



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" ARAGON "

'PROYECTO DE PRACTICAS PARA LOS LABO-
RATORIOS DE CONVERSION DE ENERGIA
ELECTROMECHANICA I, II Y III'

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ARROYO MORA JAIME ROLANDO
TERAN PEREZ DAVID MOISES

MEXICO, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



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.

"ANTECEDENTES AL TRABAJO"

Como parte de la justificación de realizar este trabajo, hemos tomado en cuenta la experiencia que como alumnos y ayudantes de profesor, de alguna manera, hemos tenido.

1.- Como alumnos.- Tuvimos que enfrentarnos al problema de que las prácticas no correspondían con el (los) tema (s) que se impartían en clases de teoría dentro de las aulas.

Esta sensación de "vacío" entre laboratorio y teoría, no únicamente fué sentir nuestro, sino algo generalizado entre los alumnos de nuestra generación y de las anteriores.

No es objetivo nuestro cambiar la estructura de los Laboratorios de CEEM, sino únicamente dejar un antecedente del sentir de los alumnos que de alguna forma somos y seremos la parte beneficiada ó afectada de los cambios que en manera académica se hagan ó dejen de hacer en nuestro beneficio.

Es obvio que para obtener un buen nivel en cuanto a conocimientos teóricos y prácticos, es necesario que los alumnos participemos activamente en lo que respecta a estudio y al análisis de propuestas y proyectos para mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje que se persigue en la Universidad.

Tampoco es ajena la propuesta de mantener en alto nivel a los profesores que se encargan de impartir tanto las materias

teóricas en las aulas, como de aquellos que lo hacen en los laboratorios, para que exista realmente una afinidad y congruencia en los planes propuestos de estudio.

La posible solución a este problema radica en que haya una comunicación continua y abierta de alumnos, autoridades, autores de libros y los representantes del mercado de trabajo.

Esta propuesta lleva consigo grandes compromisos por parte de alumnos y autoridades, ya que ambas forman el ser de la Universidad.

En lo que respecta al área de Ingeniería, debemos entender que la comunicación entre alumnos, profesores, autoridades, autores de libros y empresarios debe ser total y continua, porque en la actualidad el Ingeniero "teórico" y aislado no funciona.

Los avances que en materia tecnológica se van dando a nivel mundial no pueden, ni deben admitir que el Ingeniero Universitario quede al margen de estos acontecimientos.

También es cierto que la Universidad no puede darle todo en "charola de plata" al alumno, pero sí puede abrirse al diálogo, reestructurar sus programas y planes de estudio conforme al avance tecnológico y sus posibilidades lo permitan.

De igual manera corresponde a empresarios e industriales participar en la superación académica de los futuros Ingenieros de la Universidad, ya que ellos son los que absorberán la mano de obra calificada y profesional de estos Ingenieros,

y son ellos también (industriales y empresarios) los que están en constante contacto con los cambios e innovaciones que a nivel tecnológico se están presentando día a día en nuestro país y a nivel mundial. Por lo tanto, el diálogo entre las partes antes mencionadas debe ser continuo y total.

2.- Como ayudantes de profesor.- En este rubro encontramos que los alumnos en ocasiones muy frecuentes, no tenían idea del contenido y objetivo que las sesiones semanales de laboratorio tienen en su formación académica. Es decir, se inscribían y entraban a las clases de laboratorio únicamente para cumplir con el requisito de aprobarlo y así poder acreditar la materia teórica pero en contadas ocasiones por convicción.

Bajo este punto de vista el profesor de laboratorio debe hacer esfuerzos muy grandes para lograr motivar al alumno y hacer las tres horas de sesión semanal, un encuentro agradable y en el cual el alumno participara activamente y disipara todas sus dudas respecto a los temas impartidos.

En muy contadas ocasiones los alumnos entendían realmente el por qué de las sesiones de laboratorio, pero en la casi mayoría de los casos la mentalidad de los alumnos es que el laboratorio "es un mal necesario" para poder acreditar la materia y así proseguir más adelante.

Realmente es muy difícil para el profesor de laboratorio franquear el reto que representan quince ó más alumnos con puntos de vista diferentes en un semestre. Sin embargo, mientras no se busque hacer atractivas estas tres horas

a la semana invertidas en cada Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica (CEEM), no se podrá lograr que el alumno participe activa y totalmente en la realización de las prácticas.

Es ahí donde está abierto el camino para la creatividad y esfuerzos de motivación que cada profesor posee y deberá aplicar en cada grupo de alumnos.

Lo expuesto anteriormente como antecedentes al trabajo, pone de manifiesto que los problemas de índole académico en el área de CEEM involucran a profesores, alumnos y autoridades. También es obvio que sólo estas tres partes podrán solucionarlos, ya que todos formamos parte de la Universidad... y del ser de la Universidad.

I. INTRODUCCION.

Cuando se imparte una materia en el área de Ingeniería, es necesario complementar los conocimientos teóricos impartidos con prácticas de Laboratorio.

Las prácticas que se realizan dentro de los Laboratorios, no siempre están diseñadas de acuerdo con la Teoría que se imparte en las aulas; y aunque así fuera, el avance difícilmente es el mismo debido a que cada profesor tiene su propio criterio respecto a la impartición de dichas prácticas.

Una práctica mal diseñada se pierde en lo ambiguo y no contribuye en nada a la comprensión de la Teoría respectiva ó la confunde y por lo tanto no cumple con el fin para lo cual fué creada.

El equipo empleado es también un factor importante, ya que se debe encontrar en perfectas condiciones de operación y debe ser el adecuado para alcanzar los objetivos planteados.

La razón principal en la que se funda la realización del presente trabajo, es el de proponer un "Plan de Estudio" que optimice la utilización del equipo y del material con que actualmente cuentan los Laboratorios de Conversión de Energía Electromecánica.

Lo antes propuesto reduciría, lógicamente tiempo y esfuerzo en el desarrollo y aprendizaje que obtengan los alumnos que realizarán una serie de prácticas como las propuestas en el trabajo que a continuación se describe.

Con lo anterior, no se pretende de ningún modo decir ó insinuar que el estado actual en el que se imparten las prácticas no es el adecuado. Se pretende una adecuación uniforme en el avance de las prácticas para que todos los alumnos alcancen el mismo desarrollo quedando, así mismo, satisfechos de los conocimientos y experiencias adquiridas.

Es importante que se tome conciencia de que, para obtener un buen nivel académico, es necesario que se logre realizar la totalidad de las prácticas, ya que actualmente se ha reducido al máximo el número de ellas.

Las prácticas se han elaborado en base a las actuales necesidades de estudio. Es por eso, que en el primer semestre del Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica, se dan los conocimientos generales acerca de los equipos; y en los dos semestres restantes, se profundiza en las características de las máquinas eléctricas; así como las formas básicas de operación, control y protección.

Es posible que dentro de pocos años, este trabajo se tenga que reestructurar por la aparición de nuevos equipos; pero es responsabilidad de todos, alumnos y profesores el que se siga avanzando en la utilización de nuevos métodos y técnicas para el desarrollo y fortalecimiento del proceso Enseñanza-Aprendizaje en las Escuelas de nivel Profesional, y especialmente en la ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON.

Las prácticas presentadas más adelante, han sido realizadas tratando de aprovechar al máximo el equipo existente en los Laboratorios, espero se pueden realizar con equipos de nueva adquisición, sin que por ello las prácticas pierdan validez en sus objetivos.

II. JUSTIFICACION.

Es de suma importancia para nosotros el dar una razón satisfactoria para tomar como tema de tesis el presente trabajo. Una de las causas que motivó su elaboración, es la búsqueda de la EXCELENCIA ACADEMICA a nivel Ingeniería.

De igual manera, pensamos que los alumnos somos los más afectados ante cualquier cambio en la Universidad, y por lo mismo, somos los indicadores directos para buscar y decidir que todos los cambios favorezcan a la comunidad estudiantil Universitaria, siempre y cuando éstos no perjudiquen a terceros.

Otra de las razones se fundamenta en el contacto directo que hemos tenido al respecto, como ayudantes de profesor en los Laboratorios de Conversión de Energía Electromecánica engendrando dicha actividad la inquietud de que las cosas mejoren para beneficio de los ingenieros de generaciones venideras.

Pero la principal razón en la que se fundamenta este trabajo radica en el hecho de que existe una gran desigualdad en las prácticas realizadas por los diferentes grupos de Laboratorio de CEEM, aún siendo éstas de la misma asignatura e inclusive del mismo nivel.

La manifestación de las inquietudes que presentan los alumnos que ingresan a los Laboratorios, ha demostrado que cursan el Laboratorio de CEEM I como requisito y no como actividad complementaria a los conocimientos teóricos que se proporcionan en las aulas. Esta situación es más crítica

en los alumnos de Ingeniería que no pertenecen al área eléctrica (Computación, Mecánica e Industrial), ya que no se dan cuenta de la gran importancia que tiene el conocimiento de los equipos eléctricos, así como sus aplicaciones y alcances.

Es por eso que el Laboratorio de CEEM I, se presenta lo más atractivo posible para lograr atraer la atención de los alumnos y despertar o, en su caso, acrecentar de esta manera, el interés en los conocimientos impartidos para alcanzar el logro de los objetivos planteados.

El Laboratorio de CEEM II, se presenta como una profundización de los conocimientos adquiridos al cursar el Laboratorio de CEEM I; es aquí, donde se presentan las curvas características y el funcionamiento más específico de las máquinas eléctricas ante diferentes formas de operación con carga.

El Laboratorio de CEEM III es una innovación en el programa, y se pretende que los alumnos se familiaricen con el equipo de control de máquinas eléctricas, ya que es lo primero que van a encontrar en industrias y en toda instalación donde se emplean éstas.

Por lo antes expuesto, presentamos el siguiente trabajo como una forma de motivar a los profesores a pensar la manera objetiva, en que se puede mejorar el proceso Enseñanza-Aprendizaje en la ENEP-ARAGON.

Y aunadamente como un primer proyecto para la mejora de la enseñanza en los Laboratorios de CEEM.

III. OBJETIVOS.

3.1 Objetivos Generales.

3.1.1 Mostrar los principios generales en que se basa el funcionamiento de los tipos más comunes de las Máquinas y dispositivos eléctricos.

3.1.2 Estudiar el comportamiento de transformadores, motores y generadores en diferentes formas de operación, para la comprobación de sus principios básicos.

3.1.3 Conocer la estructura física de las diferentes máquinas eléctricas e identificar las partes principales de que están compuestas.

3.2 Objetivos Particulares.

3.2.1 Laboratorio de CEEM I.

3.2.1.1 Mostrar las características físicas de transformadores, motores y generadores; asimismo, dar a conocer las partes principales de dichos equipos.

3.2.1.2 Observar los fenómenos que ocurren al variar las condiciones de trabajo y operación de las Máquinas Eléctricas.

3.2.1.3 Desarrollar la capacidad del alumno para el alambrado de los circuitos eléctricos representados en diagramas, así como demostrar su correcta interpretación.

3.2.1.4 Visualizar las ventajas y desventajas de la corriente directa y la corriente alterna, mostrando sus diferentes aplicaciones.

3.2.1.5 Conocer la diferencia de estructura entre la CA monofásica, la trifásica y concluir de acuerdo a sus características, las razones de su utilización en equipos y máquinas eléctricas.

3.2.2 Laboratorio de CEEM II.

3.2.2.1 Obtener las curvas características de las máquinas eléctricas e interpretar su significado y concluir de acuerdo a éstas, los parámetros necesarios para su óptimo rendimiento.

3.2.2.2 Realizar las pruebas básicas a las máquinas eléctricas y obtener conclusiones.

3.2.2.3 Conocer los diferentes tipos de conexiones de los equipos, para observar las características que presentan debido a ello.

3.2.3 Laboratorio de CEEM III.

3.2.3.1 Mostrar las características físicas de los diferentes equipos de control y protección de las máquinas eléctricas.

3.2.3.2 Conocer la diferencia entre equipos de control y protección, y aplicarlos correctamente en las instalaciones.

V. GENERALIDADES.

En este capítulo hemos desarrollado los conceptos básicos que a nuestro juicio, deben conocer los alumnos, para poder comprender los fenómenos que observarán en el transcurso de las prácticas del (los) Laboratorio (s) de CEEM.

Asimismo, servirá para aprovechar mejor el tiempo, ya que la explicación general se realizará en forma concisa y sin que por esta razón carezca de claridad.

Es necesario que los alumnos conozcan, por lo menos, lo que aquí presentamos para que puedan asimilar el contenido de las prácticas.

De alguna manera se pretende también, que este material sea conocido por los alumnos, para que ellos mismos refuercen las partes que consideren sea necesario.

Lo que se desarrolla a continuación NO ES UN LIBRO DE TEXTO, es simplemente una guía con lo estrictamente necesario.

Por tal motivo, dedicamos un capítulo a los conceptos que son la base del presente trabajo.

5.1 Propiedades del Campo Magnético.

5.1.1 Introducción.

Michael Faraday (1791-1867) originó un concepto de líneas de fuerza magnética (también denominadas líneas de inducción) como medio de analizar y explicar los fenómenos magnéticos.

En la Figura 1, las líneas continuas representan miles de líneas de fuerza; ilustran caminos típicos alrededor de un imán permanente.

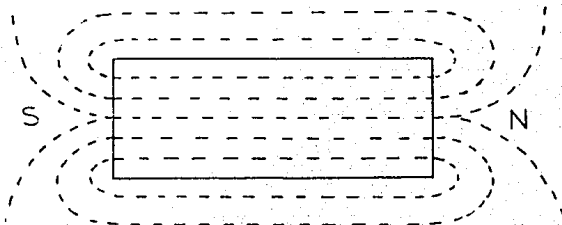


FIGURA 1.

a) Las líneas de fuerza magnética forman lazos cerrados.- Las líneas existen dentro del cuerpo del imán y continúan externamente hasta cerrar el lazo.

b) Las líneas son direccionales.- Todas las líneas emergen de un área lateral del imán, el polo NORTE y vuelven a entrar a éste por el área opuesta, al polo SUR. Internamente, la dirección de las líneas es SUR-NORTE; externamente NORTE-SUR.

c) Las líneas no se interceptan.- Dos líneas no pueden ocupar el mismo espacio o pasar a través de un punto común.

d) Las líneas se repelen mutuamente.- Así como dos cargas eléctricas que ejercen fuerzas mutuamente repulsivas, dos líneas de inducción cercanas experimentan fuerzas que tienden a separarlas. La fuerza de separación es contrarrestada.

e) Las líneas son tensionables.- Al soplar dentro de un globo de caucho, se aumenta la presión interna por encima de la atmosférica y se le fuerza a expandirse; ésto dilata el caucho, lo cual causa el aumento en sus fuerzas elásticas tensionales. El tamaño del globo inflado resulta del balance entre las fuerzas de tensión y la presión atmosférica. Asimismo, la trayectoria de una línea de fuerza está determinada por el balance entre las fuerzas repulsivas de otras líneas y la fuerza tensil inherente que obliga a la línea a contraerse hasta adoptar la trayectoria más corta posible.

f) Las líneas buscan caminos de baja reluctancia.- El espacio libre y la mayoría de los materiales son medios difíciles de ser ocupados por líneas de fuerza. Sin embargo, una categoría de materiales, los ferromagnéticos, ofrecen menos resistencia. Así como la resistencia se opone al paso de la corriente eléctrica, la reluctancia se opone a la creación de líneas de fuerza.

Los materiales ferromagnéticos poseen baja reluctancia. Así, a pesar de la tendencia a contraerse, muchas líneas de fuerza se desvían de una trayectoria corta de alta reluctancia para seguir una trayectoria más larga de baja reluctancia a través de un campo ferromagnético. Una vez que las líneas de fuerza penetran en el cuerpo ferromagnético, las fuerzas tensiles de las líneas entran en acción para atraer el cuerpo hacia el imán; si las fuerzas tensiles son mayores que las fuerzas que se le oponen (Gravedad, Fricción), el cuerpo se mueve. El término general para las líneas de flujo es el flujo magnético.

5.1.2 Fuerza sobre una carga móvil.

De manera semejante a los campos gravitatorio y eléctrico, es posible adoptar la idea de que un magneto ó una carga en movimiento produce campo magnético en el espacio que les rodea.

Al colocar una carga eléctrica en reposo dentro de un campo magnético CTTE, ésta no experimentará efecto alguno ya que la interacción magnética está íntimamente ligada al movimiento de las cargas. En el caso del campo magnético CTTE se requiere como carga de prueba una carga móvil, es

decir, con una velocidad \bar{v} . Si por un punto dentro de un campo magnético, hacemos pasar una carga q con diferentes velocidades \bar{v} y realizamos las mediciones convenientes, se puede establecer la sig. relación de proporcionalidad:

$$F_m \propto v \text{ --- 1}$$

La cual significa que la magnitud de la fuerza magnética que experimenta una cierta carga es proporcional a la magnitud de su velocidad. Pero además, también es factible hacer pasar por un mismo punto cargas de diferentes valores, e inclusive signos, pero todas ellas con la misma velocidad \bar{v} , pudiéndose establecer, en este caso, una proporcionalidad entre la magnitud de la fuerza magnética que experimenta cada una de las cargas y el valor de la misma, es decir:

$$F_m \propto q \text{ --- 2}$$

Se puede observar, experimentando en diferentes puntos donde existen distintos valores de campo magnético B , que sobre una carga con velocidad \bar{v} fija, actúan fuerzas diferentes, de donde se puede concluir que la fuerza magnética es directamente proporcional al campo B , es decir:

$$F_m \propto B \text{ --- 3}$$

Combinando las expresiones 1, 2 y 3 se puede establecer que:

$$F_m \propto qvB \text{ --- 4}$$

Para hacer de la expresión 4 una ec., requerimos aún algunos elementos adicionales. Es un hecho conocido que la fuerza y la velocidad son magnitudes de tipo vectorial, mientras que q es del tipo escalar. Para determinar la naturaleza de la magnitud del campo magnético B , analicemos lo que sucede experimentalmente.

Cuando una misma carga se hace pasar por el mismo punto dentro de un campo magnético, manteniendo constante la magnitud de su velocidad, pero variando la dirección de ésta, se observan sobre la carga fuerzas diferentes (en magnitud y dirección) e inclusive existe una dirección de ésta para la cual la fuerza sobre q es cero; lo que también ocurre cuando la dirección de la velocidad es diametralmente opuesta.

Además, la dirección de la fuerza es siempre perpendicular a la dirección de la velocidad, lo que significa que la magnitud B tiene carácter vectorial, ya que si fuese de tipo escalar, la fuerza y la velocidad serían paralelas en cualquier punto.

Ahora bien, si la fuerza magnética F_m es proporcional al producto de 2 magnitudes vectoriales (\vec{v} y \vec{B}), dicho producto deberá ser vectorial para dar por ello una fuerza \vec{F}_m . Lo anterior se puede resumir diciendo que:

$$\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B} \text{ --- 5}$$

La ec. 5 concuerda perfectamente con los resultados experimentales. En la fig. 2 se muestra la relación vectorial entre las magnitudes involucradas en la ec. 5:

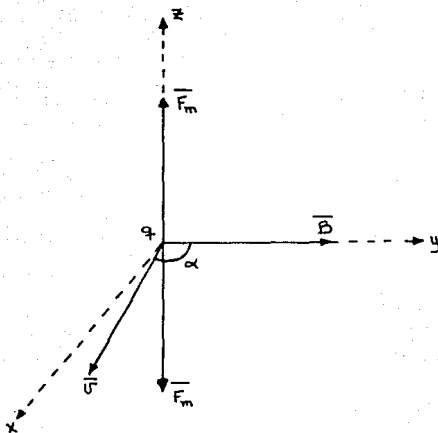


FIGURA 2.

La fig. 2 muestra la relación vectorial entre \vec{F}_m , \vec{u} y \vec{B} para una carga q situada en el origen. Los vectores velocidad \vec{u} y campo magnético \vec{B} están contenidos en el plano xy y \vec{F}_m se determina de acuerdo con la regla del producto vectorial y con el signo de la carga q .

De la ec., 5 se pueden obtener algunas consideraciones:

a) La relación entre la fuerza magnética y campo magnético es más compleja que en el caso eléctrico.

b) La fuerza magnética es siempre perpendicular a la velocidad \vec{v} y al campo \vec{B} . Por ser perpendicular con \vec{v} , la fuerza magnética no realiza trabajo alguno sobre la partícula cargada, es decir, no origina cambios en la energía de la partícula, modificando la dirección de \vec{v} sin cambiar su magnitud.

c) Como la magnitud \vec{B} , debe ser de carácter vectorial en todos los puntos, es necesario asociar a cada uno un vector \vec{B} , es decir, el campo magnético es un campo vectorial llamado función vectorial de variable vectorial.

d) Como la fuerza \vec{F}_m depende de q , variará según la carga de que se trate, sin olvidar el efecto de su signo como se muestra en la fig. 2.

Si consideramos una carga q móvil en una región en la que existan un campo eléctrico y un campo magnético simultáneamente, la carga experimentará 2 fuerzas, una debida al campo eléctrico y otra al campo magnético. Por esta razón es factible determinar la fuerza electromagnética, la cual será la resultante de las 2 mencionadas anteriormente y se obtiene:

$$\vec{F}_{em} = \vec{F}_e + \vec{F}_m \quad \text{ó} \quad \vec{F}_{em} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{--- 6}$$

La ec. 6 se conoce como la fuerza de Lorentz.

5.1.3 Fuerza sobre un conductor con corriente.

Cuando un conductor que transporta una corriente se encuentra en un campo magnético, se ejercen fuerzas magnéticas sobre los electrones en movimiento dentro del conductor. Estas fuerzas se transmiten a la sustancia que forma el conductor y, por tanto, el conductor, en conjunto, experimenta una fuerza ó un momento, ó ambas cosas a la vez.

Un motor eléctrico y el cuadro móvil de un galvanómetro están sometidos durante su funcionamiento al momento ejercido sobre un devanado que transporta la corriente y que se encuentra en un campo magnético.

La fig. 3 representa una porción de un conductor rectilíneo de longitud l y sección A , dentro del cual circula una corriente de intensidad i .

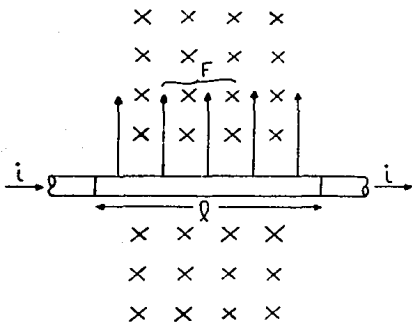


Fig. 3 Fuerza sobre un conductor rectilíneo de longitud l perpendicular a un campo magnético, de densidad de flujo B .

Un campo magnético, de densidad de flujo B , es perpendicular al conductor. Puesto que la fuerza sobre el conductor en conjunto es la resultante de las fuerzas ejercidas sobre las cargas móviles situadas en su interior, se puede expresar la intensidad de la corriente en el conductor en función del número n de cargas móviles por unidad de volumen, de la carga q de cada una de ellas, y de su velocidad \bar{v} .

Tenemos que la ec., que cumple con las características anteriores es:

$$i = nq\bar{v}A \quad \text{--- 7}$$

La fuerza f sobre cada carga será:

$$f = q\bar{v}B \quad \text{--- 8}$$

El número de cargas en la longitud l es:

$$N = n\bar{v}lA \quad \text{--- 9}$$

Por consiguiente, la fuerza resultante será:

$$F = Nf = n\bar{v}lAqB \quad \text{--- 10}$$

Pero como $i = nq\bar{v}A$ podemos escribir la ec. 11 como:

$$F = i\bar{v}lB \quad \text{--- 12}$$

Y, si la dirección del conductor forma un ángulo con la dirección del campo, se tiene en forma general:

$$F = iBl \sin \varphi \quad \text{--- 13}$$

Y, si el conductor no es rectilíneo, el campo magnético no es uniforme ó tienen lugar ambas cosas a la vez, la relación:

$$dF = iBdl \sin \varphi \quad \text{--- 14}$$

Nos dá el valor de la fuerza sobre un elemento de conductor de longitud l en un punto en que la inducción es B , y φ , el ángulo formado por dl y B . En general, tanto B como φ varían de un punto a otro a lo largo del conductor.

5.2 Fuentes de campos magnéticos.

5.2.1 Campo creado por un conductor.

Una carga eléctrica en movimiento, crea en el espacio que la rodea, un campo magnético. Las cargas móviles que crean un campo magnético son las que constituyen la corriente en un conductor.

Como se dijo anteriormente, las primeras observaciones registradas sobre campos magnéticos creados por corrientes fueron las de Oersted. Experiencias posteriores realizadas por Biot y Savart, y por Ampère, condujeron a una relación que permite calcular la densidad de flujo en cualquier punto del espacio que rodea a un circuito por el cual pasa una corriente.

Las cargas móviles de cada elemento crean un campo en todos los puntos del espacio, y el campo del circuito completo es la integral de los campos creados en el mismo punto por todos los elementos del circuito.

Las líneas de inducción son circunferencias que se encuentran en planos perpendiculares al eje del elemento.

El valor de dB está dado por:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i dl \sin \theta}{r^2} \quad \dots \quad 15$$

El vector inducción magnética que rodea a un hilo conductor por el cual circula una corriente es inversamente proporcional a la distancia radial contada desde el hilo.

La densidad de flujo magnético en un punto P debido a un hilo conductor se puede calcular fácilmente tomando como referencia los ejes cartesianos X, Y y Z estratégicamente colocados como lo muestra la figura 1.

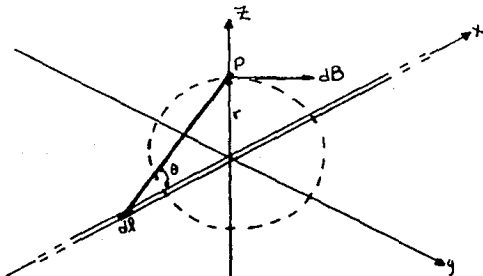


FIGURA 1.

Campo creado por un conductor rectilíneo

Se observa que si el conductor es lo suficientemente largo, las componentes del campo en el eje X se anulan unas a otras; por tanto la dirección del campo dB creado en el punto P debido al elemento dx se encuentra en el plano YZ. El campo resultante en P es la suma aritmética de todos los elementos dB de campo y la integración de da como resultado que:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r} \quad \text{--- 16}$$

5.2.2 Campo creado por una espira.

La figura 2 representa una espira circular de hilo conductor, sea r el radio de la espira e i la corriente que circula por ella.

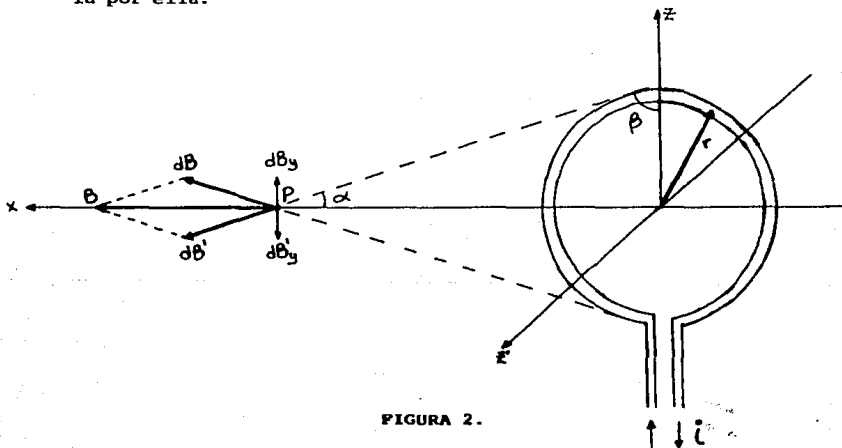


FIGURA 2.

Consideramos un punto sobre el eje de la espira, pero no en su centro. La densidad de flujo dB en P , producida por la corriente en $d\ell$, se encuentra en el plano $X - Z$, perpendicular a Z . Los demás vectores dB producidos se encuentran sobre la superficie de un cono, cuyo vértice está en P y cuyas componentes perpendiculares al eje X se anulan entre sí, de modo que sólo se suman las componentes a lo largo del eje X . Por tanto:

$$B = \int dB \cos \beta \quad \text{--- 17}$$

ó sea:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i r^2}{(r^2 + b^2)^{3/2}} \quad \text{--- 18}$$

Si tomamos a $b = 0$ tendremos la intensidad del campo en el centro de la espira.

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{r} \quad \text{--- 19}$$

5.2.3 Campo en un solenoide.

La densidad de flujo producida en cualquier punto por una corriente que circula en un arrollamiento solenoidal es simplemente la resultante de las densidades de flujo creadas en dicho punto por cada espira del solenoide y va a depender del lugar en donde se quiera tomar el total de la densidad de campo fig.3

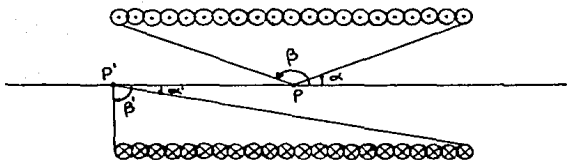


FIGURA 3.

El campo en cualquier punto del solenoide está dado por la expresión:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{Ni}{l} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad \text{--- 20}$$

Al centro del solenoide y si es lo suficientemente largo:

$$B = \mu_0 \frac{Ni}{l} \quad \text{--- 21}$$

Y en los extremos será:

$$B = \mu_0 \frac{Ni}{2l} \quad \text{--- 22}$$

5.3 Propiedades magnéticas de la materia.

5.3.1 Origen de los efectos magnéticos.

Los primeros fenómenos magnéticos observados estuvieron relacionados con los imanes naturales en el año de 1819, se demostró que existía relación entre los fenómenos eléctricos y los magnéticos. Hans Christian Oersted, observó que una brújula se desviaba al encontrarse en la proximidad de un hilo conductor que transporta una corriente.

Michael Faraday, observó que se producía en una bobina una corriente instantánea cuando en otro circuito cercano se establecía o se interrumpía una corriente. También descubrió que el movimiento de un imán acercándose y alejándose producía el mismo efecto.

Actualmente se cree que los llamados fenómenos magnéticos proceden de las fuerzas originadas entre cargas eléctricas en movimiento. La posibilidad de que las propiedades magnéticas de la materia fueran consecuencia de minúsculas corrientes atómicas, fué sugerida por primera vez por André-Marie Ampère, en 1820.

El campo magnético dentro de un arrollamiento toroidal de espiras próximas, está limitado casi completamente al espacio encerrado por el arrollamiento. Por tal razón, se utiliza como elemento de prueba.

Tal muestra, se denomina "Anillo de Rowland" (figura 1). El arrollamiento de hilo que se hace alrededor de la muestra se denomina magnetizante, y la corriente que circula por él, corriente magnetizante.

La densidad de flujo magnetizante dentro del espacio encerrado por el arrollamiento toroidal en el vacio es:

$$B_0 = \mu_0 \frac{Ni}{l} \text{ --- 23}$$

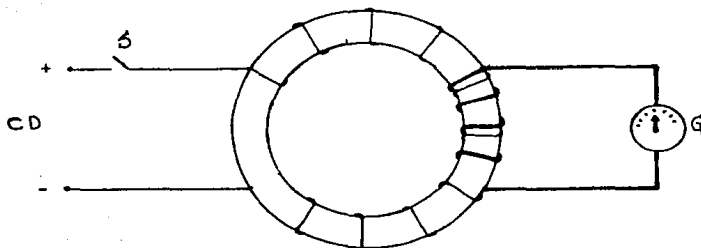


FIGURA 1.
Anillo de Rowland

Supongamos ahora que la misma bobina está devanada sobre un anillo como lo indica la figura 1, con sus terminales conectados a un galvanómetro.

La densidad de flujo puede medirse abriendo rápidamente el interruptor y anulando la corriente magnetizante; la densidad de flujo quedará determinada por la lectura obtenida en el galvanómetro.

Si el núcleo es de aire se observa que la ecuación:
 $B_0 = \mu_0 \frac{NI}{l}$ es correcta casi completamente.

Al introducir anillos de diferentes materiales se observa la siguiente clasificación:

- Material diamagnético $B < B_0$
- Material para-magnético $B > B_0$
- Material ferromagnético $B \gg B_0$

El aumento o disminución de flujo en el núcleo, procede de los efectos magnéticos de los electrones que entran en la constitución de todos los átomos.

Todos los efectos magnéticos en la materia, pueden explicarse en base a corrientes efectivas de circuitos asociados con los "momentos dipolares magnéticos" atómicos.

Cualquier átomo en el cual hay una circulación neta de carga se denomina "Dipolo Magnético".

La descripción que se hace del magnetismo en la materia se basa, en parte, en el hecho experimental de que la presencia de materia modifica el campo magnético producido por corrientes eléctricas.

La tendencia hacia la alineación uniforme de los dipolos magnéticos, con sus campos propios paralelos al campo magnético exterior, está perturbada por la agitación térmica de los átomos, que tiende a establecer una distribución al azar.

5.3.2 Excitación, Susceptibilidad y Permeabilidad Magnéticas.

Cuando se mide el flujo existen dos contribuciones a la inducción magnética obtenida en las lecturas; la que se produce por la corriente real que circula por el devanado:

$$B_0 = \mu_0 \frac{Ni}{l} \text{ --- 25}$$

y la que se produce a partir de la orientación de los dipolos magnéticos de la materia (corrientes electrónicas internas):

$$\mu_0 M = \gamma \text{ --- 26}$$

De donde la inducción magnética total obtenida será la que resulte de:

$$B = B_0 + \gamma \text{ --- 27}$$

Si el material es paramagnético o ferromagnético M tiene el mismo sentido B_0 que por tanto γ es positivo.

Si es un material diamagnético M es opuesto a B_0 ó sea que γ es negativo.

Aquí se hace conveniente introducir una nueva cantidad magnética denominada "Excitación magnética" H la cual se define:

$$H = \frac{1}{4\pi} \int \frac{idl \operatorname{sen} \theta}{r^2} \text{ --- 28}$$

En el caso de un toroide queda:

$$H = \frac{NI}{l} \text{ --- 29}$$

En el vacío tenemos la igualdad:

$$B = \mu_0 H \text{ --- 30}$$

De donde definimos la "Susceptibilidad magnética" χ

$$\chi = \frac{y}{H} \text{ H/m --- 31}$$

Sustituyendo:

$$B = B_0 + y \text{ --- 32}$$

$$B = \mu_0 H + \chi H \text{ --- 33}$$

$$B = H(\mu_0 + \chi) \text{ --- 34}$$

De donde se define la "Permeabilidad magnética" como μ

$$\mu = \mu_0 + \chi \text{ --- 35}$$

En el vacío $\chi = 0$ por lo que $\mu = \mu_0$

Los materiales también pueden clasificarse en términos de la forma en que se compara su permeabilidad μ con la del vacío μ_0 ; de la siguiente manera:

$$\text{Diamagnéticos} \quad \mu < \mu_0 \quad \implies \quad \mu_r < 1$$

$$\text{Paramagnéticos} \quad \mu > \mu_0 \quad \implies \quad \mu_r > 1$$

$$\text{Ferromagnéticos} \quad \mu \gg \mu_0 \quad \implies \quad \mu_r \gg 1$$

Siendo μ_r la permeabilidad relativa:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{--- 36}$$

Susceptibilidad magnética de algunos materiales:

Sustancia	Símbolo	χ 18°C	(Henrios) M
Aluminio	Al	1.03 x 10 ⁻¹¹	
Cobre	Cu	- 0.14 x 10 ⁻¹¹	
Zinc	Zn	- 0.25 x 10 ⁻¹¹	
Plomo	Pb	0.19 x 10 ⁻¹¹	

5.4 Fuerzas Electromotrices Inducidas.

5.4.1 FEM inducida por el movimiento de conductores.-
Una aplicación cuantitativa de la ley de Faraday, la observamos al analizar la FEM que se induce en una espira que se mueve

con velocidad constante dentro de un campo magnético que por simplicidad consideraremos uniforme, como se muestra en la fig. 1.

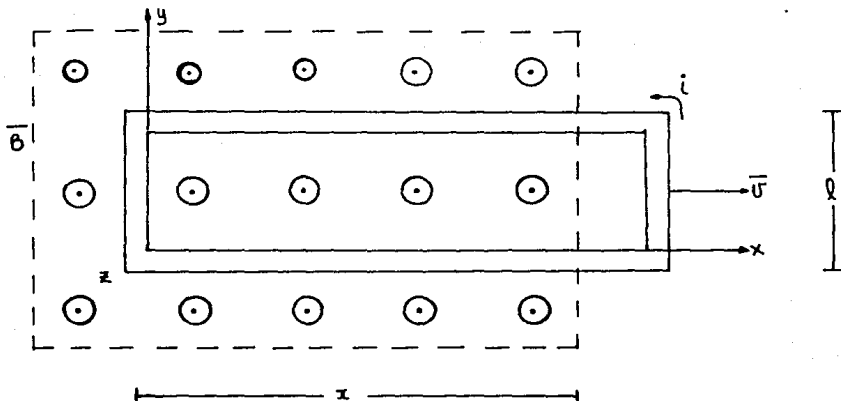


FIGURA 1.

Espira conductora con velocidad paralela al eje X ; una parte de la misma se encuentra dentro de un campo magnético uniforme.

Al desplazarse la espira de la figura anterior, disminuirá su flujo concatenado y se inducirá una FEM que hará circular una corriente cuyo sentido será contrario a las manecillas del reloj, lo cual se determina de la aplicación del Principio de Lenz.

La fig. 2 representa un conductor de longitud l situado en un campo magnético uniforme, perpendicular al plano del dibujo y en el sentido que se aleja al observarlo. Si se pone el conductor en movimiento hacia la derecha, con velocidad U , perpendicular a la longitud del mismo y al campo magnético, cada partícula cargada situada dentro del conductor experimenta una fuerza $F = q \mathcal{B} U$ dirigida a lo largo del conductor. El sentido de la fuerza ejercida sobre una carga negativa es de 'a' a 'b' en la fig. 2, mientras que la fuerza sobre una carga positiva es de 'b' a 'a'.

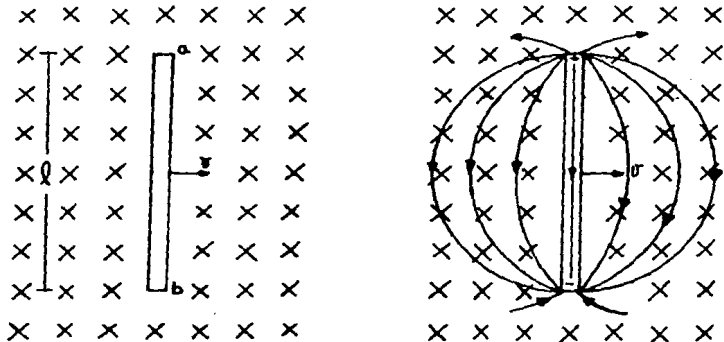


FIGURA 2.

Conductor móvil en un campo magnético uniforme.

El conductor está en las mismas condiciones que si se encontrase en un campo eléctrico de intensidad Bv , cuyo sentido fuera de 'b' a 'a'.

Los electrones libres en el conductor se moverán en el sentido de la fuerza que actúa sobre ellos hasta que la acumulación de un exceso de carga en los extremos del conductor establezca un campo electrostático, tal que la fuerza resultante sobre cada carga situada dentro del conductor sea nula. El extremo superior del conductor adquiere un exceso de carga positiva y viceversa. Barnett, demostró que esta separación de carga tiene realmente lugar en un conductor móvil en un campo magnético, realizando un experimento equivalente a cortar la barra por su centro mientras se encuentra todavía en movimiento. Se observó que el extremo superior estaba cargado positivamente, y el inferior, negativamente.

Imaginemos ahora que el conductor móvil desliza sobre otro conductor fijo en forma de U, tal como se representa en la fig. 3.

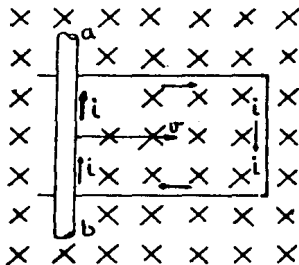


FIGURA 3.

