando el ángulo de fase respecto a las ordenadas (tensiones). Sus componentes son OB y BA.
- f). Para localizar el punto C, se traza el segmento OC con una magnitud equivalente a la corriente de rotor bloqueado, que forma un ángulo de fase respecto al eje de las tensiones. Sus componentes son OD y DC.
- g). El lugar geométrico de las corrientes, será un círculo que pase por los puntos A y C, cuyo centro se encontrará localizado en el segmento paralelo AE y el eje horizontal x .
- h). Se traza el segmento AC, se determina el centro del mismo y a partir de éste se traza la perpendicular FG, para obtener el punto G, que será el centro del círculo que pasará por los puntos A y C.
- i). El segmento EH se obtiene por:

$$EH = \frac{r_s}{R} EC$$

donde r_s es la resistencia del estator y R es la resistencia del estator y rotor.

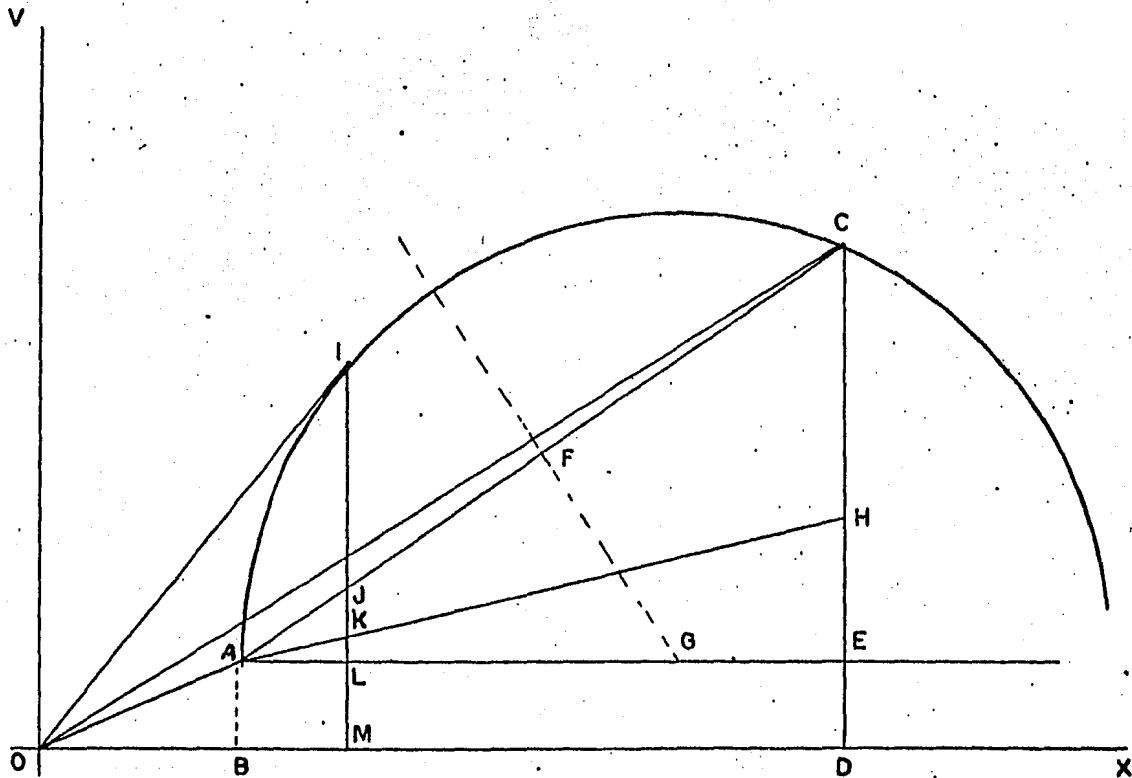


FIG. 4 - 48

- j). Para localizar el punto I se toma en cuenta la corriente nominal de placa. Con un compás abierto en esta longitud, apoyándose en el origen se encuentra el punto I con la intersección del círculo.
- k). Al trazar la vertical que pasa por I se encuentran los puntos J, K, L, M.

4.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

Del diagrama circular trazado obtener:

- a). Potencia real de entrada por fase.
- b). Pérdidas mecánicas y magnéticas por fase.
- c). Pérdidas eléctricas en el estator por fase.
- d). Pérdidas eléctricas en el rotor por fase.
- e). Potencia mecánica de salida por fase.
- f). Deslizamiento.
- g). Factor de potencia.
- h). Eficiencia.
- i). Velocidad del rotor.

PRACTICA No. 18

EL MOTOR DE INDUCCION COMO CONVERTIDOR DE

FRECUENCIA

1.- OBJETIVO: Observar las diferentes formas de funcionamiento que corresponden para diferentes valores de deslizamiento.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo Motor -Generador.

Máquina de corriente directa.

Máquina de inducción.

Amperímetros.

Voltímetros.

Reóstatos de arranque.

Reóstatos de campo.

Tacómetro.

Frecuencímetro.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Determinar el deslizamiento de un motor de inducción.

b). Deducir la ecuación de voltaje inducido por una máquina de inducción.

4.- DESARROLLO:

a). Armar el circuito de la Fig. 4-49.

b). Poner a trabajar el grupo motor generador I y alimentar el motor de corriente directa que está acoplado a la máquina de inducción.