Corriente producida por el movimiento de un conductor en un campo magnético.

No hay fuerza magnética sobre cargas que están dentro del conductor fijo, pero dado que se encuentra en el campo electrostático que rodea al conductor móvil, se establecerá una corriente dentro de él, siendo el sentido (convencional) de esta corriente el mismo que el de las agujas del reloj, ó sea de 'b' a 'a'. Como resultado de esta corriente, el exceso de carga en los extremos del conductor móvil se reduce; el campo electrostático dentro del conductor móvil se debilita, y las fuerzas magnéticas producen un nuevo desplazamiento de electrones libres dentro de él, de 'a' a 'b'. Mientras se mantenga el movimiento del conductor, habrá por consiguiente, un desplazamiento continuo de electrones, en sentido contrario al de las agujas de un reloj, alrededor del circuito ó una corriente convencional en el mismo sentido. El conductor móvil se comporta como un generador de FEM, y se dice que se ha inducido dentro del conductor una fuerza electromotriz, producida por un movimiento.

Se definió la FEM como razón del trabajo realizado sobre la carga circulante a la cantidad de carga desplazada que pasa por un punto del circuito. Sea i la intensidad de la corriente en el circuito de la fig. 3. A causa de la existencia de esta corriente se ejerce una fuerza hacia la izquierda sobre el conductor móvil por el campo, y, en consecuencia, es necesaria una fuerza exterior, suministrada por algún agente que produzca trabajo, para mantener el movimiento.

El trabajo realizado por este agente es el efectuado sobre la carga circulante y, por tanto, mediante este dispositivo se obtiene la transformación directa de energía mecánica en energía eléctrica.

La fuerza sobre el conductor móvil es:

$$F = i l B \quad \text{--- 39}$$

La distancia recorrida en el tiempo dt ; $ds = v dt$, y el trabajo realizado será:

$$dW = F ds = i l B v dt \quad \text{--- 40}$$

Pero el tiempo dt multiplicado por i es la carga dq desplazada en este tiempo, por consiguiente:

$$dW = B l v dq \quad \text{--- 41}$$

y la FEM, dW/dq es por tanto: $\mathcal{E} = B l v \quad \text{--- 42}$

5.4.2 Ley de Faraday.

El hecho experimental consistente en que una corriente eléctrica produce un campo magnético, suscitó inquietudes y motivó el razonamiento recíproco, es decir; el pensar que un campo magnético podría producir corrientes eléctricas. Sabemos que campos magnéticos variables respecto al tiempo, producen campos eléctricos, y en consecuencia corrientes eléctricas. Esto lo podemos explicar mejor mediante la Ley de inducción electromagnética de Michael Faraday que nos dice lo siguiente:

Se afirma que si un conductor "corta" líneas de fuerza ó que si las líneas de fuerza cortan un conductor, se induce una FEM ó un voltaje entre los extremos del conductor, considérese un imán con sus líneas de fuerza que se extienden del polo norte al polo sur; fig. 1.

Un conductor C, que puede moverse entre los polos del imán, está conectado a un galvanómetro G, utilizado para indicar la existencia de una FEM. Cuando el conductor no se mueve, el galvanómetro indica cero FEM. Si el alambre conductor se mueve fuera del campo magnético en la posición , el galvanómetro seguirá con indicación cero.

Cuando el conductor se mueve hacia la izquierda a la posición 2, corta las líneas de fuerza magnéticas y la aguja del galvanómetro se deflectará hacia A . Esto significa que en el conductor se indujo una FEM al cortarse las líneas de fuerza. En la posición 3, la aguja del galvanómetro regresa a cero porque no se cortan líneas de fuerza. Inviértase ahora la dirección de movimiento del conductor moviéndolo por las líneas de fuerza de regreso a la posición 1. Durante este movimiento, la aguja se desviará hacia B , lo cual indica que se indujo una FEM en el alambre pero en la dirección opuesta. Si el alambre se mantiene estacionario en el centro del campo de fuerza en la posición 2, el galvanómetro indica cero. Si el conductor se mueve hacia arriba ó hacia abajo, paralelo a las líneas de fuerza de manera que no corta ninguna, no se inducirá ninguna FEM.

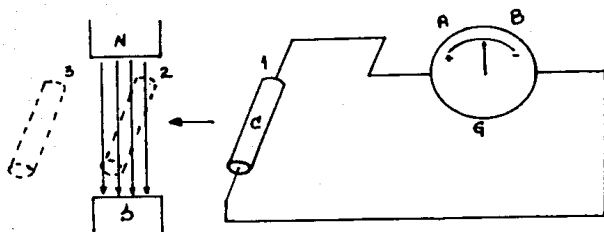


FIGURA 1.

Cuando un conductor corta líneas de fuerza se induce una FEM en el conductor.

En resumen:

1.- Cuando un conductor corta líneas de fuerza ó las líneas de fuerza cortan un conductor, se induce en el conductor una FEM o voltaje.

2.- Para que se induzca una FEM, debe haber movimiento relativo entre el conductor y las líneas de fuerza.

3.- Al cambiar la dirección en la que se cortan las líneas o el conductor, también cambia la dirección de la FEM inducida.

En los generadores eléctricos se aplica este principio de movimiento relativo entre un conductor y el campo magnético.

El valor del voltaje inducido depende del número de vueltas de una bobina y la rapidez con la que el conductor corta las líneas de fuerza o el flujo magnético; puede moverse el conductor o el flujo. La ec. con la que se puede calcular el valor del voltaje inducido es:

$$V_{\text{ind}} = N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \text{--- 43}$$

en la cual V_{ind} = voltaje inducido

N = número de vueltas en la bobina

$\Delta\phi/\Delta t$ = rapidez con la que el flujo corta el conductor.

A partir de la ec. 43 deducimos que V_{ind} está determinado por tres factores:

1.- La cantidad de flujo. Cuanto más líneas de fuerza corten al conductor, mayor será el valor del voltaje inducido.

2.- Número de vueltas. Mientras más vueltas tenga una bobina, mayor será el voltaje inducido.

3.- Rapidez con la que se cortan las líneas. Cuanto más rápido corten el flujo a un conductor o el conductor al flujo, mayor será el voltaje inducido porque habrá más líneas de fuerza que corten al conductor en cierto intervalo.

5.4.3 Ley de Lenz.

Esta ley constituye una regla útil para conocer el sentido

de una FEM inducida. Esta ley establece que:

"El sentido de una FEM inducida es tal que se opone a la causa que la produce".

La ley ha de interpretarse de distinta manera según la causa particular que la produce.

Si la FEM es producida por el movimiento de un conductor en un campo magnético, se opone a esta causa, creando una corriente (siempre que exista circuito cerrado) de sentido tal que la fuerza sobre esta corriente es opuesta al sentido del movimiento del conductor. Hay, por consiguiente, una oposición al movimiento del conductor.

Si la FEM es producida por la variación del flujo que atraviesa un circuito cerrado, la corriente resultante de dicha FEM es de sentido tal que crea por sí misma un flujo, el cual, dentro del plano del circuito, es:

- a) Opuesto al flujo original si este está aumentando.
- b) Del mismo sentido que el flujo inicial si este último - está disminuyendo. Por tanto, hay una oposición, no al flujo mismo, sino a su variación.

5.4.4 Autoinductancia.

Siempre que circula una corriente por un circuito, esta corriente crea un campo que está ligado a su propio circuito y que varía cuando lo hace la corriente. En consecuencia, en cualquier circuito en el que varíe una corriente, se induce una FEM a causa de la variación de su propio campo.

Esta FEM se denomina Fuerza electromotriz autoinducida; por ejemplo, cuando el contacto deslizante del reóstato (fig. 1) se mueve hacia un lado ó hacia otro, el flujo que atraviesa la espira varía e induce una FEM en el circuito.

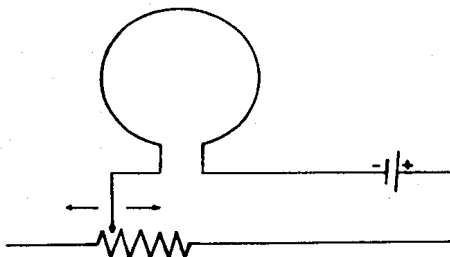


FIGURA 1.

Circuito para demostrar la existencia de autoinducción.

El número de líneas de fuerza ligadas a un circuito dado, debido a la intensidad de la corriente que pasa por él, dependerá de la forma, dimensiones del circuito, número de espiras, etc.

Como además la densidad de flujo en un punto cualquiera es directamente proporcional a la intensidad de la corriente que lo produce, el flujo resulta, por tanto, proporcional

también a la intensidad. Según esto podemos escribir:


$$\Phi = kI \quad \text{--- 44}$$

Siendo k un factor que depende de la forma, dimensiones, etc., del circuito y que es constante para un circuito dado. Si el circuito tiene N espiras y todo el flujo atraviesa cada espira, se deduce:

$$\epsilon = -L \frac{di}{dt} \quad \text{--- 45}$$

La constante L se denomina coeficiente de autoinducción ó simplemente, autoinducción del circuito.

El coeficiente de autoinducción de un circuito es 1 henrio si se induce en el circuito una FEM de un voltio, cuando la corriente en el mismo varía a razón de 1 amp/seg. También podemos decir que la autoinducción de un circuito es un henrio si una intensidad de corriente de un amperio produce en el circuito un flujo ligado a un weber-vuelta.

Un circuito, o una parte de circuito que se comporta de este modo, se denomina autoinductancia y se representa por el símbolo 

El sentido de la FEM de autoinducción se encuentra mediante la ley de Lenz. La causa de la FEM es un aumento o disminución de la intensidad de la corriente. Si la intensidad de la corriente aumenta, el sentido de la FEM inducida es opuesto al de la corriente. Si la corriente disminuye, la FEM y

la corriente son del mismo sentido. De este modo, la FEM inducida se opone a la variación de la intensidad de la corriente, y no a la corriente misma.

5.4.5 Inductancia mutua.

Se ha demostrado que se induce una FEM en un circuito fijo cuando aumenta o disminuye el flujo magnético ligado al circuito. Si la variación de flujo es producida por una corriente variable que circula en un segundo circuito, es cómodo expresar la FEM inducida en función de esta corriente variable, en vez de utilizar la variación de flujo.

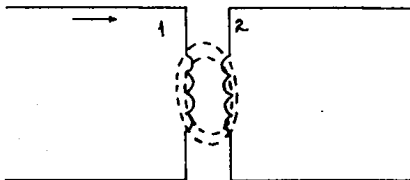


FIGURA 1.

El flujo creado por la corriente que circula por la bobina 1 atraviesa la bobina 2.

La fig. 1 representa la sección de dos bobinas de espiras apretadas, formadas por un hilo conductor. La corriente que circula por el circuito 1 crea un campo magnético en

la forma indicada, y una parte de su flujo atraviesa el circuito 2. Puesto que toda línea de inducción es una línea cerrada, cada línea que atraviesa al área del circuito 2 está ligada a este circuito del mismo modo que se encuentran unidos dos eslabones de una cadena. Si el circuito contiene N_2 espiras, y es Φ el flujo que atraviesa cada espira, el producto $N_2 \Phi$ es el flujo total ligado al circuito 2.

Para una corriente dada que circula por el circuito 1, el flujo ligado al circuito 2 depende de la forma y dimensiones del dispositivo; pero, independientemente de éste, la densidad de flujo en cada punto del campo es directamente proporcional a la corriente que circula por el circuito 1. Por tanto, el flujo ligado al circuito 2 es proporcional también a la corriente que circula por el circuito 1.

Si varía i_1 , variará también Φ_{21} y aparecerá en el circuito 2 una FEM de valor:

$$E_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -N_2 k \frac{di_1}{dt} \quad \text{---46}$$

siendo $N_2 k$ el número de espiras del circuito 2. Representemos el producto $N_2 k$ por una sola constante M . Entonces:

$$E_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad \text{---47}$$

El factor M se denomina coeficiente de inducción mutua, o más brevemente, inducción mutua de los dos circuitos. La inducción mutua de los dos circuitos puede definirse como la razón de la FEM inducida en un circuito a la derivada respecto al tiempo de la corriente en el otro. La inducción

mutua de dos circuitos en un henrio si se induce en uno de los dos circuitos una FEM de un voltio cuando la corriente en el otro varía a razón de un amp/seg.

5.5 FERROMAGNETISMO.

5.5.1 Curvas de imantación:

La densidad de flujo no es función lineal de la excitación magnética H ó, en otras palabras, la permeabilidad no es constante. La permeabilidad depende de la historia (magnética) del hierro, fenómeno denominado histéresis. En efecto, puede existir un flujo en el hierro aún en ausencia del campo exterior; cuando el hierro se encuentra en este estado se denomina imán permanente.

Cualquier sustancia que presenta las propiedades anteriormente mencionadas, se denomina ferromagnética. El hierro, el níquel y el cobalto son los únicos elementos ferromagnéticos.

A causa de la relación complicada entre la densidad de flujo B y la excitación magnética H en una sustancia ferromagnética, no es posible expresar B mediante una función analítica de H . En lugar de esto, se da la relación entre ambas magnitudes mediante una tabla, ó bien se representa B por una gráfica, en función de H . La curva se denomina curva de imantación de la sustancia.

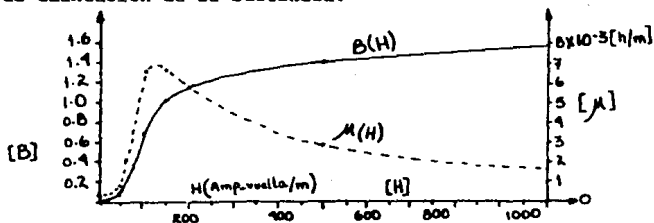


FIGURA 1.

Curvas de imantación y de permeabilidad del hierro templado.

En la fig. 1 se ha representado la curva de imantación de una muestra de hierro templado. La permeabilidad μ igual a la razón de B a H , puede obtenerse en cualquier punto de la curva, dividiendo la densidad de flujo B en dicho punto, por la correspondiente excitación magnética H .

Es evidente que la permeabilidad no es constante. La curva de trazos de la fig. 1 es la gráfica que representa a μ como función de H .

5.5.2 Histéresis:

Una curva de imantación, tal como la representada en la fig. 1, expresa la relación entre la densidad de flujo B en una sustancia ferromagnética y la excitación correspondiente H , siempre que la muestra se encuentre inicialmente desimantada y la excitación magnética aumente de un modo continuo desde cero.

Así, en la fig. 2, si la corriente magnetizante en el enrollamiento de un anillo desimantado aumenta de modo continuo, desde cero hasta que la excitación magnética corresponda a la abscisa Oe , la densidad de flujo B está dada por la ordenada Oa . Si, partiendo del estado desimantado, la excitación magnética se aumenta, primero desde cero hasta Og , y después se hace disminuir hasta Oe , el estado magnético de la muestra viene representado por la trayectoria $Oabc$.

La densidad de flujo cuando la excitación magnética se ha reducido hasta Oe está representada por la ordenada Oh en lugar de la Oa .

Si se anula ahora la corriente magnetizante, la curva continúa hasta el punto d , en el cual la densidad de flujo es O_d .

Se ve que la densidad de flujo en la muestra no depende únicamente de la excitación magnética, sino también de la historia magnética de la misma.

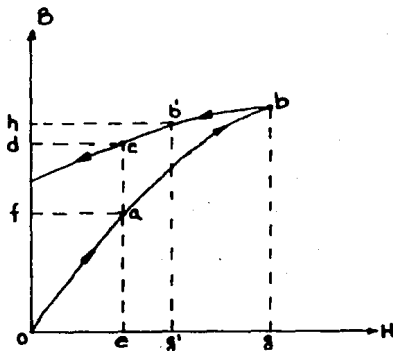


FIGURA 2.

Gráfica que explica el fenómeno de histéresis

La muestra tiene memoria magnética y recuerda que había sido imantada hasta el punto b, aunque se haya suprimido después la corriente magnetizante. En el punto d se ha convertido en un imán permanente. Este comportamiento de la sustancia, evidenciado por el hecho de que la curva B-H no coincide, al disminuir H, con la obtenida cuando H aumenta, se denomina histéresis. El término significa literalmente quedarse atrás.

La curva de imantación Oab de la fig. 2 corresponde a la muestra inicialmente desimantada. Se puede preguntar cómo ha podido obtenerse, dado que al suprimir la corriente magnetizante la densidad de flujo en la sustancia no se anula. Una muestra puede ser desimantada invirtiendo la corriente magnetizante un cierto número de veces y disminuyendo su intensidad en cada inversión.

Los efectos de histéresis introducen una dificultad análoga al medir el flujo en una muestra dada. En ausencia de histéresis, el flujo se anula cuando se suprime la corriente magnetizante un cierto tiempo, y un galvanómetro balístico conectado a una bobina exploradora que rodea la muestra indica el flujo que previamente la atravesaba.

Pero puesto que B no se anula cuando H se reduce a cero, las desviaciones del galvanómetro balístico sólo indican las variaciones de flujo que corresponden a los cambios de la fuerza magnetizante.

Por tanto; en la práctica, el ciclo completo de histéresis ha de trazarse por etapas, midiendo los cambios de flujo que acompañan a las variaciones de la corriente magnetizante.

Es de desear, evidentemente, que un material destinado a construir imanes permanentes tenga una remanencia grande para que el imán sea fuerte, y una gran fuerza coercitiva para que la imantación no sea destruida por campos magnéticos accidentales.

Una consecuencia de los fenómenos de histéresis, es la producción de calor en el interior de una sustancia ferromagnética siempre que es obligada a describir su ciclo de histéresis. Este calor se origina por una especie de rozamiento interno cuando los dominios magnéticos que existen dentro de la sustancia cambian de sentido.

En consecuencia, si una sustancia ferromagnética ha de estar sometida a un campo que cambia continuamente de sentido, es de desear que el ciclo de histéresis de la sustancia sea estrecho para reducir al mínimo las pérdidas por desprendimiento de calor.

5.5.3 Teoría de los dominios:

Recientes estudios sobre el ferromagnetismo han demostrado que en una sustancia ferromagnética, existen pequeñas regiones llamadas dominios. Estos dominios son de tamaño microscópico, pero suficientemente grandes para contener de 10^{12} a 10^{15} átomos. Dentro de cada dominio los momentos magnéticos de todos los electrones giratorios son paralelos entre sí; ó dicho de otro modo, cada dominio está imantado a saturación. Los sentidos de los campos magnéticos de los dominios, en el hierro, son paralelos a uno ó a otro de los ejes cristalográficos, pero en el hierro no imantado hay una variación al azar del sentido de un

dominio a otro, de modo que el campo magnético resultante de una muestra de tamaño algo grande es nulo; como se puede ver en la fig. 3a.

Variaciones de tipo distinto pueden tener lugar en los dominios cuando la muestra se encuentra en un campo exterior. En campos débiles, los cambios consisten primero en rotaciones de los sentidos de imantación de los dominios tendiendo a aproximarse al paralelismo con el campo exterior, y segundo, en movimiento de los límites de los dominios. Aquellos dominios para los cuales la imantación es aproximadamente paralela al campo exterior, aumentan de tamaño a expensas de los dominios contiguos, en los cuales la imantación forma ángulos mayores con el campo exterior, como se observa en la fig. 3b.

En campos más intensos, para los que la curva de imantación tiene mayor pendiente, todos los dominios giran rápidamente 90° ó 180° hasta hacerse paralelos al eje del cristal que está más próximo al sentido del campo magnético exterior, como se observa en la fig. 3c.

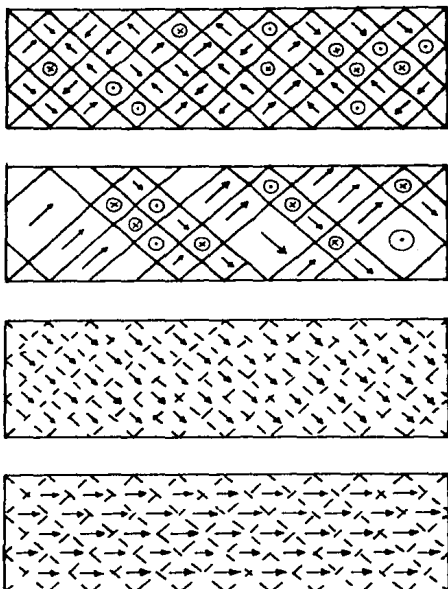


FIGURA 3a, b, c y d.

Esquema para aclarar la variación de la estructura de los dominios en un sólo cristal, al aumentar el campo magnético exterior dirigido de izquierda a derecha. Por comodidad, los dominios están representados por cubos, se cree; sin embargo, que son largos y estrechos. En la fig. 3a se da la muestra desmagnetada; 3b con imantación parcial; 3c con rápida inversión completa (codo de la curva de imantación) y 3d con saturación; giro de los dominios en campos intensos.

Finalmente, en campos intensos la imantación de todos los dominios gira de un modo continuo hasta hacerse paralela al campo exterior; fig. 3d, y toda la muestra se encuentra saturada.

El efecto de Barkhausen, que es más pronunciado en la parte más pendiente de la curva de imantación, demuestra que la imantación tiene lugar por etapas discontinuas cuando los dominios giran ángulos grandes. Si se rodea una barra de sustancia ferromagnética con una bobina exploradora conectada a un amplificador de radio, y se coloca la barra en un campo magnético exterior que puede aumentar ó disminuir de un modo continuo, se oye un sonido crepitante en un altavoz conectado al amplificador. Cuando cada dominio, por turno, cambia de sentido, induce un corto y rápido impulso de corriente en la bobina exploradora y estos impulsos se perciben en el altavoz como un ruido.

5.5.4 Polos magnéticos:

Una muestra de material ferromagnético, en forma de anillo, simplifica la exposición de muchos de los conceptos relacionados con las propiedades magnéticas de la materia, por el hecho de que el campo magnético de tal anillo está confinado enteramente a su interior. Ocupémonos ahora de la imantación de un cuerpo cuyo campo se extiende a la región que lo rodea. El ejemplo más conocido es la aguja imantada, ó un imán en forma de barra ó herradura.

Cuando se coloca una esfera en un campo que antes de introducir éste era uniforme, la esfera se imanta de un

modo análogo a como se polariza una esfera dieléctrica en un campo eléctrico.

En la figura 4a las líneas llenas son las líneas de inducción del campo uniforme inicial y las líneas de trazos son las líneas de inducción debidas a la esfera imantada (Esta es la contribución a la inducción de los circuitos electrónicos situados dentro de la esfera ó de sus corrientes superficiales equivalentes).

La figura 4b representa el campo real después de introducir la esfera, esto es, el campo resultante del campo de la esfera y del campo inicial. En los puntos exteriores, el campo se modifica del mismo modo que el campo que rodea a una esfera dieléctrica polarizada, en un campo eléctrico; sin embargo, en los puntos interiores, la inducción aumenta en el caso magnético, mientras que en el caso eléctrico, la intensidad del campo eléctrico disminuye.

Si la esfera de la figura 4 es ferromagnética, entonces a causa de los efectos de histéresis retiene cierta parte de su imantación cuando se la saca del campo transformándose así en un imán permanente. Las líneas de inducción fuera y dentro de tal esfera imantada están representadas en la figura 4c.

Puesto que el campo magnético fuera de la esfera imantada es geoméricamente idéntico al campo eléctrico fuera de una esfera dieléctrica polarizada, pudiera atribuirse el campo magnético exterior de la esfera a cargas magnéticas ficticias inducidas sobre su superficie. De hecho, antes

que las relaciones entre fenómenos eléctricos y magnéticos se interpretasen con la precisión actual, se supuso que el magnetismo era debido realmente a cargas magnéticas ó, como fueron denominadas, polos magnéticos. Los polos magnéticos norte corresponden a cargas positivas y los polos sur a cargas negativas. A pesar de que no se cree ya en la existencia de cargas magnéticas, es cómodo, sin embargo, en muchos casos utilizar el concepto de polo magnético, y calcular el campo de un cuerpo imantado a partir de sus polos magnéticos en lugar de hacerlo en función de sus corrientes superficiales equivalentes.

El término correspondiente a cantidad de carga eléctrica es intensidad de polo magnético. En el sistema mks, la unidad de intensidad de polo resulta ser el weber. La intensidad de polo se representa por la letra m , que corresponde a q ó Q para las cantidades de carga. La esfera imantada de la figura 4 tiene polos magnéticos distribuidos por toda su superficie, aunque con una densidad superficial que no es uniforme. Los polos norte están distribuidos sobre la semiesfera de la cual salen las líneas de inducción, y los polos sur sobre la semiesfera por la cual entran las líneas de inducción.

La intensidad de polo de un cuerpo imantado puede expresarse en función de su imantación interior. La intensidad de polo m , dentro de cualquier volumen es igual (con signo cambiado) a la integral de superficie de la imantación, extendida a la superficie que limita el volumen, relación exactamente análoga (salvo el signo menos) al teorema de Gauss para el desplazamiento eléctrico D y la carga q :

$$m = - \int \vec{J} \cos \theta \, dA \quad \text{---} \quad (5.1)$$

A la ec. anterior un valor positivo de m indica un polo norte y \vec{D} se considera positiva si está dirigida hacia afuera.

Para una definición más concreta, consideraremos un imán - permanente en forma de barra cilíndrica, dentro de la cual supondremos que la imantación es la misma en todos los puntos y dirigida de izquierda a derecha.

5.5.5 Circuito magnético:

Como hemos visto, cada línea de inducción es una línea cerrada. Aunque no hay nada que fluya a lo largo de estas líneas, es útil establecer una analogía entre las trayectorias cerradas de las líneas de flujo y un circuito cerrado conductor por el cual circula una corriente. La región ocupada por el flujo magnético se denomina circuito magnético, del cual el ejemplo más sencillo es el anillo de Rowland. Cuando el arrollamiento sobre la superficie del anillo es muy apretado, todas las líneas de flujo están prácticamente confinadas en él mismo (fig. 4a). Aún cuando el arrollamiento estuviera limitado a una pequeña porción del anillo, como en la fig. 4b, la permeabilidad de éste es tan grande, respecto a la del aire que lo rodea, que la mayor parte del flujo queda todavía confinado en la sustancia que forma el anillo. La pequeña parte que vuelve después de efectuar un recorrido en el aire se denomina flujo disperso y se ha representado por líneas de trazos.

Si el anillo contiene un espacio de aire, como sucede en la fig. 4c, se producirá cierta dispersión de líneas de flujo en el espacio (entrehierro), pero la mayor parte

del flujo se confina de nuevo en una trayectoria bien definida.

Este circuito magnético puede imaginarse constituido por un anillo por un anillo de hierro en serie con un entrehierro de aire.

La figura 4d representa la sección de un núcleo de transformador de tipo corriente. Aquí el circuito magnético se ha dividido, y puede considerarse que las partes A y C están en paralelo entre sí y en serie con la parte B.

La figura 4e es el circuito magnético de un motor ó de un generador. Los dos entrehierros están en serie con la parte de hierro del circuito.

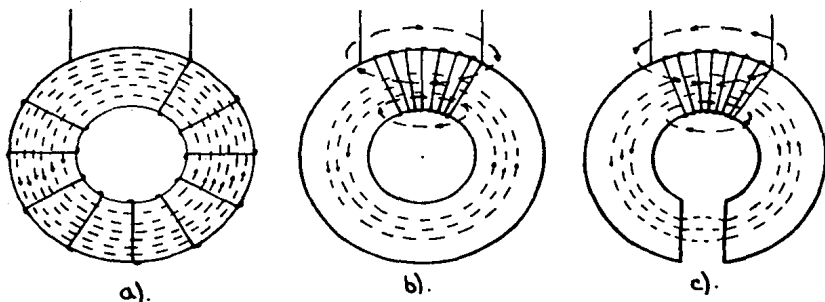
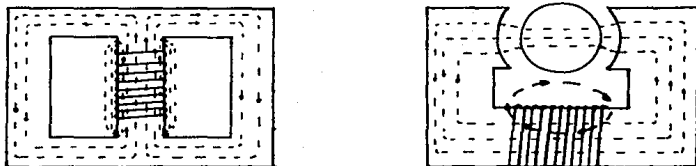


FIGURA 4a, b y c.

Circuitos magnéticos. (a) Anillo de Rowland, completamente arrollado. (b) Anillo de Rowland, parcialmente arrollado, mostrando dispersión de flujo. (c) Dispersión en un entrehierro de aire.



(continuación)

FIGURA 4d y e.

Círculo magnético. (d) Dispersión en un núcleo de transformador. (e) Dispersión en el núcleo de un motor o generador.

**PROYECTO DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE CONVERSION
DE ENERGIA ELECTROMECHANICA I.**

PRACTICA 1

"NORMAS DE SEGURIDAD Y FUENTE DE PODER"

OBJETIVOS:

1.1 Que el alumno conozca y sepa aplicar las más importantes normas de seguridad para su propia protección y la del equipo, así como conocer el alcance de los riesgos personales en caso de no considerar dichas normas de seguridad.

1.2 Conocimiento del principio de funcionamiento de la fuente de poder del Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica; tanto física, como funcionamiento, así como de su diagrama eléctrico equivalente.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Fuente de Poder FDP y cables de conexión.

INTRODUCCION TEORICA:

Es absolutamente necesario que toda persona que trabaje con electricidad aplique estrictamente las normas de seguridad que sean pertinentes para asegurar, tanto su integridad física, como los instrumentos y/o equipos que utilice en sus actividades.

La electricidad puede ser peligrosa e incluso fatal para quienes no entienden ó practiquen las reglas básicas de seguridad.

Dentro de esas normas de seguridad que pretendemos introducir en esta práctica consideremos las siguientes:

1). Adquirir buenos hábitos de trabajo.- Es decir, organizar adecuadamente las tareas a desarrollar, de forma metódica y ordenadamente.

2). Aprender a manejar las herramientas y los equipos de medición.- En este punto debemos hacer referencia a los límites de trabajo que tienen las máquinas herramienta. Ya que existe una herramienta para cada tipo de maniobra que se desee realizar sin forzar y/o dañar dicha herramienta. Esto mismo lo debemos aplicar a los equipos de medición, ya que se deben de operar de forma correcta y segura (Existen manuales con la teoría de operación de dichos equipos).

3). Estudiar y analizar siempre el trabajo que se va a realizar.- Es deseable que el alumno tenga pleno conocimiento de la (s) actividad (es) que realizará para que adquiera los conocimientos básicos de cada práctica y no tenga ningún problema mayor en la realización de la misma.

4). No distraerse ó distraer a otras personas que se encuentren trabajando en tareas peligrosas.- Resulta obvio que la distracción ó los juegos son causa comprobada de muchos accidentes de trabajo. Por eso de alguna manera deseamos que los alumnos entiendan que jamás se debe realizar una maniobra con equipo eléctrico sino existen las condiciones adecuadas para su realización. Una distracción puede ser fatal.

5). Siempre que haya duda preguntar.- Es recomendable que si existe (n) duda (s) en algún procedimiento y/o conexión

del equipo, preguntar al instructor. De esta manera se evita correr algún daño físico o daño al equipo que se esté utilizando.

Estas son algunas normas de seguridad que se deben de considerar al trabajar en el Laboratorio de CCEM.

Pero consideramos, que no está por demás que el alumno extreme, en la medida que él considere necesario dichas normas; ya que está de por medio su integridad física y el óptimo funcionamiento de las herramientas y equipo de medición que le sean asignados para la elaboración de su (s) - práctica (s).

Ahora describiremos algunos conceptos teóricos que se deberán aplicar en esta práctica y en las subsecuentes:

a). Fuentes de Poder. - La mayor parte de las Fuentes de Poder, suministran corriente alterna, debido a que ésta es fácil de generar y transmitir en líneas de carga largas.

Una Fuente de Poder completa, contiene también un divisor de potencial para suministrar corriente continua a los diferentes potenciales necesarios para los electrodos, y algunas veces un regulador de voltaje para mantener el voltaje de salida de corriente continua en un valor relativamente constante.

La forma más conveniente para cambiar corriente alterna a corriente continua es empleando rectificadores. Un rectificador es capaz de cambiar corriente alterna a una forma pulsante de corriente continua; para obtener una corriente continua más lisa, se requieren circuitos adicionales de filtrado.

b). Voltaje alterno.- Fuerza electromotriz (FEM) cuya polaridad conmuta con el tiempo. Se genera ó produce, por medio de alternadores impulsados por turbinas, máquinas de combustión, viento, etc., ó bién por dispositivos electrónicos de pequeña ó mediana potencia conocidos como osciladores ó generadores de funciones senoidales.

Si los bornes ó terminales de salida de un generador conmutan ó cambian de polaridad periódicamente, de acuerdo con un patrón determinado, la diferencia de potencial ó voltaje entre sus terminales será alterno. El ritmo en el cambio de polaridad de las terminales lo fija la frecuencia.

c). Corriente alterna.- Anteriormente se anotó que la frecuencia de voltaje entre dos terminales puede ó no producir un desplazamiento de cargas eléctricas. Cualquier cantidad de cargas desplazadas en la unidad de tiempo se denomina corriente eléctrica y su magnitud será un Ampère cuando el flujo de carga corresponda a un coulombio por segundo (la corriente generada por un voltaje expresado en valor eficaz, queda también expresada en valor eficaz).

d). Frecuencia.- Es la rapidez con que cambia el sentido de conducción de la corriente en un sistema eléctrico alterno. La frecuencia expresa la cantidad de cambios de polaridad que por segundo presenta la diferencia de potencial en un circuito. Se mide en Hertz (Hz).

e). Fase.- Se refiere a la coincidencia ó no coincidencia de variación de amplitudes, con respecto al Tiempo, de dos señales sinusoidales de la misma frecuencia. Una señal puede estar en fase ó fuera de fase con respecto a

otra. El grado de defasamiento se expresa en radianes ó en grados eléctricos (2π radianes = 360° eléctricos).

f). Impedancia.- Es la propiedad que tiene el conjunto de elementos pasivos de un circuito, de limitar la corriente que fluye por el circuito, corresponde en magnitud a la relación existente, para un circuito dado, entre el voltaje aplicado y la corriente que pasa por el mencionado circuito.

PROCEDIMIENTO Y/O DESARROLLO:

1.- Explicación por parte del profesor ó instructor, de las normas de seguridad más importantes al trabajar con voltajes y corrientes de valor alto (relativamente), así como las consecuencias que se pueden tener si no se respetan adecuadamente.

2.- Explicación de cómo está formado el embobinado de la fuente de poder.

3.- Explicación por parte del instructor, de cómo están distribuidos los controles de una fuente de energía, así como los rangos de medición de voltaje y corriente en las salidas trifásicas y en las salidas de c-d variables y constantes.

4.- Demostración teórica y práctica de que la suma de las tres corrientes que circulan a través de un sistema trifásico es cero, utilizando el método de fasores. Las fases son iguales.

5.- Explicación de cómo es posible hacer combinaciones en las formas de conectar circuitos en delta ó estrella.

6.- Explicación de parte del instructor, de cómo están distribuidas las diferencias de potencial entre los bornes de la fuente de energía.

7.- Explicación y realización por parte del instructor, del diagrama eléctrico de la fuente de energía del Laboratorio de Conversión.

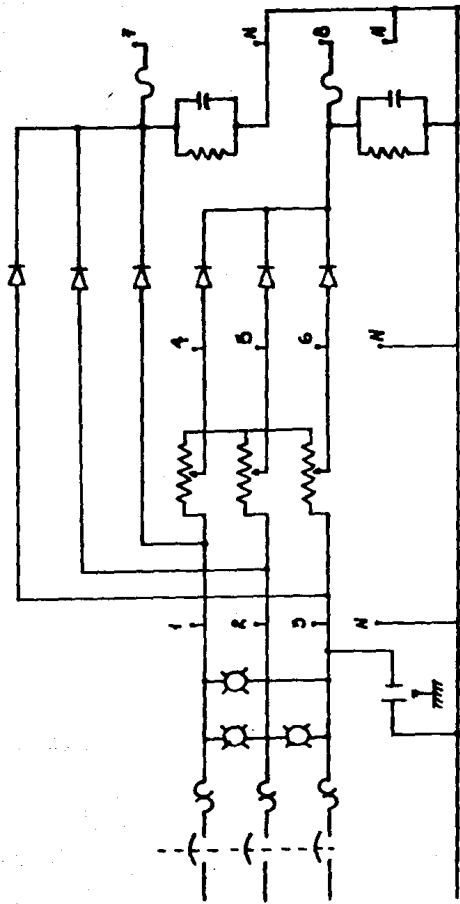
CUESTIONARIO:

- 1.- Explique en qué consisten las normas de seguridad.
- 2.- Explique cómo funciona el embobinado de la fuente de poder.
- 3.- Explique cómo funcionan las combinaciones delta-estrella y estrella-delta en un transformador y para qué se utilizan esas combinaciones.
- 4.- Explique y dibuje el diagrama eléctrico de la fuente de poder del Laboratorio de Conversión.

CONCLUSIONES:

a). Se han planteado y discutido las principales normas de seguridad que han de seguirse en el Laboratorio de Conversión, para no tener accidentes en el desarrollo de la (s) práctica (s).

b). Se ha conocido la teoría de operación de la fuente de poder, así como la conversión de c-a c-d y la utilización de los controles que conforman dicha fuente de poder.



PRACTICA 2

"INSTRUMENTOS DE MEDICION"

OBJETIVOS:

1.1 Explicación por parte del instructor sobre la importancia de las mediciones eléctricas.

1.2 Explicación del funcionamiento y aplicación (es) - del Amperímetro.

1.3 Explicación del funcionamiento y aplicación (es) - del Voltímetro.

1.4 Explicación del funcionamiento y aplicación (es) - del Wáttmetro.

1.5 Explicación del funcionamiento del puente de Wheastone.

1.6 Aplicación de los instrumentos de medición anteriores, a circuitos eléctricos propuestos en el Laboratorio de Conversión.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Fuente de Poder.
- 2.- Módulos de medición de c-a y c-d.

- 3.- Módulo de resistencias.
- 4.- Módulo de capacitancias.
- 5.- Módulo de inductancias.
- 6.- Cables y conectores.

INTRODUCCION TEORICA:

Los amperímetros, óhmetros y wattmetros son instrumentos que se usan para medir corriente, voltaje, resistencia y potencia, respectivamente. Los instrumentos más simples con que se miden el voltaje y la corriente son los medidores electromecánicos de corriente continua (c-c) y de corriente alterna (c-a).

El mecanismo sensor más comúnmente usado en los amperímetros, voltímetros y óhmetros básicos de c-c es un instrumento sensor de corriente que recibe el nombre de mecanismo medidor D'Arsonval ó de imán permanente y bobina móvil (fig. 1).

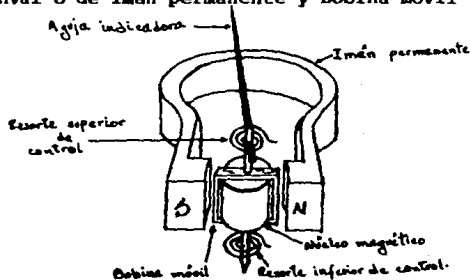


FIGURA 1.
Mecanismo medidor D'Arsonval

El medidor tiene un imán permanente y una bobina que conduce la corriente. La bobina está en el campo del imán permanente. Cuando hay corriente en ella se produce un par que tiende a hacerla girar. La rotación está restringida por resortes helicoidales de manera que el movimiento de la bobina y por lo tanto, de la aguja indicadora es proporcional a su corriente.

Es claro que el mecanismo D'Arsonval, de una u otra manera, se puede utilizar para la medición de corriente directa. Cuando este dispositivo se conecta a c-a, es posible que vibre ó indicará cero si la frecuencia es suficientemente grande. En cualquier caso, el mecanismo D'Arsonval no tiene una aplicabilidad directa a la medición de c-a.