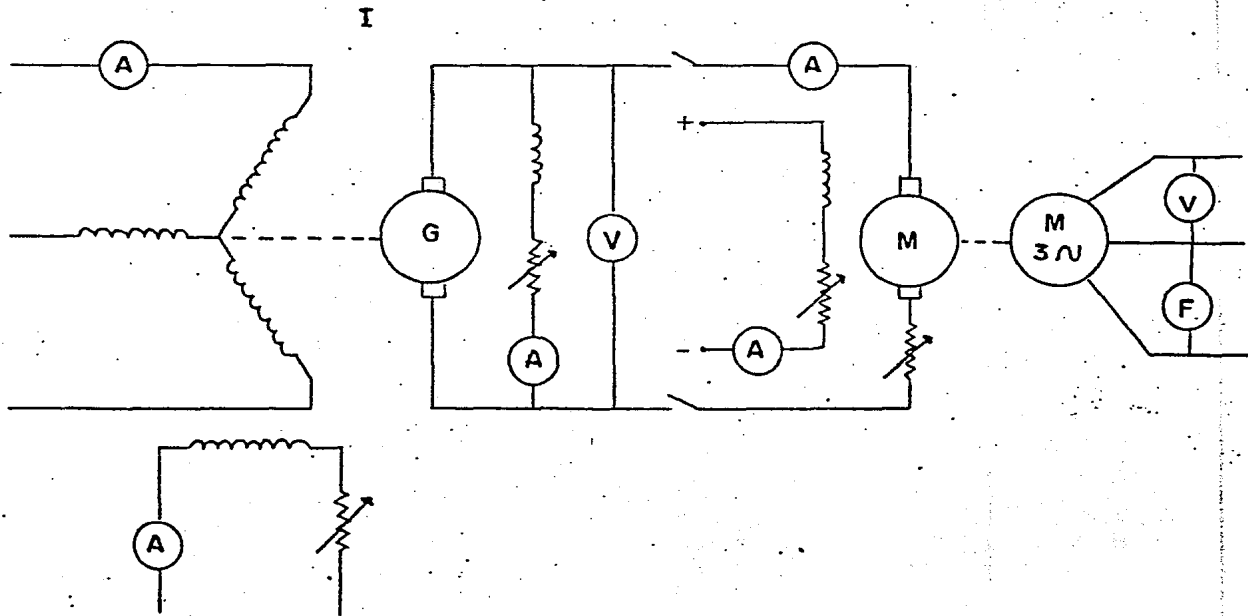


FIG. 4 - 49

- c). Variar la velocidad del motor de corriente directa acoplado a la máquina de inducción, hacer que esta velocidad sea mayor que la velocidad síncrona de la máquina de inducción.
- d). Ir disminuyendo la velocidad hasta la velocidad de síncronismo de la máquina de inducción.
- e). Tomar lectura del voltaje generado por la máquina de inducción, frecuencia de este voltaje y velocidad de la máquina.
- f). Llenar la tabla 29.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular el deslizamiento para cada una de las medidas de velocidad.
- b). Calcular el deslizamiento para cada una de las medidas de la frecuencia.

6.- PREGUNTAS:

- a). Para el deslizamiento positivo, ¿la máquina está trabajando como motor o como generador?
- b). Para el deslizamiento negativo, ¿la máquina está trabajando como motor o como generador?

TABLA No 29

N	Vg	F

4.3.- LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS III

PRACTICA No. 1

METODOS DE ARRANQUE PARA EL MOTOR SINCRONO

1.- OBJETIVO: Estudiar los diferentes métodos de arranque del motor síncrono.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor síncrono
Reóstato de arranque
Reóstato de campo
Amperímetros
Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Describir el principio de operación del motor síncrono.

4.- DESARROLLO:

I. ARRANQUE POR MEDIO DE RESISTENCIA EN EL ESTATOR

a). Armar el circuito de la Fig. 4-50

b). Poner la resistencia del estator al máximo y aplicar la tensión, esta resistencia deberá disminuirse lentamente para lograr un arranque suave.

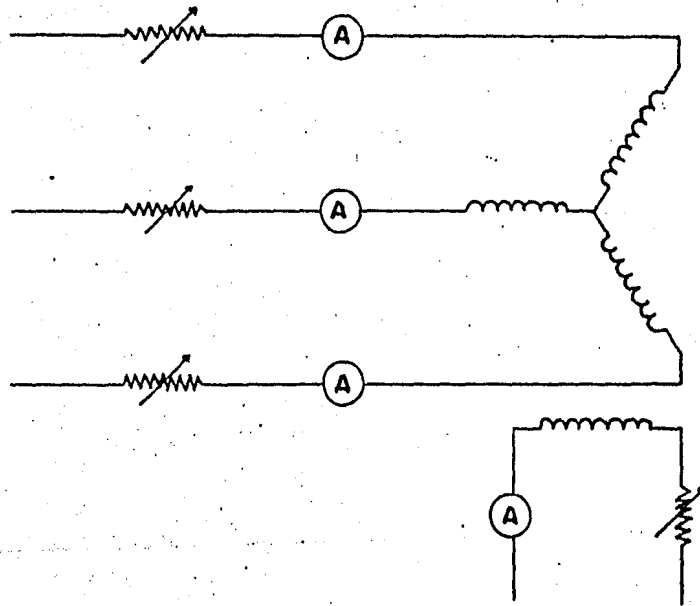


FIG. 4 - 50

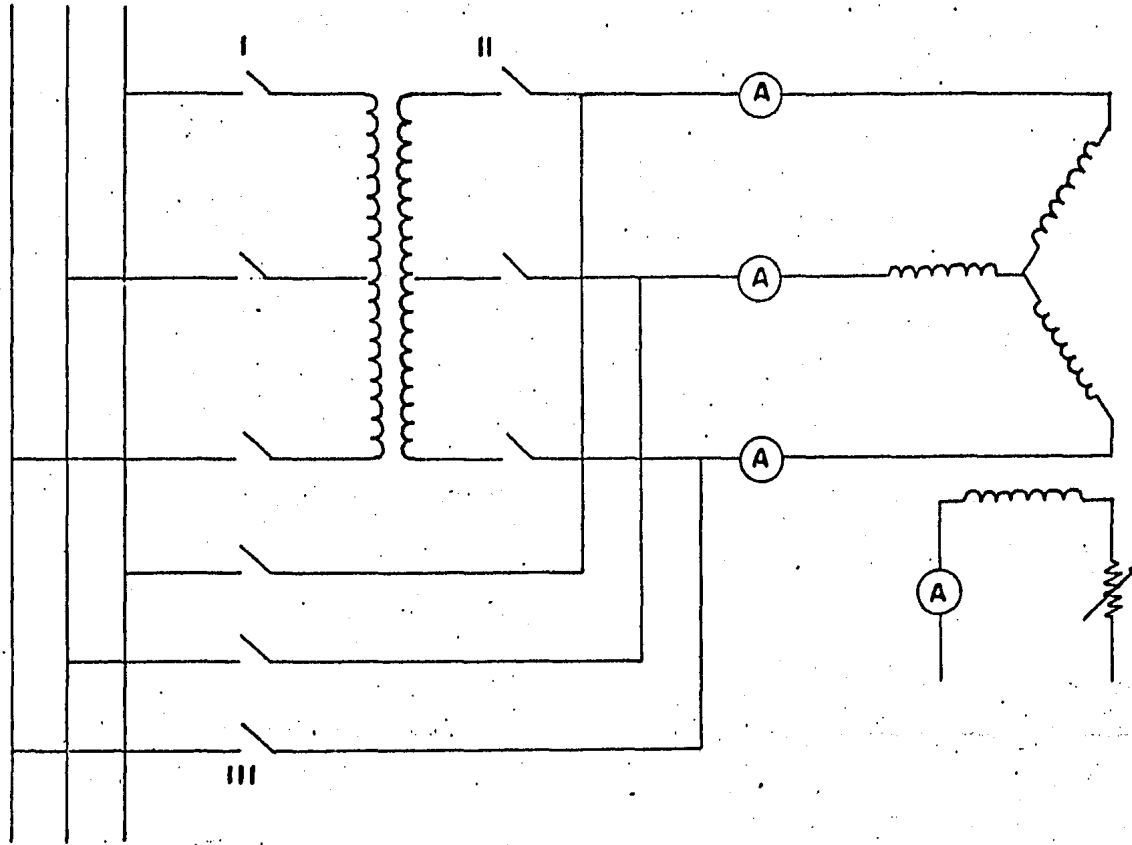


FIG. 4-51

- c). Al llegar la velocidad aproximadamente al valor nominal se excita el campo para que entre el motor en sincronismo, se regula el reóstato para obtener la mínima corriente de excitación.

II. ARRANQUE A TENSION REDUCIDA

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-51
- b). Estando inicialmente todos los interruptores abiertos. Se cierra el interruptor I y después el II.
- c). Cuando el motor ha alcanzado su velocidad nominal, simultáneamente se abre II y se cierra III, esta operación debe ser rápida para que no pierda velocidad el motor.
- d). Abierto el interruptor II y cerrado el III se excita el campo y se ajusta su reóstato para tener la mínima corriente de excitación.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué se debe hacer para invertir el sentido de rotación del motor?

PRACTICA No. 2

CURVAS "V" DEL MOTOR SINCRONO

1.- OBJETIVO: Hacer el trazo de las curvas "V" del motor -
síncrono para diferentes valores de carga.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un grupo motor-generator

Amperímetros

Voltímetros

Reóstatos de campo

Reóstato de arranque

Carga resistiva

Tacómetro

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu--
diante).

a). Determinar las curvas "V" del motor síncrono

b). Aplicaciones de estas curvas.

4.- DESARROLLO:

a). El diagrama a utilizar será el de la Fig. 4-52

b). Arrancar el motor síncrono sin carga y ajustar el-
reóstato de campo a la corriente mínima.

c). Ir aumentando la corriente de excitación paulatina-
mente, llenar la tabla 30.

d). Para obtener las curvas a 25, 50, 75 y 100% de la-
carga del motor, se siguen los pasos siguientes:

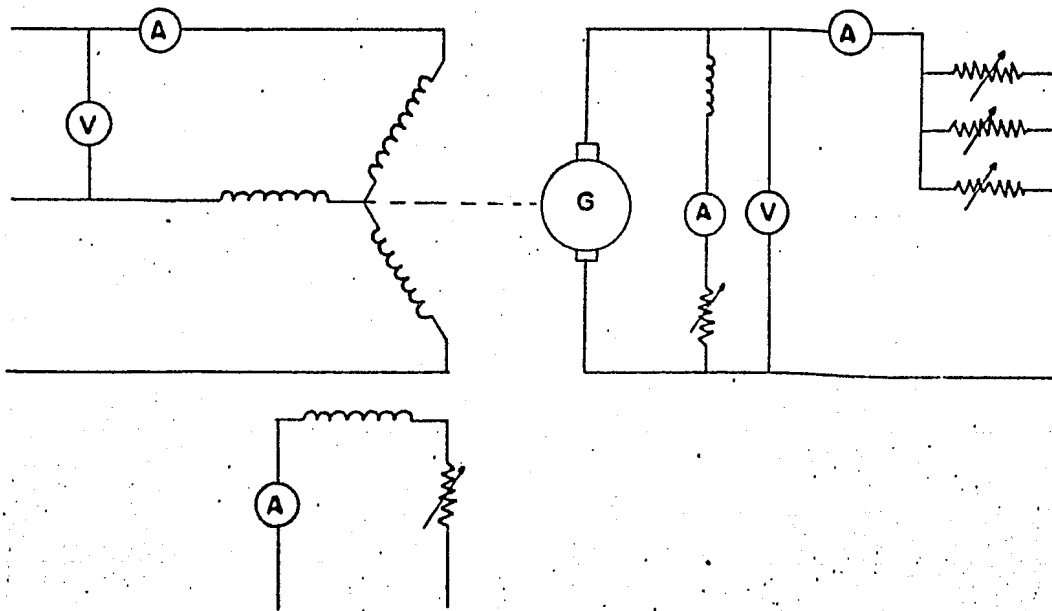


FIG. 4-52

e). Se arranca el motor síncrono y se carga con el generador de corriente directa variando esta con su carga resistiva, se toman las lecturas para determinar cada curva. Llenar las tablas Nos. 31, 32, 33 y 34.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

a). Con los datos obtenidos se trazan las curvas "v", tomando como abscisas los valores de la corriente de excitación y en las ordenadas los valores de la corriente de línea. Ver Fig. 2-31.

6.- PREGUNTAS:

a). ¿Qué pasos se deben seguir para corregir el factor de potencia de una instalación mediante un motor síncrono?

PRACTICA No. 3

PAR, POTENCIA Y EFICIENCIA

1.- OBJETIVO: Determinar las curvas par, potencia y eficiencia del motor síncrono.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Motor síncrono.

Dínamofreno.
Amperímetros.
Voltímetros.
Wattmetros.
Reóstatos de campo.
Carga resistiva.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

- a). Descripción de las curvas par, potencia y eficiencia.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-53.
- b). Estando el motor parado, la armadura de la dínamo se pone en equilibrio con uno de los pesos llamado de calibración.
- c). Se arranca el motor síncrono, y se vuelve a equilibrar la dínamo moviendo el otro peso en su brazo.
- d). Cargar la dínamo al 110% aproximadamente, calibrando nuevamente.
- e). Se reduce la carga paulatinamente y se toman las lecturas para llenar la tabla 35 y trazar la gráfica 20.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular la potencia mecánica por la fórmula:

$$P_{mec.} = 2 \pi T.N$$

b). Calcular la eficiencia por medio de:

$$\eta = \frac{\text{Pot. mec.}}{\text{Pot. ele.}} \times 100$$

donde la potencia eléctrica es la potencia de entrada al motor síncrono.

c). Trazar las curvas de par, potencia y eficiencia, tomando como abscisas la corriente de línea y en las ordenadas el par, la potencia y la eficiencia elaborando una gráfica para cada caso.

6.- PREGUNTAS:

a). Para motores de grandes capacidades ¿ qué método se aplica para obtener la eficiencia? :