Los dos tipos más comunes de mecanismos que se utilizan para la medición de c-a son: el de núcleo de hierro ó hierro móvil y el electrodinámico. En el instrumento de hierro móvil, como el que se muestra en la fig. 1 a, la corriente se suministra en la bobina fija. El núcleo de hierro móvil y se conecta a un resorte restaurador como se puede observar.

De esta manera, el desplazamiento del núcleo es proporcional a la fuerza inductiva ejercida por la bobina. Este tipo de medidor está sujeto a pérdidas debidas a las corrientes parásitas (de Foucault ó de fuga) en el núcleo y a los diversos efectos de histéresis, que limitan su exactitud.

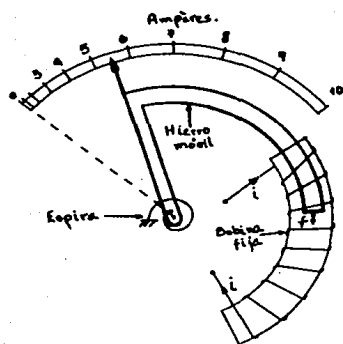


FIGURA 1 a.
Principio de operación del instrumento
del núcleo de hierro ó hierro móvil.

1.- Principio del Electrodinámómetro.- Algunos instrumentos para c-a se fundan en el principio del electrodinámómetro (fig. 1b).

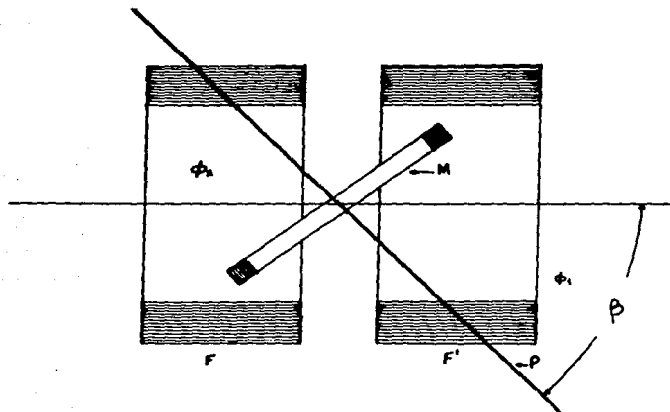


FIGURA 1 b.
Construcción del Electrodinámómetro.

Se tienen dos bobinas fijas, F y F' están en serie y acopladas de modo que sus campos magnéticos actúan en conjunción. Estas bobinas pueden considerarse como dos trozos de una sola bobina, separados en su parte media para dar paso al eje de la bobina móvil.

Donde M es una bobina móvil montada sobre un eje vertical. Este eje lleva en los extremos, pivotes de acero templado, que se apoyan en piezas de joyería.

Dos resortes en espiral, se oponen a la rotación de la bobina M y sirven al mismo tiempo de conductores de alimentación. Como por los resortes no puede pasar más que una corriente débil, el devanado de la bobina es de hilo fino.

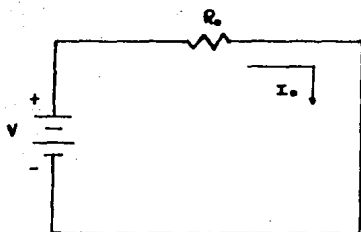
Supongamos que en un instante cualquiera, la dirección del campo magnético ϕ , debido a las bobinas fijas, es de izquierda a derecha.

En el mismo instante, la corriente que pasa por M genera un campo ϕ_1 cuya dirección coincide con el eje geométrico de esta bobina. Las bobinas tienden a alinearse de modo que el número de líneas de fuerza comunes sea máximo. La bobina móvil por lo tanto tiende a girar en el sentido de las agujas del reloj, de manera que su campo se sume al ϕ ; los resortes amortiguadores se oponen a la rotación de M .

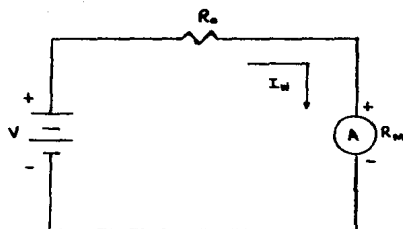
El par desarrollado es proporcional a ϕ , a ϕ_1 y a $\text{sen } \beta$ siendo β el ángulo que forman los ejes de la bobina móvil M y de las bobinas fijas $P P'$. Como ϕ y ϕ_1 son proporcionales a las intensidades de corriente que circulan por las respectivas bobinas, el par resulta proporcional a estas intensidades y a $\text{sen } \beta$.

2.- Principio del Amperímetro.- Un amperímetro mide corriente eléctrica. Su escala puede estar calibrada en amperes, miliamperes ó microamperes. Para medir la corriente

se inserta un amperímetro en serie con el circuito que se prueba, fig. 2. La adición del amperímetro aumenta la resistencia del circuito en una cantidad igual a la resistencia interna del medidor R_M .



a). Corriente verdadera I_o , sin el amperímetro en el circuito.



b). Corriente medida I_M con el amperímetro en el circuito.

FIGURA 2.
Circuito para la medición de corriente.

Según la ley de Ohm, la corriente sin medidor es:

$$I_o = \frac{V}{R_o} \text{ --- 1}$$

Según la ley de Ohm, la corriente con medidor añadido es:

$$I_w = \frac{V}{R_o + R_m} \text{ --- 2}$$

La exactitud del medidor K_A es el cociente de la corriente cuando el medidor está en el circuito (corriente medida), I_w , entre corriente sin el medidor (corriente verdadera), I_o , es decir:

$$K_A = \frac{I_w}{I_o} \text{ --- 3}$$

también al sustituir 1 y 2 en la ec. 3 tenemos:

$$K_A = \left(\frac{V}{R_o + R_m} \right) \left(\frac{R_o}{V} \right) = \frac{R_o}{R_o + R_m} \Rightarrow K_A = \frac{R_o}{R_o + R_m} \text{ --- 4}$$

El error de carga porcentual es el error porcentual en la lectura del amperímetro debido a los efectos de carga que resultan al añadir la resistencia del medidor.

$$\text{Error de carga (\%)} = (1 - K_A) (100) \text{ --- 5}$$

Una lectura con el 100% de exactitud significa que el error

de carga es 0%. Una lectura con el 99% significa que el error de carga es de 1%.

Un segundo error en un amperímetro real es el error de calibración que resulta cuando la carátula del medidor puede no estar marcada exactamente. La especificación de este error se hace respecto a la corriente de la escala completa. Los valores característicos son de 3% de la corriente de la escala completa.

Un amperímetro con corriente de escala completa I_M puede tener una derivación conectándole un resistor en paralelo R_D , con objeto de medir corrientes mayores que I_M (fig. 3). El propósito de una derivación es la aplicación del intervalo de medición del amperímetro al permitirle medir una corriente mayor que su valor original de la escala completa.

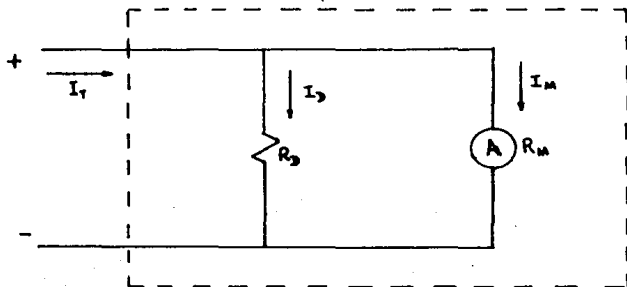


FIGURA 3.

Amperímetro con una derivación.

Según la ley de la corriente de Kirchoff:

$$I_D = I_T - I_M \quad \text{--- 6}$$

Como el voltaje en el resistor de derivación debe ser igual al voltaje en el amperímetro:

$$I_D R_D = I_M R_M \quad \text{--- 7}$$

ó sea que:

$$R_D = \frac{I_M R_M}{I_D} \quad \text{--- 8}$$

al sustituir I_D de la ec. 6 en la ec. 8 se tiene:

$$R_D = \frac{I_M R_M}{I_T - I_M} \quad \text{--- 9}$$

La resistencia de entrada del amperímetro con derivación es:

$$R'_M = \frac{R_M R_D}{R_M + R_D} \quad \text{--- 10}$$

también podemos expresar a R'_M como:

$$R'_M = \frac{V_{ENTRADA}}{I_{ENTRADA}} = \frac{I_M R_M}{I_T} \quad \text{--- 11}$$

3.- Principio del Voltímetro. - Se puede construir un -

voltímetro de c-c sencillo al colocar un resistor R_S , llamado multiplicador, en serie con el mecanismo del amperímetro marcando la carátula del medidor para que indique el voltaje V entre el resistor y el voltímetro (fig. 4).

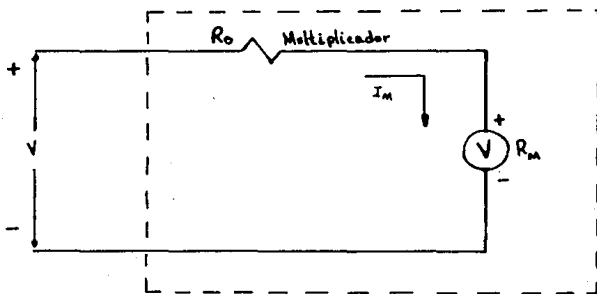


FIGURA 4.
Voltímetro de c-c sencillo

Por la ley de Ohm: $V = I_M R_S + I_M R_M$ --- 12

$$I_M R_S = V - I_M R_M$$

de donde:

$$R_S = \frac{V}{I_M} - R_M$$
 --- 13

cuando R_M es despreciable:

$$R_D \cong \frac{V}{I_M}$$

La resistencia de entrada de un voltímetro simple (fig. 4) es:

$$R_{ENT} = R_D + R_M \qquad R_{ENT} = \frac{V}{I_M} \quad \text{--- 14}$$

en la cual V es el voltaje de la escala completa e I_M es la corriente de la escala completa del mecanismo medidor. Se define un factor de sensibilidad S como el recíproco de la corriente de la escala completa.

$$S = \frac{1}{I_M} \frac{\Omega}{V} \quad \text{--- 15}$$

el valor de S está generalmente impreso en la carátula del medidor.

Cuando se conecta un voltímetro a un circuito, el voltímetro consume corriente del circuito. Esta corriente produce una corriente (caída de voltaje) en la resistencia de la bobina, la cual se resta del voltaje que se mide. Esta reducción en voltaje se llama el efecto de carga.

La precisión del voltímetro, K_V , se define como el cociente del voltaje cuando el voltímetro está en el circuito (voltaje medido), V_w , entre el voltaje sin el voltímetro (voltaje real), V_o , con el objeto de determinar K_V (fig. 5).

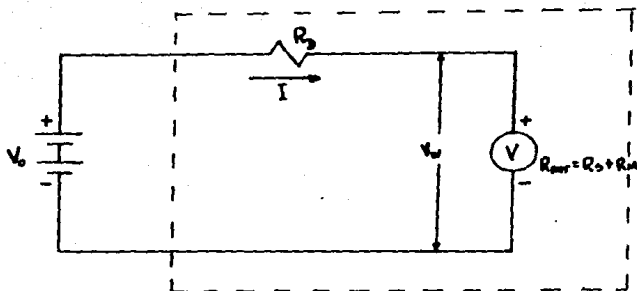


FIGURA 5.

Medición de circuito con voltímetro

Utilizando la ley de Ohm se tiene:

$$I = \frac{V_0}{R_0 + R_{ent}}$$

en la cual V_0 es el voltaje real que se mide, R_0 es la resistencia del circuito y R_{ent} es la resistencia de entrada del voltímetro. El voltaje indicado por el medidor es:

$$V_w = IR_{ent}$$

de manera que:

$$V_W = \frac{R_{ENT}}{R_o + R_{ENT}} V_o \quad \text{--- 16}$$

y por tanto:

$$K_V = \frac{V_W}{V_o} = \frac{R_{ENT}}{R_o + R_{ENT}} \quad \text{--- 17}$$

Al igual que con el amperímetro: K_V

$$\text{Error de carga (\%)} = (1 - K_V) (100) \quad \text{--- 18}$$

4.- Principio del Ohmetro.- El óhmetro es un instrumento con el que se determina la resistencia y consiste (fig. 6) - en una batería, un mecanismo medidor calibrado para indicar ohms y un resistor. R_o es una resistencia limitadora de la corriente e incluye la resistencia del medidor R_M . Se indica R_o como resistor ajustable con objeto de ajustar el cero de la escala y corregir el desgaste de la batería. R_x es la resistencia desconocida que debe medirse. El ajuste del cero se hace al cortocircuitar primero las terminales ab del óhmetro y ajustar R_o para producir una deflexión de toda la escala.

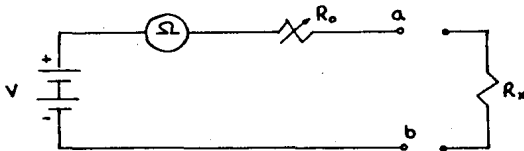


FIGURA 6.
Ohmetro sencillo

La corriente para una deflexión de toda la escala es:

$$I_M = \frac{V}{R_o} \text{ --- 19}$$

Cuando R_x está conectada entre las terminales del óhmetro, la corriente es:

$$I = \frac{V}{R_o + R_x} \text{ --- 20}$$

Una manera conveniente de determinar la deflexión del óhmetro es usando un factor de deflexión D , que es el cociente de I entre I_M .

$$D = \frac{I}{I_M} = \frac{R_o}{R_o + R_x} \text{ --- 21}$$

$$I = D I_M \text{ --- 22}$$

al resolver para R_x en la ec. 21 obtenemos:

$$R_x = \frac{1-D}{D} R_o \text{ --- 25}$$

Si ocurre una deflexión de media escala, es decir $D = \frac{1}{2}$, $R_x = R_o$ de manera que marcamos el valor de R_o a la mitad de la escala en la carátula del óhmetro.

5.- Principio del Wáttmetro.- Un wáttmetro es un instrumento que mide la potencia de c-c ó la potencia c-a real. Esta provisto de bobinas fijas para indicar la corriente en el circuito mientras que la bobina móvil indica el voltaje

(fig. 7). Las bobinas \mathcal{L}_1 y \mathcal{L}_2 en serie son las bobinas fijas - que sirven como amperímetro para medir la corriente.

Las dos bobinas de I están conectadas en serie con la carga. La bobina móvil \mathcal{L}_v y su resistencia multiplicadora R_G son usados como voltímetro con las terminales de V conectadas a la línea en paralelo con la carga. Por consiguiente, la corriente en las bobinas fijas es proporcional a I mientras - que la corriente en la bobina móvil es proporcional a V .

La deflexión de la aguja indicadora es proporcional al producto VI , que es la potencia.

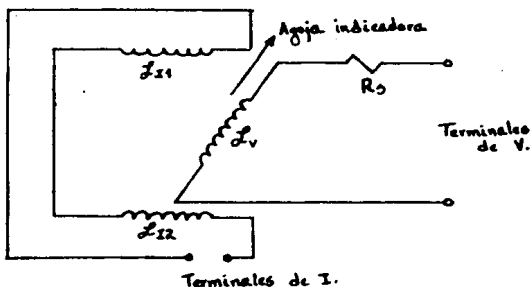


FIGURA 7.

Diagrama esquemático de un Wáttmetro

Las especificaciones nominales del wáttmetro son su corriente, voltaje y potencia máxima. Cada una de estas

especificaciones debe satisfacerse para evitar daños al wattmetro.

- a). La potencia disipada en un circuito de c-c es:

$$P=VI \quad \text{ó} \quad P=I^2R$$

- b). La potencia disipada en un circuito de c-a es:

$$P=V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad \text{ó} \quad P=I^2R$$

en donde θ es el ángulo de fase entre V e I .

6.- Principio del Puente de Wheastone.- Los circuitos puente tienen gran variedad de aplicaciones en la medición de resistencia, inductancia y capacitancia, bajo condiciones tanto de estado permanente como de estado transitorio.

El puente de Wheastone se utiliza generalmente para la comparación y medición de resistencias en un rango de 1Ω a $1M\Omega$.

En la fig. 8 se presenta un diagrama esquemático de dicho puente, el cual está compuesto por cuatro resistencias: R_1 , R_2 , R_3 , R_x .

R_1 es una resistencia variable, mientras que R_x es desconocida. Cuando se cierra el interruptor S_1 , se aplica un voltaje al puente y, ajustando la resistencia variable R_1 , el -

puede se puede equilibrar de manera que el potencial en el punto B iguale al del punto D. Esta condición de equilibrio se puede conseguir conectando el galvanómetro al circuito a través del interruptor S_2 , y posteriormente ajustando el valor de R_1 hasta que el galvanómetro indique cero corriente. - En estas condiciones, la caída de voltaje en la resistencia R_2 debe igualar a la caída en la resistencia R_1 . De esta manera:

$$i_2 R_2 = i_1 R_1$$

también tenemos:

$$i_2 = i_3 = \frac{E}{R_2 + R_3}$$

y además:

$$i_1 = i_x = \frac{E}{R_1 + R_x}$$

si eliminamos las corrientes de estas relaciones obtenemos:

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1}{R_x} \quad \text{--- (24)}$$

o también:

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad \text{--- (25)}$$

ESTA COPIA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

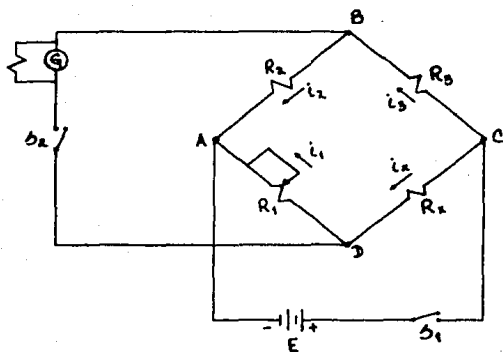


FIGURA 8.
Puente de Wheastone

Si las resistencias R_1 , R_2 y R_3 se conocen, se puede determinar fácilmente el valor de la resistencia R_x .

El término "ramas de relación" se utiliza frecuentemente para describir dos ramas adyacentes conocidas en un puente de Wheastone. Generalmente el galvanómetro se conecta a la unión de estas dos resistencias conocidas. En estas condiciones, las resistencias R_2 y R_3 de la fig. 8 serían las ra

mas de relación.

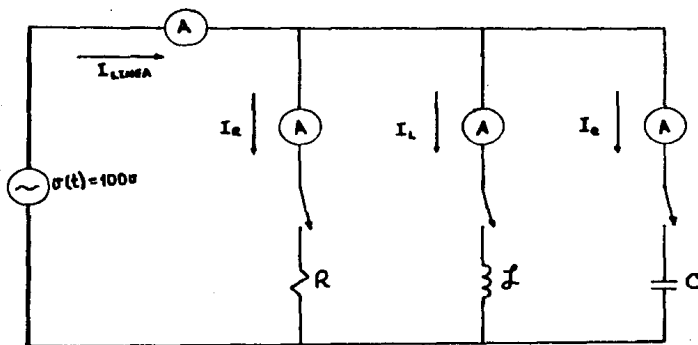
El puente de Wheastone también se puede emplear para la medición de impedancia de c-a. El problema principal es que se deben satisfacer dos condiciones de balance para obtener el equilibrio del puente: una condición satisface el equilibrio en la parte real de la onda; mientras que la otra condición es para el equilibrio de la parte imaginaria. Los circuitos puente se utilizan ampliamente para mediciones experimentales. Los circuitos puente también se utilizan en condiciones de desequilibrio, debido a que se pueden producir cambios muy grandes en la señal del detector al ocurrir variaciones muy pequeñas en una de las ramas del puente, esta característica puede servir para el control de otros circuitos.

Los circuitos puente pueden operar ya sea bajo condiciones de equilibrio ó por deflexión. La condición de equilibrio ya se ha descrito como la situación en donde el galvanómetro ó dispositivo sensor arroja una lectura de cero para condiciones de balance. En cualquier otro estado, la lectura del galvanómetro sufrirá una cierta deflexión a partir de su condición de equilibrio, la cual depende de su grado de desequilibrio. De esta manera, la señal en el galvanómetro ó detector se puede tomar como una indicación del desbalance del puente y puede indicar la variación de una de sus ramas a partir de una condición específica de equilibrio. El uso de la deflexión en el puente es de particular importancia para la medición de señales dinámicas, en las cuales no se dispone del tiempo suficiente para alcanzar las condiciones de balance.

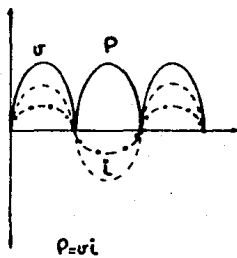
PROCEDIMIENTO Y/O DESARROLLO:

1.- Explicación por parte del instructor, sobre la teoría de operación y funcionamiento del Amperímetro, Voltímetro, Wáttmetro, Ohmetro y Punte de Wheastone utilizados en el Laboratorio de Conversión.

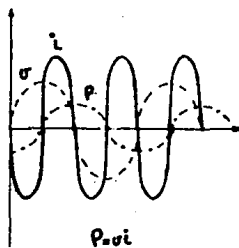
2.- Arme el siguiente circuito como modelo para mediciones de c-a.



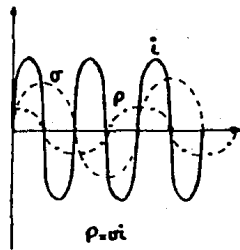
3.- Obtención de los valores instantáneos de voltaje, corriente y potencia de un circuito resistivo, inductivo y capacitivo. Grafique por separado dichos valores a partir de $P = vi$.



Resistencia



Inductancia



Capacitancia

PRACTICA 3

"GENERADOR DE C.A."

OBJETIVOS:

- 1.1 Conocer las partes principales de un generador de c-a (Alternador).
- 1.2 Observar prácticamente el concepto de corriente de excitación y obtener gráficamente la curva de saturación del alternador.
- 1.3 Aprender el concepto de secuencia de fases.
- 1.4 Observar el fenómeno ocasionado por el magnetismo remanente.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|-------------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de Fuente de Poder | EMS 8821 |
| 2.- | Motor de inducción jaula de ardilla | EMS 8221 |
| 3.- | Generador síncrono | EMS 8241 |
| 4.- | Módulo de c-d | EMS 8412 |
| 5.- | Módulo de voltímetros de c-a | EMS 8426 |

- 6.- Secuencímetro
- 7.- Banda
- 8.- Cables de conexión

INTRODUCCION TEORICA:

El término "Generador" se aplica a una máquina giratoria, que sirve para convertir energía mecánica en eléctrica. Las máquinas que proporcionan corriente alterna, casi siempre se les conoce con el nombre de alternadores; aunque puede llamárseles, generadores de c-a.

Los generadores eléctricos generalmente tienen eficiencias entre 60 y 70%, cuando son de capacidades pequeñas. Tratándose de generadores más grandes, de más de 1,000 kw., la eficiencia puede ser del orden de 90 y 93%.

El valor de la fuerza electromotriz generada se define como energía convertida por unidad de carga que pasa a través de una sección del generador; expresando esto último en forma matemática nos queda como:

$$E = \frac{d w}{d q} \quad \begin{array}{l} \text{Joule} \\ \text{Coul} \end{array}$$

Como se sabe, un generador está constituido aplicando el principio desarrollado por Michael Faraday, y que consiste en el movimiento de una serie de espiras enlazadas y girando dentro de un campo magnético fijo. Aunque también se puede

generar fuerza electromotriz haciendo girar un campo magnético dentro de un solenoide fijo.

Tomando el primer principio de generación de FEM anteriormente enunciado, tenemos que debido al campo magnético cada conductor experimentará una fuerza que es igual a:

$$F = i l B \quad \text{--- (3.1)}$$

siendo:

F = fuerza experimentada por el conductor

B = intensidad de campo magnético

i = corriente inducida en el conductor

l = longitud del conductor

El trabajo realizado será igual a:

$$dw = F ds \quad \text{--- (3.2)}$$

siendo ds una diferencial que depende de la velocidad del conductor y del tiempo transcurrido, siendo entonces:

$$ds = v dt \quad \text{--- (3.3)}$$

por lo tanto el trabajo queda:

$$dw = F v dt \quad \text{--- (3.4)}$$

6

$$dw = i l B v dt$$

pero se sabe que:

$$i \, d t = d q \text{ --- (3.5)}$$

sustituyendo en la ecuación anterior:

$$d w = B \, l \, v \, d q \text{ --- (3.6)}$$

despejando:

$$\frac{d w}{d q} = B \, l \, v$$

por lo tanto:

$$E = l \, v \, B \text{ --- (3.7)}$$

que como es una cantidad vectorial queda:

$$E = \overline{l} \left(\overline{v} \times \overline{B} \right) \text{ --- (3.8)}$$

Con lo anterior decimos que en un generador el voltaje que nos proporciona dependerá de:

- i). La intensidad del campo magnético (B)
- ii). La velocidad de los conductores (v)
- iii). El número de conductores (l)

El generador elemental está formado por los dos polos de un imán permanente, varias vueltas de alambre enrollado en forma rectangular y que gira entre los dos polos, dos

anillos colectores que giran con el alambre y dos escobillas contactadas con los anillos.

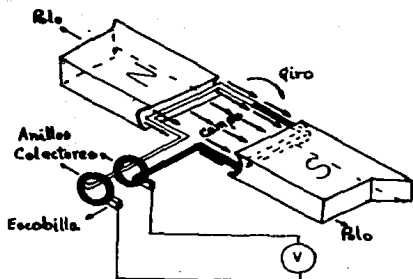


FIGURA 1.

El generador de la fig. 1 es la construcción más elemental, pero su funcionamiento está regido por el mismo principio de los grandes generadores industriales.

La siguiente figura (fig. 2) muestra un corte transversal del generador.

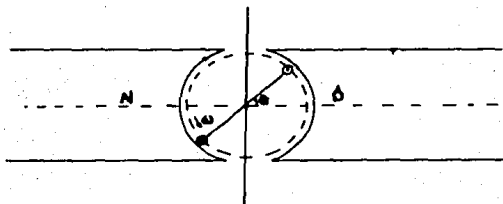


FIGURA 2.

La FEM generada es alterna debido a que depende de la cantidad de flujo que atraviesa el área formada por la bobina y dada por:

$$B = B_{\max} \text{ Sen } \theta$$

por lo que será mayor cuando $\theta = 90^\circ$ y menor cuando $\theta = 0^\circ$, ya que las líneas del campo magnético serán paralelas al área - en ese instante.

La figura 3 ilustra la forma de la onda obtenida en función de las diferentes posiciones de la espira.

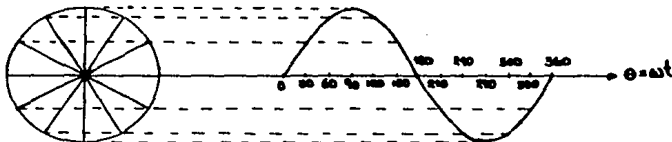


FIGURA 3.

Por razones que posteriormente se justificarán se requirió la construcción de generadores trifásicos; pero el tener los tres devanados en el rotor representaba un gran problema por lo que se optó en la construcción de un generador de polos giratorios como es el que se utiliza en la práctica; este último es un generador de cuatro polos y se ilustra en la siguiente figura (fig. 4).

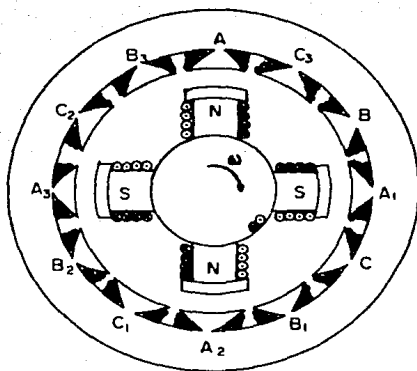


FIGURA 4.

DESARROLLO:

Como primer fase de la práctica deberá hacerse un reconocimiento de las partes principales del generador como son:

- 1.- Carcasa
- 2.- Inductor
- 3.- Inducido (3 ϕ)
- 4.- Anillos deslizantes
- 5.- Escobillas
- 6.- Cojinetes

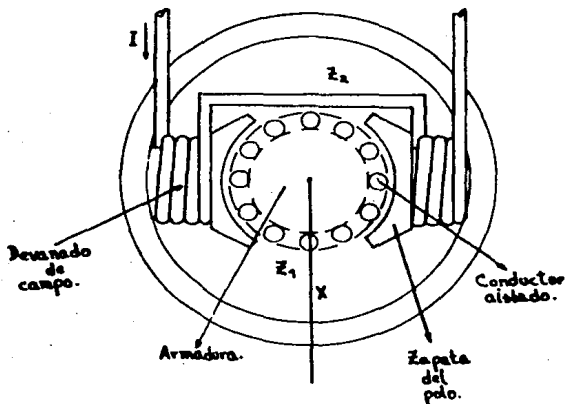


FIGURA 5.

1.- Es importante que los alumnos tengan firmemente asentado el concepto de saturación y de magnetismo remanente.

El primero, como es sabido, se debe a que a un material ferromagnético no se le puede incrementar el flujo magnético indefinidamente, sino que tiene un límite debido a las fuerzas intermoleculares que presentan las partículas y que se oponen al aumento potencial de dicho campo.

El magnetismo remanente es como su nombre lo dice, una cantidad de densidad magnética que conserva el material aún después de que ha cesado toda excitación magnética.

Para la comprobación de lo anterior se requiere del siguiente experimento:

1.- Conectar el motor de inducción de jaula de ardilla como lo ilustra la figura 6 y acoplarlo por medio de la banda al generador síncrono.

NO APLIQUE POTENCIA TODAVIA.

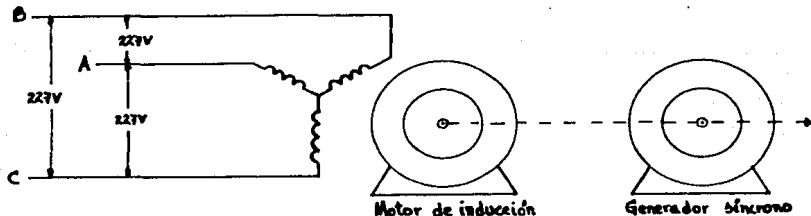


FIGURA 6.

2.- Conecte la bobina del inductor a la fuente de c-d variable a través de un amperímetro que nos servirá para tomar la lectura de la corriente de excitación. Conecte los voltímetros como se indica en la figura 7 para registrar los voltajes generados.

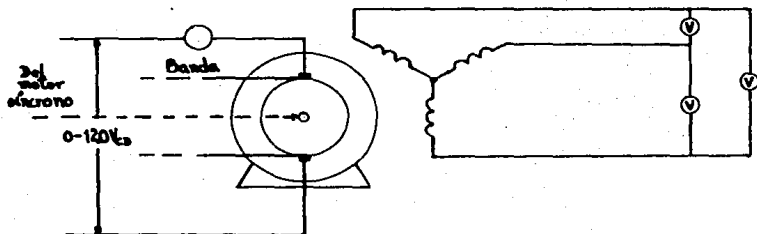


FIGURA 7.

3.- El reóstato deberá estar en su posición extrema para una impedancia igual a cero.

4.- Encienda la fuente, el motor deberá comenzar a girar.

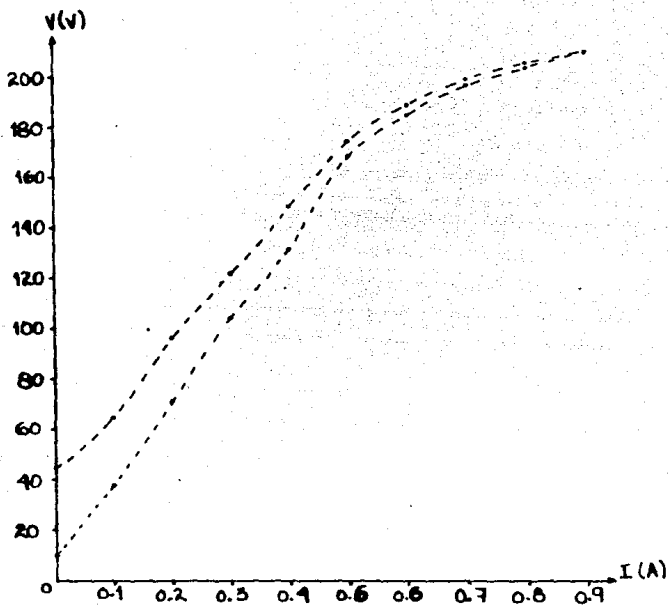
Sin aplicar tensión al generador, mida el voltaje generado por el magnetismo remanente y regístrelo en la tabla 1.

5.- A continuación incremente paulatinamente la tensión de c-d para obtener la corriente de excitación que muestra la tabla 1, y anóte los voltajes obtenidos.

6.- Al graficar la corriente de excitación contra el voltaje se tendrá una gráfica igual a la siguiente ilustración. (fig. 8)

TABLA 1.

I_1 (mA)	V_1 (V)	V_2 (V)	V_3 (V)	V_{prom} (V)
0	10	10	10	10
100	40	39	40	39
200	71	72	73	72
300	110	112	109	110.3
400	139	140	140	139.6
500	170	171	171	170.6
600	185	186	187	186
700	197	198	198	197.6
800	205	206	205	205.3
900	210	212	211	211
800	205	205	205	205
700	198	200	199	199
600	187	189	188	188
500	174	175	174	174.3
400	148	149	149	148.6
300	122	122	121	121.6
200	96	96	97	96.3
100	65	65	65	65
0	45	45	45	45



La secuencia de fases es un concepto un poco ambiguo y se refiere a la forma en que se suceden las corrientes en los generadores trifásicos y va asociado a su diagrama fasorial; la figura 9 muestra este concepto en forma esquemática.

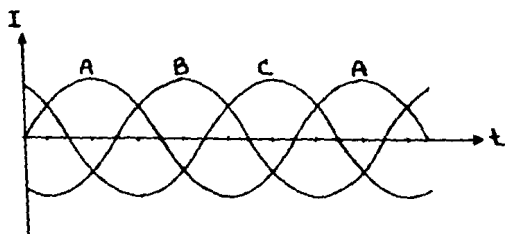


Diagrama de secuencia positiva

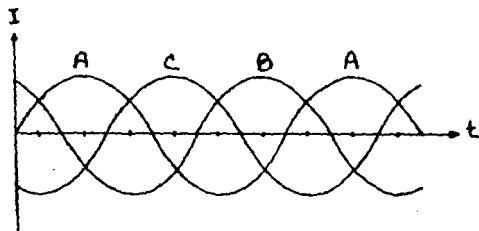
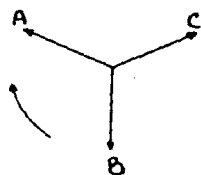


Diagrama de secuencia negativa

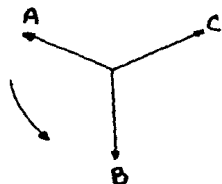


FIGURA 9.

Para ilustrar en forma experimental lo antes citado, procedamos como sigue:

1.- Con el circuito armado anteriormente, pero intercambiando los voltímetros a la salida del generador por el secuencímetro; se debe proceder con la fuente apagada.

2.- Encienda la consola para que el motor gire, y proceda a aumentar la excitación del generador con el reóstato variable.

3.- Observe en el secuencímetro que un foco encienda más que el otro indicando así el tipo de secuencia que se tiene. Anótelos.

4.- Reduzca a cero el voltaje e intercambie los conectores en los bornes, incremente el voltaje y observe ahora la secuencia que presenta. Anótelos y compare con lo hecho anteriormente. Explíquelo.

5.- Apague la fuente e intercambie dos de los cables que excitan al motor.

Encienda la fuente y verifique otra vez la secuencia; observe que el sentido del motor se invierte al intercambiar los cables.

6.- Por último intercambie dos de los cables que entran al secuencímetro, verifique de nuevo la secuencia.

7.- Compare los cuatro resultados y dé una explicación satisfactoria del porqué de los resultados obtenidos.

PRACTICA 4

"EL TRANSFORMADOR MONOFASICO (1 ϕ)"

OBJETIVOS:

- 1.1 Reconocer la forma y estructura de los transformadores monofásicos.
- 1.2 Observar la resistencia óhmica de las bobinas del transformador.
- 1.3 Conocer el comportamiento del transformador con excitación de c-d y c-a.
- 1.4 Observar el fenómeno de la fuerza contraelectromotriz (FCEM).
- 1.5 Comprobar el concepto de relación de transformación.
- 1.6 Obtener la curva de histéresis del transformador.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|-------------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de Fuente de Poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo del Transformador monofásico | EMS 8426 |
| 3.- | Puente de Kelvin | |

4.-	Puente de Wheastone	
5.-	Módulo de c-d	EMS 8412
6.-	Módulo de Voltímetro de c-a	EMS 8426
7.-	Módulo de Amperímetro de c-a	EMS 8425
8.-	Banda	EMS 8942
9.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

El aparato utilizado por Michael Faraday fué el precursor del transformador de c-a (fig. 1).

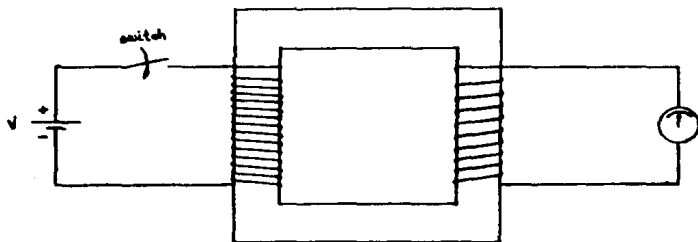


FIGURA 1.

El transformador consiste esencialmente en dos devanados aislados, dispuestos mutuamente de tal forma que una corriente en uno de ellos establecerá un flujo magnético que lo enlazará más o menos totalmente con las espiras del otro.

La FEM inducida en el secundario tiene la frecuencia del primario y su amplitud es proporcional al flujo que barre el secundario y al número de espiras de este último.

Como objeto de asegurar el enlace magnético más eficaz de los dos devanados, el núcleo suele estar formado por una aleación de hierro o acero de gran permeabilidad y baja reluctancia.

La disposición relativa del núcleo y devanados de un transformador queda determinada por la economía del material, sencillez y facilidad en la construcción de sus diversas partes; previsión del aislamiento para resistir las tensiones eléctricas, fortaleza mecánica para soportar las fuerzas producidas por las grandes corrientes en corto circuito, y la ventilación para contrarrestar el calor debido a las pérdidas en el núcleo y devanados.

a). Fuerza contraelectromotriz.

En el supuesto caso de que se tenga un transformador con el secundario abierto como lo muestra la fig. 2. El efecto será el mismo que si no existiese el secundario.

En estas condiciones el transformador se comportará como una bobina de reactancia.

La corriente (I_1) establecida por la tensión aplicada (V_1) quedará determinada por la impedancia del devanado.

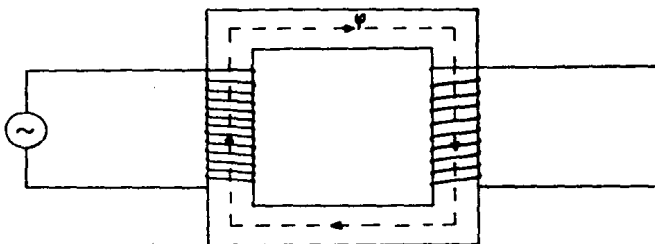


FIGURA 2.

Dado que la resistencia óhmica del devanado es de algunos escasos ohms, podría pensarse que la corriente del primario aumentaría indefinidamente, pero es preciso recordar que a medida que aumenta la corriente desde su valor inicial, el flujo Φ aumenta en proporción directa, por lo que de acuerdo con la ley de Lenz, inducirá una FEM en el primario que se oponga al aumento de la corriente, por lo que estará en oposición a la tensión aplicada; dicha FEM por estar en contraposición a la tensión aplicada se conoce como Fuerza Contraelectromotriz.

Cuando un transformador está funcionando, se producen

pérdidas de cobre y de hierro que representan potencia real y que provocan que el transformador se caliente. Para establecer un campo magnético se requiere una potencia reactiva que se obtiene de la línea de alimentación. Por estas razones la potencia total entregada por el transformador es ligeramente menor a la que se le proporciona.