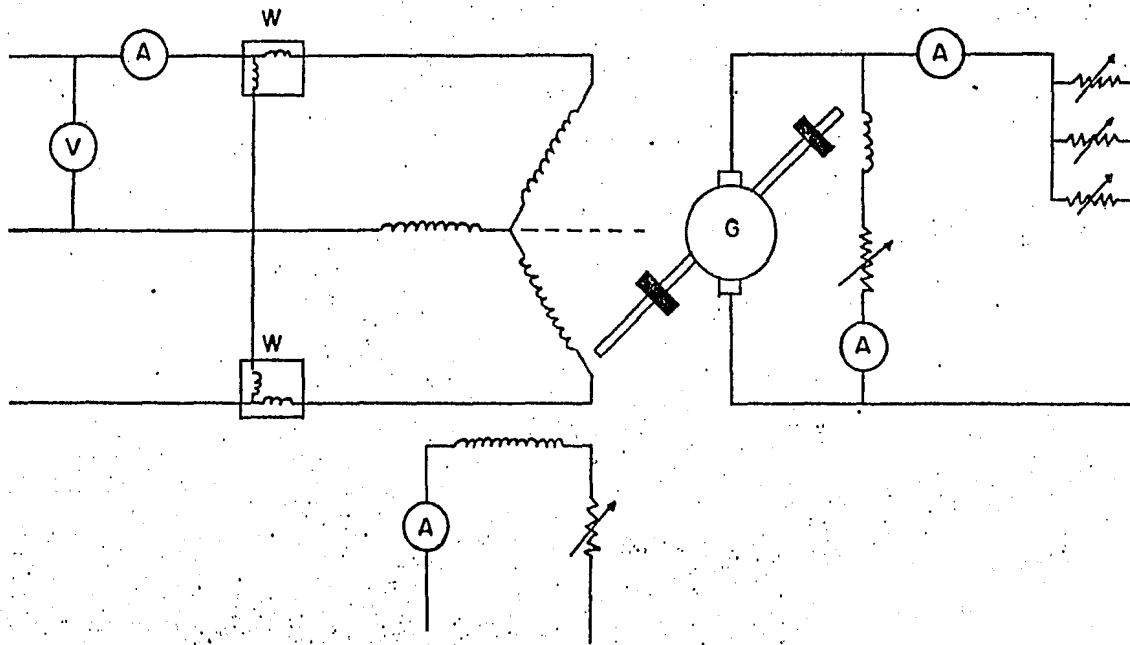
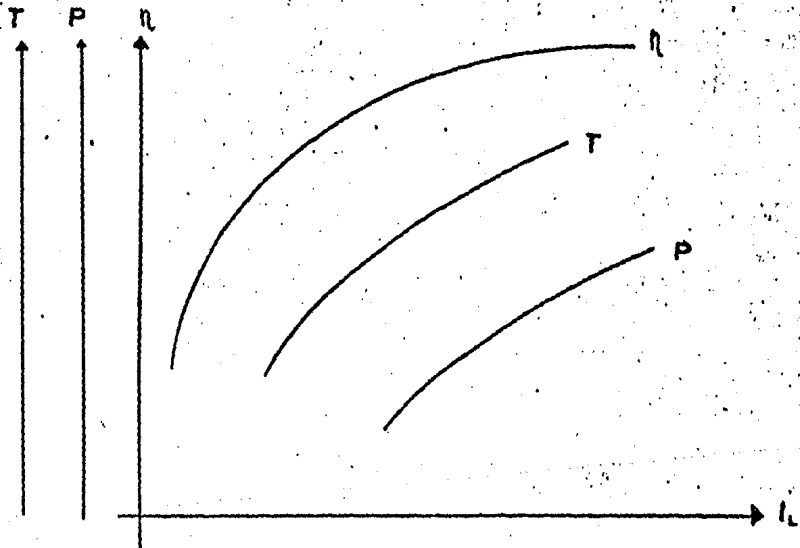


FIG. 4 - 53

TABLA No 35

N	i_{exc}	i_L	T	W	V
cte					
cte					
cte					
cte					
cte					
cte					



GRAFICA No 20

PRACTICA No. 4

ARRANQUE A TENSION PLENA DE UN MOTOR TRIFASICO DE
INDUCCION JAULA DE ARDILLA POR UN DISPOSITIVO
PILOTO (DOS HILOS) Y UNA ESTACION DE
BOTONES (TRES HILOS)

1.- OBJETIVO: Al término de la práctica el estudiante podrá distinguir la operación semiautomática, con circuitos de control de tres y dos hilos respectivamente, adiestrandose en el alambrado de los mismos.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de inducción jaula de ardilla trifásico.

Un desconectador a tensión plena trifásico.

Un desconectador de navajas o un interruptor termomagnético.

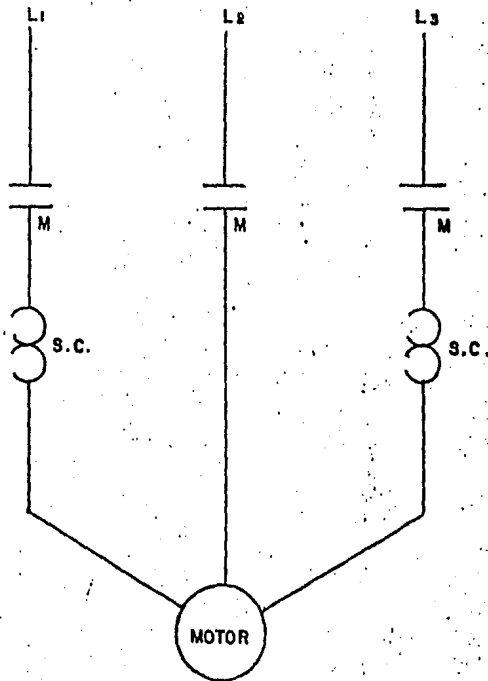
Una estación de botones (arrancar-parar).

Un dispositivo piloto (interruptor de límite, flotador, etc.).

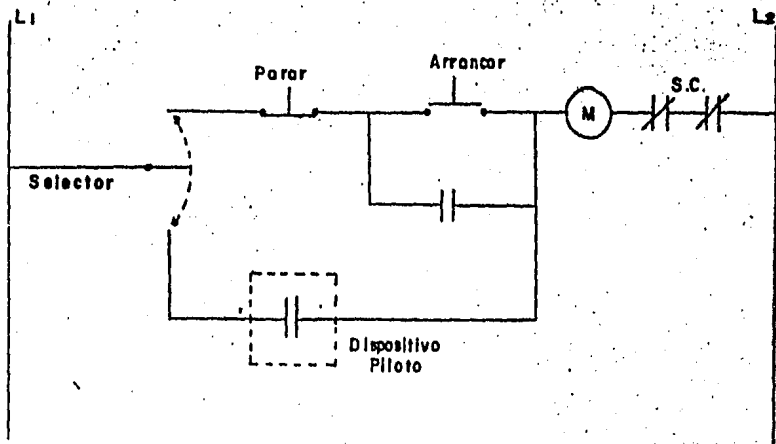
3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicar el circuito de dos hilos.

b). Explicar el circuito de tres hilos.



CIRCUITO DE CARGA



CIRCUITO DE CONTROL

FIG. 4 - 54

- c). Describir el arranque a tensión plena de un motor de inducción jaula de ardilla.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-54.
- b). Operar el motor desde la estación de botones, simulando un disparo térmico.
- c). Operar el motor desde el dispositivo piloto, simulando el disparo térmico.

5.- PREGUNTAS:

- a). En el circuito de tres hilos, se emplea un contacto (de control de arranque) adicional ¿Cuál es su función?
- b). Después de restablecer una sobrecarga ¿Cómo se - - arranca el motor en los circuitos de dos y tres hilos?
- c). ¿En qué situaciones se emplearían los circuitos de dos y tres hilos?