Cuando el voltaje del primario se eleva más allá de su valor nominal, el núcleo de hierro comienza a saturarse y la corriente de magnetización aumenta con gran rapidez.

DESARROLLO:

Es recomendable que la prueba se lleve a cabo con el equipo desarmable con que cuenta el laboratorio, ya que de esta forma el alumno tiene mayor contacto con el equipo y observa con ello cada una de las partes del transformador de una manera más concisa.

En nuestro caso utilizaremos el módulo del transformador monofásico del Laboratorio, sin que por ello se tenga que cambiar los procedimientos aquí descritos.

1.- Como primer paso se medirá la resistencia óhmica del primario del transformador. De preferencia esto se debe realizar con un puente de Kelvin o de Wheastone.

$$R = 8.535 \Omega$$

2.- Conéctese el siguiente circuito de la fig. 3 sin aplicar energía.

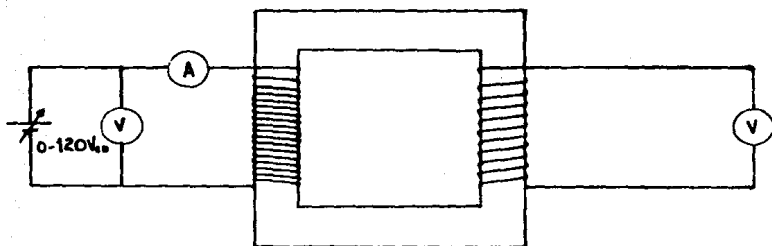


FIGURA 3.

3.- Debido a que los datos de placa del transformador nos dicen que la corriente nominal del transformador es de 0.5 A, debemos limitar nuestras observaciones para ese valor determinado, ya que de lo contrario se puede dañar al transformador.

4.- Encienda la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje suministrado por la fuente hasta alcanzar el valor de la corriente previamente establecida.

5.- Observe el voltaje aplicado en ese momento y el obtenido en el secundario del transformador, anótelos y explíque.

$$V_1 = 4 \text{ Vcc}$$

$$V_2 = 0 \text{ Vcc}$$

No hay voltaje en el secundario debido a que no hay variación de flujo en el transformador.

6.- Con los valores obtenidos calcule el valor de la resistencia óhmica del devanado.

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

$$R = \frac{4 \text{ V}}{0.5 \text{ A}}$$

$$R = 8 \Omega$$

7.- Observe además que sí hay magnetismo en el transformador acercando y tocando con materiales ferrosos al núcleo visible del transformador.

8.- Reduzca el voltaje a cero, apague la fuente y arme el circuito de la fig. 4.

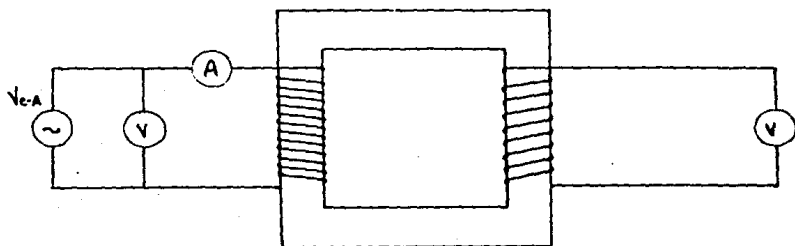


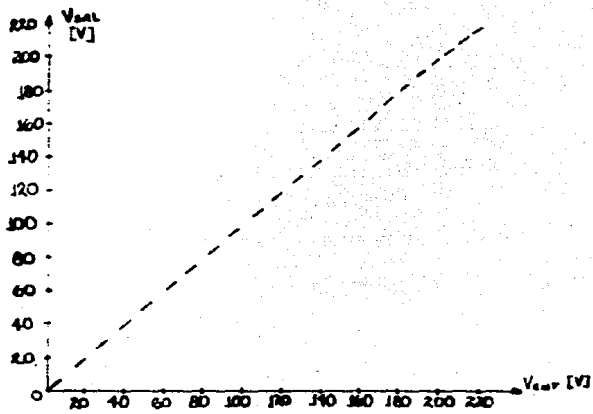
FIGURA 4.

9.- Encienda la fuente e incremente gradualmente el voltaje hasta alcanzar el valor predeterminado de corriente. Explique sus resultados.

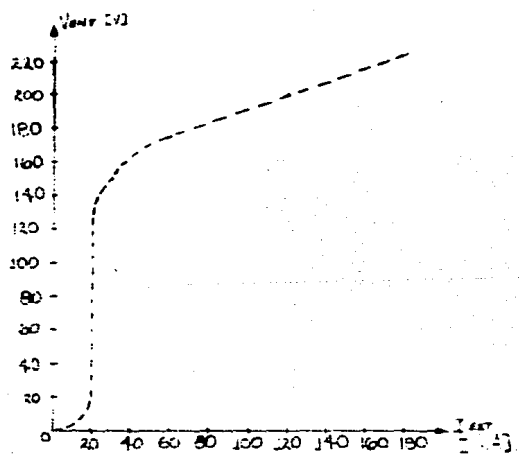
El valor de corriente no alcanza el nivel de 0.5 Amperes debido a la Fuerza Contraelectromotriz que se genera en el interior del transformador, para conseguirlo se requiere de una fuente de mayor capacidad.

10.- Con el mismo circuito reduzca el voltaje y partiendo de cero incremente poco a poco la tensión a fin de obtener los valores necesarios para completar la siguiente Tabla. Apague la fuente.

V_{ENT} (V)	V_{SAL} (V)	I_{ENC} (A)
0	0	0
25	25	0.02
50	49	0.02
75	73	0.02
100	98	0.02
125	122	0.02
150	148	0.03
175	173	0.06
200	197	0.12
220	216	0.18



108



11.- Grafique en papel milimétrico la curva V_{out} contra V_{in} y grafique también la curva I_{ext} contra V_{in} .

12.- Calcule la potencia aparente consumida, la real y la reactiva, así como la reactancia inductiva del transformador para el último valor obtenido en la tabla.

CONCLUSIONES:

Se puede observar fácilmente que aunque hay magnetismo y por consiguiente flujo magnético; si no hay variación de este último no se crea Fuerza Electromotriz.

Aunque no se llegó a la curva de saturación del transformador debido a que los transformadores están diseñados para no llegar al codo de la curva, si se observa una pequeña saturación que se manifiesta como un rápido incremento de corriente.

PRACTICA 5

"EL TRANSFORMADOR TRIFASICO (3 ϕ)"

OBJETIVOS:

1.1 Al finalizar el desarrollo de la práctica, el alumno conocerá los fundamentos básicos de la construcción del transformador 3 ϕ .

1.2 Desarrollará su capacidad de lectura de diagramas.

1.3 Aplicará la lectura de diagramas para la correcta conexión de los transformadores en sus diferentes conexiones básicas.

1.4 Comprobará prácticamente las relaciones de transformación trifásica.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|--|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de Transformador monofásico (3) | EMS 8341 |
| 3.- | Voltímetro | |
| 4.- | Cables de conexión | EMS 8941 |

INTRODUCCION TEORICA:

Por razones de rendimiento es conveniente transportar la energía eléctrica a potenciales elevados e intensidades de corriente pequeñas, con la reducción consiguiente de la cantidad de calor, $I^2 R$ perdido por segundo en la línea de transporte. Por otra parte, las condiciones de seguridad y de aislamiento de las partes móviles requieren voltajes altos en los equipos generadores (13,000 15,000 y 20,000 V), y relativamente bajos en los motores y en las instalaciones domésticas (440, 220 y 127 V). Una de las propiedades más útiles de los circuitos de c-a es la facilidad y rendimiento elevado con que pueden variarse (por medio de transformadores) los valores de los voltajes e intensidades de las corrientes.

El aumento del voltaje de una corriente alterna por medio de un transformador elevador, a primera vista parece ser una violación de la ley de la conservación de la energía, es decir, como si se pudiera obtener una gran cantidad de energía con el consumo de una cantidad más pequeña. En realidad no es así, porque, cuando aumenta el voltaje, la corriente simultáneamente desciende en la misma proporción. En la práctica, esto no es completamente cierto, porque el rendimiento del transformador no es del 100%. Una pequeña cantidad de energía eléctrica se gasta continuamente, principalmente en forma de calor. En un transformador bien diseñado tales pérdidas no exceden del 2% ó 3%; así que un transformador se puede considerar que rinde casi el 100%.

Dentro de un transformador trifásico, los primarios de tres transformadores ϕ idénticos se pueden conectar en \triangle

(delta) ó en Υ (estrella) a una fuente trifásica. Similarmente, los secundarios se pueden conectar en Δ ó en Υ a una carga trifásica.

Los transformadores trifásicos tienen un peso considerablemente menor y ocupan menos área en planta que tres transformadores monofásicos de igual potencia, por lo que son preferidos en la práctica.

Los transformadores trifásicos se dividen en dos tipos generales. En el tipo no acorazado, el arrollamiento de cobre casi rodea el núcleo de hierro; en el tipo acorazado, el hierro rodea casi completamente el cobre. Fig. 1 y 2.

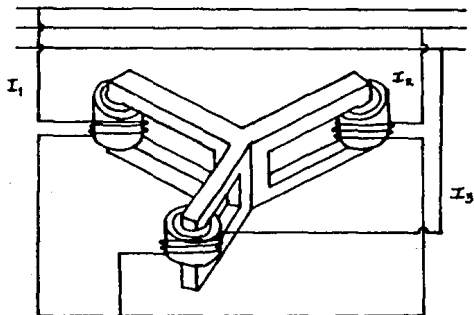


FIGURA 1.

Principio del Transformador Trifásico no acorazado

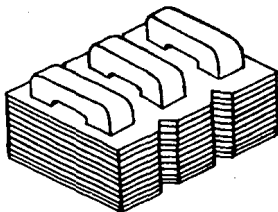


FIGURA 2.

Disposición de los arrollamientos y núcleos de chapas en un Transformador Trifásico acorazado

Debido al empleo en común de los núcleos entre arrollamientos, el transformador trifásico requiere menos hierro que tres unidades monofásicas equivalentes.

La principal desventaja de los transformadores trifásicos se debe al hecho de que al averiarse una fase se debe, de ordinario, retirar del servicio todo el transformador.

Para cuando se tienen tres transformadores monofásicos acoplados, si se avería uno de ellos, se puede reemplazar

el dañado por otro de reserva muy rápidamente, o el sistema puede trabajar en delta abierta que puede proporcionar el 58% de su potencia nominal.

Toda la energía que se pierde en un transformador debe disiparse en forma de calor. Aunque esta energía solo sea una pequeña parte de la energía total que entra en juego, representa una cantidad considerable en los transformadores de alta potencia.

El voltaje trifásico de las líneas de potencia (suponiéndose 208 volts) y los valores normales de voltaje monofásico se pueden obtener en la forma que indica la fig. 3.

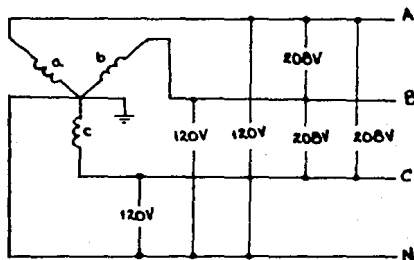


FIGURA 3.

Los transformadores trifásicos deben conectarse correctamente a las líneas para que funcionen de modo adecuado.

Los tipos de conexión más usados son los siguientes, y se muestran en la figura 4a, b, c y d.

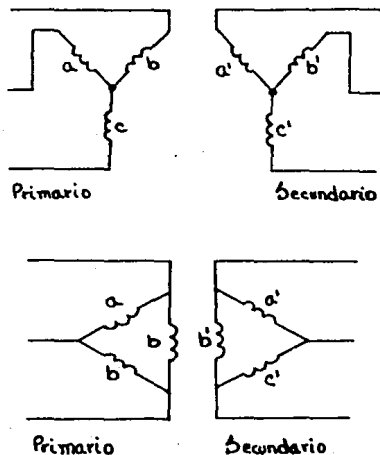
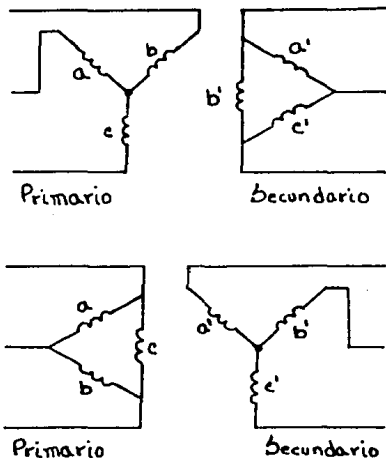


FIGURA 4a y b.
Conexiones Y-Y y Δ-Δ de transformadores



(continuación)

FIGURA 4c y d.

Conexiones $\text{Y}-\Delta$ y $\Delta-\text{Y}$ de transformadores

Sea cual fuere el método de conexión utilizado, los devanados deben conectarse en tal forma que tengan las debidas relaciones de fase. Para determinarlas en un secundario conectado en estrella, el voltaje se mide a través de dos devanados como se indica en la fig. 5.



FIGURA 5.

El voltaje A - B debe ser igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje que haya en cualquiera de los dos devanados. Si el voltaje medido es igual a cualquiera de ellos, uno de éstos debe invertirse.

El tercer devanado se conecta entonces como en la fig. 6 y el voltaje c-a ó c-b, deberá ser igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje de cualquiera de los tres devanados; de lo contrario habrá que invertir el devanado C.

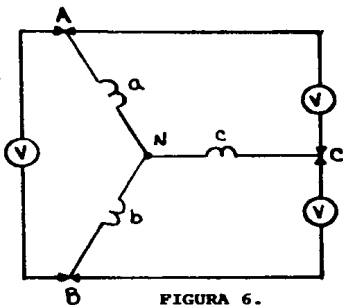


FIGURA 6.

Para determinar las relaciones de fase apropiadas para un secundario conectado en delta, el voltaje se mide en los dos devanados como se ilustra en la fig. 7

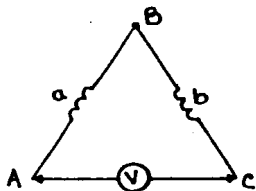


FIGURA 7.

El voltaje A - C debe ser igual al voltaje en cualquiera de los devanados, si no es así, uno de los devanados se debe invertir. Entonces el devanado C se conecta como lo indica la fig. 8.

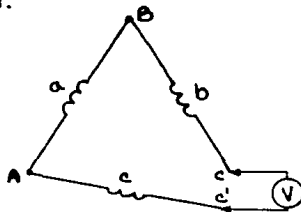


FIGURA 8.

El voltaje que hay en los puntos C y C' debe ser igual a cero, de no ser así el devanado C debe invertirse. Las terminales abiertas se conectan entonces y el transformador tiene las relaciones de fase adecuadas para una conexión en delta, donde todos los voltajes medidos deben ser iguales; como lo muestra la fig. 9.

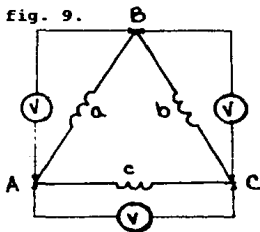


FIGURA 9.

DESARROLLO:

A continuación se calificará la habilidad que tienen los alumnos para alambrear los circuitos y se comprobará la teoría de comportamiento de los transformadores.

- 1.- Conecte el circuito $Y - Y$ ilustrado a continuación. Se recomienda usar los módulos de transformador 1 .

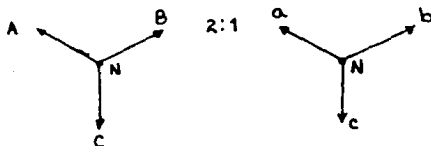


FIGURA 10.

- 1.1.- Como ejercicio opcional ármese el siguiente circuito y compruébese que los resultados son idénticos.

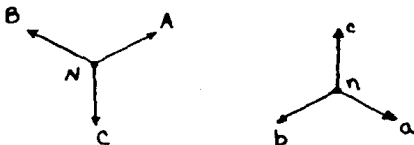


FIGURA 10a.

- 2.- Llene la siguiente tabla con los valores teóricos y los medidos en la presente práctica.

Voltaje aplicado. (v)	Voltaje teórico. (v)	Voltaje medido. (v)
$V_{AN} = 120$	$V_{an} = 60$	$V_{an} = 60$
$V_{BN} = 120$	$V_{bn} = 60$	$V_{bn} = 63.5$
$V_{CN} = 120$	$V_{cn} = 60$	$V_{cn} = 60$
$V_{AB} = 208$	$V_{ab} = 104$	$V_{ab} = 104$
$V_{BC} = 208$	$V_{bc} = 104$	$V_{bc} = 105$
$V_{CA} = 208$	$V_{ca} = 104$	$V_{ca} = 104$

- 3.- Explique los resultados obtenidos; explíquese así mismo como es que, aún obteniéndose los mismos resultados, si los diagramas fasoriales no son idénticos se tratará, entonces, de dos transformadores diferentes.
- 4.- A continuación repita lo mismo para las conexiones $\Delta - \Delta$, $\Delta - Y$ y $Y - \Delta$

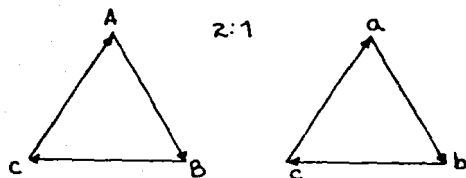
Conexión $\Delta - \Delta$ 

FIGURA 11.

Voltaje Aplicado (v)	Voltaje teórico (v)	Voltaje medido (v)
$V_{AB} = 120$	$V_{ab} = 60$	$V_{ab} = 60$
$V_{BC} = 120$	$V_{bc} = 60$	$V_{bc} = 60$
$V_{CA} = 120$	$V_{ca} = 60$	$V_{ca} = 60$

- 4.1.- Como ejercicio opcional compruébese lo anterior armando el siguiente circuito.

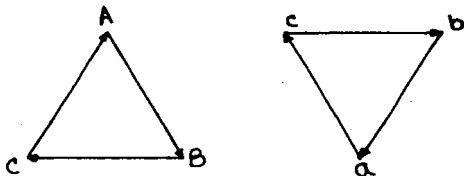


FIGURA 11a.

Conexión $\Delta - Y$

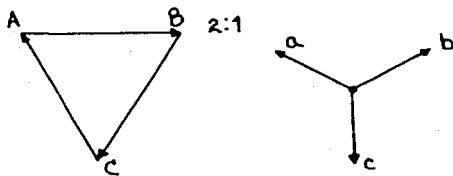


FIGURA 12.

Circuitos opcionales.

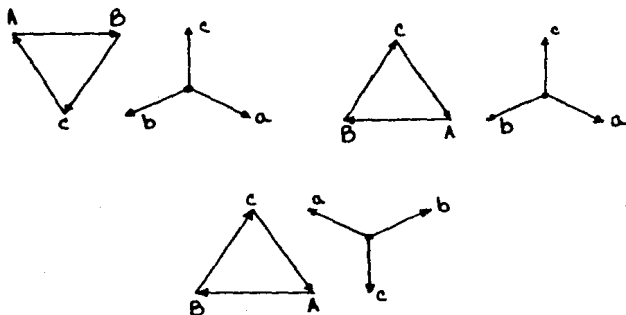


FIGURA 12a.

Voltaje aplicado (V)	Voltaje teórico (V)	Voltaje medido (V)
$V_{Ab} = 120V$	$V_{an} = 60$	$V_{an} = 60$
$V_{bc} = 120$	$V_{bn} = 60$	$V_{bn} = 60.5$
$V_{ca} = 120$	$V_{cn} = 60$	$V_{cn} = 60$
	$V_{ab} = 109$	$V_{ab} = 106$
	$V_{bc} = 104$	$V_{bc} = 106$
	$V_{ca} = 109$	$V_{ca} = 106$

Conexión $\Upsilon - \Delta$.

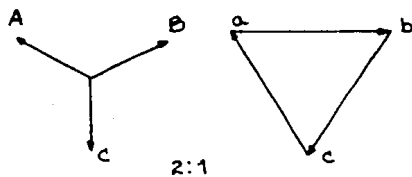


FIGURA 13.

Circuitos opcionales.

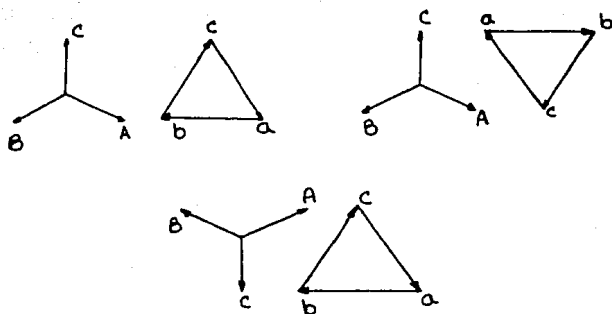


FIGURA 13a.

Voltaje Aplicado (v)	Voltaje teórico (v)	Voltaje medido (v)
$V_{AN} = 120$	$V_{ab} = 60$	$V_{ab} = 60$
$V_{BN} = 120$	$V_{bc} = 60$	$V_{bc} = 60$
$V_{CN} = 120$	$V_{ca} = 60$	$V_{ca} = 60.5$
$V_{AB} = 208$		
$V_{BC} = 208$		
$V_{CA} = 208$		

Conexión V - V .

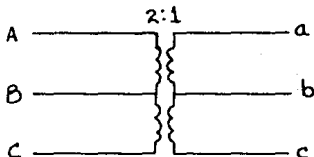


FIGURA 14.

Voltaje Aplicado (v)	Voltaje teórico (v)	Voltaje medido (v)
$V_{AB} = 120$	$V_{ab} = 60$	$V_{ab} = 60$
$V_{BC} = 120$	$V_{bc} = 60$	$V_{bc} = 60$
$V_{CA} = 120$	$V_{ca} = 60$	$V_{ca} = 60$

Como ejercicio opcional se puede comprobar fácilmente que su diagrama fasorial puede corresponder a uno de los que se ilustran a continuación:

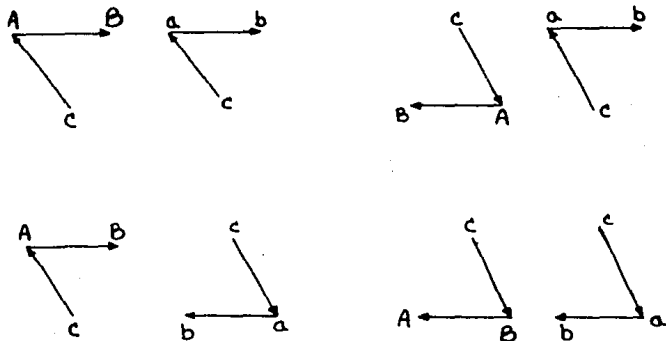


FIGURA 14a.

PRACTICA 6

"EL MOTOR MONOFASICO (1 ϕ)"

OBJETIVOS:

1.1 Estudiará la estructura del motor de fase hendida ó de arranque por capacitor en un mismo módulo.

1.2 Conocerá las conexiones básicas del alambrado del motor monofásico.

1.3 Observará las operaciones de arranque y características en marcha del motor monofásico de fase hendida.

1.4 Estudiará el factor de potencia y eficiencia del motor monofásico de fase hendida.

1.5 Observará las operaciones de arranque y características en marcha del motor con arranque por capacitor.

1.6 Estudiará el factor de potencia y eficiencia del motor con arranque por capacitor y lo comparará con el motor de fase hendida.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|---------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8621 |
| 2.- | Módulo de motor de fase hendida | EMS 8251 |

3.-	Módulo del electrodinamómetro	EMS 8911
4.-	Módulo de amperímetro de c-a	EMS 8425
5.-	Módulo de voltímetro de c-a	EMS 8426
6.-	Módulo del wattímetro monofásico	EMS 8431
7.-	Tacómetro de mano	EMS 8920
8.-	Banda	EMS 8941
9.-	Cables de conexión	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

Los motores monofásicos, se llaman así porque sus devanados se conectan directamente a una fuente monofásica (1ϕ), y se clasifican en motores conmutadores, de inducción ó síncronos según el método que se usa para arrancarlos, de la manera siguiente:

1.- MOTOR CONMUTADOR:

1.1). Motor en serie para c-a.- Cuando un motor común de c-c en serie se conecta a una fuente de c-a, la corriente consumida por el motor es pequeña debido a la gran impedancia del campo en serie. El resultado es un par-motor de operación pequeño. Con objeto de reducir la reactancia del campo a un mínimo, los motores en serie para c-a se construyen en serie con el menor número de vueltas posible. La reacción

de la armadura se vence usando devanados compensadores en las piezas polares.

Las características de operación son similares a las de los motores de c-c.

La velocidad aumenta a un valor elevado al disminuir la carga. El par-motor es elevado con corrientes de la armadura elevadas, de manera que el motor tiene un buen par de arranque. Los motores en serie para c-a operan más eficientemente a frecuencias bajas. Algunos de los de mayor tamaño, usados como motores en las locomotoras operan a 25 Hz., ó menos.

Sin embargo, los tamaños de una fracción de caballo de potencia se diseñan para operar a 50 ó 60 Hz.

1.2). Motor de repulsión.- El motor de repulsión tiene una armadura y un conmutador similar al de un motor de c-c. Sin embargo, las escobillas no se conectan a la fuente, sino que están cortocircuitadas (fig. 1). Los devanados del estator producen una corriente en el devanado del rotor por inducción. Esta corriente produce polos magnéticos en el rotor.

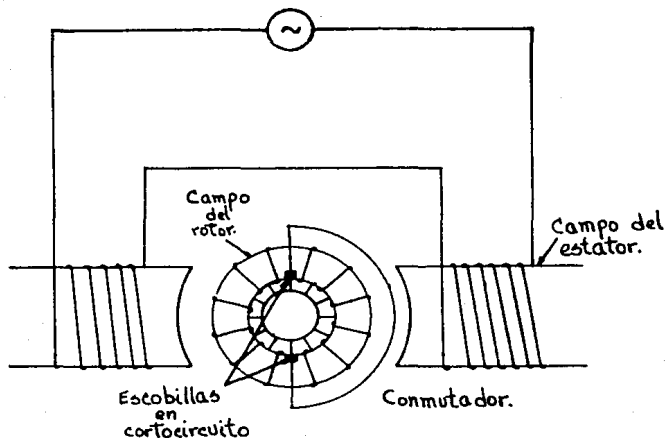


FIGURA 1.
Motor de repulsión

La orientación de estos polos depende de la posición de las escobillas. La interacción del campo del rotor con el campo del estator crea el par-motor.

El motor de repulsión tiene un par-motor elevado de arranque y una alta velocidad a todas las cargas. Se usan cuando se prevén grandes cargas de arranque.

2.- MOTOR DE INDUCCION:

Un motor de inducción monofásico (1ϕ) no arranca por sí sólo. El campo magnético formado en el estator por la fuente de energía de c-a permanece alineado en una dirección. Aunque estacionario, este campo magnético pulsa igual que la onda del voltaje. Este campo induce un voltaje en el devanado del rotor, pero el campo del rotor sólo puede alinearse con el campo del estator. Estando alineados estos dos campos, no se produce momento de torsión.

Por lo tanto, es necesario hacer girar el motor con algún aparato auxiliar. Una vez que el motor gira con suficiente velocidad, la interacción entre los campos del rotor y del estator mantendrá la rotación. El rotor seguirá aumentando su velocidad, tratando de alcanzar la velocidad sincrónica. Finalmente, llegará a una velocidad de equilibrio igual a esa velocidad menos el deslizamiento.

2.1). Motores de fase dividida.- Si dos devanados de estator con impedancia distinta se colocan separados 90° pero se conectan en paralelo a una fuente monofásica, el campo producido parecerá girar. Este es el principio de la operación de la fase dividida.

En el motor de fase dividida el devanado de arranque tiene mayor resistencia y menor reactancia que el devanado principal (fig. 2a.).

Cuando se aplica el mismo voltaje V_t a los dos devanados, la corriente en el devanado principal I_m se atrasa a la corrien

te I_s en el devanado de arranque (fig. 2b.). El ángulo ϕ entre los devanados principal y de arranque es una diferencia de fase suficiente para proporcionar un campo magnético débil que produce un par-motor de arranque.

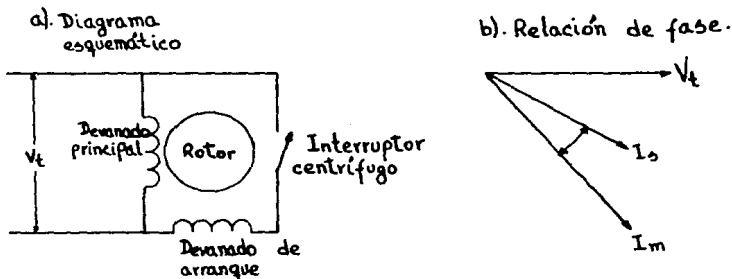


FIGURA 2.
Motor de fase dividida

Cuando el motor alcanza una velocidad predeterminada, usualmente de 70 a 80% de la velocidad sincrónica, un interruptor centrífugo montado en el eje del motor se abre, desconectándose el devanado de arranque.

Como tiene un par de arranque pequeño, este tipo de motor se usa mucho con cargas que se ponen fácilmente en movimiento y rara vez se usa en tamaños superiores a 1/3 HP. Entre las aplicaciones más comunes se incluyen la impulsión de -

te I_s en el devanado de arranque (fig. 2b.). El ángulo ϕ entre los devanados principal y de arranque es una diferencia de fase suficiente para proporcionar un campo magnético débil que produce un par-motor de arranque.

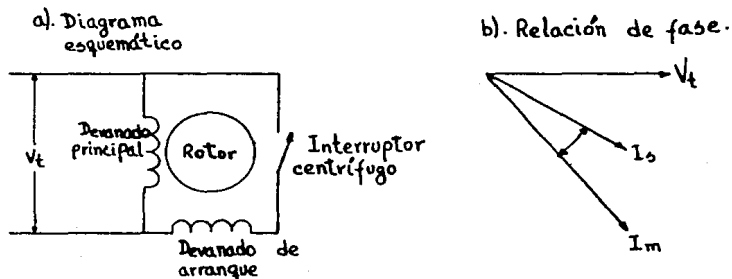


FIGURA 2.
Motor de fase dividida

Cuando el motor alcanza una velocidad predeterminada, usualmente de 70 a 80% de la velocidad sincrónica, un interruptor centrífugo montado en el eje del motor se abre, desconectándose el devanado de arranque.

Como tiene un par de arranque pequeño, este tipo de motor se usa mucho con cargas que se ponen fácilmente en movimiento y rara vez se usa en tamaños superiores a 1/3 HP. Entre las aplicaciones más comunes se incluyen la impulsión de -

máquinas lavadoras y de herramientas para trabajar madera.

2.1.1 Motor con capacitor de arranque.- Al colocar un capacitor en serie con el devanado de arranque de un motor de fase dividida se mejoran las características de arranque.

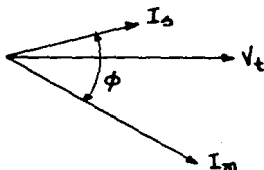


FIGURA 3.

Relaciones de fase en el motor con capacitor de arranque

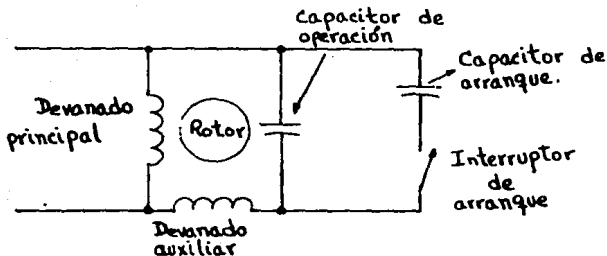


FIGURA 4.

Motor de capacitor

Puede hacerse que la corriente en el devanado de arranque se adelante al voltaje (fig. 3), con lo cual ϕ puede alcanzar casi 90° , lo que da por resultado un elevado par-motor de arranque. Este motor también utiliza un interruptor centrífugo para desconectar el devanado de arranque. Por consiguiente, el capacitor está sólo en el circuito durante el período de arranque.

2.2.1 Motor con capacitor.- Opera con un devanado auxiliar y un capacitor en serie conectado permanentemente a la línea (fig. 4). La capacitancia en serie puede tener un valor para el arranque y otro para la operación. Conforme el motor se acerca a la velocidad síncrona, el interruptor centrífugo desconecta una sección del capacitor.

2.2.2 Motor de inducción de arranque por repulsión.- Igual que un motor de c-c, el rotor del motor de inducción de arranque por repulsión tiene devanados conectados a un conmutador. Las escobillas de arranque hacen contacto con el conmutador, de manera que el motor arranca como un motor de repulsión. Al hacer que se acerque a su velocidad de operación, un mecanismo centrífugo corto-circuita todos los segmentos del conmutador de manera que funciona como motor de inducción. Este tipo de motor se fabrica en tamaños que van desde $\frac{1}{4}$ hasta 15 HP y se usan en aparatos o máquinas que requieren un alto par-motor al arrancar.

2.2.3 Motor de polo sombreado.- Al arrollar una bobina corto-circuitada alrededor de una parte de cada polo de un motor se produce un polo sombreado. Generalmente; la bobina es una sola banda o tira de cobre.

El efecto de la bobina es producir un pequeño movimiento de barrido en el flujo del campo de un lado de la pieza polar - al otro cuando el campo varía (fig. 5). Este pequeño movimiento del campo magnético produce un pequeño par-motor de arranque, de manera que los motores de polo sombreado se arrancan por sí solos. Conforme aumenta el campo en la pieza polar, se induce una corriente en la bobina sombreadora, la cual causa un campo magnético que se opone al campo principal.

Por consiguiente, el campo principal se concentrará en el lado opuesto de las piezas polares (fig. 5a.). Cuando el campo en la pieza polar comienza a disminuir, el campo de la bobina sombreadora ayudará al campo principal. La concentración de flujo se mueve entonces al otro lado de la pieza polar (fig. 5b.).

Este método de arrancar motores se usa en los motores muy pequeños, hasta 1/25 HP, para impulsar ventiladores pequeños, aparatos pequeños y relojes.

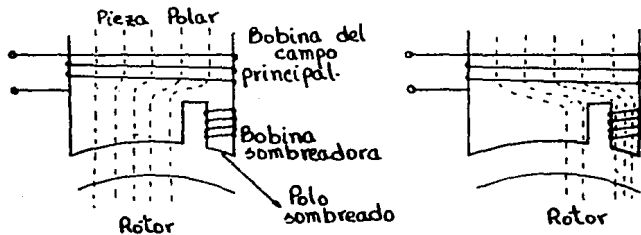


FIGURA 5.

Acción del campo magnético en un motor de polo sombreado

I.- DESARROLLO:

1.- Examine la estructura del motor de fase hendida con arranque por capacitor, fijándose principalmente en el motor, el interruptor centrífugo, las terminales de conexión y el alambrado. El capacitor, se usa para cuando aquél se conecta como motor de arranque por capacitor.

2.- Observe el devanado principal del estator y el devanado auxiliar del mismo. Identifíquelos.

3.- Identifique el mecanismo del interruptor centrífugo que va al eje del rotor.

4.- Observe que los contactos eléctricos estacionarios se abren cuando los pesos centrífugos se separan.

*5.- Observe que la corriente nominal del devanado principal es de 5 Amp., en tanto que la del devanado auxiliar está marcada como intermitente.

6.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste la salida, con ayuda de un voltímetro, para una tensión de 100 Vc-a. Apague la fuente sin mover el control de ajuste de salida.

7.- Conecte el devanado principal del motor de fase hendida a la salida ajustada previamente.

*El interruptor del circuito que protege al devanado auxiliar se disparará si este último se deja conectado a la línea de entrada (120 v) por más de 4 segundos.

8.- Encienda la fuente de alimentación durante un lapso no mayor de 3 segundos, observe lo que sucede y anótelos.

9.- Baje la parte delantera del módulo, con mucho cuidado meta la mano adentro para darle vuelta rápidamente al eje del motor en el momento en que cierra el interruptor de la fuente. Observe lo que sucede.

A continuación repita el procedimiento pero dando la vuelta en sentido contrario. Observe lo que pasa y anote sus conclusiones.

10.- Conecte los dos devanados en paralelo con la salida fijada a 100 Vc-a de la fuente y enciéndala. Observe.

A continuación repita éste paso intercambiando la polaridad de la conexión y anote sus conclusiones.

11.- Conecte el siguiente circuito utilizando el interruptor centrífugo.

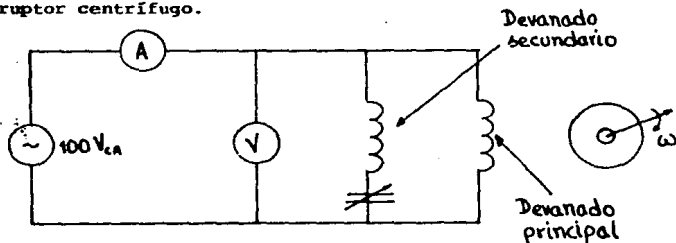


FIGURA 6.

- 12.- Encienda la fuente y conteste lo siguiente:
 ¿Se puso en marcha el motor? *Si.*
 ¿Funcionó el interruptor centrífugo? *Si.*
 Estime el tiempo de arranque
2 seg.
- 13.- Use el tacómetro y mida la velocidad.
1800 rpm
- 14.- Reduzca el voltaje a 80 Vc-a y mida nuevamente la velocidad.
1800 rpm
- 15.- Aumente el voltaje a 100 Vc-a y apague la fuente.
- 16.- Conecte el siguiente circuito (fig. 7).

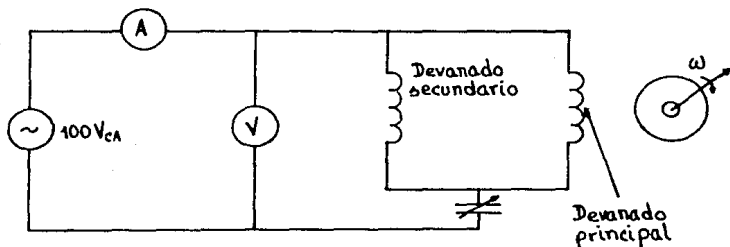


FIGURA 7.

- 17.- Encienda la fuente y observe lo que sucede.
- 18.- Aproximadamente a que velocidad se cierra el interruptor centrífugo.
- 19.- Apague la fuente.

II.- OPERACION CON CARGA:

20.- Acople el electrodinamómetro al motor de fase hendidada mediante la banda y conecte las terminales del mismo a una salida fija de 120 Vc-a.

21.- Dele la vuelta a la perilla de control del dinamómetro para proporcionar una carga mínima de arranque.

22.- Conecte el circuito de la fig. 8.

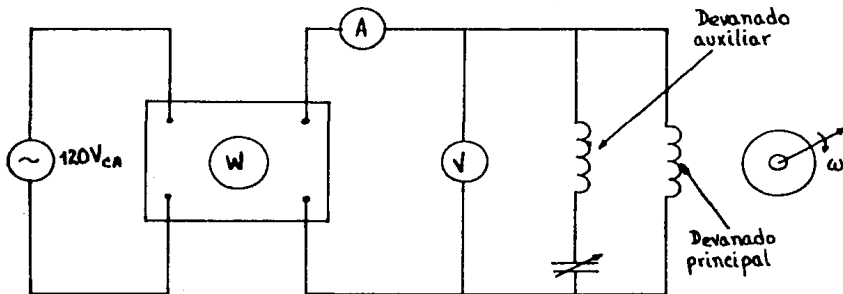


FIGURA 8.

23.- Encienda la fuente y ajústela a 120 Vc-a procurando mantener dicha tensión.

24.- Mida y anote en la tabla 1 la corriente de línea, la potencia y la velocidad del motor.

25.- A continuación repita el procedimiento anterior - para cada par indicado en la tabla 1. Apague la fuente una vez realizado.