PRACTICA No. 5

ARRANQUE A TENSION PLENA DE DOS MOTORES TRIFASICOS
DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA EN SECUENCIA
MANDADOS DESDE UNA ESTACION DE BOTONES

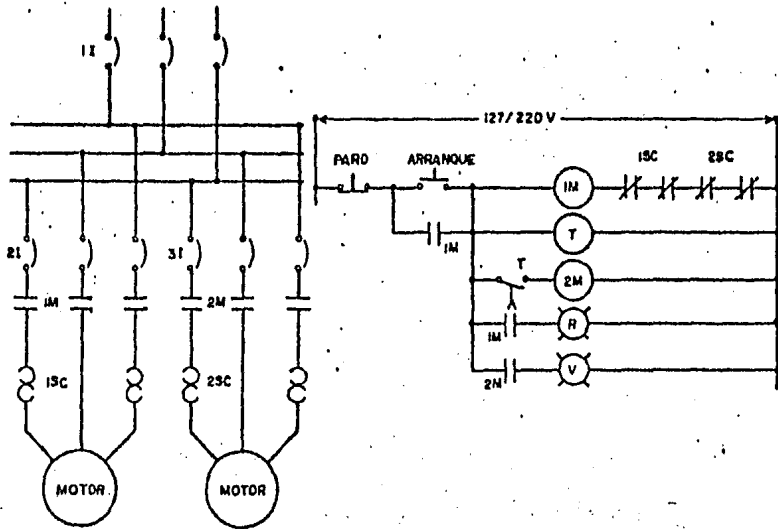


FIG. 4-55

1.- OBJETIVO: Al término de la práctica, el estudiante podrá arrancar motores en secuencia con el empleo de dispositivos de control de tiempo, adiestrándose en el alambrado de los circuitos de control

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Dos motores trifásicos jaula de ardilla.

Tres desconectadores de cuchillas o tres interruptores termomagnéticos.

Dos arrancadores a tensión plena.

Una estación de botones (arrancar-parar).

Un dispositivo de control de tiempo, con retardo después de la excitación.

Dos lámparas de señalización.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicar el funcionamiento de un relevador de control de tiempo.

4.- DESARROLLO:

a). Armar el circuito de la Fig. 4-55

b). Operar los motores desde la estación de botones, variando el tiempo de retardo en la entrada del segundo motor.

c). Operar los motores desde la estación de botones, simulando el disparo térmico.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿En qué aplicaciones se podría emplear este tipo - de circuitos?
- b). ¿Cómo se modificaría el circuito de control, para que en caso de una sobrecarga, el motor no afectado siguiera su marcha?

FRACTICA No. 6

ARRANQUE A TENSION PLENA DE UN MOTOR TRIFASICO
DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA CON INVERSION
DE ROTACION

1.- OBJETIVO: Al término de la práctica, el alumno podrá - realizar la inversión de giro en los motores de inducción, empleando dispositivos manuales y de control magnético.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de inducción trifásico jaula de ardilla.

Un desconectador de navajas o interruptor -- termomagnético.

Un interruptor de tambor

Dos contactores (con bloqueo mecánico)

Un relevador de sobrecarga

Una estación de botones (adelante-paro-rever
sa).

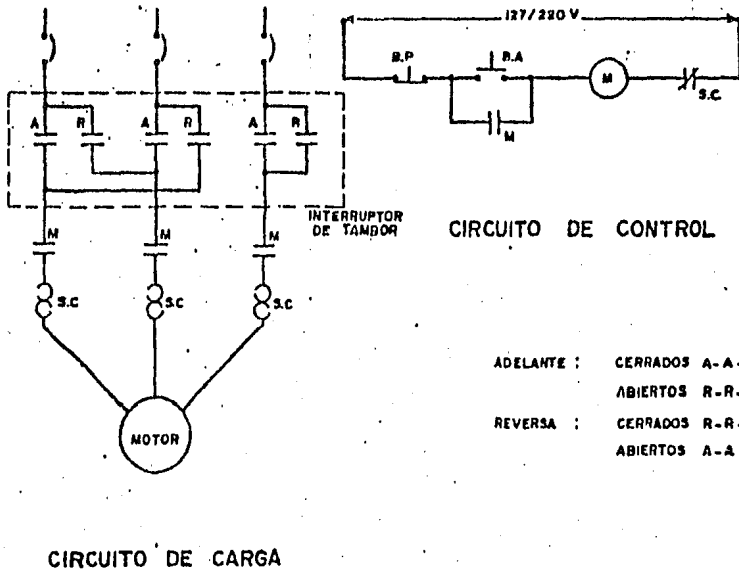


FIG. 4-56

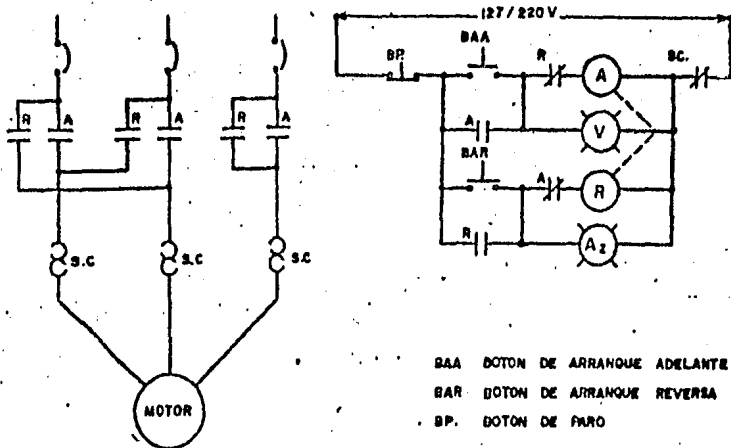


FIG. 4-57

Dos lámparas piloto.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estu--
diante).

- a). Describir como se lleva a cabo la inversión de ro-
tación en los motores de inducción para los dife--
rentes tipos de arrancadores.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito con interruptor de tambor. Fig.-
4-56.
- b). Operar el motor con el interruptor de tambor simu-
lando un disparo térmico.
- c). Armar el circuito con arrancador magnético Fig. --
4-57.
- d). Operar el motor con el arrancador magnético, simu-
lando un disparo térmico.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué función tienen en el control megnético, los -
bloques eléctrico y mecánico?
- b). ¿Cómo se realizan estos bloqueos?

FRACTICA No. 7

ARRANQUE A TENSION DE UN MOTOR TRIFASICO DE
DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA, POR

EL METODO DE RESISTENCIAS

1.- **OBJETIVO:** Al término de la práctica, el estudiante, podrá realizar el arranque de motores de inducción empleando resistencias primarias.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de inducción jaula de ardilla trifásico.

Un desconectador de navajas o interruptor termomagnético.

Dos contactores

Un relevador de sobrecarga

Una estación de botones (arrancar-parar).

Un banco de resistencias trifásico.

3.- **TEORIA BASICA:** (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicar los diferentes tipos de arranque a tensión reducida de los motores de inducción jaula de ardilla.

4.- DESARROLLO:

a). Conectar el circuito de la Fig. 4-58

b). Operar el motor a tensión plena desde la estación de botones, midiendo la corriente de arranque.