26.- Calcule y anote en la tabla 1 la potencia aparente para cada par señalado, así como los caballos de potencia desarrollados por el motor. Utilice la fórmula:

$$hp = \frac{1.59 (r/min) (par)}{100,000}$$

Par (lb.in)	I (A)	VA (VA)	P (W)	vel. (r.p.m)	H.P	f. P	η g	Pérdida (w)
0	2.3	276	35	1820	0	0.127	—	—
3	2.6	312	70	1820	0.086	0.0224	91.65	5.84
6	3.0	360	150	1800	0.171	0.417	85.04	22.43
9	3.4	408	240	1790	0.256	0.588	79.57	49.02
12	3.8	456	308	1740	0.332	0.675	80.41	60.32

TABLA 1.

27.- Desconecte el voltímetro y el wáttmetro del circuito y conecte el motor a una salida fija de 120 Vc-a sin desconectar el electrodinamómetro.

28.- Dele la vuelta a la perilla de control del electrodinamómetro para una carga máxima. Cierre el interruptor y lea rápidamente el valor del par y la corriente suministrada. Abra el interruptor de la fuente.

$$\text{PAR} = 4 \text{ lb. in} \quad i = 16 \text{ A}$$

29.- Ejecute las operaciones necesarias para completar la tabla anterior.

30.- A continuación se utilizará el motor monofásico como motor con arranque por capacitor. Arme el siguiente circuito (fig. 9).

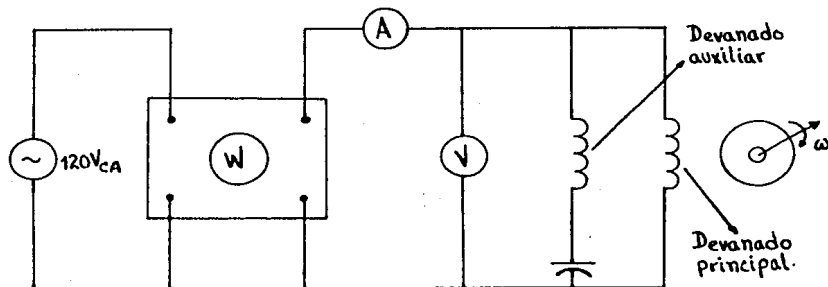


FIGURA 9.

31.- Repita los procedimientos anteriores a partir del punto 20, utilizando este nuevo circuito y anotando los resultados en la tabla 2.

PAR (lb.-in)	I (A)	VA	P (W)	Vel. (rpm)	H.P	f.P.	η %	Pérdida (W)
0	1.2	144	41	1810	0	28.47		
3	1.5	180	82	1810	0.086	45.55	78.23	17.84
6	1.9	228	162	1800	0.171	71.05	78.74	39.91
9	2.0	240	210	1800	0.256	87.50	90.94	19.02
12	2.3	276	263	1780	0.339	92.52	96.14	10.10

TABLA 2.

32.- Compare los resultados obtenidos y explique las ventajas y desventajas observadas en cada tipo de conexión.

33.- Haga sus conclusiones a esta práctica.

PRACTICA 7

"MOTOR DE INDUCCION TRIFASICA (3 ϕ)"

OBJETIVOS:

1.1 Estudiará la estructura del motor de inducción de jaula de ardilla.

1.2 Determinará sus características en vacío y a plena carga.

1.3 Estudiará la estructura del motor de inducción de rotor devanado.

1.4 Observará el concepto de deslizamiento del rotor devanado y cómo influye en la tensión inducida la velocidad del mismo.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|--|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de motor jaula de ardilla | EMS 8221 |
| 3.- | Módulo del motor de c-d | EMS 8211 |
| 4.- | Módulo de motor de inducción de rotor devanado | EMS 8231 |

5.-	Módulo de wáttmetro trifásico	EMS 8441
6.-	Módulo del electrodinamómetro	EMS 8911
7.-	Módulo de amperímetros de c-a	EMS 8425
8.-	Módulo de voltímetros de c-a	EMS 8426
9.-	Cables de conexión	EMS 8941
10.-	Banda	EMS 8942
11.-	Tacómetro de mano	EMS 8920

INTRODUCCION TEORICA:

Cuando se utilizó la electricidad por primera vez a una escala relativamente grande, se hizo en forma de c-c. A mediados de la década de 1880, los sistemas de c-c de 110 y 220 v eran bastante comunes pero adolecían de las consiguientes desventajas de la distribución a bajo voltaje-regulación y eficiencia muy pobres-. Para agravar el problema, el voltaje de c-c no podía (y no puede) ser transformado a voltajes más altos. Los alternadores y transformadores prácticos eran conocidos y existía un deseo común de conversión a c-a, pero el eslabón faltante era un motor efectivo de c-a. Esta necesidad se satisfizo en 1880 cuando Nicolás Tesla inventó el motor de inducción polifásico. De este momento en adelante, la c-a predominó; hoy en día, el motor de inducción, con su simplicidad de construcción, su velocidad relativamente constante, su robustez, su confiabilidad y

su costo comparativamente bajo, es el principal motor industrial.

El motor de inducción es el tipo de motor de c-a más usado por su construcción sencilla y resistente y sus buenas características de operación. Consiste de dos partes: el estator (parte estacionaria) y el rotor (parte giratoria). El estator se conecta a la fuente de alimentación de c-a. El rotor no se conecta eléctricamente a la fuente. El tipo más importante de motor de inducción polifásico es el motor trifásico. Cuando el devanado del estator recibe energía de una fuente trifásica se crea un campo magnético giratorio. Al pasar el campo a través de los conductores del rotor, se induce una FEM en estos conductores y hace que por ellos circule corriente. Los conductores del rotor, por los cuales pasa corriente en el campo del estator, están sometidos entonces a un par-motor que hace girar el rotor del motor de jaula de ardilla y motor de rotor devanado.

a). Motores de jaula de ardilla y de rotor devanado.-

Los motores de inducción trifásicos se clasifican en dos tipos: de jaula de ardilla y de rotor devanado. Ambos tienen la misma construcción del estator pero difieren en la construcción del rotor. El núcleo del estator se construye de laminaciones ranuradas de chapa de acero. Los devanados están distribuidos en las ranuras del estator para formar los tres diferentes juegos de polos.

El rotor de un motor de jaula de ardilla (también llamado motor de inducido de barras o motor de inducido de jaula) tiene un núcleo laminado, con conductores colocados paralelos

al eje incrustados en ranuras en el perímetro del núcleo.

Los conductores del rotor no están aislados del núcleo. En cada extremo del rotor, están corto-circuitados por anillos continuos extremos.

Si no estuvieran presentes las laminaciones, los conductores y sus anillos extremos parecerían una jaula giratoria de ardilla (fig. 1).

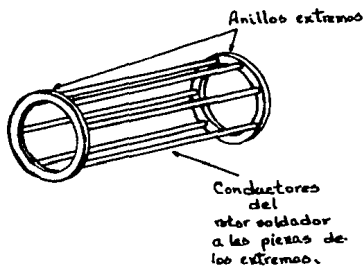


FIGURA 1.

Motor simple de jaula de ardilla con los conductores del rotor soldados a los anillos extremos en un eje

El rotor de un motor de rotor devanado se arrolla con un devanado aislado similar al devanado del estator. Los devanados de las fases del rotor se conectan a los tres anillos colectores montados en el eje del motor.

El devanado del rotor no se conecta a la fuente. Los anillos colectores y las escobillas solo proporcionan la manera de conectar un reóstato externo en el circuito del rotor. El reóstato sirve para controlar la velocidad del motor.

b). Velocidad y deslizamiento.- La velocidad del campo magnético giratorio se llama velocidad síncrona del motor.

$$n = \frac{120 f}{p} \text{ --- --- --- (7.1)}$$

en donde tenemos que:

n = velocidad del campo magnético giratorio en (rpm).

f = frecuencia de la corriente en el rotor en (Hz).

p = número total de polos.

Un motor de inducción no puede funcionar a la velocidad síncrona porque el rotor estaría en reposo con respecto al campo giratorio y no se induciría FEM en él. La velocidad del rotor debe ser ligeramente menor que la velocidad síncrona para que en él se induzca una corriente que permita la rotación del motor. La diferencia entre la velocidad del rotor y la velocidad síncrona se llama deslizamiento y se expresa como un porcentaje de la velocidad síncrona.

$$\text{Porcentaje de S} = \frac{N_S - N_R}{N_S} 100 \text{ --- --- --- (7.2)}$$

en la que:

S = deslizamiento

N_S = velocidad síncrona en (rpm)

N_R = velocidad del rotor en (rpm)

c). Frecuencia del rotor.- Para cualquier valor del deslizamiento, la frecuencia del rotor es igual a la del estator multiplicada por el porcentaje de deslizamiento, es decir:

$$f_R = S f_S \quad \text{--- --- (7.3)}$$

en donde:

f_R = frecuencia del rotor en (Hz)

S = porcentaje de deslizamiento (expresado en forma decimal)

f_S = frecuencia del estator en (Hz)

d). Par-motor.- El par-motor de un motor de inducción depende de la intensidad de la interacción de los campos del rotor y del estator y de las relaciones de fase entre ellos.

$$T = k \phi I_R \cos \theta_R \quad \text{(7.4)}$$

en la cual:

T = Par-motor (lb. ft)

k = constante

ϕ = flujo del estator giratorio en líneas de flujo

I_R = corriente del rotor en (Amp)

$\cos \theta_R$ = factor de potencia del rotor

En toda la región de operación normal, k , ϕ y $\cos \theta$ - son prácticamente constantes de manera que T es directamente proporcional a I_R . A su vez, la corriente del rotor I_R aumenta casi en proporción directa al deslizamiento del motor. La variación del par con el deslizamiento (fig. 2) muestra que al crecer el deslizamiento desde cero hasta aproximadamente un 10%, el par aumenta linealmente con el deslizamiento. Al crecer la carga y el deslizamiento más allá del valor nominal o de plena carga del par, el par alcanza un valor máximo aproximadamente a un 25% de deslizamiento. Este valor máximo del par se llama par-motor máximo (o momento de torsión máximo) del motor. Si se aumenta la carga más allá del valor máximo del par, el motor pronto se detendrá. En motores comunes de jaula de ardilla, el par máximo varía entre 200 y 300% del par a plena carga. El par de arranque es el valor con 100% de deslizamiento (al cual la velocidad del rotor es cero) y normalmente es de 150 a 200% de la carga plena nominal. Conforme el motor acelera, el par aumenta hasta su valor máximo y después disminuye al valor necesario para mover la carga del motor a una velocidad constante.

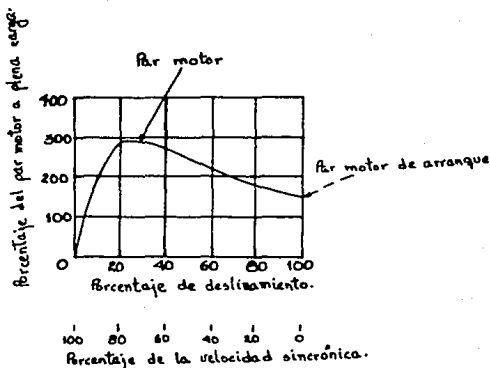


FIGURA 2.

Variación del par-motor con el deslizamiento en un motor de jaula de ardilla representativo

DESARROLLO:

A continuación estudiaremos las características del motor de inducción de jaula de ardilla.

1.- Examine la construcción del motor de inducción de jaula de ardilla.

2.- Identifique los devanados del estator y el abanico de enfriamiento.

3.- Identifique los anillos de los extremos del rotor jaula de ardilla.

4.- Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 3.

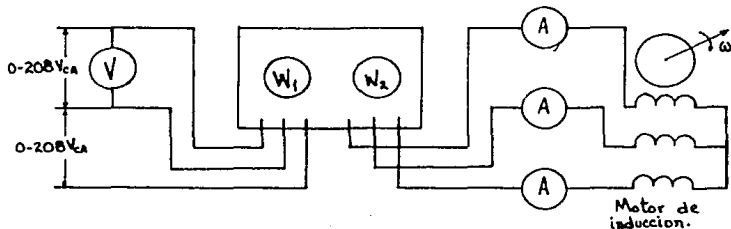


FIGURA 3.

5.- Acople el motor al electrodinamómetro por medio de la banda.

6.- Conecte el electrodinamómetro a la salida fija de 120 Vc-a; mueva la perilla de control del mismo a su posición extrema para un par mínimo de arranque.

7.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 208 Vc-a. El motor debe comenzar a funcionar.

8.- Mida y anote en la tabla 1, las tres corrientes de línea, la potencia y la velocidad del motor.

9.- Repita el procedimiento anterior para cada uno de los pares anotados en la tabla manteniendo el voltaje a 208 Vc-a. Apague la fuente.

PAR (lb.in)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	W_1 (W)	W_2 (W)	ω r.p.m.	S (W)	H.P.	f.P. (%)	η (%)
0	0.6	0.60	0.60	85	-12	1800	124.80	—	54.45	—
3	0.72	0.69	0.65	0	125	1800	142.85	0.085	87.51	50.72
6	0.85	0.82	0.79	32	167	1800	170.56	0.171	79.15	64.10
9	1.22	1.20	1.19	80	210	1785	250.29	0.255	100.00	65.59
12	1.25	1.26	1.22	125	255	1760	258.61	0.355	100.00	65.92

TABLA 1.

10.- Arme el circuito de la fig. 4 a la salida fija de 208 Vc-a de la fuente de alimentación, y ajuste la perilla de control del electrodinamómetro para un par máximo de arranque.

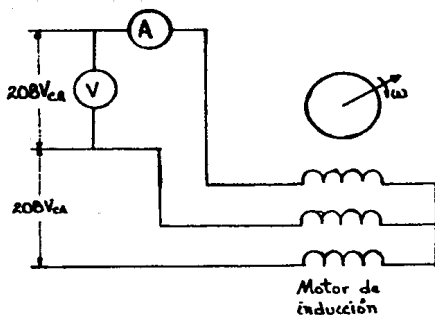


FIGURA 4.

11.- Encienda la fuente de alimentación y mida rápidamente el voltaje, la corriente y el par desarrollado y calcule la potencia aparente del motor para el par de arranque.

$$v = 210 \text{ V}$$

$$i = 5 \text{ A}$$

$$\text{par} = 26 \text{ lb.in}$$

$$s = 1818.65 \text{ VA}$$

12.- De acuerdo a la tabla 1 ejecute las operaciones necesarias para completarla.

A continuación estudiaremos el motor de inducción de rotor devanado, para analizar el concepto de deslizamiento del rotor.

13.- Examine la estructura del motor de inducción de rotor devanado, fijándose especialmente en el rotor, los anillos colectores, las terminales de conexión y el alambrado.

14.- Observe que las terminales de los tres devanados del rotor son llevadas a los anillos colectores, mediante una ranura en el eje del rotor.

15.- Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 5 - utilizando los módulos de motor de inducción de rotor devanado y el módulo de motor/generador de c-d. Acóplelos por medio de la banda.

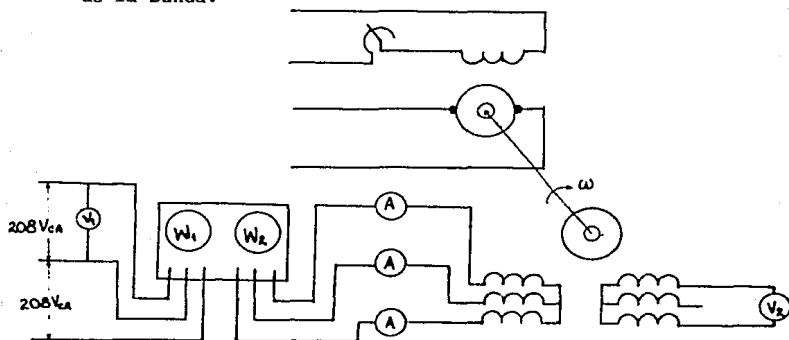


FIGURA 5.

16.- Conecte la fuente de alimentación y ajuste el voltaje de salida variable de c-d para una velocidad del motor de c-d de 900 rpm.

17.- Mida y anóte los siguientes datos:

$$v_1 = 210V \quad w_1 = 110W \quad i_1 = 0.8A \quad i_3 = 0.8A$$

$$v_2 = 160V \quad w_2 = -70W \quad i_2 = 0.8A$$

18.- Sabiendo que la velocidad síncrona está dada por:

$$v \text{ (rpm)} = \frac{120 f}{p}$$

calcule el deslizamiento del rotor.

$$\text{deslizamiento} = \text{velocidad síncrona} - \text{velocidad rotor}$$

$$\text{deslizamiento} = 1500 \text{ rpm}$$

19.- Calcule el % de deslizamiento.

$$\% \text{ deslizamiento} = 62.5\%$$

20.- Aumente el voltaje de salida a 120 Vc-d y ajuste el reóstato de campo para obtener una velocidad de 1800 rpm.

Mida y anote los siguientes datos:

$$v_1 = 210V \quad w_1 = 110W \quad i_1 = 0.8A \quad i_3 = 0.8A$$

$$V_2 = 160V \quad W_2 = -70W \quad i_2 = 0.8A$$

$$\text{deslizamiento} = 600 \text{ rpm}$$

$$\% \text{ deslizamiento} = 25\%$$

21.- Intercambie las conexiones de la armadura de c-d para invertir el sentido de giro del motor de c-d.

22.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste la velocidad a 900 rpm. Conteste:

$$V_1 = 208V \quad W_1 = 110W \quad i_1 = 0.8A \quad i_3 = 0.8A$$

$$V_2 = 60V \quad W_2 = -70W \quad i_2 = 0.8A$$

$$\text{deslizamiento} = 1500 \text{ rpm}$$

$$\% \text{ deslizamiento} = 62.5\%$$

23.- Ajuste el voltaje y el reóstato para obtener una velocidad de 1800 rpm. Vuelva a medir y resuelva lo siguiente:

$$V_1 = 208V \quad W_1 = 110W \quad i_1 = 0.8A \quad i_3 = 0.8A$$

$$V_2 = 60V \quad W_2 = -70W \quad i_2 = 0.8A$$

$$\text{deslizamiento} = 600 \text{ rpm}$$

$$\% \text{ deslizamiento} = 25\%$$

24.- Compare con los resultados y anote sus conclusiones.

PRACTICA 8

"GENERADOR DE C.D."

OBJETIVOS:

- 1.1 Estudiará la estructura del motor/generador de c-d.
- 1.2 Determinará las características del generador con excitación independiente, en vacío y a plena carga.
- 1.3 Determinará las características del generador con autoexcitación en derivación, en vacío y a plena carga.
- 1.4 Determinará las características del generador serie, en vacío y a plena carga.
- 1.5 Comparará los resultados obtenidos y obtendrá sus conclusiones.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|----------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de motor síncrono | EMS 8241 |
| 3.- | Módulo de motor/generador de c-d | EMS 8211 |
| 4.- | Módulo de amperímetros de c-a | EMS 8425 |

5.-	Módulo de medición de c-d	EMS 8412
6.-	Módulo de resistencias	EMS 8311
7.-	Cables de conexión	EMS 8941
8.-	Banda	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

Un generador simplificado de corriente continua consiste de una bobina de armadura con una espira de alambre. La bobina corta al campo magnético para producir voltaje. Si se tiene una trayectoria completa (circuito cerrado), la corriente circulará por el circuito en la dirección indicada por las flechas (fig. 1). En esta posición de la bobina, el segmento 1 del conmutador hace contacto con la escobilla 1, mientras que el segmento 2 del conmutador está en contacto con la escobilla 2. Cuando la armadura gira media vuelta en el sentido de las manecillas del reloj, se invierten los contactos entre los segmentos del conmutador y las escobillas (fig. 2). En este momento el segmento 1 hace contacto con la escobilla 2 y el segmento 2 hace contacto con la escobilla 1. Debido a la acción del conmutador, el lado de la bobina de la armadura que está en contacto con cualquiera de las dos escobillas siempre corta al campo magnético en la misma dirección. Por consiguiente, las escobillas 1 y 2 siempre tienen la misma polaridad y al circuito externo de carga se le entrega una corriente continua pulsante.

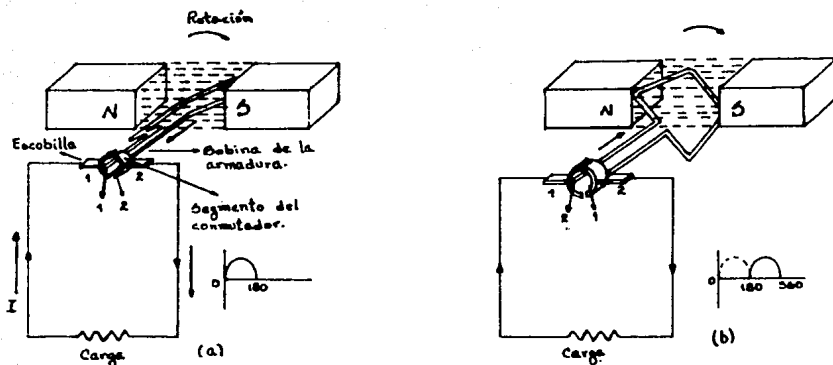


FIGURA 1 y 2.
Operación básica en un generador de c-c

á). El devanado de la armadura.- Las bobinas de las armaduras que se usan en las máquinas grandes de c-c generalmente son arrolladas en su forma final antes de ponérseles en la armadura.

Los lados de la bobina preformada se colocan en las ranuras del núcleo laminado de la ranura (armadura). Existen dos maneras en las que se pueden conectar las bobinas: en devanado ó arrollamiento de lazo superpuesto, y en devanado ondulado ó en serie.

En el arrollamiento de lazo ó superpuesto simple, los extremos de cada bobina se conectan a segmentos adyacentes del conmutador (fig. 3).

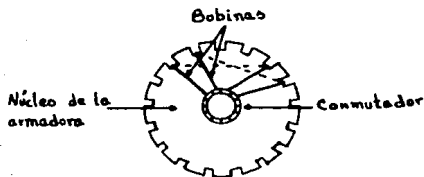


FIGURA 3.
Arrollamiento superpuesto simple

De esta manera, todas las bobinas quedan conectadas en serie. En un devanado superpuesto doble ó de lazo doble hay dos grupos separados de bobinas y cada grupo conectado en serie (fig. 4).

Los dos grupos de bobinas están conectados entre sí por medio de las escobillas. Similarmente, un arrollamiento superpuesto triple consiste de tres grupos distintos de bobinas conectadas en serie.

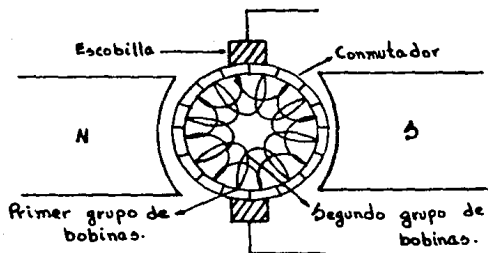


FIGURA 4.
Arrollamiento superpuesto doble

En el devanado superpuesto simple una sola escobilla cortocircuita los dos extremos de una bobina.

En un devanado ondulado ó en serie, los extremos de cada bobina están conectados a segmentos del conmutador separados por una distancia del doble de ancho que los polos (fig. 5). En lugar de cortocircuitar una sola bobina, una escobilla cortocircuita un pequeño grupo de bobinas en serie.

En área del generador en la que no se puede inducir voltaje en una bobina de la armadura se llama plano conmutador ó plano neutro. Este se encuentra a la mitad entre polos norte y sur adyacentes. Las escobillas siempre se colocan de manera que cortocircuiten las bobinas de la armadura que pasan por el plano neutro mientras que, al mismo tiempo, se toma la salida de otras bobinas.

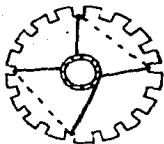


FIGURA 5.

Devanado ondulado ó serie de una máquina de c-c con cuatro polos

b). Excitación del campo.- Los generadores de c-c reciben su nombre del tipo de excitación del campo que se utilice. Cuando el campo del generador es alimentado ó "excitado"

por una fuente distinta de c-c, como una batería, se llama un generador de excitación independiente. Cuando un generador suministra su propia excitación se llama generador autoexcitado. Si su campo se conecta en paralelo con el circuito de la armadura, se llama generador en derivación.

Cuando el campo está en serie con la armadura el generador se llama generador serie.

Si se usan campos en derivación y serie, se llama generador compuesto ó combinado (compound). Los generadores compuestos pueden estar conectados en derivación corta, con el campo en derivación en paralelo sólo con la armadura, ó en derivación larga, con el campo en derivación en paralelo con la armadura y el campo en serie.

Cuando el campo en serie se conecta de manera que su FMM actúa en la misma dirección que la del campo en derivación, se dice que el generador es compuesto acumulativo. Los reóstatos de un campo son resistencias ajustables que se colocan en los circuitos del campo para variar el flujo del campo y por consiguiente la FEM generada por el generador.

El generador compuesto se usa con más frecuencia que los otros tipos de generadores porque pueden diseñarse de manera que tenga una gran variedad de características.

c). Circuito equivalente del generador de corriente continua.— Las relaciones de voltaje y corriente del circuito equivalente de un generador de c-c (fig. 6), son de acuerdo con la ley de Ohm:

$$V_{ta} = V_g - I_a r_a \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (8.1)$$

$$V_t = V_g - I_a (r_a + r_s) \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (8.2)$$

$$I_L = I_a - I_f \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (8.3)$$

en las que:

V_{ta} = voltaje terminal de la armadura en V.

V_g = voltaje generado en la armadura en V.

I_a = corriente en la armadura en A.

V_t = voltaje en las terminales del generador en V.

r_a = resistencia del circuito de la armadura en

r_s = resistencia en serie del campo en

r_f = resistencia del campo en derivación en

I_L = corriente de la línea en A.

I_f = corriente del campo en derivación en A.

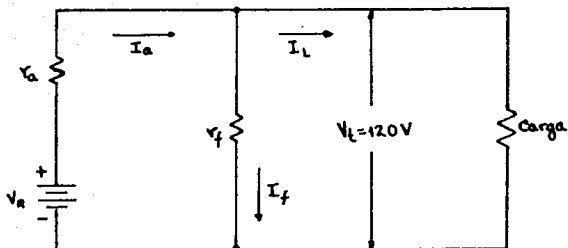


FIGURA 6.

Circuito equivalente de un generador de c-c en derivación

d). Ecuaciones de voltaje del generador y la regulación de voltaje.- El voltaje generado promedio V_g de un generador puede calcularse de la fórmula:

$$V_g = \frac{P Z \phi n}{60b \cdot 10^8} \quad \text{--- --- (8.4)}$$

en donde:

V_g = voltaje generado promedio de un generador de c-c en V.

P = número de polos.

Z = Número total de conductores en la armadura (también - llamados inductores).

ϕ = flujo por polo.

n = velocidad de la armadura en rpm.

b = número de trayectorias paralelas a través de la armadura, dependiendo del devanado de la armadura.

Para cualquier generador, todos los factores de la ec. 4 - son valores fijos, excepto ϕ y n . Por consiguiente, la ec. 4 - puede simplificarse a:

$$V_g = K \phi n \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (8.5)$$

en la que:

$$K = \frac{P Z}{60b * 10^8}$$

La ec.8.5 indica que el valor de una FEM inducida en cualquier circuito es proporcional a la velocidad ó razón con la que se corta el flujo. Por consiguiente, si ϕ se duplica mientras n permanece constante, V_g se duplica. Similarmente, si n se duplica permaneciendo ϕ constante, V_g se duplica.

e). Pérdidas y eficiencia de una máquina de c-c.- Las pérdidas en los generadores y en los motores son causadas por pérdidas en el cobre de los circuitos eléctricos y las

pérdidas mecánicas debidas a la rotación de la máquina. Las pérdidas incluyen:

1.e). Pérdidas en el cobre:

- i). Pérdidas I^2R en la armadura.
- ii). Pérdidas en el campo. $\left\{ \begin{array}{l} I^2R \text{ del campo en derivación.} \\ I^2R \text{ del campo en serie} \end{array} \right.$

2.e). Pérdidas mecánicas ó rotacionales:

- i). Pérdidas en el hierro. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Pérdida por las corrientes parásitas.} \\ \text{Pérdidas por histéresis.} \end{array} \right.$
- ii). Pérdidas por fricción. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fricción en las chumaceras ó cojinetes.} \\ \text{Fricción en las escobillas.} \\ \text{Pérdida por rozamiento ó fricción con el aire.} \end{array} \right.$

Aparecen pérdidas en el cobre porque se usa potencia cuando se hace que pase corriente por una resistencia. Al girar la armadura en el campo magnético, la FEM inducida en las partes de hierro produce corrientes parásitas cuya circulación calienta al hierro y lo que representa energía desperdiciada. También resultan pérdidas por histéresis cuando se magnetiza un material magnético primero en una

dirección y luego en la dirección contraria. Otras pérdidas rotacionales son causadas por la fricción en cojinetes ó chumaceras, la de las escobillas al rozar sobre el conmutador y la resistencia del aire:

La eficiencia es el cociente de la salida útil de potencia y la entrada total de potencia.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \quad - \quad - \quad - \quad (8.6)$$

ó también:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{entrada} - \text{pérdida}}{\text{salida}} = \frac{\text{salida}}{\text{salida} + \text{pérdida}} \quad - \quad (8.7)$$

La eficiencia se expresa usualmente en porciento, es decir:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{salida}}{\text{entrada}} \times 100.$$

DESARROLLO:

1.- Examine la estructura del motor/generador de c-d , poniendo especial atención en el motor, el réostato, las terminales de conexión y el alambrado.

2.- El devanado del campo en derivación se compone de vueltas de alambre delgado. Identifíquelo.

3.- El devanado de campo en serie está arrollado abajo del devanado en derivación y su diámetro es mayor. Localízelo.

4.- Identifique el conmutador.

5.- La posición neutra de las escobillas, se indica mediante una línea roja marcada en la cubierta del motor.

6.- Puesto que se requiere una velocidad constante de funcionamiento, se usará el motor síncrono para impulsar mecánicamente al generador de c-d. Conecte el circuito de la fig. 7 utilizando el motor síncrono.

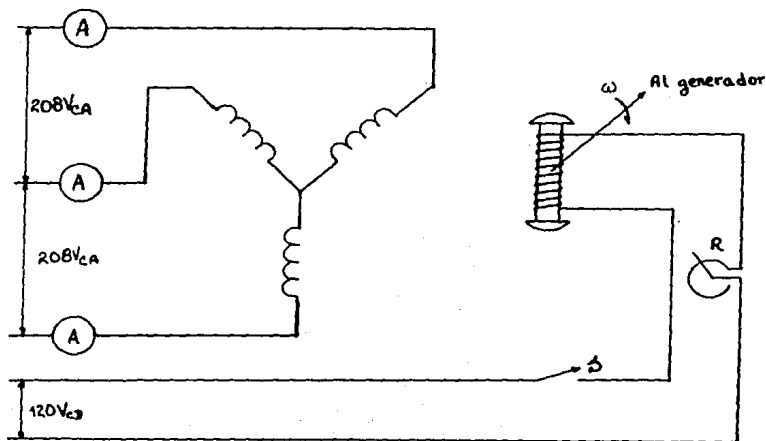


FIGURA 7.

7.- Encienda la fuente de alimentación y si el motor síncrono tiene interruptor ciérrelo al llegar a este paso.

8.- Ajuste el reóstato a la posición apropiada para que la corriente consumida por el motor sea la mínima. Apague la fuente y abra el interruptor del motor, que deberá estar cerrado sólo cuando el motor está girando. Apague la fuente.

9.- Conecte el circuito de la fig. 8 utilizando el motor/generador de c-d y acóplelo al motor síncrono por medio de la banda.

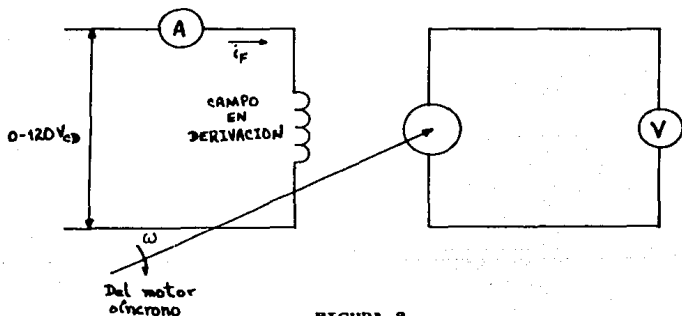


FIGURA 8.

10.- Conecte la fuente de alimentación y haga variar la corriente de campo en derivación (i_F), haciendo girar la perilla de control de voltaje para cada una de las corrientes de campo necesarias hasta completar la siguiente tabla.

I_F (mA)	V (Volts)
0	11
50	32
100	55
150	78
200	99
250	118
300	135
350	145
400	155

TABLA 1.

11.- Explique la razón de que existe un voltaje en la armadura a pesar de que no se está excitando al campo del generador.

12.- Invierta la polaridad del campo en derivación y observe que sucede con el voltaje de armadura.

13.- Invierta la rotación del motor intercambiando dos de las fases del motor síncrono y observe lo que sucede.

14.- Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 9 - utilizando el módulo de resistencias, con una carga total de 120Ω .

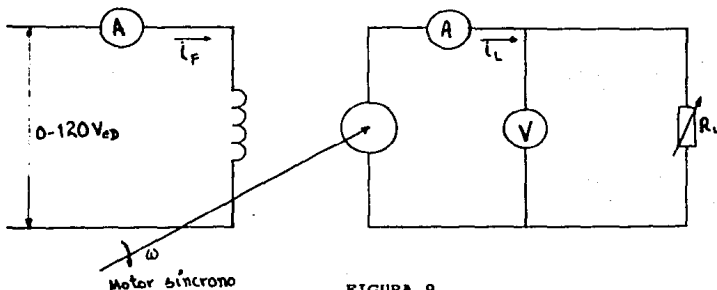


FIGURA 9.

15.- Ajuste la corriente de campo en derivación hasta que el generador proporcione un voltaje de salida de 120 V. El amperímetro debe indicar 1 Ampère.

16.- Procurando mantener la corriente de excitación en el mismo valor, ajuste la resistencia de carga tantas veces como se requiera para obtener cada uno de los valores de la tabla 2.

17.- Mida y anóte la corriente y el voltaje obtenidos y calcule la potencia consumida para cada valor obtenido.

$R_L (\Omega)$	$I_L (A)$	V (volts)	P (Watts)
∞	0	120	0
600	0.15	118	17.50
300	0.32	116	37.12
200	0.49	113	55.37
150	0.62	111	68.82
120	0.75	107	80.25
100	0.88	102	89.76
80	0.96	96	92.16
75	1.10	93	102.30

TABLA 2.

18.- Conecte el circuito de la fig. 10 con los interruptores de todas las resistencias abiertos para tener la condición de vacío.

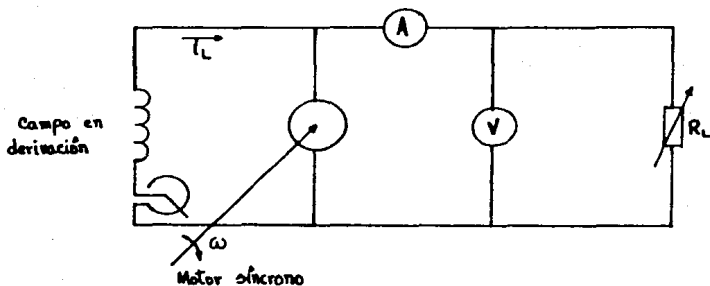


FIGURA 10.

19.- Encienda la fuente de alimentación y observe si el voltaje se incrementa; si no, apague la fuente de alimentación e intercambie los cables del campo en derivación.

20.- Coloque los interruptores de resistencia para una carga de 120Ω . El amperímetro debe indicar 1 Ampère.

21.- Ajuste la resistencia de carga las veces necesarias para obtener cada uno de los valores anotados en la tabla 3.

$R_L (\Omega)$	$I_L (A)$	$V (Volts)$	$P (Watts)$
∞	0	150	0
600	0.3	148	44.4
500	0.5	140	70.0
250	0.7	135	94.5
150	0.9	129	116.1
120	1.0	120	120.0
100	1.2	115	138.0
80	1.3	100	130.0
75	1.35	95	128.2

TABLA 3.

22.- Apague la fuente y calcule la potencia consumida en cada caso.

23.- Conecte el circuito de la fig. 11 utilizando dos módulos de resistencias.

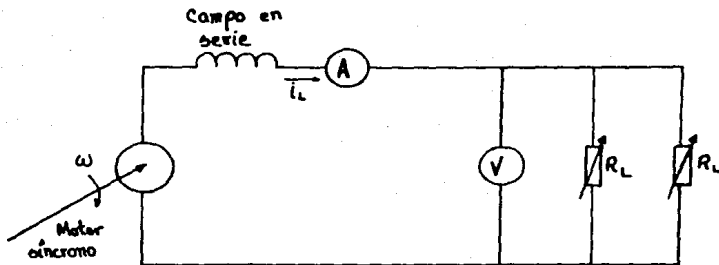


FIGURA 11.

24.- Encienda la fuente y ajuste las resistencias para obtener cada uno de los valores anotados en la tabla 4.

$R_L (\Omega)$	$I_L (A)$	$V (Volts)$	$P (Watts)$
∞	0	7.0	0
400	0.30	13.0	3.90
37.5	0.38	14.4	5.47
35.3	0.46	16.5	7.59
33.3	0.50	17.5	8.75
31.5	0.64	20.0	12.8
30.0	0.80	25.0	20.2

TABLA 4.

PRACTICA 9

"MOTORES DE C.D."

OBJETIVOS:

1.1 Estudiará las características del par en función de la velocidad de un motor de c-d en derivación.

1.2 Observará la eficiencia del motor de c-d en derivación.

1.3 Estudiará las características del par en función de la velocidad para un motor con campo en serie de c-d.

1.4 Calculará la eficiencia del motor con campo en serie de c-d.

1.5 Estudiará las características del par en función de la velocidad de un motor de c-d compuesto.

1.6 Calculará la eficiencia del motor compuesto de c-d.

1.7 Comparará sus resultados y obtendrá sus conclusiones al respecto.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.- Módulo de fuente de poder

EMS 8821

2.-	Módulo de motor/generador de c-d	EMS 8211
3.-	Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
4.-	Módulo de medición de c-d	EMS 8412
5.-	Tacómetro de mano	EMS 8920
6.-	Cables de conexión	EMS 8941
7.-	Banda	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

1.- Principio del motor de c-c.- Aunque la construcción mecánica de los motores y los generadores de c-c es muy similar, sus funciones son muy diferentes.

Como ya lo habíamos señalado anteriormente, la función de un generador es producir voltaje cuando se mueven conductores en un campo magnético, mientras que la de un motor es producir una fuerza giratoria, llamada par-motor que produce rotación mecánica.

2.- Dirección de rotación de la armadura.- Para determinar la dirección de rotación de los conductores de la armadura se usa la regla de la mano izquierda.

La regla de la mano izquierda para los motores es la siguiente: colóquense los dedos índice, medio y pulgar de la mano izquierda mutuamente perpendiculares, apúntese con

el índice en la dirección del campo y con el dedo medio en la dirección de la corriente en el conductor; el pulgar apuntará en la dirección en la que el conductor trata de moverse (fig. 1).

En una bobina rectangular de una sola espira colocada paralela a un campo magnético (fig. 2), la dirección de la corriente en el conductor de la izquierda es hacia afuera del papel, mientras que en el conductor de la derecha es hacia adentro del papel; por consiguiente, el conductor de la izquierda tiende a moverse hacia arriba con una fuerza F_1 y el conductor de la derecha tiende a moverse hacia abajo con una fuerza F_2 . Ambas fuerzas actúan ejerciendo un par que - hace girar a la bobina en el sentido de las manecillas del reloj. Un motor con una sola bobina (fig. 2) es impráctico por tener puntos muertos y porque el par ejercido es pulsante. Se obtienen buenos resultados al usar un número grande de bobinas, como se ve en la fig. 3 para un motor de 4 polos.

Al girar la armadura y alejarse los conductores de un polo hacia el plano neutro, la corriente se invierte por la acción del conmutador. De esta manera, los conductores bajo un polo dado llevan corriente en la misma dirección todo el tiempo.

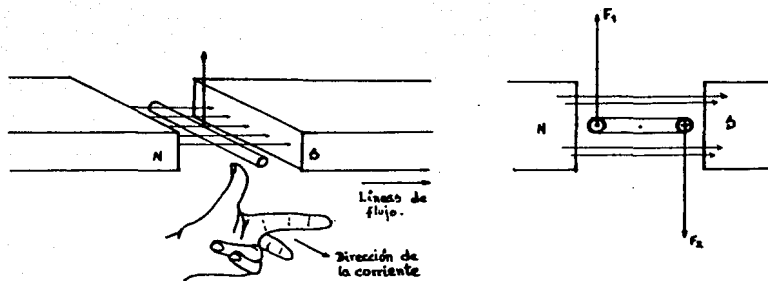


FIGURA 1 y 2.

Aplicaciones de la regla de la mano izquierda para motores

3.- Par-motor.-- El par-motor ó torca T ejercido por un motor es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la corriente en la armadura.

$$T = K_t \phi I_a \text{ --- (9.1)}$$

en la cual:

T = par-motor en ($f_t - l_b$)

K_t = constante que depende de las dimensiones físicas del motor.

ϕ = número total de líneas de flujo que entran a la armadura desde un polo N.

I_a = corriente en la armadura (Amp).

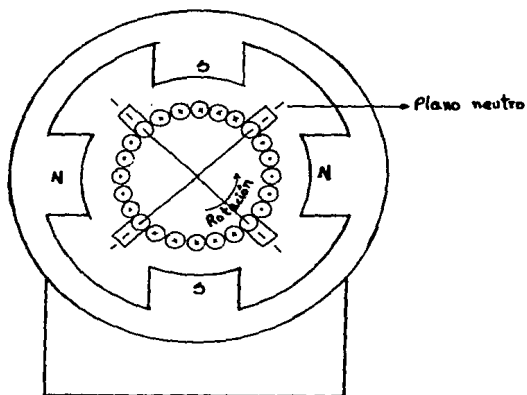


FIGURA 3.

Direcciones de la corriente en la armadura de un motor de cuatro polos para una rotación en el sentido contrario al de las manecillas del reloj.

4.- Circuito equivalente del motor de corriente continua.- Las relaciones de voltaje y corriente del circuito equivalente de un motor de c-c (fig. 4), son las siguientes:

$$V_{ca} = V_g + I_a r_a \quad \text{--- (9.2)}$$

$$V_t = V_g + I_a (r_a + r_g) \quad \text{--- (9.3)}$$

$$I_L = I_a + I_f \quad \text{--- (9.4)}$$

en las cuales:

V_{ca} = voltaje en las terminales de la armadura (V)

V_g = fuerza contraelectromotriz en (V)

I_a = corriente en la armadura en (Amp)

V_t = voltaje entre las terminales del motor en (V)

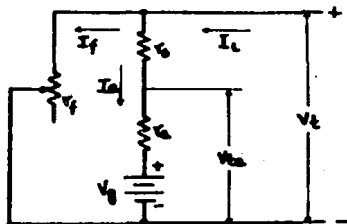


FIGURA 4.

Circuito equivalente de un motor de c-c

r_a , r_s , I_L e I_f son lo mismo que se definió para el circuito - equivalente del generador de c-c (práctica anterior) con el circuito equivalente de un motor (fig. 4) indica que la única diferencia es la dirección de las corrientes de línea y armadura.

La fuerza contraelectromotriz de un motor, V_g , es generada por la acción de los conductores de la armadura al cortar las líneas de fuerza. Si en un motor es derivación la ec. 3 - se multiplica por I_a ($r_s = 0$).

$$V_t I_a = V_g I_a + I_a^2 r_a \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (9.5)$$

$V_t I_a$ es la potencia suministrada a la armadura del motor; - $I_a^2 r_a$ es la potencia que se pierde como calor por el paso de la corriente de la armadura y $V_g I_a$ es la potencia producida ó desarrollada por la armadura. Pero la potencia de la armadura no es la salida útil porque se debe gastar una parte de ella en vencer las pérdidas mecánicas ó rotacionales del motor.

La potencia nominal de salida del motor es igual a la entrada ($V_t I_a$) menos las pérdidas caloríficas ($I^2 R$) y las rotacionales. La unidad común para medir la salida mecánica de un motor es el caballo de fuerza (hp) en donde:

$$\text{Caballos de fuerza} = \frac{\text{Watts}}{746} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (9.6)$$

5.- Velocidad de un motor. - La velocidad se especifica por el número de revoluciones del eje en cierto tiempo y se expresa en unidades de revoluciones por minuto (rpm). Una reducción en el flujo del campo magnético de un motor

produce un aumento en la velocidad del motor; inversamente, un aumento en el flujo del campo magnético hace que la velocidad del motor disminuya.

Como la velocidad del motor varía con la excitación del campo, una manera adecuada de controlar la velocidad es variando el flujo del campo mediante ajustes de la resistencia en el circuito del campo.

Si un motor puede mantener una velocidad casi constante para diferentes cargas, decimos que el motor tiene buena regulación de velocidad. La regulación de velocidad se expresa generalmente de manera porcentual, como se indica a continuación:

Regulación

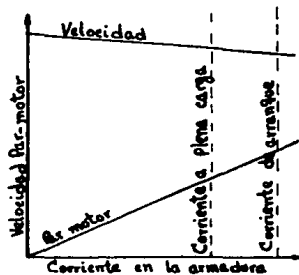
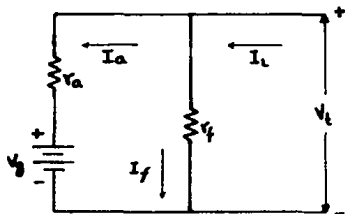
$$\text{Regulación} = \frac{\text{velocidad sin carga ó en vacío} - \text{velocidad a plena carga ó carga completa}}{\text{velocidad a plena carga ó con carga completa}} \times 100$$

TIPOS DE MOTORES:

1.- Motor en derivación.- Este es el tipo de motor de c-c más común. Se conecta de la misma manera que el generador en derivación (fig. 5a y b).

Sus curvas características velocidad-carga y par-carga muestran que el par-motor aumenta linealmente con un aumento de la corriente en la armadura, mientras que la velocidad disminuye ligeramente al aumentar la corriente en la armadura. La velocidad básica es a plena carga. Debe tenerse cuidado de nunca abrir el circuito del campo de un motor en derivación

que funcione sin carga ó en vacío porque la velocidad del motor crecería sin límite hasta que el motor se destruyera.

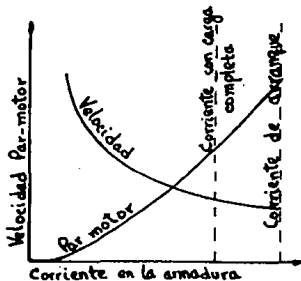
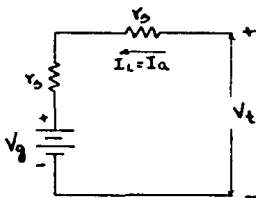


FIGURAS 5a y b.

Curvas características de un motor en derivación

La velocidad se ajusta agregando resistencia al circuito del campo con un reóstato de campo. Para una posición fija del reóstato, la velocidad del motor permanece casi constante en todas las cargas. Con motores de c-c se usan arrancadores que limitan la corriente de la armadura durante el arranque entre 125 y 200% de la corriente a plena carga.

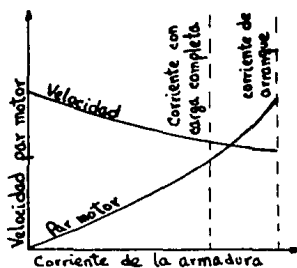
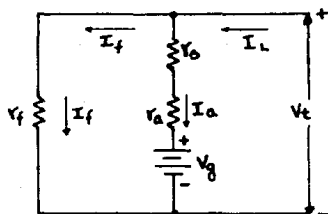
2.- Motor en serie.- El campo de este tipo de motor está conectado en serie con la armadura (fig. 6a y b). La velocidad varía desde una velocidad muy alta con carga ligera a una velocidad menor a plena carga. El motor en serie es apropiado para arrancar con cargas pesadas (impulsando grúas y malacates) porque con una corriente alta en la armadura desarrolla un par alto y funciona a velocidad baja. La velocidad de un motor en serie, sin carga, aumentará sin límite hasta que el motor se destruya. Por consiguiente, los grandes motores serie se conectan directamente a su carga, en lugar de usar bandas y poleas.



FIGURAS 6a y b.

Curvas características de un motor en serie Típico

3.- Motor compuesto combinado ó compound.- Combina las características de operación de los motores en derivación y en serie. El motor combinado puede ser operado con seguridad, sin carga. Al agregar carga disminuye su velocidad y el par es mayor, comparado con el de un motor en derivación (fig. 7a y b).



FIGURAS 7a y b.

Curvas características de un motor compuesto Típico

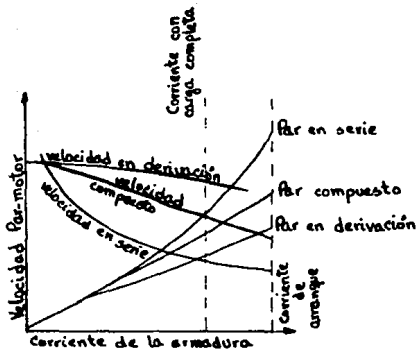


FIGURA 8.

Curvas características de los motores en derivación, serie y compuesto.

6.- Requisitos de arranque de los motores.- Los motores tienen dos requisitos para el arranque:

- 1.- Tanto el motor como las líneas de alimentación deben estar protegidos contra el peso de una corriente excesiva durante el período de arranque colocando resistencias externas en serie con el circuito de la armadura.
- 2.- El par de arranque del motor debe hacerse tan grande como sea posible para que el motor alcance su velocidad máxima en un mínimo de tiempo.

La cantidad de resistencia de arranque necesaria para limitar la corriente de arranque en la armadura al valor deseado es:

$$R_s = \frac{V_t}{I_s} - r_a \quad \text{--- (9.8)}$$

en donde:

R_s = resistencia de arranque en (Ω)

V_t = voltaje del motor en (V)

I_s = corriente en la armadura deseada en el arranque en (Amp)

r_a = resistencia de la armadura en (Ω)

DESARROLLO:

Conexión en derivación.

1.- Conecte el circuito de la fig. 9 ajustando la perilla del reóstato del motor para obtener una resistencia mínima.

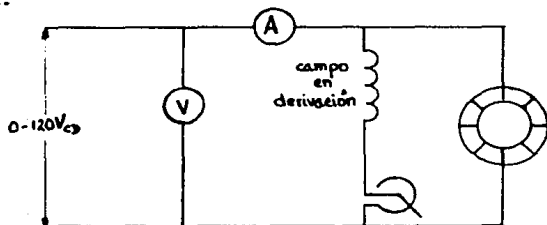


FIGURA 9.

2.- Acople el electrodinamómetro al motor de c-d por medio de la banda y ajústelo para proporcionar una carga mínima de arranque.

3.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 Vc-d. Observe la dirección de rotación, si es en sentido contrario al de las manecillas del reloj, apague la fuente e invierta la conexión del campo en derivación.

4.- Utilizando un tacómetro de mano, ajuste el reóstato del motor para una velocidad de 1800 rpm.

5.- Mida la corriente y anote el valor en la tabla 1.

6.- Aplique carga al motor haciendo variar la perilla de control del electrodinamómetro para obtener cada una de las lecturas necesarias para completar la tabla 1.

7.- Apague la fuente de alimentación.

V (Volto)	I (A)	ω (rpm)	Par (lb. in)	% reg.	H.P.	Pérdidas (W)	η (%)
120	0.9	1800	0	—	—	—	—
120	1.0	1720	1	4.44	0.027	99.85	85.21
120	1.1	1680	2	6.66	0.053	92.16	70.04
120	1.4	1600	3	11.11	0.076	111.50	66.25
120	1.6	1580	4	12.22	0.100	117.40	61.14
120	1.8	1550	5	15.88	0.123	124.24	57.51
120	2.2	1520	6	15.55	0.145	155.83	59.02
120	2.6	1500	7	16.66	0.167	211.41	67.76
120	2.8	1480	8	17.77	0.168	195.75	58.25
120	2.9	1480	9	17.77	0.211	190.59	59.76
120	3.3	1450	10	19.44	0.250	224.92	56.67

TABLA 1.

- 8.- Calcule el % de regulación de velocidad.
- 9.- Calcule los hp desarrollados para cada par y calcule las pérdidas y eficiencia del motor.

Conexión en serie.

- 10.- Conecte el circuito de la fig. 10.

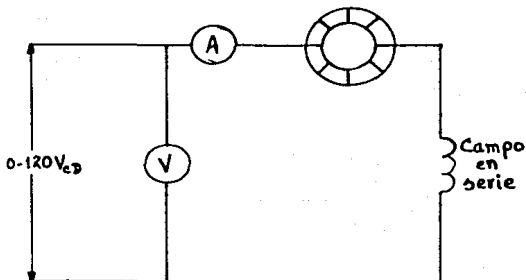


FIGURA 10.

11.- Ajuste la perilla de control del electrodinámome-
tro a su posición media.

12.- Encienda la fuente de alimentación y aumente
gradualmente la excitación del motor. Si el sentido de giro
no es el adecuado intercambie las conexiones del campo en
serie.

13.- Ajuste el voltaje a 120 Vc-d y la carga aplicada
a un valor de 12 (lb . in).

14.- Mida la corriente de línea y la velocidad del mo-
tor y anóte esos valores en la tabla 2.

15.- Repita esta operación para cada par anotando en la tabla y complétela.

16.- Apague la fuente.

17.- Repita los procedimientos 8 y 9 para este tipo de conexión y anóte sus resultados.

V (volts)	I (A)	ω (rpm)	PAR (lb.in)	% reg. (%)	H.P	Pérdidas (W)	η (%)
120	1.4	2750	1	—	0.043	135.92	80.90
120	1.6	2500	2	9.09	0.079	133.06	69.30
120	1.8	2320	3	15.63	0.110	133.94	62.00
120	2.0	2025	4	26.18	0.129	143.76	59.90
120	2.1	2020	5	26.54	0.160	132.64	52.63
120	2.4	1850	6	32.72	0.176	156.70	54.41
120	2.45	1820	7	33.81	0.202	143.30	48.74
120	2.6	1750	8	36.36	0.222	146.38	46.91
120	3.0	1600	9	41.81	0.228	189.91	52.75
120	3.3	1500	10	45.45	0.238	218.45	55.16

TABLA 2.

Conexión compuesta acumulativa.

18.- Sin mover las conexiones hechas para el motor de c-d en serie, conecte ahora el campo en derivación y el reóstato para obtener el circuito de la fig. 11.

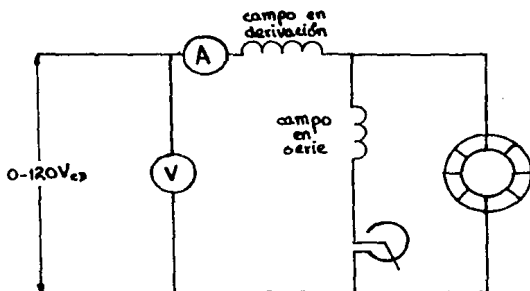


FIGURA 11.

19.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 Vc-d, si el motor desarrolla una velocidad excesiva, apague la fuente e intercambie las conexiones del campo en derivación.

20.- Manteniendo el voltaje constante aplique carga al motor y mida lo necesario para poder completar la tabla 3.

21.- Apague la fuente de alimentación.

22.- Repita los procedimientos 8 y 9 con los datos obtenidos y anóte sus resultados.

23.- Compare los resultados obtenidos en cada fase de la práctica y anóte sus conclusiones.

V (volts)	I (A)	ω (rpm)	PAR (lb.in)	% reg. (%)	H.P.	Pérdidas (w)	η (%)
120	1.0	1340	0	—	—	—	—
120	1.0	1320	1	1.49	0.020	105.08	87.56
120	1.2	1260	2	5.97	0.040	114.16	79.27
120	1.4	1135	3	15.29	0.054	127.71	76.02
120	1.5	1190	4	11.19	0.075	124.05	68.91
120	1.6	1185	5	11.56	0.094	121.87	65.47
120	1.8	1170	6	12.68	0.112	132.44	61.31
120	2.0	1135	7	15.29	0.126	146.00	60.83
120	2.1	1130	8	15.67	0.143	145.32	57.66
120	2.2	1090	9	18.65	0.156	147.62	55.92
120	2.3	1085	10	19.02	0.172	147.68	55.51

TABLA 3.

P R A C T I C A 10

"MOTOR SINCRONO"

OBJETIVOS:

1.1 Analizará la estructura del motor síncrono trifásico.

1.2 Observará las características de arranque del motor síncrono trifásico.

1.3 Obtendrá la curva característica de la corriente de c-a en función de la corriente en c-d para el motor síncrono.

1.4 Observará la característica del motor síncrono con factor de potencia adelantado, unitario y atrasado.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Módulo de fuente de poder	EMS 8821
2.-	Módulo de motor/generador síncrono	EMS 8241
3.-	Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
4.-	Módulo de wáttmetro trifásico	EMS 8441
5.-	Módulo de amperímetros de c-a	EMS 8425

6.-	Módulo de voltímetros de c-a	EMS 8426
7.-	Módulo de medición de c-d	EMS 8412
8.-	Módulo de interruptor de sincronización	EMS 8621
9.-	Tacómetro de mano	EMS 8920
10.-	Cables de conexión	EMS 8941
11.-	Banda	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

Al igual que los motores de inducción, los motores sincrónicos tienen devanados en el estator que producen un campo magnético giratorio. Pero a diferencia del motor de inducción, el circuito del rotor de un motor síncrono es excitado por una fuente de c-c. El rotor se sincroniza con el campo magnético giratorio y gira con él a la misma velocidad, dada por la sig. ec.:

$$\text{Velocidad} \\ \text{síncrona} \quad N_s = \frac{120 f}{P} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (10.1)$$

Como un motor síncrono produce par-motor únicamente cuando funciona a la velocidad síncrona, no arranca por sí sólo y, por lo tanto, requiere algún accesorio adicional para alcanzar la velocidad síncrona.

1.- Arranque de un motor síncrono.- Puesto que un motor síncrono no desarrolla torque de arranque, debe proveerse un medio auxiliar de arranque.

La máquina puede iniciar su arranque moviéndola con otro motor (algunas veces el excitador de c-c en modo reverso) pero más comúnmente mediante devanados de arranque involucrados a la máquina. En cualquier caso, si el campo de c-c se excitara durante el arranque, se presentarían contratorques pulsantes grandes a medida que el flujo rotatorio envolviera el rotor. Conceptualmente, el arranque requiere que se acelere el rotor no excitado hasta una velocidad suficientemente cercana a la sincrónica tal que, cuando se aplique c-c al campo, el torque resultante aumente la velocidad hasta la sincrónica antes que el campo rotatorio pueda envolver al rotor. La temporización de la excitación depende de dos condiciones:

- a). Que se obtenga la velocidad requerida.
- b). Una posición del rotor relativa al flujo rotatorio - que resulte en un torque en la dirección de rotación.

El método predominante para el arranque de los motores síncronos utiliza el principio del motor jaula de ardilla, el cual consiste en un devanado cortocircuitado permanentemente colocado en las zapatas de los polos e interconectado a extremos opuestos del polo.

El motor como jaula de ardilla acelera el rotor hasta una velocidad del orden de 92 a 97% de la sincrónica. La velocidad debe ser tal que el torque que se desarrolle en

el momento que se aplique la excitación de c-c exceda los torques que se oponen al rotor y la carga que se le acopla en un torque acelerador suficiente que haga entrar el rotor y la carga en sincronización.

En conclusión podemos decir; un motor de este tipo puede ser arrancado haciéndolo girar como motor de c-c con el eje común, entonces se puede acoplar la carga al motor. Los motores síncronos se arrancan más a menudo por medio de un devanado de jaula de ardilla incrustado en la cara de los polos del rotor. El motor arranca como motor de inducción y alcanza así un 95% de la velocidad sincrónica. En el instante apropiado se aplica c-c y el motor se acelera y entra en sincronía. La magnitud del par-motor necesaria para que el motor entre en sincronía se llama el par-motor de ajuste a la sincronía.

2.- Efecto de la carga en los motores síncronos.-

En el motor síncrono el rotor se sincroniza magnéticamente con el campo magnético giratorio y debe mantenerse girando a la velocidad sincrónica con cualquier carga.

Sin carga, las líneas centrales de un polo del campo magnético giratorio coinciden con el campo del polo del rotor sin cambio en la velocidad; la coincidencia debe darse en el campo de un polo de c-c (fig. 1a).

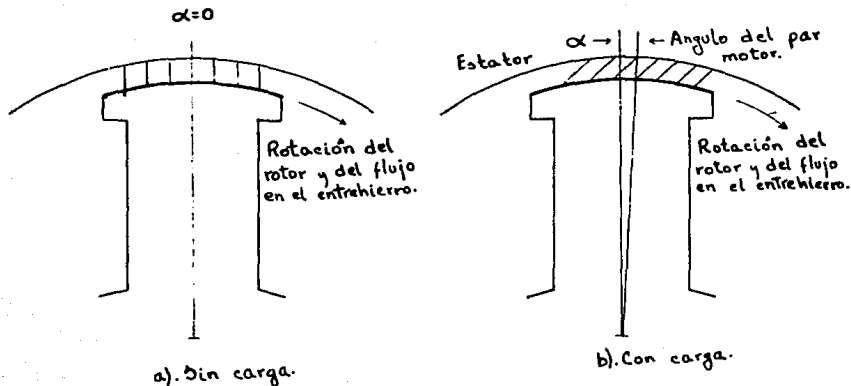


FIGURA 1a y b.

Posiciones relativas de un polo del estator
y de un polo del campo de c-c.

Al aumentar la carga del motor, el polo del rotor se mueve hacia atrás con respecto al polo del estator sin cambio en la velocidad (fig. 1b). El desplazamiento angular entre los polos del rotor y del estator se llama el ángulo del par-motor o ángulo del momento de torsión, α .

Cuando un motor sincrónico opera sin carga (ángulo del par prácticamente 0°), la fuerza contraelectromotriz V_g es igual al voltaje aplicado δ de las terminales V_t (despreciando las pérdidas en el motor) (fig. 2a). Al crecer la carga y el ángulo del par, la relación de fase de V_g y de V_t cam-

bia, lo cual permite el paso de una mayor corriente en el estator para poder mover la carga adicional (fig. 2b).

V_t y V_g ya no están directamente opuestos. Su voltaje - resultante V_r hace que pase una corriente I en los devanados del estator. I se atrasa casi 90° a V_r a causa de la alta inductancia de los devanados del estator. θ es el ángulo de fase entre V_t e I . Un incremento en la carga dá por resultado un ángulo del par-motor, lo cual aumenta V_r e I (fig. 2c).

El valor máximo del par-motor que puede proporcionar un motor sin perder la sincronía se llama par-motor máximo o crítico. Si el motor sincrónico tiene un devanado de jaula de ardilla, continuará operando como motor de inducción.

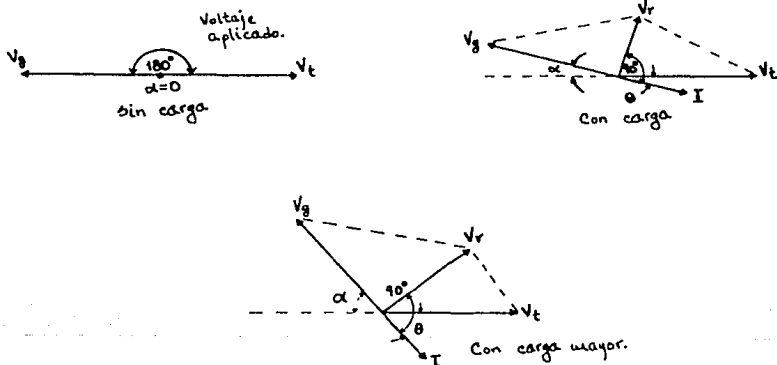


FIGURA 2a, b y c.

Diagramas de fasores de un motor sincrónico con tres diferentes condiciones de carga y la misma excitación del campo de c-c.

3.- Características nominales y eficiencia.- Los datos en la placa de identificación de los motores síncronos incluyen los mismos que se encuentran en la placa de identificación de los generadores de c-a, con la capacidad en KVA sustituida por la capacidad de potencia mecánica en caballos de potencia (hp).

La eficiencia de los motores síncronos es generalmente superior a la de los motores de inducción de la misma potencia y velocidad nominales, las pérdidas son las mismas que en los generadores síncronos.

4.- Corrección del factor de potencia con motores síncronos.- Una ventaja notable de estos motores es que pueden operar con un factor de potencia (FP) adelantado ó igual a la unidad. Al variar la intensidad del campo de c-c el factor de potencia total de un motor síncrono puede ajustarse dentro de un intervalo bastante extenso. Por lo tanto, el motor puede parecer una carga con FP adelantado conectada a la línea. Si un sistema eléctrico opera con un factor de potencia atrasado, se pueden conectar motores síncronos a la línea, ajustados para un FP adelantado para mejorar (aumentar) el valor del FP del sistema.

Cualquier mejoría en el FP aumenta la potencia entregada a la carga, eleva la eficiencia y en general, mejora las características de operación del sistema.

5.- Uso de la excitación del campo para cambiar el factor de potencia de un motor.- Si se tiene una carga mecánica constante, el FP de un motor síncrono puede cambiarse

desde un valor adelantado hasta un valor atrasado ajustando su excitación de c-c del campo (fig. 3). La excitación del campo se ajusta de manera que $FP=1$ (fig. 3a). Con la misma carga, al aumentar la excitación del campo la fuerza contraelectromotriz V_g aumenta, lo cual dá por resultado un cambio en la fase entre la corriente del estator I y el voltaje entre las terminales V_t de manera que el motor opera con $FP=adelantado$ (fig. 3b).

Si la excitación del campo se reduce por debajo del valor representado en la fig. 3a, el motor opera con un $FP=atrasado$ (fig. 3c).

Un ejemplo de una curva en forma de V de un motor síncrono, obtenida de un fabricante, muestra cómo varía la corriente del estator con la excitación del campo del rotor a una carga constante (fig. 4). En la figura se puede leer también el factor de potencia al variar la corriente del campo.

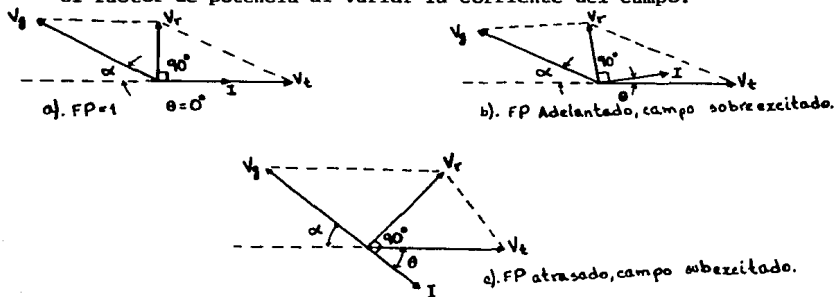


FIGURA 3a, b y c.

Diagramas de fasores de un motor síncrono con carga constante pero diferente magnitud de excitación del campo.

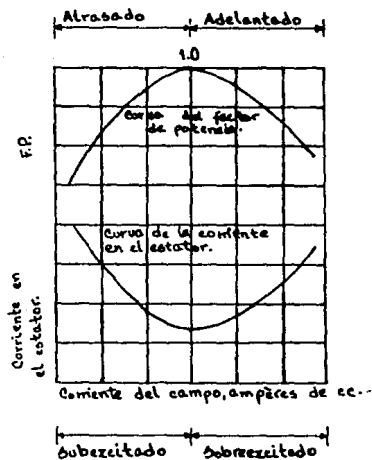


FIGURA 4.

Variación de la corriente en el estator y del FP de un motor síncrono contra la variación de la excitación del campo de c-c bajo una carga constante.

DESARROLLO:

1.- Examine la estructura del motor síncrono, fijándose especialmente en el rotor, los anillos colectores, el rebátato las terminales de conexión y el alambrado.

2.- Identifique los dos anillos colectores y las escobillas.

3.- Identifique los devanados amortiguadores de c-d en el rotor y observe los cuatro polos salientes inmediatamente debajo de éstos.

4.- Revise el devanado del estator y observe que es idéntico al de los motores trifásicos de jaula de ardilla y de rotor devanado.

5.- Alambre el circuito de la figura 5, y acople el electrodinamómetro por medio de la banda.

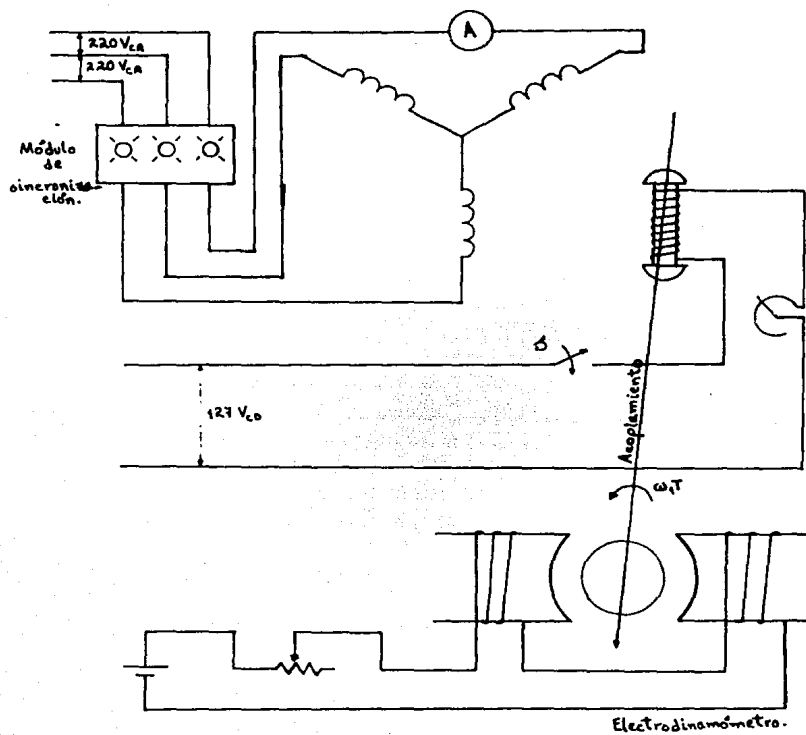


FIGURA 5.

- 6.- El módulo de interruptor de sincronización se utilizará como protección, manténgalo abierto (off).
- 7.- Ajuste la perilla de control del electrodinamómetro a un 40% aproximadamente de excitación.
- 8.- Ajuste el réostato del motor síncrono para una resistencia igual a cero. El interruptor S debe estar cerrado.
- 9.- Encienda la fuente de alimentación. A continuación cierre el interruptor del módulo de sincronización y observe rápidamente lo que sucede. No aplique la energía por más de 5 seg.
- 10.- ¿Cuál fué la corriente medida?
- 11.- Intercambie la conexión del rotor del motor a la salida variable de la fuente. No cambie nada.
- 12.- Con el control de voltaje de la fuente al mínimo, encienda la fuente y cierre el interruptor del módulo de sincronización y observe lo que sucede.
- 13.- Ajuste cuidadosamente la salida de la fuente de alimentación a 120 Vc-d y anóte sus conclusiones.
- 14.- Apague la fuente de alimentación y conecte el circuito de la figura 6. Quite la banda de acoplamiento para que el motor gire libremente sin carga.

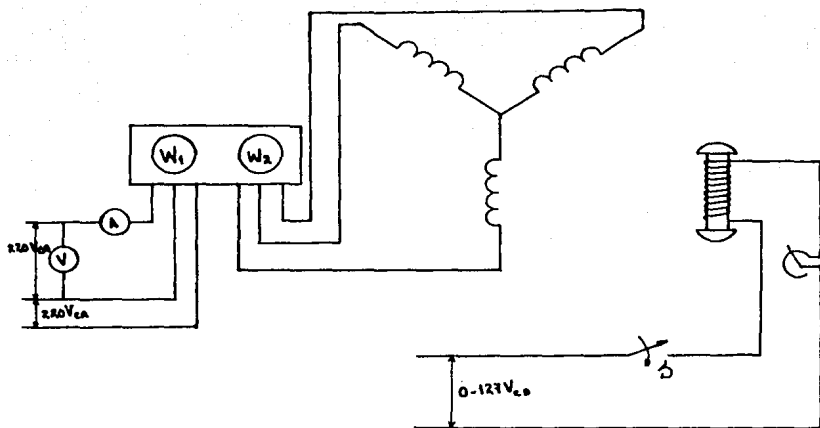


FIGURA 6.

15.- Encienda la fuente de alimentación; el motor debe comenzar a funcionar. Observe el valor de la corriente alterna.

16.- Aumente gradualmente la excitación de c-d tantas veces como se requiera para poder completar la tabla 1. Anóte sus conclusiones.

I_A (A)	V (V)	I_L (A)	S (VA)	W_1	P (W)	W_2	FP
0	228	1.2	473.89	-80	115	195	0.24
0.1	228	0.9	355.91	-65	90	155	0.25
0.2	228	0.7	276.93	-50	75	125	0.27
0.3	228	0.5	197.95	-30	60	90	0.30
0.4	228	0.4	157.96	-20	60	80	0.37
0.5	228	0.2	78.98	-5	50	55	0.63
0.6	228	0.10	39.49	5	30	25	0.75
0.7	228	0.05	19.74	10	22	12	1.05
0.8	228	0.10	39.49	30	40	10	0.88
0.9	228	0.20	78.98	50	55	5	0.69

TABLA 1.

PRACTICA 11

"EL MOTOR UNIVERSAL"

OBJETIVOS:

- 1.1 Analizará la estructura del motor universal.
- 1.2 Determinará las características en vacío y a plena carga, del Motor Universal cuando funciona con corriente alterna.
- 1.3 Determinará las características en vacío y a plena carga cuando funciona con corriente directa.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|-------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de motor universal | EMS 8254 |
| 3.- | Módulo del electrodinamómetro | EMS 8911 |
| 4.- | Módulo de amperímetros de c-a | EMS 8425 |
| 5.- | Módulo de voltímetros de c-a | EMS 8426 |
| 6.- | Módulo de medición de c-d | EMS 8412 |
| 7.- | Tacómetro de mano | EMS 8920 |

- | | | |
|-----|--------------------|----------|
| 8.- | Cables de conexión | EMS 8941 |
| 9.- | Banda | EMS 8942 |

INTRODUCCION TEORICA:

El motor Universal es un motor devanado en serie diseñado para funcionar aproximadamente a la misma velocidad y salida, con c-c o c-a monofásica de frecuencia no mayor de 60 Hz y un voltaje rms aproximadamente igual al voltaje de c-c.

De la discusión del motor de c-c, se sabe que la inversión de las direcciones tanto del flujo como de la corriente de armadura no cambia la dirección del torque. La dirección del flujo depende de la dirección de la corriente a través de la bobina. Puesto que la bobina de un motor serie se excita mediante la corriente de la armadura, tanto el flujo como la corriente se invierten simultáneamente. El giro instantáneo es siempre en la dirección de rotación, pero el giro de c-a tendrá la pulsación de doble frecuencia común a la potencia monofásica.

Las características de par-velocidad difieren algo en c-a y c-c. Con c-c la fuerza contraelectromotriz es menor que el voltaje aplicado, pero con c-a se presenta una caída adicional en las reactancias inductivas, lo cual resulta en un contravoltaje generado inferior y en una velocidad más baja para el mismo par. El voltaje rms de c-a tiene un valor pico de $\sqrt{2}$ V; la saturación a voltajes más elevados ocasiona un flujo efectivo inferior al que se obtiene con c-c.

En una máquina de c-c, los núcleos del estator y de los polos se fabrican generalmente de fundiciones sólidas, ya que el flujo es constante; para operación con c-a, las pérdidas en el núcleo serían altas sino se utilizaran laminaciones. Debido a que la reacción de la armadura es más pequeña con c-a, normalmente se utilizan devanados compensadores.

Las velocidades de rotor de los motores universales están generalmente en el rango de 5000 a 15000 rpm, pero a menudo se reduce mediante engranajes la velocidad del rotor a una velocidad mucho más baja en el eje de carga. La velocidad es de fácil ajuste; aunque se han utilizado un número de métodos en el pasado, la tendencia actual es hacia el control de velocidad de estado sólido.

Las especificaciones normalizadas son desde $\frac{1}{20}$ hasta 1 hp para velocidades superiores a las 5000 rpm; a velocidades inferiores, se presenta una disparidad considerable en el comportamiento entre operaciones con c-c y con c-a.

DESARROLLO:

1.- Examine la estructura del motor universal, dando especial atención al rotor, las escobillas y el alambrado.

2.- Identifique el conmutador y las escobillas; las escobillas se pueden ubicar en el conmutador moviendo la palanca a la derecha o a la izquierda de la línea roja que marca la posición neutra de las escobillas.

3.- Con las escobillas en la posición neutra, conecte los devanados de armadura y de compensación en serie a la salida variable de 120 Vc-a de la fuente como se ilustra en la figura 1.

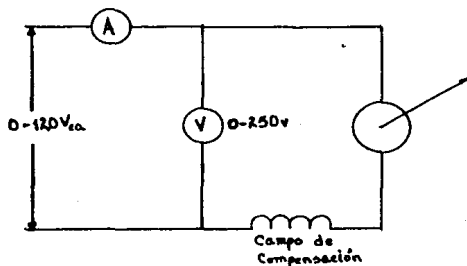


FIGURA 1.

4.- Encienda la fuente de energía a 20 Vc-a; si la corriente de línea es menor que 1 Ampère intercambie los cables de la armadura ó del devanado de compensación.

5.- Tomando en cuenta el procedimiento anterior, conecte en serie el campo "serie" del motor acoplado el electrodinámómetro por medio de la banda.

6.- Haga girar la perilla de control del electrodinámómetro para proporcionar una carga mínima de arranque al motor.

7.- Encienda la fuente y ajústela a 120 Vc-a.

8.- Mida y anote en la tabla 1 la corriente de línea, la potencia y la velocidad del motor y calcule y anote los datos necesarios para completarla.

9.- Apague la fuente.

PAR (lb.in)	I (A)	S (VA)	P (W)	W (rpm)	H.P.	F.P.	η
0	1.5	180	150	4600	0	0.833	—
1	1.6	192	170	3950	0.062	0.885	72.79
2	1.8	216	185	3680	0.117	0.856	52.82
3	1.9	228	200	3210	0.153	0.877	42.93
4	2.2	264	225	2850	0.181	0.852	39.98
5	2.4	288	250	2500	0.198	0.862	40.91
6	2.6	312	270	2250	0.214	0.865	40.87
7	2.8	336	285	2020	0.224	0.848	41.37
8	2.9	348	295	1800	0.228	0.847	42.34
9	3.2	384	300	1720	0.246	0.781	38.82

TABLA 1.

10.- Sustituya las conexiones de la fuente para proporcionar al mismo circuito una excitación de c-d.

11.- Intercambie los medidores de c-a por medidores de c-d.

12.- Encienda la fuente y ajústela a 120 Vc-d.

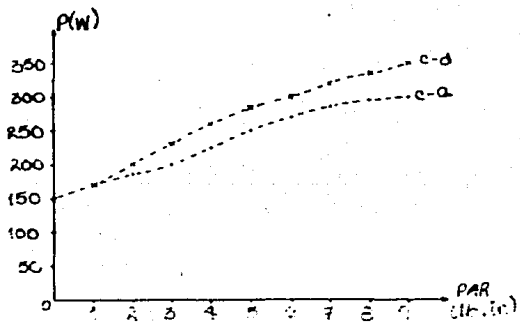
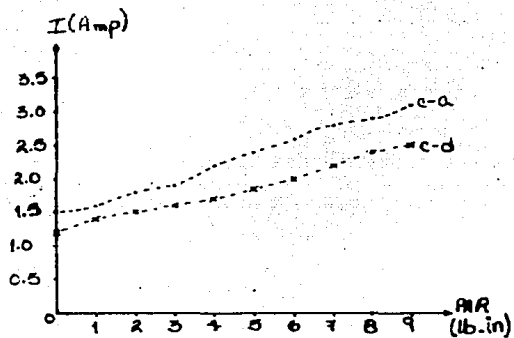
13.- Repita el procedimiento y anote sus resultados en la tabla 2.