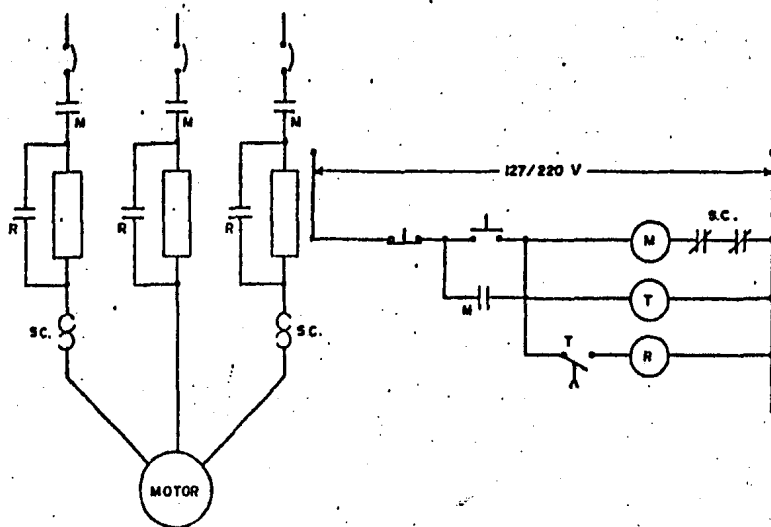


FIG. 4-58

c). Operar el motor a tensión reducida con las resistencias, desde la estación de botones, midiendo la tensión en los bornes del motor durante el arranque, así como también la corriente demandada.

5.- RESULTADOS Y OBSERVACIONES:

- a). Calcular la corriente de arranque reducida.
- b). Verificar la lectura tomada con el cálculo anterior.

6.- PREGUNTAS:

- a). ¿Resultaría conveniente agregar varios pasos en las resistencias limitadoras?
- b). En el caso en que se desearan dar pasos (caídas de 20% y 10% de la tensión nominal) ¿Qué valores de resistencia se necesitarían?

PRÁCTICA No. 8

ARRANQUE MANUAL DE MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

1.- OBJETIVO: Al término de la práctica, el estudiante podrá poner en marcha motores de corriente directa mediante el empleo de arrancadores manuales.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de corriente directa
Un reóstato de tres terminales
Un reóstato de cuatro terminales.

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicar el funcionamiento de los diferentes tipos de arrancadores manuales para motores de corriente directa.

4.- DESARROLLO:

- a). Armar el circuito de la Fig. 4-59
- b). Arrancar el motor, cerrando el interruptor y moviendo la manivela uniforme y no muy lentamente para evitar flameo en las terminales.
- c). Cuando se trabaje con el arrancador de cuatro puntos accionar el reóstato de campo para variar la velocidad.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿Cuál es el objeto de la bobina de retención en los circuitos vistos?
- b). ¿Cuál es la diferencia entre los reóstatos manuales de tres y cuatro puntos?

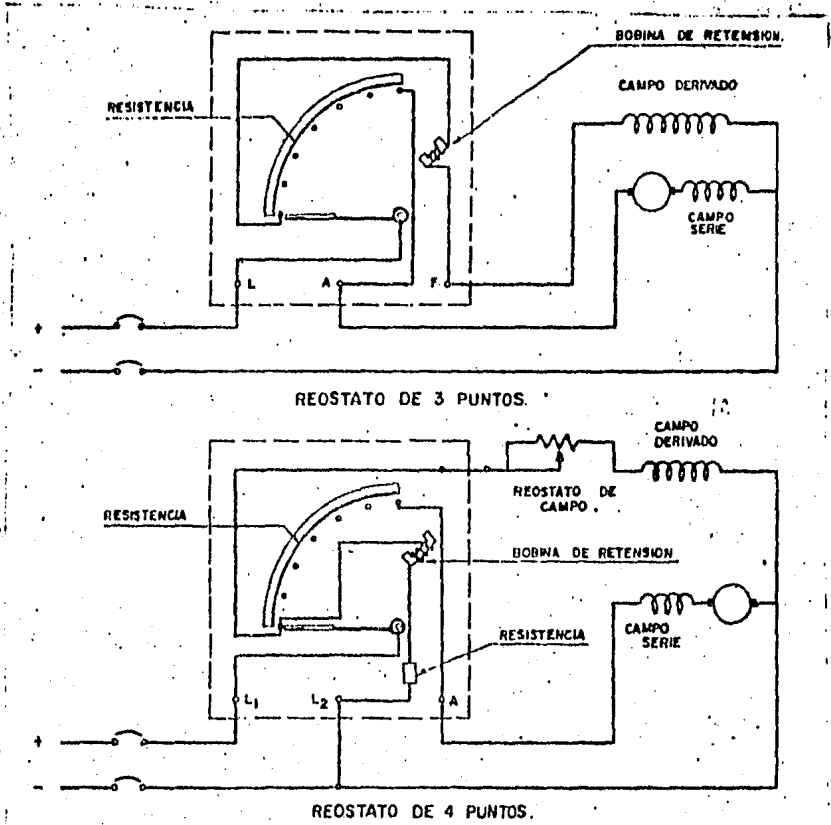


FIG. 4-59

FRACTICA No. 9

ACELERACION A LIMITE DE TIEMPO DE UN MOTOR DE

CORRIENTE DIRECTA

1.- **OBJETIVO:** Al término de la práctica el estudiante podrá arrancar motores de corriente directa mediante el empleo de relevadores de tiempo para la desconexión de la resistencia aceleradora.

2.- **MATERIAL Y EQUIPO:**

Un motor de corriente directa.

Un interruptor termomagnético o un desconectador de cuchillas.

Un arrancador de corriente directa.

Tres contactores de corriente directa.

Dos relevadores de tiempo a bobina excitada (neumáticos).

Una estación de botones (arrancar-parar)

Un banco de resistencias.

3.- **TEORIA BASICA:** (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Explicar el arranque de motores de corriente directa empleando relevadores de tiempo.

4.- **DESARROLLO:**

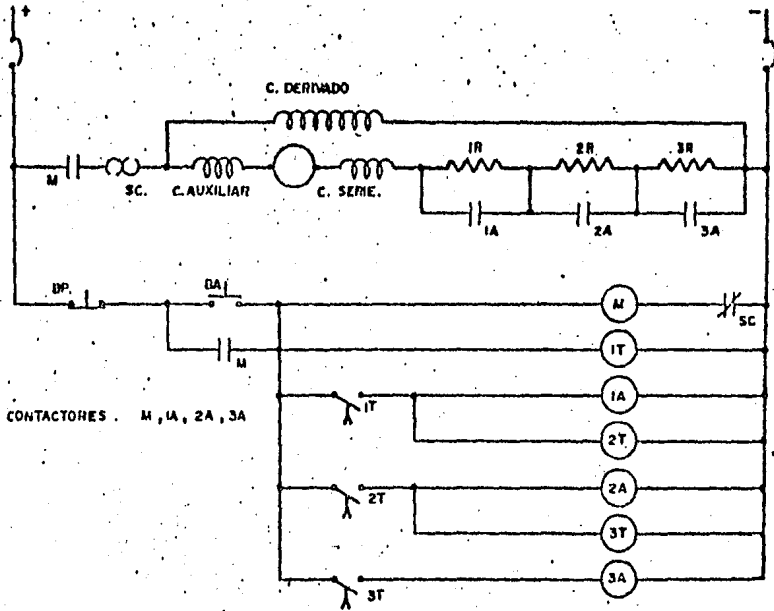


FIG. 4-60

- a). Conectar el circuito de la Fig. 4-60
- b). Arrancar la máquina, fijando los tiempos de operación de los relevadores, con los cuales se tenga una operación adecuada.
- c). Simular un disparo térmico.