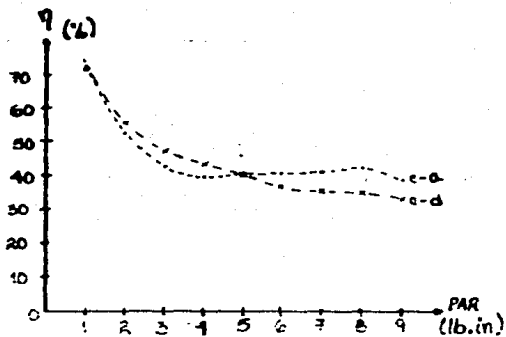
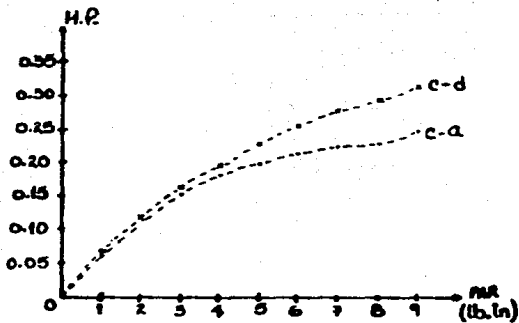
14.- Compare los resultados obtenidos en las dos tablas y anóte sus conclusiones.

15.- Haga sus conclusiones y las gráficas correspondientes de acuerdo a los valores de las tablas 1 y 2.

PAR (lb.in)	I (A)	P (W)	W (rpm)	H.P.	η
0	1.2	150	4600	0	—
1	1.4	170	4200	0.066	71.03
2	1.5	200	3740	0.118	55.98
3	1.6	230	3420	0.163	47.13
4	1.7	260	3110	0.197	43.47
5	1.8	285	2890	0.229	40.05
6	2.0	300	2670	0.251	36.83
7	2.2	320	2480	0.276	35.65
8	2.4	335	2300	0.292	34.97
9	2.5	350	2195	0.314	33.07

TABLA 2.





**PROYECTO DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE CONVERSION
DE ENERGIA ELECTROMECHANICA II.**

PRACTICA 1

" GENERADOR DE C.A. "

OBJETIVOS:

- 1.1 Obtener la curva de saturación en vacío del alternador.
- 1.2 Obtener las características de corto circuito del alternador.
- 1.3 Determinar las características de regulación de voltaje del alternador con diferentes tipos de carga.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|---------------------------|----------|
| 1.- | Motor de jaula de ardilla | |
| 2.- | Generador síncrono | EMS 8211 |
| 3.- | Fuente de potencia | EMS 8821 |
| 4.- | Módulo de medición de C-A | EMS 8424 |
| 5.- | Banda | EMS 8942 |
| 6.- | Cables de conexión | EMS 8941 |
| 7.- | Módulo de resistencias | EMS 8311 |

INTRODUCCION TEORICA:

La característica de circuito abierto de un alternador, que recibe también el nombre de característica en vacío o de saturación, muestra la relación entre excitación de campo y la FEM desarrollada cuando la máquina es impulsada a velocidad de régimen con sus bornes en circuito. En la fig. 1 se muestra la excitación en función de los ampères-vuelta por el polo y la FEM se expresa en voltios por fase.

La característica de circuito abierto suele ser más o menos curva a causa de la saturación de la parte de hierro del circuito magnético; pero si se prolonga la parte recta inicial de la curva nos da la característica del entrehierro.

La característica de cortocircuito se obtiene haciendo funcionar la máquina a velocidad de régimen con sus bornes en cortocircuito y observando la corriente cuando la excitación varía desde cero hasta un 125 ó 150% de la corriente a plena carga. La característica de cortocircuito es normalmente una línea recta que pasa por el origen, ya que la excitación es tan pequeña que no existe saturación que afecte a la resistencia y a la reactancia del inducido en cortocircuito.

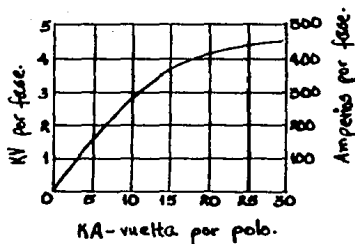


FIGURA 1

Se define la regulación de la tensión como la elevación de tensión expresada en porcentaje de la tensión nominal cuando la carga se reduce a cero, mientras la excitación de campo y la frecuencia permanecen constantes. Ahora bien, hay que hacer notar que si la carga es capacitiva la tensión en condiciones de carga es más alta que en vacío, con lo que la regulación debe entonces considerarse negativa.

Con objeto de observar la curva de saturación y efectos de la carga en el generador teniendo sólo una variable utilizaremos el motor de inducción para mantener la velocidad casi constante y despreciar los problemas que se tendrían al manejar mayor número de variables.

DESARROLLO:

1.- Utilizando los módulos de motor de jaula de ardilla, generador síncrono, fuente de alimentación y medición, alambre el siguiente circuito, acople el motor y el generador mediante la banda (fig. 2).

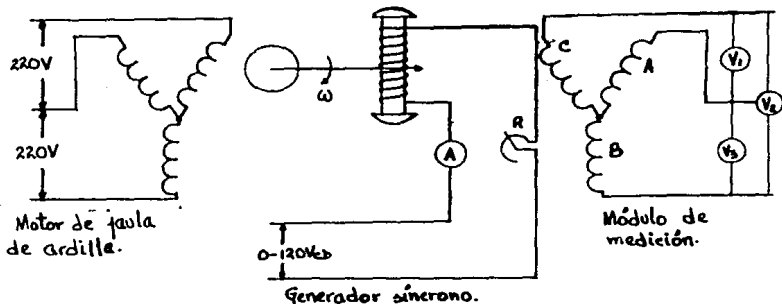


FIGURA 2

2.- Ajuste el reóstato del campo del alternador en su posición extrema para una resistencia igual a cero (sentido horario). Ajuste la perilla de control del voltaje -- igual a cero.

3.- Conecte la fuente de alimentación, cuando el motor alcance su velocidad de trabajo. Observe el voltaje en las

terminales, utilice la menor escala del voltímetro (excitación nula). Si el generador tiene un interruptor ciérrelo al llegar a este paso.

4.- Aumente gradualmente la corriente de excitación del generador para llenar la siguiente tabla y anote sus resultados obteniendo el voltaje promedio y anótelos en la tabla 1.

$I_{exc.}$ (A)	V_1 (v)	V_2 (v)	V_3 (v)	$V_{prom.}$ (v)
0	12	12	13	12.5
0.1	50	50	50	50.0
0.2	95	95	95	95.0
0.3	130	130	130	130.0
0.4	160	159	159	159.3
0.5	181	180	179	180.0
0.6	192	191	191	191.3
0.7	205	205	204	204.6
0.8	220	220	219	219.6
0.9	230	226	225	227.0

TABLA 1

5.- Con los valores obtenidos trace la curva de saturación del generador y diga en qué zona es más conveniente trabajar, y porqué.

6.- Cambie las conexiones del generador para alambrear el siguiente circuito con el módulo de sincronización (fig. 3).

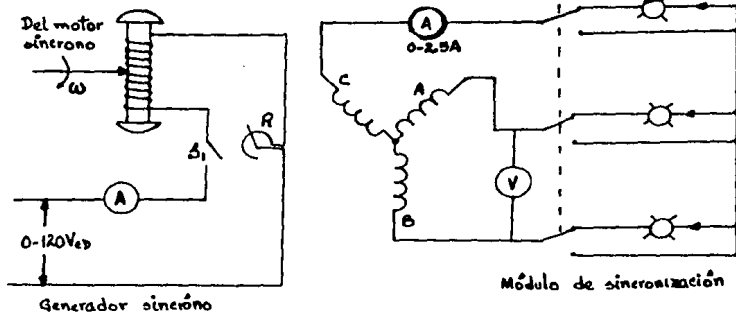


FIGURA 3

7.- Conecte la fuente de alimentación y ajuste la excitación hasta $V = 220 \text{ v}$. Las lámparas deben estar prendidas. Anóte la corriente de excitación. $I_{exc} = 0.66 \text{ Aca}$

8.- Cierre el interruptor para poner en cortocircuito al generador y conteste:

- Hasta qué valor máximo aproximado aumentó la corriente de cortocircuito. $I_{CC} = 1.75 \text{ Aca}$
- ¿Cuál es el valor final de las corrientes en cortocircuito permanente?.

$$I_{exc} = 0.66 \text{ Aca}$$

$$I_{CC} = 1.21 \text{ Aca}$$

9.- Utilizando el módulo de resistencias y ajustadas a 300Ω alambre el siguiente circuito (fig. 4).

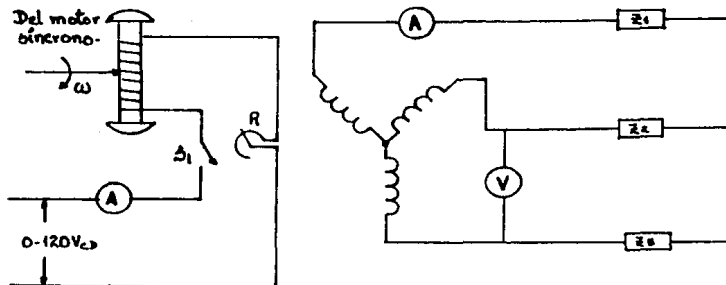


FIGURA 4

- 10.- a) Ajuste la excitación de C-D hasta que el voltaje generado sea de 220 v mida y anóte la corriente de excitación y la consumida.

$$I_{exc} = 0.65 A$$

$$I_L = 0.7 A$$

- b) Abra los interruptores para que el generador - trabaje en vacío, obtenga el voltaje y la corriente de carga.

$$E_L = 222V$$

$$I_L = 0.0A$$

- c) Calcule la regulación del alternador con carga resistiva.

$$\% \text{ regulación} = 99\%$$

11.- Repita el procedimiento anterior sustituyendo el módulo de resistencias por uno de inductancias de $X_L = 300$, y resuelva:

- a) $I_{exc} = 0.70A$ $I_L = 0.74A$
 b) $E_L = 250V$ $I_L = 0A$
 c) $\% \text{ regulación} = 5.45\%$

12.- Repita nuevamente el procedimiento pero ahora utilizando capacitancias de $X_C = 300\Omega$ y resuelva:

- a) $I_{exc} = 0.59A$ $I_L = 0.57A$
 b) $E_L = 212V$ $I_L = 0A$
 c) $\% \text{ regulación} = 3.65\%$

13.- Conecte el circuito que se ilustra a continuación:
 (fig. 5)

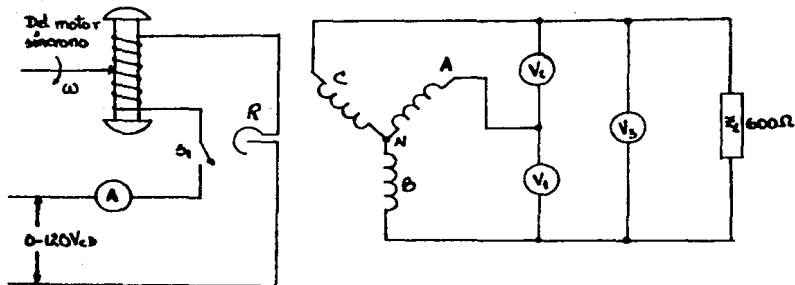


FIGURA 5

14.- Ajuste la corriente de excitación hasta que el medidor V_1 marque 220 v y a continuación mida y anóte los otros dos voltajes en las fases restantes.

$$V_2 = 230V$$

$$V_3 = 232V$$

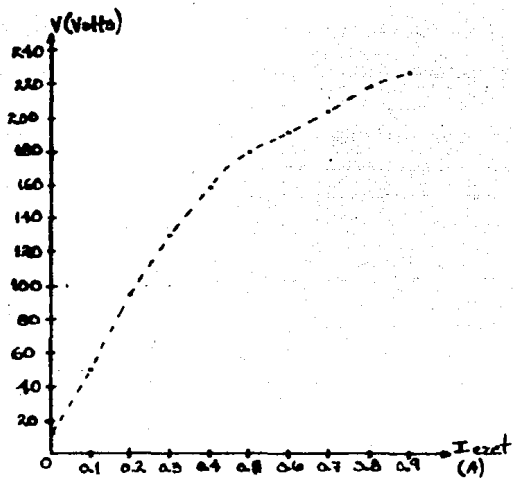
15.- Mida y anóte los voltajes de fase.

$$V_{AN} = 131V_{CA}$$

$$V_{BN} = 128V_{CA}$$

$$V_{CN} = 127V_{CA}.$$

17.- Hacer gráficas y conclusiones.



PRACTICA 2

* TRANSFORMADOR MONOFASICO (1 ϕ) *

OBJETIVOS:

- 1.- Obtener las pérdidas eléctricas del transformador por el método de corto circuito.
- 2.- Obtener las pérdidas eléctricas del transformador por el circuito de prueba correspondiente.
- 3.- Mediante cálculos simples obtener el circuito equivalente del transformador utilizado en ésta práctica.
- 4.- Calcular mediante el por ciento de impedancia la corriente de corto circuito del transformador.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|------------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de transformador monofásico | EMS 8341 |
| 3.- | Módulo de medición | EMS 8412 |
| 4.- | Módulo de amperímetros de c-a | EMS 8425 |
| 5.- | Módulo de voltímetros de c-a | EMS 8426 |

- | | | |
|-----|--------------------------------|----------|
| 6.- | Módulo de wáttmetro monofásico | EMS 8431 |
| 7.- | Cables de conexión | EMS 8941 |

INTRODUCCION TEORICA:

Al energizar un transformador en vacío, es decir, con el secundario en circuito abierto, el transformador no entrega energía, y por tanto, desde un punto de vista teórico e ideal, no debería de consumir energía, pues equivale a conectar una inductancia pura, en donde la corriente circulante estaría defasada 90° grados con respecto al voltaje y $P = V_I \cos 90^\circ = 0$.

En la práctica los transformadores no son 100% eficientes y consumen un 10% de la energía total.

El transformador en operación es afectado por dos conjuntos de pérdidas; las eléctricas y las magnéticas y que a su vez están formadas por tres componentes.

- a) Pérdidas eléctricas.- Que comprenden, además de las pérdidas óhmicas puras, las pérdidas en la carga producidas por la desigualdad de la densidad de corriente en los conductores.
- b) Las pérdidas por histéresis.- Que son producidas por un fenómeno afín a la fricción molecular, a medida que el flujo magnético varía periódicamente.

Se ha demostrado que la potencia perdida en el transformador debida a la histéresis es proporcional al área comprendida

dentro del mismo bucle de la curva de histéresis (fig. 1).

$$w = \int_{-\Phi_m}^{+\Phi_m} N i d\phi \quad \text{--- 1}$$

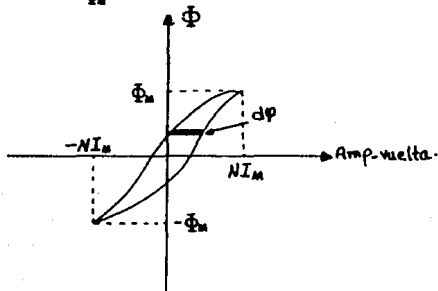


FIGURA 1.

- c) Pérdidas por corrientes parásitas.- Se deben a que el núcleo de acero del transformador se comporta de la misma manera que un devanado, circulando por éste, corrientes parásitas que que calientan el transformador, constituyendo una pérdida más. Dichas corrientes se logran reducir gradualmente haciendo núcleos laminados y aislando cada lámina con barniz no conductor.

El circuito equivalente del transformador se puede obtener fácilmente (fig. 2), tomando en cuenta que está formado por:

- a) Las resistencias efectivas R_1 y R_2 de los devanados (resistencias óhmicas). En muchos casos de baja potencia se pueden utilizar dichos valores, sin embargo se debe tomar en cuenta lo mencionado anteriormente en las pérdidas eléctricas para ajustar el valor de las resistencias.
- b) Las reactancias debidas a las inductancias en los devanados (X_1 y X_2).
- c) La reluctancia magnetizante X_ϕ , definida como la razón de eslabonamiento mutuo $\phi_{12} N_1$ ó $\phi_{21} N_2$ a la corriente que produce dicho flujo.
- d) La resistencia R_e , resistencia ficticia usada para representar las pérdidas en el núcleo.
- e) El transformador ideal para la configuración sea más completa, normalmente para el análisis del transformador no se representa.

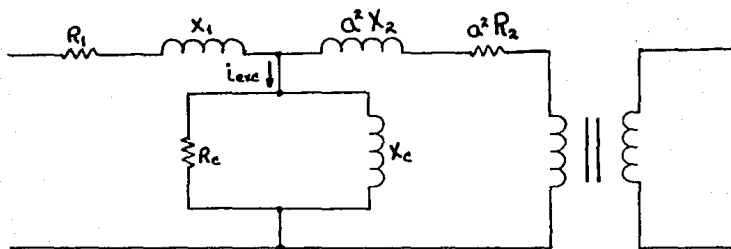


FIGURA 2.
Circuito equivalente

Como puede observarse en el circuito anterior, existe una pequeña corriente que circula a través de la resistencia R_c y de la reactancia X_c y que es en sí i_{exc} la corriente que se tiene por las pérdidas magnéticas del transformador. Debido a esto es por lo que se le conoce como corriente de excitación y su valor es del 10 al 15% de la corriente nominal.

Un parámetro del transformador, muy útil para el análisis de su comportamiento cuando se integra a un sistema eléctrico y para el cálculo de la corriente de corto circuito, es el por ciento de impedancia y su valor se obtiene de la prueba de corto circuito como:

$$\%Z = \frac{V \text{ medido en corto circuito con } I \text{ nominal}}{\text{Voltaje nominal}} \times 100 \quad \text{en el lado de alta.}$$

DESARROLLO:

- I.- Prueba de corto circuito.
- 1.- Alambre el siguiente circuito, tomando en cuenta que las mediciones se harán en el lado de alto voltaje del transformador.

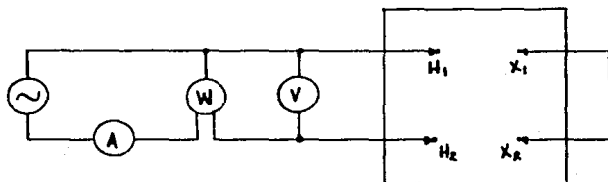


FIGURA 3.

- 2.- Incremente gradualmente el voltaje de la fuente hasta que la corriente que se le suministra al transformador sea la nominal.
- 3.- Tome las lecturas de los diferentes aparatos de medición y diga cual es el valor de las pérdidas eléctricas

V = 9.5 volts

I = 0.5 ampères

P = 4.9 watts.

- 4.- Mida la resistencia óhmica del devanado y calcule las pérdidas óhmicas y las pérdidas indeterminadas.

$$\text{Pérdidas eléctricas} = 4.9 \text{ w}$$

$$\text{Pérdidas óhmicas} = 2.375 \text{ w}$$

$$\text{Pérdidas indeterminadas} = 2.525 \text{ w}$$

- 5.- Calcule el por ciento de impedancia del transformador.

$$\%Z = \frac{9.5}{208} \times 100 = \quad \%Z = 4.56\%$$

- 6.- En caso de corto circuito, que corriente circularía por el transformador, si se tuviese su voltaje nominal.

$$I = \frac{208 \text{ v}}{4.56} \Rightarrow \quad I = 45.61 \text{ Ampères}$$

II.- Prueba de circuito abierto.

- 7.- Alambre el siguiente circuito en el lado de baja tensión.

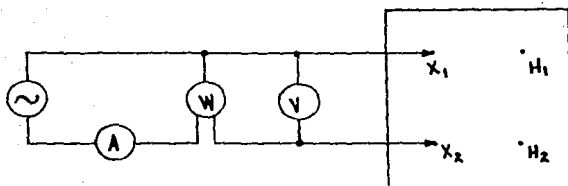


FIGURA 4.

- 8.- Ajuste la perilla para suministrar la tensión nominal y anóte las lecturas obtenidas.

$$V = 120 \text{ volts}$$

$$i = 0.037 \text{ Ampères}$$

$$P = 4 \text{ watts}$$

PRACTICA 3

" TRANSFORMADOR TRIFASICO (3 ϕ) "

OBJETIVOS:

1.1 Analizar las pérdidas óhmicas en los transformadores.

1.2 Conocer y determinar las características del aislamiento de los transformadores.

1.3 Conocer y aplicar la teoría de operación del Megger en las pruebas a los transformadores.

1.4 Conocer las diferentes conexiones que se pueden aplicar en los transformadores.

1.5 Conocer y aplicar la teoría de operación del puente de Kelvin y de Wheastone, en los transformadores.

1.6 Aplicar el método de los 2 wáttmetros en la medición de pérdidas óhmicas en los transformadores.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Módulo de transformador trifásico (3 ϕ). EMS 8341
- 2.- Megger de mediciones.
- 3.- Módulo de wáttmetro. EMS 8431

4.-	Módulo de mediciones de C-A.	EMS 8425
5.-	Fuente de poder	EMS 8821
6.-	Módulo de puente de Kelvin.	
7.-	Módulo de puente de Wheastone.	
8.-	Cables de conexión.	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

Como se pudo demostrar en la práctica anterior, las pérdidas de un transformador están formadas por tres componentes.

- a) Las pérdidas en el cobre, que comprenden, además de las pérdidas óhmicas puras (I^2R), las pérdidas producidas por la densidad de corriente en los conductores.
- 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 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.

En esta parte de la práctica nos referiremos sólo a las primeras pérdidas, que son las óhmicas.

La corriente en corto circuito en el secundario con la tensión nominal en el primario excedería en tal grado la capacidad nominal de los devanados, que podría deteriorar el aislamiento a causa del calor desarrollado.

Si por el contrario, sólo se aplica la tensión necesaria para obtener la corriente nominal, la tensión será solamente la necesaria para vencer la suma de impedancias, el flujo mutuo es muy pequeño siendo despreciables las pérdidas en el núcleo. Por tanto, un wáttmetro conectado en el circuito de alimentación indicará las pérdidas eléctricas fig. 1.

El cortocircuito se puede efectuar más convenientemente en el lado de baja.

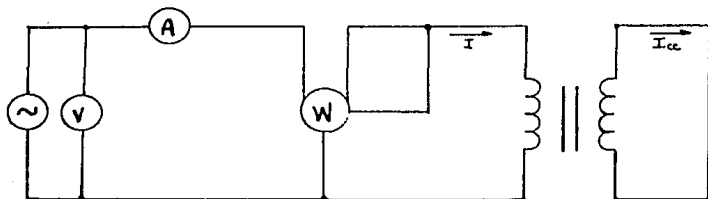


FIGURA 1

Es costumbre suponer que si la tensión de ensayo produce una corriente de corto circuito, la tensión nominal aplicada producirá una corriente proporcionalmente mayor.

$$I_{cc} = I_{prueba} \left(\frac{V_{nominal}}{V_{prueba}} \right)$$

Los conductores con los cuales se devanan los transformadores, deben estar perfectamente aislados para evitar que entren en contacto con las espiras, las capas y las bobinas de alta y baja tensión entre sí, así como las bobinas y el núcleo (frecuentemente identificado como tierra).

La calidad y estado de los aislamientos son aspectos de especial interés en las pruebas de los transformadores puesto que de ellos depende la vida útil del equipo.

La primera prueba para determinar el estado de aislamiento es la medición de su resistencia, cuyo valor debe ser del orden de cientos de megohms. Un valor bajo como resultado de la prueba indicaría posible humedad en los aislamientos y una lectura de cero indicaría un deterioro grande en algún punto del devanado por donde se produce una fuga de corriente.

Para realizar esta prueba se utiliza un megger con objeto de determinar la resistencia de aislamiento.

DESARROLLO:

A continuación se analizará el estado de funcionamiento del transformador trifásico.

1.- Conecte el transformador en configuración - y proceda a medir con el megger (fig. 2) la resistencia de aislamiento entre:

1.1 Los devanados de alta y baja tensión (A y B)

1.2 Los devanados de alta y el núcleo (A y N)

1.3 Los devanados de baja y el núcleo (B y N)

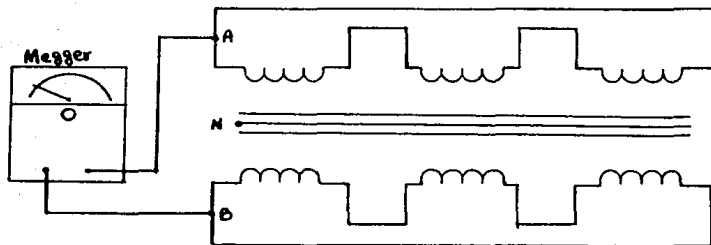


FIGURA 2

2.- En base a las mediciones realizadas y en los resultados obtenidos, diga si es confiable trabajar con el módulo. Explique.

Una vez que se garantizó el buen estado del equipo procedemos a analizar sus características de funcionamiento.

3.- Para poder determinar las pérdidas indeterminadas se necesita obtener las pérdidas óhmicas, que se calculan a través de la resistencia de los devanados del transformador.

4.- Sin hacer ninguna conexión, utilice el puente de Kelvin y obtenga el valor de resistencia en cada devanado registrando sus resultados en la tabla 1.

Terminales	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Puente de Kelvin	3.9 Ω	4.9 Ω	3.8 Ω	4.8 Ω	3.9 Ω	4.9 Ω
Medición en delta (Δ)	2.6 Ω	3.4 Ω	2.6 Ω	3.7 Ω	2.6 Ω	3.2 Ω
Medición en estrella (Y)	3.9 Ω	4.9 Ω	3.9 Ω	4.9 Ω	3.9 Ω	4.9 Ω

TABLA 1.

5.- Utilizando el puente de Wheastone, conecte el transformador primero en Δ y luego en Y (fig. 3), y mida la resistencia anotando los resultados en la tabla 1.



FIGURA 3

6.- De los resultados obtenidos, cuales utilizará para el cálculo de las pérdidas óhmicas, y explique por qué razón no utiliza los otros valores.

I.- Prueba de corto circuito

1.- Método de los dos wáttmetros.

7.- Conecte el circuito de la fig. 4 habiendo conectado previamente el transformador en configuración $\Delta - \Delta$.

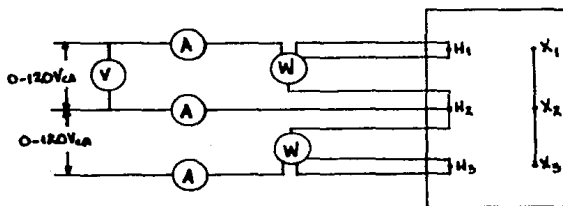


FIGURA 4

8.- Incremente gradualmente el voltaje hasta obtener la corriente nominal del transformador trifásico en el lado de alta tensión.

9.- Mida y anóte sus resultados en la tabla 3.

10.- Intercambie uno de los wáttmetros a la línea que no lo tiene, repita el procedimiento anterior y registre sus resultados en la tabla 3.

f (Hz)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	V (Volts)	W_1 (W)	W_2 (W)	T ($^{\circ}$ C)
60	0.2	0.2	0.2	1.09	1	1	20
60	0.2	0.2	0.2	1.08	1	1	20
60	0.2	0.2	0.2	1.10	1	1	20

TABLA 3

11.- Con los datos obtenidos anteriormente calcule las pérdidas totales, las óhmicas, las indeterminadas y la corriente de corto circuito del transformador trifásico.

$$\text{Pérdidas totales} = 2 \text{ Watts}$$

$$\text{Pérdidas óhmicas} = 1.056 \text{ watts}$$

$$\text{Pérdidas indeterminadas} = 0.944 \text{ watts}$$

2.- Método de los tres wáttmetros.

12.- Conecte el siguiente circuito (fig. 5).

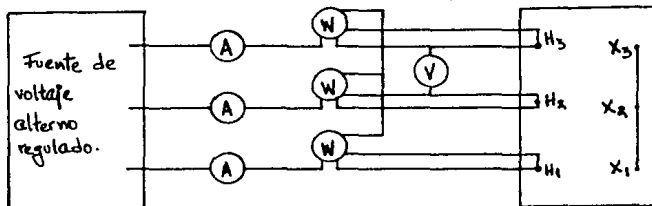


FIGURA 5

13.- Incremente el voltaje hasta obtener la corriente nominal en los devanados y registre sus resultados en la tabla 4.

Pérdidas eléctricas.

$f(\text{Hz})$	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	V (Volts)	W_1 (W)	W_2 (W)	W_3 (W)	T (°C)
60	0.22	0.22	0.22	1.10	0.70	0.50	0.70	20

TABLA 4

14.- Calcule las pérdidas del transformador con los datos obtenidos y compare sus resultados con lo que se obtuvo anteriormente.

Pérdidas totales = 1.9 Watts.

Pérdidas óhmicas = 1.056 watts.

Pérdidas indeterminadas = 0.844 Watts.

15.- Obtenga sus conclusiones de la práctica.

PRACTICA 4

" EL TRANSFORMADOR TRIFASICO (3 ϕ) "

(Segunda parte)

OBJETIVOS:

- 1.1 Analizar las pérdidas por histéresis en los transformadores.
- 1.2 Conocer el concepto de rendimiento de un transformador.
- 1.3 Aplicar el método de los 2 y 3 wáttmetros en el análisis de pérdidas por histéresis en los transformadores.
- 1.4 Conocer y aplicar el concepto de desplazamiento angular en los transformadores.
- 1.5 Alambrear las diferentes conexiones que utilizan los transformadores.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|--------------------------------------|----------|
| 1.- | Módulo de transformador (3 ϕ) | EMS 8341 |
| 2.- | Módulo de medición de ángulo de fase | |
| 3.- | Fuente de poder | EMS 8821 |
| 4.- | Módulo de medición de C-A | |

- | | | |
|-----|----------------------|----------|
| 5.- | Módulo de wáttmetros | EMS 8431 |
| 6.- | Cables de conexión | EMS 8941 |

INTRODUCCION TEORICA:

Como es sabido, las pérdidas por histéresis representan uno de los factores que afectan el funcionamiento de los transformadores en conjunto con las pérdidas eléctricas vistas en la práctica anterior.

Las pérdidas por histéresis se pueden medir a través de la prueba de circuito abierto.

Observando el circuito equivalente de la fig. 1, se ve que si se abre el circuito secundario, la tensión aplicada actúa sobre un circuito formado por la impedancia del primario $Z_1 = R_1 + j X_1$, en serie con la admitancia de excitación - $Y_0 = G_0 + j B_0$.

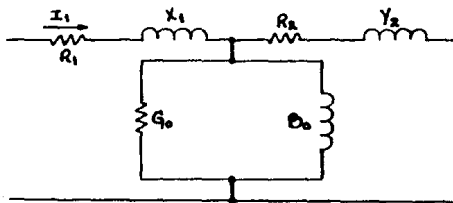


FIGURA 1

Puesto que Z_1 es muy pequeña en comparación con Y_0 , suele ser suficientemente exacto prescindir de las pérdidas ocasionadas por Z_1 , adicionalmente, si se reduce la corriente al valor de excitación usualmente del 10% del valor nominal se tendrá que Z_1 reduce aún más sus efectos en las mediciones hechas.

Las únicas pérdidas presentes son las debidas a la histéresis y corrientes parásitas en el núcleo, así como las pérdidas en el cobre que en este caso son despreciables.

Esta prueba se lleva a cabo más convenientemente aplicando la tensión al devanado de baja. Conviene recordar que al efectuar el ensayo, la parte de alta está "caliente" por lo que sus bornas deberán aislarse cuidadosamente.

Rendimiento: El rendimiento de un transformador es la razón de la potencia de salida a la de entrada expresada en tanto por ciento:

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

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

DESARROLLO:

I.- Método de los dos wáttmetros.

1.- Conecte el circuito de prueba de acuerdo al diagrama de la fig. 2.

En esta prueba generalmente se alimenta en el lado de baja tensión; tenga cuidado, recuerde que el secundario se encuentra activo.

Nótese que el transformador se encuentra en configuración - Δ - Δ pero puede usarse otro tipo de conexiones con resultados análogos.

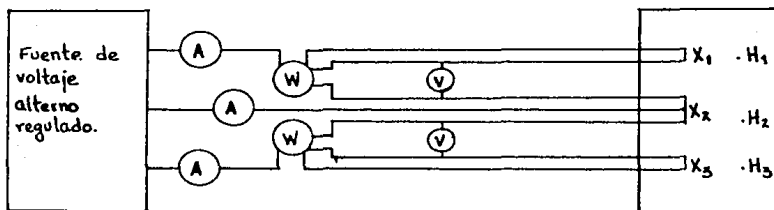


FIGURA 2

2.- Energice la fuente y ajuste el voltaje a valor nominal.

3.- Tome sus lecturas de corriente, voltaje y potencia y anótelos en la tabla 1.

4.- Cambie uno de los wáttmetros a la línea que en un principio no tenía este instrumento y repita la prueba anotando sus resultados en la misma tabla.

5.- Cambie ahora el segundo wáttmetro a la línea que inicialmente contenía el primero y repita la prueba anotando sus resultados.

V (volts)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	W_1 (W)	W_2 (W)
208	0.26	0.265	0.280	48	-15
208	0.24	0.280	0.300	49	-15.5
208	0.24	0.280	0.300	42	-11

TABLA 1

Promedio de pérdidas = 52.5 Watts.

II.- Método de los tres wáttmetros.

1.- Conecte el circuito de prueba de acuerdo al diagrama de la fig. 3.

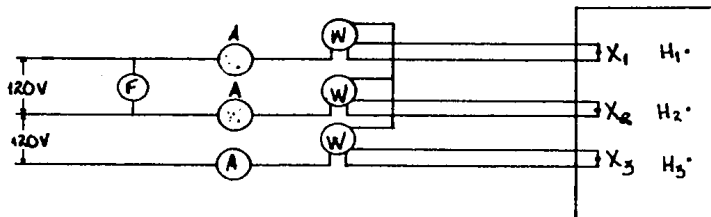


FIGURA 3

2.- Energice la fuente y ajuste el voltaje al valor nominal.

3.- Tome sus lecturas de corriente, voltaje y potencia y anóte sus resultados en la tabla 2.

V (Volts)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	W ₁ (W)	W ₂ (W)	W ₃ (W)
208	0.26	0.26	0.28	15	9	10

TABLA 2

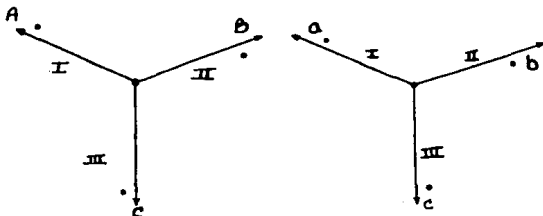
Pérdidas magnéticas = 32 Watts.

III.- Desplazamiento angular.

Dentro de las características importantes de los transformadores trifásicos hay un concepto un tanto ambiguo, y que no es comprendido fácilmente por los alumnos; este es el llamado desplazamiento angular y que se debe simple y sencillamente a la manera en que se conectan los transformadores. En esta práctica se pretende comprobar experimentalmente este fenómeno.

Comenzaremos con la conexión más sencilla, la Y-Y pensando en que contamos con un banco transformadores monofásicos debidamente polarizados como se muestra en la figura.

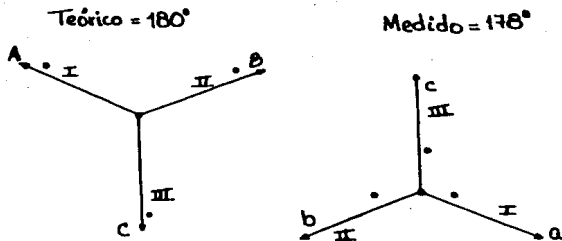
1.- Conéctese el siguiente circuito con ayuda del módulo de transformador 3ϕ y fijándose en los puntos de polaridad.



¿Cuál es el desplazamiento angular en esta conexión? 0°

2.- Compruébelo con el medidor de ángulo de fase comparado V_{AN} con V_{an} o con cualquier otro voltaje respetando que sean parámetros semejantes en el lado de baja respecto al de alta, y cuidando que no se invierta la polaridad para evitar errores.

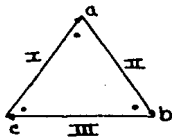
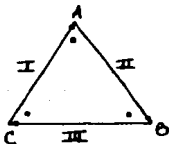
3.- Conecte ahora el circuito ilustrado a continuación y repita el procedimiento anterior. Anóte sus resultados y concluya esta parte con sus comentarios.



¿Podrían conectarse estos dos transformadores en paralelo?
Explique.

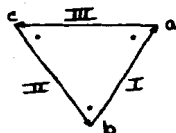
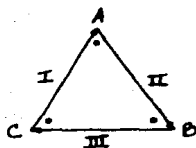
4.- A continuación observaremos algunas conexiones $\Delta - \Delta$ para transformadores trifásicos.

5.- Alámbrase los siguientes circuitos y compruébese su desplazamiento angular verificándose al comparar V_{AB} contra V_{ab} , V_{BC} contra V_{bc} y V_{CA} contra V_{ca} .

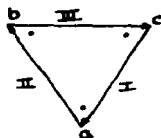
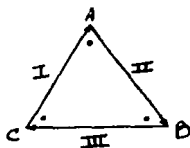


Desp. angular = 0°

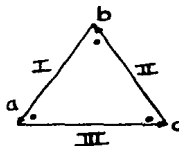
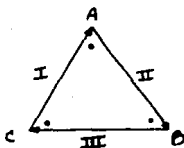
valor medido = 0°



Desp. angular = $49,1^\circ$
adelantados.
valor medido = $48,0$
adelantados.



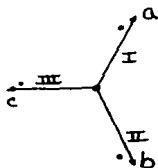
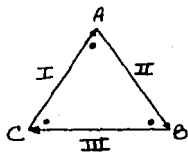
Desp. angular = 100°
valor medido = 176°



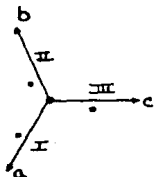
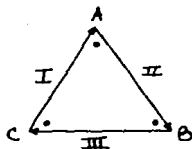
Desp. angular = $150,8^\circ$
atrasados
valor medido = $128,0^\circ$
atrasados

- Como ejercicio optativo se pueden armar otros circuitos variando ahora las conexiones en el lado primario.

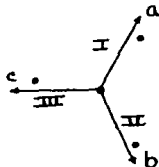
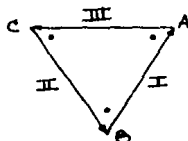
6.- Para la configuración Δ -Y alámbrase los siguientes circuitos y midase el desplazamiento angular entre los devanados correspondientes.



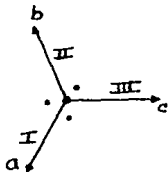
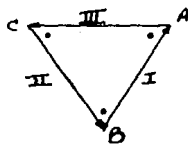
Desp. angular = 30°
adelantados
valor medido = 30°
adelantados



Desp. angular = 150°
atrasados
valor medido = 148°
atrasados



Desp. angular = 30°
atrasados
valor medido = 30°
atrasados



Desp. angular = 150°
adelantados
valor medido = 147°
adelantados

- Si las condiciones son favorables se pueden alambra y -
demostrar algunas otras construcciones.

7.- Haga sus conclusiones a la práctica.

PRACTICA 5

" MOTORES MONOFASICOS (1 ϕ) "

OBJETIVOS:

- 1.1 Conocer la estructura y funcionamiento del motor monofásico.
- 1.2 Conocer la operación vacío del motor monofásico y obtener sus curvas.
- 1.3 Conocer la operación con carga del motor monofásico y obtener sus curvas características.
- 1.4 Conocer la operación continua con capacitor del motor monofásico y obtener sus curvas características..