5.- PREGUNTAS:

- a). ¿Qué ocurriría si se redujeran los pasos de resistencia??

PRACTICA No. 10

INVERSION DE ROTACION EN MOTORES DE CORRIENTE

DIRECTA

1.- OBJETIVO: Al término de la práctica, el estudiante podrá realizar la inversión de rotación en motores de corriente directa mediante el empleo de circuitos de control magnético.

2.- MATERIAL Y EQUIPO:

Un motor de corriente directa

Dos relevadores de tiempo a bobina excitada

Cinco contactores de corriente directa

Una estación de botones (adelante-paro-reversa).

Un banco de resistencias

3.- TEORIA BASICA: (Trabajo de investigación por el estudiante).

a). Describir la inversión de rotación en los motores de corriente directa para los diferentes tipos de control.

4.- DESARROLLO:

a). Armar el circuito de la Fig. 4 - 61.

b). Operar el motor en uno y otro sentido. Cuidando -- que la máquina se detenga completamente, antes de conectarla para invertir su rotación.

5.- PREGUNTAS:

a). ¿En qué aplicaciones se sugeriría el empleo de -- arrancadores reversibles?

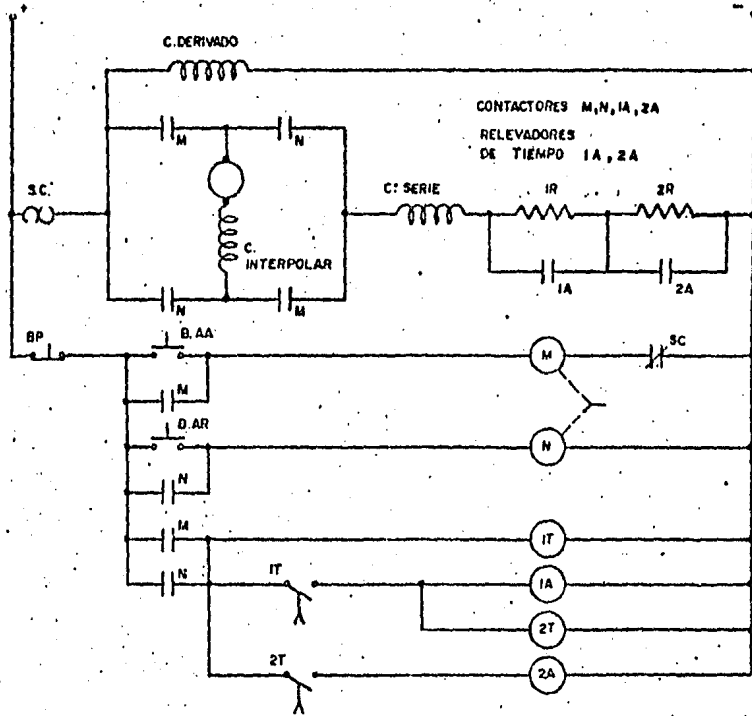


FIG. 4-61

C A P I T U L O 5

MAQUINARIA Y EQUIPO

NECESARIO

5.1.- MAQUINARIA.

La elección adecuada de las diferentes máquinas eléctricas con las cuales va a estar conformado el laboratorio, es sumamente importante porque esto coadyuvará en el desarrollo de las prácticas de una mejor forma.

Uno de los principales requisitos que deben de cubrir las máquinas eléctricas destinadas a un laboratorio de enseñanza, es la protección de todos sus elementos para evitar así daños que puedan en algún caso dejarlas fuera de servicio. Lo anterior se debe de cumplir ya que las máquinas van a ser operadas por alumnos que no cuentan con experiencia en el trato de estas, y esto da margen a que las equivocaciones estén presentes en el desarrollo de cada prueba, muy independientemente de la supervisión realizada por el instructor o profesor.

Aunque nuestro País cuenta con fábricas que elaboran maquinaria eléctrica, para la realización de prácticas en las escuelas de enseñanza a nivel superior; la tendencia de las universidades y tecnológicos es la de adquirir la maquinaria en los países que tienen un amplio desarrollo en este aspecto, por tener ciertas ventajas sobre las de fabrica---

ción nacional.

La maquinaria que se describe para la realización de las prácticas que se desarrollan en el capítulo anterior es de origen extranjero. La mayor parte de la maquinaria que se sugiere se encuentra instalada en el Laboratorio de Conversión Eléctrica, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional; una parte de esta maquinaria fué recientemente adquirida por la E.S.I.M.E. para su ampliación, dándonos esto la posibilidad de poder adquirirla en el mercado.

En lo que respecta al costo de esta maquinaria su presupuesto puede ser calculado por cualquier empresa que cuente con esta maquinaria. En esta tesis no se incluye el presupuesto dado que las empresas que cuentan con esta maquinaria y equipo de medición, elaboran los presupuestos bajo una petición oficial por parte de la escuela que lo requiera; por esta razón se deja a criterio de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Zacatecas la solicitud respectiva si es que se toma en cuenta el tipo de maquinaria propuesta en este trabajo.

Tocante al número de maquinas y al equipo de medición que se incluye, se fundamenta en lo siguiente:

- a) Considerando que los grupos tendrán un máximo de 40 alumnos.
- b) Que los equipos de trabajo estarán formados por un

máximo de 5 alumnos, con la finalidad que puedan de sarrollar sus habilidades o destrezas psicomotoras, ya que de esta manera la realización de la práctica se hace más funcional y didáctica.

Por lo anterior el Laboratorio de Máquinas Eléctricas- de la Escuela de Ingeniería de la U.A.Z., deberá de contar- con 8 mesas de trabajo para el desarrollo óptimo de las -- prácticas.

La descripción de las máquinas es la siguiente:

CANTIDAD

DESCRIPCION

8

Grupo de máquinas que consta de:

- a). Una máquina de c.d. que- trabaje como motor y co- mo generador; como motor 3 KW, 220 V, 16.1 A, --- 1700/1900 R.P.M.; como - generador 3 KW, 220 V, - 13.6 A, 1800 R.P.M.; ex- citación 220 V, 0.6 A, - clase F.
- b). Un motoalternador síncro no de c.a. con las si--- guientes características:

Como motor 3 KW, 220 V, -
13 A, 1800 R.P.M., 3 Ø, -
60 Hz; como generador 3 -
KW, 220 V, 13 A, 1800 R.-
P.M., 3 Ø, 60 Hz. Anillos
deslizantes, excitación --
220 V, clase F.

- c). Un motor trifásico de in-
ducción de c.a., tipo --
abierto, de rotor devana-
do, 5 H.P., 60 Hz, 220 V,
1750 R.P.M.

8

Consolas de instrumentos y su
ministro: Para la máquina de-
c.d. cuenta con un voltímetro
de 0 a 300 V, un amperímetro-
de 0 a 1 A, un amperímetro de
0 a 20 A, reóstato de campo,-
acceso a las terminales para-
la conexión que se desee del-
campo y la armadura. Para el-
motoalternador síncrono de --
c.a. se tiene un voltímetro -
de 0 - 300 V, un amperímetro-
0 - 20 A, un amperímetro de -
0 - 40 A, reóstato de campo,-

acceso a las terminales para la conexión del campo y del rotor. La consola también cuenta con un tacómetro y un torquímetro digital.

24

Transformadores monofásicos-tipo seco de 2.5 KVA y 60 Hz terminales accesibles para efectuar las conexiones que se requieran.

8

Transformadores trifásicos - tipo seco de 10 KVA y 60 Hz, terminales accesibles para efectuar las conexiones que se requieran.

8

Motores de inducción trifásico de c.a., NEMA B, a prueba de godo, rotor jaula de ardilla, 5 H.P., 60 Hz, 220 V.

Se hace la aclaración que el número de mesas de trabajo puede variar de acuerdo al número de equipos de estudiantes que se programen por cada sesión de clase. Ya que si se trabajan con muchas mesas de trabajo se tiene el inconveniente de que el maestro no pueda asesorar debidamente a los equipos, haciendose necesario la presencia de un auxi-

liar para poder cubrir satisfactoriamente a todas las mesas de trabajo.

5.2.- EQUIPO DE MEDICION Y AUXILIAR.

En este renglón es necesario que el equipo de medición cuente con una buena precisión, ya que de no cumplirse esto traerá como consecuencia que las mediciones no sean lo suficientemente exactas, como para poder obtener los resultados y la precisión en el trazo de las gráficas. Por otra parte los rangos de medición de los aparatos deben de estar acordes a los valores máximos, que van a ser manejados en el laboratorio.

A continuación se presenta el listado del equipo de medición y equipo auxiliar para el desarrollo de las prácticas:

CANTIDAD	DESCRIPCION
8	Voltímetros de c.d. escala - 30/100/300 V, 0.5% de precisión.
8	Amperímetros de c.d. escala - 1/3/10 A 0.5% de precisión.
8	Amperímetros de c.d. escala - 10/30/100 A, 0.5% de precisión.

- 24 Voltímetros de c.a. escala -
10/50/300 V, 0.5% de preci-
sión.
- 24 Voltímetros de c.a. escala -
300/600/V, 0.5% de precisión
- 8 Amperímetros de c.a. escala-
0.1/0.5/2/5 A, 0.5% de preci
sión.
- 24 Amperímetros de c.a. escala-
5/20/50/100 A, 0.5% de preci
sión
- 16 Wáttmetros monofásicos 0.5 -
% de precisión, 120/240 V, -
5/10 A.
- 8 Wáttmetros trifásicos 0.5% -
de precisión, 120/240 V, - -
5/10 A.
- 8 Puentes de Kelvin.
- 8 Megger medidor portátil de -
aislamiento escala 20/2000 -
Megohmios, 500/1000 V de c.d.
voltaje de prueba.

- 8 Tacómetros 200/2000/20 000-
R.P.M.
- 8 Frecuencímetros escala 40 a
80 c.p.s.
- 8 Factorímetros 120/240 V, --
0.1/0.2/25/50 A, 1 \emptyset , 3 \emptyset .
- 24 Transformadores de corrien-
te 25/5 A.
- 24 Transformadores de corrien-
te 50/5 A.
- 8 Secuencímetros.
- 8 Medidor de relación de vuell
tas T.T.R. escala 0-130, gen
erador de 8 V c.a. a 60 Hz
- 8 Bancos de carga resistiva -
3 KW.
- 8 Bancos de carga inductiva -
3 KVAR.
- 8 Bancos de carga capacitiva-
3 KVAR.
- 8 Arrancadores a tensión ple-
na, 3 \emptyset , 220 V, 5.5 HP.

- 8 Desconectador de navajas, -
3 Ø, 220 V, 5.5 HP.
- 8 Estación de botones (adelan-
te-paro-reversa).
- 16 Contactores magnéticos 3 Ø,
60 Hz, 220V, 5.5 HP, cuatro
contactos NA y uno NC.
- 16 Relevadores de sobrecarga 3
Ø, 220 V, 60 Hz, 5.5 HP dos
contactos NC.
- 8 Interruptores de tambor.
- 24 Lámparas de 220 V, 25 W.
- 8 Selectores de dos posicio--
nes.
- 8 Relevadores neumáticos de -
tiempo, con retardo a bobina
excitada 220 V c.a.
- 8 Interruptores termomagnéti-
cos bipolares, 250 V c.d.
- 8 Interruptores de flotador.
- 24 Contactores bipolares para-
motor de c.d. 3 KW, 20 A.

- 16 Relevadores de tiempo a bobina excitada, 120 V c.d.
- 8 Reóstatos de 3 terminales.
- 8 Reóstato de 4 terminales.

CONCLUSIONES.

- 1º. El estudiante deberá tener los conceptos fundamentales sobre máquinas de corriente directa, motores de inducción, máquinas síncronas, transformadores y control de motores, ya que estos conceptos le ayudarán a comprender y realizar las prácticas con mayor eficiencia.
- 2º. Se propone un listado de prácticas acorde a los programas teóricos, cubriendo el objetivo de cada curso y -- dándole una secuencia a las prácticas, de tal manera -- que el estudiante vaya adquiriendo el conocimiento gra dualmente hasta lograr cubrir el objetivo general del curso.
- 3º. La presentación de las prácticas se hace de una manera tal que cubra los requisitos didácticos.
- 4º. Las prácticas pueden ser realizadas con facilidad por el estudiante, y al mismo tiempo adquiere la práctica y habilidad que se requiere en su formación profesio-- nal, motivándolo en el campo de la investigación y ex-- perimentación.
- 5º. La maquinaria y el equipo de medición es el adecuado -- para poder realizar las prácticas descritas, cubriendo los requisitos técnicos que se requieren.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas. Leander W. Match
- 2.- Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna Alexander S. Langedorf
- 3.- Máquinas Síncronas Agapito Garduño
- 4.- Máquinas Eléctricas Tomos I, II, III Carlos Luca Marín
- 5.- Prácticas de Laboratorio de Transformadores y Motores de Inducción. A. L. Rojas D.
- 6.- Pruebas de Equipo Eléctrico Víctor Pérez Amador B.
- 7.- Pruebas de Equipo Eléctrico 2 Motores Trifásicos de Inducción. Víctor Pérez Amador B.
- 8.- Operación, Control y Protección de Motores Eléctricos. Horacio Buitrón Sánchez

- 9.- Prácticas de Operación, Control y Protección de Motores Eléctricos. Horacio Buitrón Sánchez
- 10.- Prácticas de Laboratorio de Máquinas Síncronas José Méndez Tellez G.
- 11.- Prácticas de Laboratorio de Ingeniería Eléctrica. Felipe Martínez García.