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|---|----------|
| 1.- | Fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulo de motor monofásico | EMS 8251 |
| 3.- | Módulo de electrodinamómetro | EMS 8911 |
| 4.- | Módulo de vatímetro | EMS 8431 |
| 5.- | Módulo de medición de C.A. (voltímetro) | EMS 8425 |
| 6.- | Módulo de medición de C.A (amperímetro) | EMS 8426 |

7.-	Tacómetro manual	EMS 8920
8.-	Banda	EMS 8942
9.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

La construcción del motor monofásico consiste esencialmente en el rotor de tipo jaula de ardilla, de estructura simétrica, y los devanados del estator están alojados en ranuras para producir una distribución de flujo senoidal.

Por definición, sólo debe haber una bobina de estator para la máquina monofásica, pero tal máquina no tiene par de arranque, aun cuando trabaja en cualquier sentido de giro, una vez que ha sido arrancada. Por tanto, se agrega un segundo devanado para fines de arranque.

Una vez arrancado, el motor monofásico puede ser operado con ó sin el devanado de arranque.

Tanto en cantidad como en variedad de tipos, los motores monofásicos son mucho más numerosos que los polifásicos. En el hogar, máquinas lavadoras, refrigeradores, bombas de circulación de calor, relojes, aparatos de cocina, herramientas de mano, tocadiscos, etc., son todos movidos por motores monofásicos de c-a comercial e industrialmente son igualmente comunes.

El arranque por condensador de un motor monofásico, tiene un condensador del orden de 75 a 350 MF de valor co-

mercial, en serie con el devanado auxiliar. El condensador utilizado en el circuito de arranque es del tipo electrolítico, especificado para trabajo de corta duración solamente.

El arranque con condensador permanente funciona con ambos devanados, cuando funciona con un sólo devanado, las pulsaciones de potencia al doble de la frecuencia aplicada ocasionan un motor relativamente ruidoso, con dos devanados defasados 90° , la potencia es pareja y el motor es silencioso. Simultáneamente, el factor de potencia y la eficiencia del motor aumentan. Con devanados idénticos, un sencillo montaje de conmutación permite la marcha en ambas direcciones (fig.1).

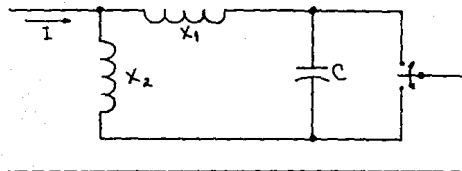


FIGURA 1.
Bidireccional de condensador permanente

DESARROLLO:**I.- Operación en vacío.**

1.- Conecte el siguiente circuito que aparece en la fig. 2.

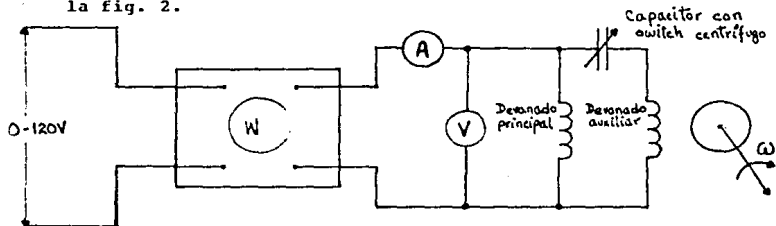


FIGURA 2.

2.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 v.

3.- Mida y anóte en la tabla 1 la corriente de línea, la potencia y la velocidad del motor. Observe cómo vibra el motor.

4.- Repita el procedimiento para cada valor indicado en la tabla. Apague la fuente.

V (Volts)	I (A)	S (VA)	P (W)	f.p.	ω (rpm)
120	2.9	348	45	12.93	1850
90	2.2	198	35	17.67	1850
60	1.6	96	23	23.95	1850
30	1.2	36	18	50.00	1850

TABLA 1.

5.- Elabore las gráficas V_{VS} I y V_{VS} P.

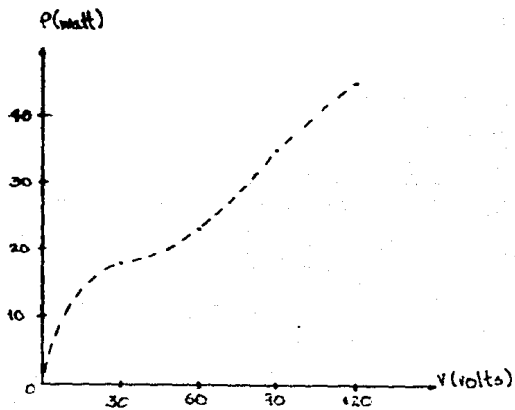
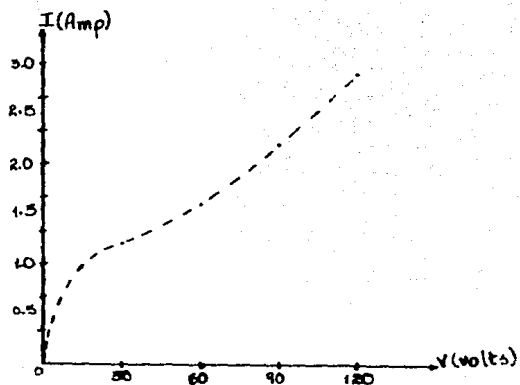
II.- Operación con carga.

6.- Acople el electrodinamómetro al motor de 1 fase mediante la banda y conéctelo a una salida fija de 120 v de la fuente.

7.- Ajuste el dial del electrodinamómetro para proporcionar el mínimo de carga.

8.- Encienda la fuente y ajuste la salida a 120 V c-a.

9.- Mida y anóte en la tabla 2 la corriente de línea, la potencia y la velocidad del motor.



10.- Repita el procedimiento anterior para cada par indicado en la tabla manteniendo el voltaje a 120 v c-a.

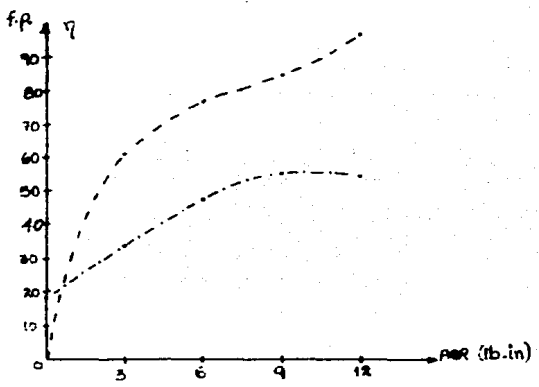
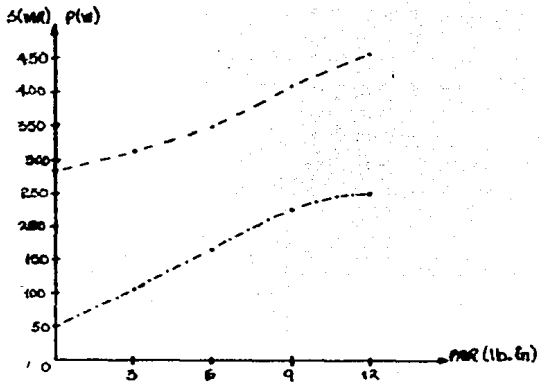
11.- Reduzca a cero el voltaje y apague la fuente.

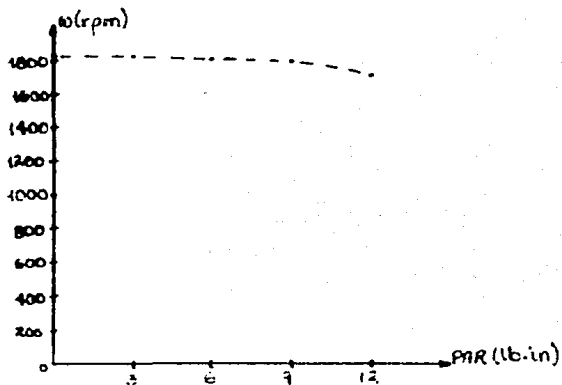
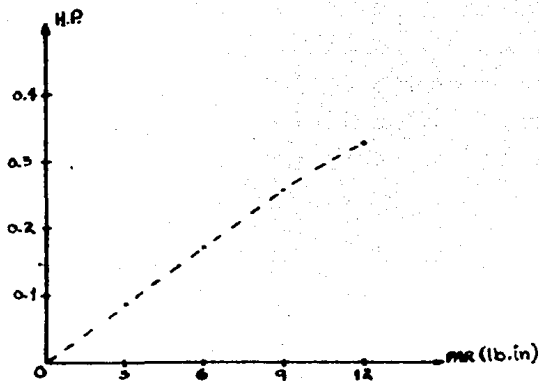
PAR (lb.in)	I (A)	s (vA)	P (W)	f.p.	hp	ω (rpm)	η (%)
0	2.4	288	52.5	18.2	—	1820	—
3	2.6	312	105	35.6	0.086	1820	61.1
6	2.9	348	165	47.4	0.171	1800	77.5
9	3.4	408	225	55.1	0.256	1790	84.8
12	3.8	456	250	54.8	0.326	1710	97.2

TABLA 2.

12.- Calcule y anóte en la tabla los datos faltantes.

13.- Grafique todos los datos contra el par aplicado y obtenga conclusiones de la manera en que opera el motor monofásico (1ϕ).





III.- Operación continua con capacitor.

14.- Cambie el switch centrífugo reemplazándolo por la conexión del capacitor a fin de obtener el siguiente circuito (fig. 3).

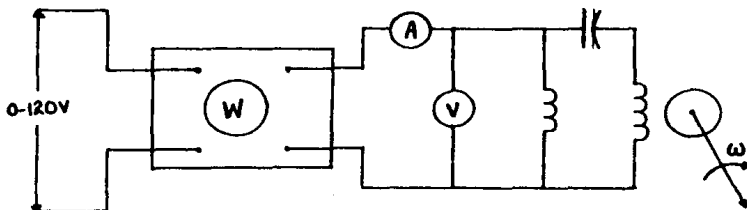


FIGURA 3.

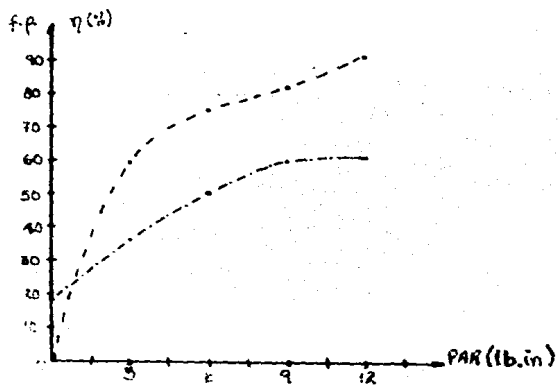
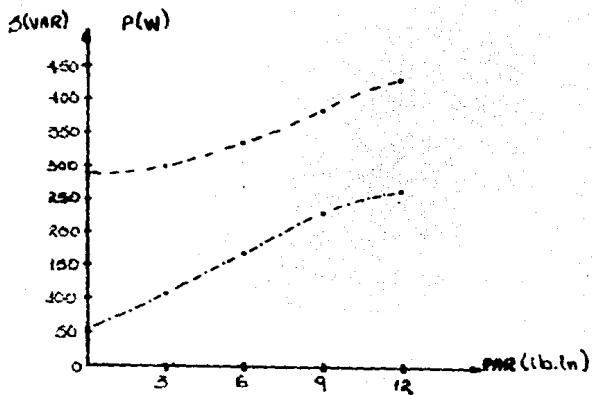
- 15.- Encienda la fuente y ajuste la salida a 120 v c-a.
- 16.- Mida y anóte en la tabla 3 los datos registrados y repita el procedimiento aplicando cada uno de los pares indicados.
- 17.- Reduzca a cero el voltaje y apague la fuente.

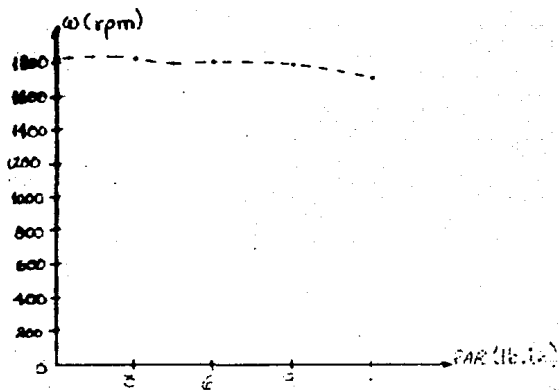
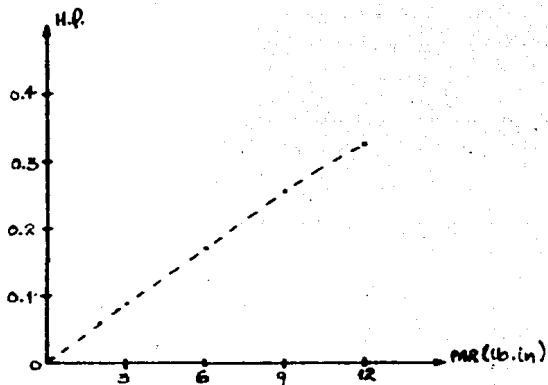
PAR (lb.in)	I (A)	S (VAR)	P (w)	f.p.	H.P.	ω (rpm)	η (%)
0	2.4	288	54	18.7	—	1820	—
3	2.5	300	109	36.3	0.086	1820	58.8
6	2.8	356	170	50.6	0.171	1800	75.0
9	3.2	384	232	60.4	0.256	1790	82.3
12	3.6	432	265	61.3	0.526	1710	91.3

TABLA 3.

18.- Complete la tabla y grafique los datos contra el par aplicado y compárelo con la operación del capacitor de arranque.

19.- Obtenga sus conclusiones.





PRACTICA 6

" MOTOR DE INDUCCION CON ARRANQUE POR REPULSION "

OBJETIVOS:

1.1 Estudiará las propiedades del motor de inducción con arranque por repulsión en condiciones de vacío y a plena carga.

1.2 Comparará sus características de operación con la de otros motores monofásicos.

1.3 Obtener las gráficas del par, corriente, potencia real y aparente, factor de potencia, velocidad, porcentaje de regulación del motor de inducción monofásico.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Motor de inducción (1ϕ).	EMS 8255
2.-	Electrodinamómetro	EMS 8911
3.-	Fuente de poder	EMS 8821
4.-	Banda	EMS 8942
5.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

Si un inducido ordinario de c-c se coloca en un campo magnético monofásico y se ponen sus escobillas en corto circuito, se obtiene un motor simple de repusión. Para que desarrolle un par motor debe, no obstante, hacerse girar el eje de las escobillas de 18 a 20 grados eléctricos con relación al eje del campo.

Para simplificar, consideremos el inducido de anillo, de Gramme y su colector sobre el que actúa un campo magnético bipolar, los polos se excitan mediante un devanado conectado a la línea monofásica. El flujo, prácticamente en fase con la corriente, es ascendente, este flujo se divide en dos, que siguen las dos mitades del anillo.

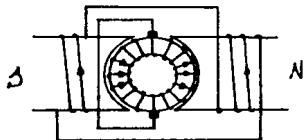


FIGURA 1.

Motor de inducción con polos opuestos

Es evidente que el arrollamiento de cada lado del inducido anular actúa como el secundario de un transformador. El flujo alternativo producido por el devanado inductor, induce una FEM en cada mitad del anillo.

Se observará, que se ve que la dirección resultante es hacia arriba en los dos lados del inducido, si no hubiera escobillas es evidente que no circularía corriente alguna por el devanado del inducido, puesto que la FEM de una de sus mitades es igual y está en oposición de fase con la otra mitad, las escobillas están situadas en el plano neutro geométrico y en corto circuito con dos puntos que están al mismo potencial, y por tanto, no circula corriente entre ellas.

En la siguiente figura el eje de las escobillas coincide con el eje polar.

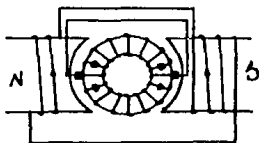


FIGURA 2.

Motor de inducción con polos coincidentes

Aunque circula una corriente entre las escobillas desde ambos lados del inducido que será máxima para esta posición y esta casi en fase con el flujo, no se desarrolla ningún par debido a la posición espacial de las escobillas, sin embargo, si se colocan en alguna posición intermedia, habrá puntos en corto circuito en el arrollamiento entre los cuales existirá una diferencia de potencial, por lo tanto, circularán corrientes por dicho arrollamiento, y al mismo tiempo los ampèrios-conductores netos frente a los dos polos no pueden ser nulos. En estas condiciones la corriente en el inducido está prácticamente en fase con el flujo; por tanto, el motor desarrolla un par de arranque.

La siguiente figura, representa al eje de escobillas formando un ángulo con el eje de los polos.

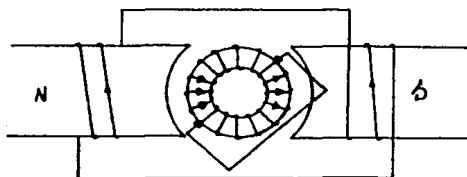


FIGURA 3a.

Motor de inducción con polos defasados

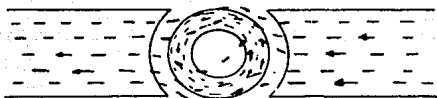


FIGURA 3b.

Flujos magnéticos del motor de la fig. 3a.

Las flechas indican la dirección de la corriente en el inducido, la fig. 3b esquematiza la dirección general de las corrientes a través del inducido y las escobillas.

La FEM de cada una de las mitades del inducido actúa en conjunto con la otra.

La dirección de rotación depende de la posición de las escobillas.

Prácticamente los motores de repulsión se fabrican sin polos salientes, los devanados suelen ser de tipo distribuido como los utilizados en los motores de inducción.

Los motores de repulsión tienen características parecidas a los motores serie y su par de arranque es muy considerable.

La producción de chispas es muy pequeña a velocidad de sincronismo pero para velocidades muy diferentes la formación de chispas puede ser excesiva.

DESARROLLO:

- 1.- Conecte el siguiente circuito.

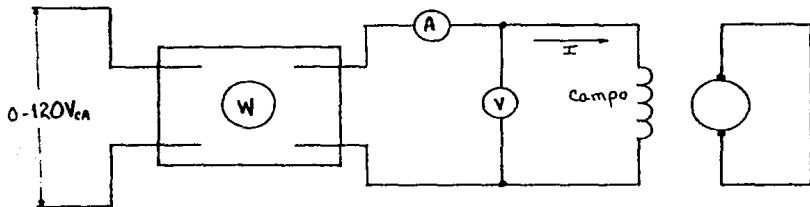


FIGURA 4.

2.- Acople el electrodinamómetro por medio de la banda y ajuste la perilla de control del mismo para proporcionar máxima carga al motor.

3.- Baje el tablero delantero del motor para que pueda cambiar la posición de las escobillas cuando se aplique potencia.

4.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 V c-a.

5.- Haga girar las escobillas y observe el efecto que produce sobre el motor.

6.- Coloque las escobillas en la posición en que se obtenga el máximo par con el motor girando en sentido dextrógiro.

7.- Mida y anóte la corriente y el par de arranque desarrollado.

$$I = 12 \text{ A c-a}$$
$$T = 8 \text{ lb in}$$

8.- Ponga la perilla de control del electrodinamómetro en su posición extrema para obtener la mínima condición de carga.

9.- Mida y anóte en la tabla I la corriente, la potencia y la velocidad del motor.

10.- Repita el procedimiento anterior para cada par indicado en la tabla manteniendo la tensión de entrada a 120 V c-a.

11.- Reduzca a cero el voltaje y apague la fuente.

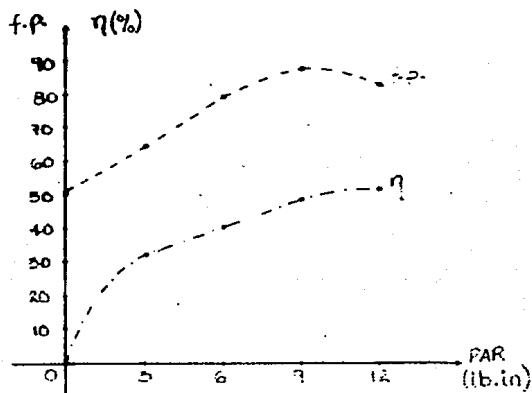
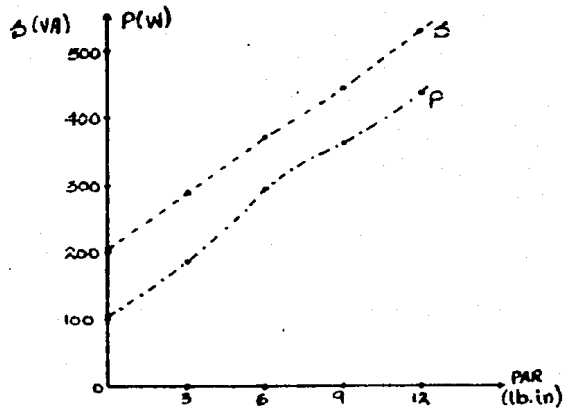
12.- Calcule y anóte en la tabla 1 los datos necesarios para completarla.

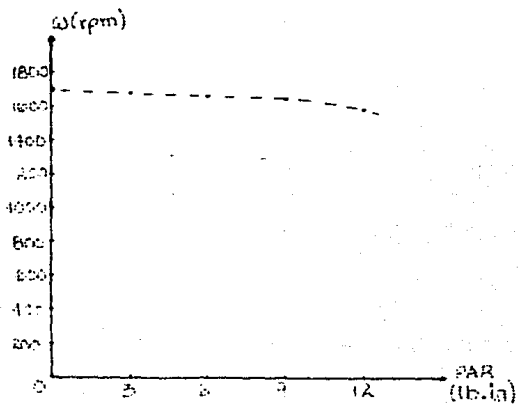
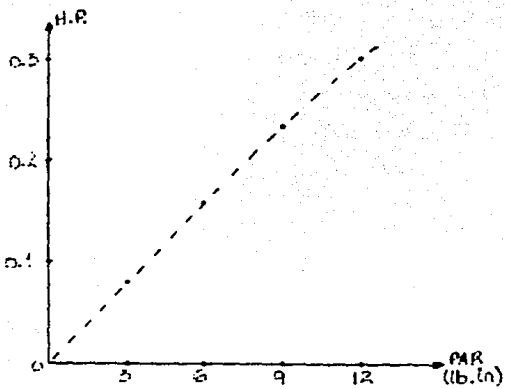
13.- Grafique los resultados obtenidos contra el par aplicado.

14.- Compare sus resultados con los obtenidos en las prácticas anteriores y anóte sus conclusiones.

PAR (lb.in)	I (A)	S (VA)	P (W)	f.p.	ω (rpm)	H.P.	η (%)	Pérdidas (W)
0	1.7	204	104	30.9	1700	—	—	—
3	2.4	288	185	64.2	1680	0.080	32.25	125.32
6	3.1	372	295	79.3	1670	0.159	40.20	176.38
9	3.7	444	363	87.7	1650	0.236	48.50	186.94
12	4.4	528	438	82.9	1590	0.303	51.60	211.96

TABLA 1.





PRACTICA 7

" MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA TRIFASICOS (3 ϕ) "OBJETIVOS:

1.1 Analizar las características del motor de inducción (3 ϕ).

1.2 Aplicar el freno de prony en el análisis del motor de inducción (3 ϕ).

1.3 Graficar las curvas de par, velocidad, corriente y potencia a partir de los resultados obtenidos al realizar los experimentos.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Motor de inducción 3 ϕ de 5 HP.
- 2.- Freno de prony con sus aditamentos.
- 3.- Dinamómetro.
- 4.- Amperímetro de gancho.
- 5.- Cables de conexión.

EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

Los motores asíncronos con rotores especiales presentan una menor corriente de arranque y un mayor momento de arranque. No basta reducir sólo la corriente inicial, aumentando la resistencia del rotor.

En esta forma, el rendimiento, disminuirá aumentando el atraso, ó sea que bajaría la frecuencia de rotación. Estas desventajas se evitan si se construye un rotor que presente una resistencia elevada en el momento del arranque, misma que, por lo contrario, no ejercería ninguna influencia durante el funcionamiento normal. Según este razonamiento, el inducido debería poseer dos devanados:

- 1.- Para el momento de conexión, un devanado de arranque, pero con un valor de resistencia óhmica alto y una baja reactancia inductiva, para que la corriente de arranque fuese baja y el par de arranque (debido a la pequeña desviación de fases) fuera lo más alto posible.
- 2.- Para el funcionamiento en régimen, un devanado de corto-circuito con bajo valor óhmico. La reactancia inductiva podrá ser relativamente alta, puesto que en funcionamiento, la frecuencia de la corriente en el rotor es baja.

El problema se resolvió dando al rotor formatos diversos ó poniendo un mayor número de "jaulas". Los motores de corriente trifásica con rotores especiales se encuentran en el

comercio con nombres diversos; por ejemplo: rotor de corriente dispersa, limitadores de tensión, atenuación de tensión, desplazamiento de la corriente, de ranuras hondas, de jaula doble, etc.

En el rotor se colocan dos jaulas de corto-circuito. La jaula externa se compone de barras finas, fabricadas con materiales de alta resistencia óhmica. En compensación, la jaula interna posee barras más gruesas, de resistencia óhmica baja.

Al realizarse el arranque conectando el motor, las barras de las jaulas son atravesadas por corrientes de alta frecuencia, puesto que el rotor está todavía en reposo y el campo giratorio gira con $f = 60$ Hz. La jaula menor con las barras más gruesas, presenta en el arranque, respecto de la jaula mayor, una reactancia inductiva mucho mayor, ya que se localiza más adentro de la pila de láminas ferromagnéticas. Por tal causa las corrientes del rotor utilizarán en el arranque principalmente las barras finas de gran resistencia (limitación de la corriente). Al aumentar la frecuencia de rotación del rotor, sus barras son interceptadas un menor número de veces en cada unidad de tiempo por las líneas de campo giratorio. Esto quiere decir que la frecuencia de la corriente del rotor baja (en rotación síncrona sería igual a cero), y al mismo tiempo, disminuye la reactancia inductiva de la jaula interna. Esta posee, determinada por la sección una mayor del conductor y la buena conductividad, una resistencia óhmica bastante baja, razón por la cual, en régimen, las corrientes utilizarán en gran parte las barras de la jaula interna.

Las hendiduras estrechas localizadas entre las dos jaulas, tienen como finalidad disminuir el flujo disperso de las ranuras. Al fundirse el material también entra en las hendiduras, de modo que entre las barras externas y las internas de las jaulas aparecen pequeñas "trayectorias" del material.

No tienen ningún significado eléctrico; sin embargo, debido a su gran superficie y su contacto íntimo con el laminado del rotor, producen una disipación rápida del calor generado, en el arranque, en las barras externas de jaula de ardilla.

En el motor de corriente trifásica con rotor de ranuras profundas, se logran efectos semejantes a los de un rotor de jaula doble. El rotor presenta ranuras bastante bajas (profundas) incrustadas con barras altas, buenas conductoras y cortocircuitadas por anillos en las extremidades. Las capas de conductores localizadas a mayor profundidad en el material ferromagnético, están envueltas con un mayor número de líneas de campo disperso que las más externas; por ende, poseen una mayor reactancia inductiva que éstas.

En el momento de la conexión, la corriente evita las porciones de secciones retenidas de mayor reactancia inductiva y se desvía hacia arriba (rotor desviado de la corriente). En funcionamiento, la corriente utilizará toda la sección del conductor, puesto que la reactancia disminuye al incrementarse la velocidad determinada por la disminución de la frecuencia de la corriente del rotor. El rotor desviador de corriente se comporta de tal modo que parece que, en el momento de la conexión, hay otra resistencia en serie

con su devanado. Si así fuera, el rotor se desconectaría automáticamente en rotación creciente ó frecuencia decreciente.

Hay rotores especiales que no sólo permiten la circulación de una corriente menor de arranque (2.7 a 5 veces la corriente nominal, según el tamaño y el tipo de construcción), sino que también, debido al tipo de construcción, permiten que se desarrolle un par de arranque mayor. La corriente inicial sólo se atrasa un poco respecto de la tensión, debido a la elevada resistencia óhmica.

Como consecuencia, el menor defasamiento entre la tensión, y la corriente provoca un conjugado mayor.

DESARROLLO:

A continuación se observarán las características de los motores de inducción de 5 Hp utilizando el freno de prony.

1.- Instale la polea adecuada al motor y fíjela por medio de su perno para que quede firmemente afianzada.

2.- Coloque el freno en la polea cuidando que los tornillos de presión queden completamente flojos para no presentar carga inicial al giro del motor.

3.- Coloque el soporte del dinamómetro y el dinamómetro para que quede en el punto 1 del freno.

4.- Asegúrese de que está completamente listo para trabajar. El freno debe quedar tal como lo muestra la fig. 1.

5.- Coloque el amperímetro de gancho en uno de los cables que le llegan al motor. Recuerde que si toma los tres cables, la corriente que medirá siempre será cero.

6.- Cierre el "breaker" del motor y apriete el botón de encendido, el motor debe comenzar a girar a corriente reducida, espere unos segundos a que el relevador de tiempo se dispare y el motor trabaje a corriente total.

7.- Mida la corriente en vacío y la velocidad del motor y anote sus resultados en la tabla 1.

8.- Comience a apretar las tuercas de presión de una manera muy lenta y de forma pareja ambas tuercas para obtener la fuerza necesaria, marcada en el dinamómetro, para llenar la tabla 1.

9.- Afloje las tuercas y apague la unidad.

10.- Calcule las lb. in aplicadas en cada caso así como los VA y los HP desarrollados.

11.- Cambie el dinamómetro a la posición 5 y repita los procedimientos necesarios para completar la tabla 2.

12.- Apague el motor y apriete firmemente las tuercas (No excesivamente) prenda el motor y registre rápidamente la corriente y la fuerza a rotor bloqueado.

$$I = 4.5A$$

$$F = 2.5 \text{ kg.}$$

$$T = 105.456 (\text{lb. in})$$

ACOTACIONES EN PULGADAS

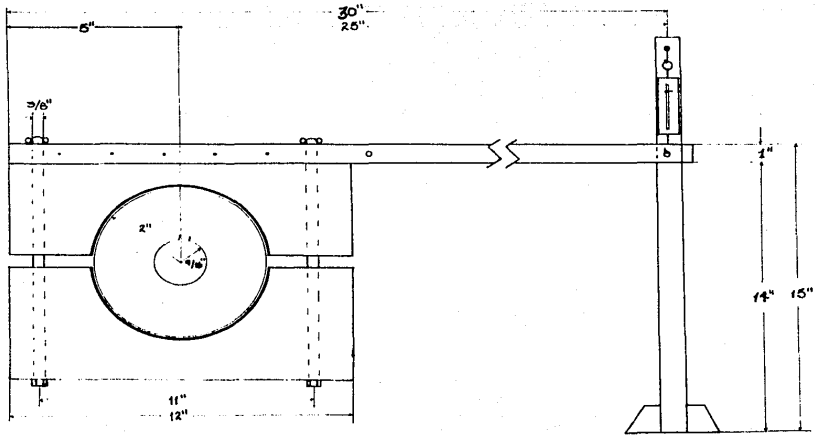


FIGURA 1.

13.- Apague el motor y desmonte el freno con mucho cuidado, ya que la polea puede estar muy caliente. No la moje para enfriarla ya que se destempla.

14.- Grafique sus resultados para una distancia de 0.2 m.

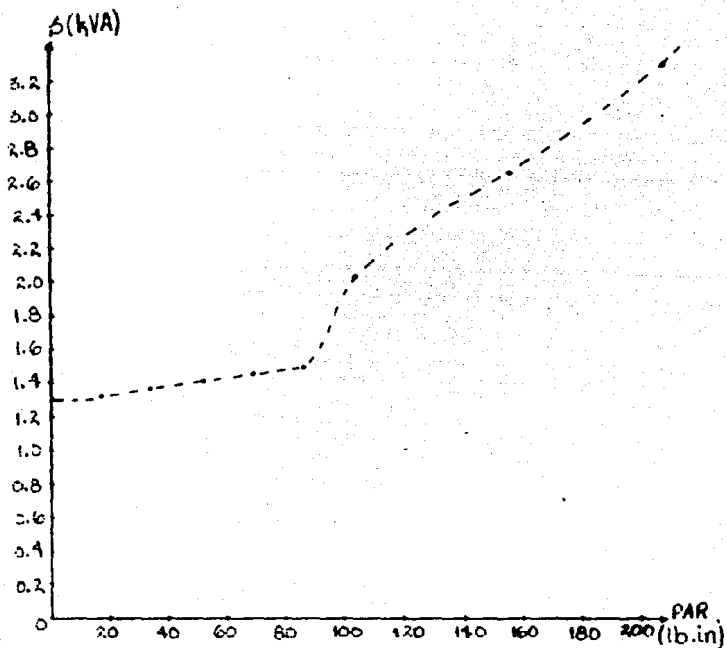
F (Kg)	T (lb.in)	I (A)	S (VA)	ω (rpm)	H.P.
1	17.36	6.0	1320	1720	0.474
2	34.72	6.2	1364	1720	0.949
3	52.08	6.4	1408	1720	1.424
4	69.44	6.6	1452	1720	1.899
5	86.80	6.8	1496	1720	2.374

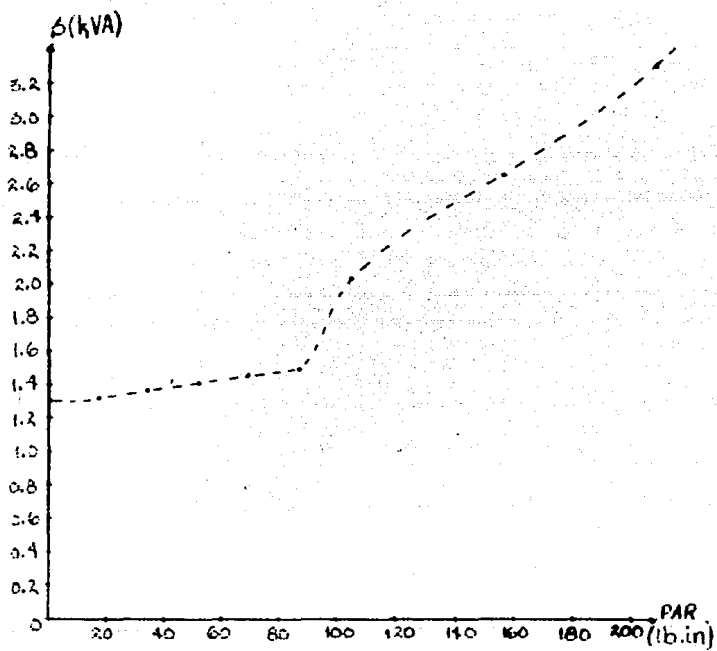
TABLA 1.

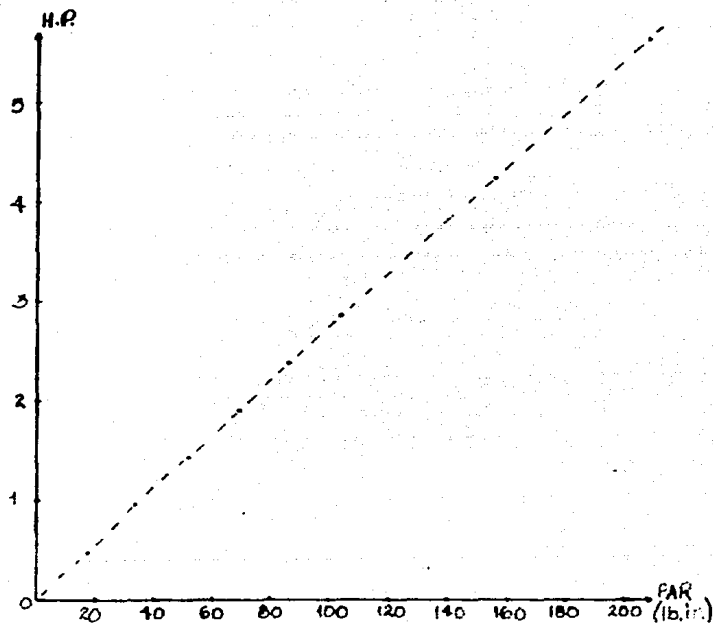
para una distancia de 0.6 m.

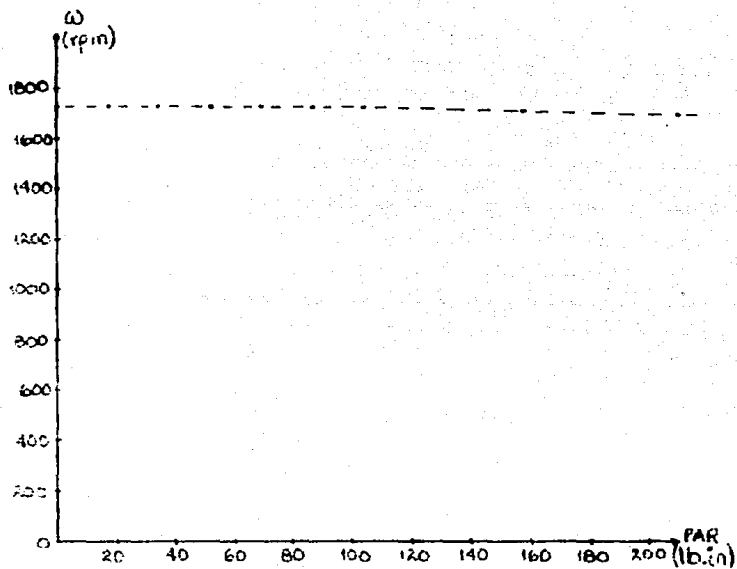
F (KG)	T (lb.in)	I (A)	S (VA)	ω (rpm)	H.P.
1	52.08	6.40	1408	1720	1.424
2	104.17	9.25	2035	1720	2.848
3	156.25	12.10	2662	1710	4.278
4	208.34	15.00	3300	1700	5.631

TABLA 2.









PRACTICA 8

" MOTORES SINCRONOS "

OBJETIVOS:

1.1 Conocer el funcionamiento del motor síncrono, así como algunas de sus aplicaciones más comunes.

1.2 Conocer por qué un motor síncrono normal no puede arrancar por sí sólo.

1.3 Conocer el comportamiento del motor síncrono en condición de vacío.

1.4 Realizar las curvas correspondientes de corriente, voltaje, potencia, par, factor de potencia y eficiencia. A partir de éstas concluir.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Electrodinamómetro	EMS 8911
2.-	Fuente de poder	EMS 8821
3.-	Motor Síncrono	EMS 8241
4.-	Módulo de medición de C-A (voltímetro)	EMS 8426
5.-	Módulo de medición de C-A (Amperímetro)	EMS 8425

- | | | |
|-----|---|----------|
| 6.- | Módulo de medición de C-D (Amperímetro) | EMS 8412 |
| 7.- | Banda | EMS 8942 |
| 8.- | Cables de conexión | EMS 8941 |
| 9.- | Módulo de wáttmetro monofásico | EMS 8431 |

INTRODUCCION TEORICA:

En la fig. la se muestra un corte parcial del devanado del estator de un motor síncrono. Una tensión alterna de $f = 60$ Hz debe provocar una corriente en la dirección indicada, durante un periodo, en el devanado del estator, y un polo norte del rotor deberá aparecer debajo de los lados S_1 y S_2 del inducido.

Sobre los lados del rotor atravesados por corriente y que se sitúan en el campo magnético del polo norte, debe actuar por ende una fuerza. Según la ley de Lenz, esta fuerza tratará de desviar S_1 y S_2 hacia la derecha. Ya que los lados - del inducido se fijan en las ranuras del estator, la rueda polar deberá desplazarse hacia la izquierda; debido a que ésta es pesada, ese movimiento no podrá iniciarse, pues al cabo de una centésima de segundo la corriente volverá a fluir en sentido inverso. Entonces, sobre el polo norte actuará una fuerza hacia la derecha. La rueda polar se mantiene en su posición y no se logra ninguna rotación. Sólo se hará posible si a la rueda polar se le imprime exteriormente una rotación contraria al sentido de las manecillas del reloj y tan rápida que el polo norte, después de una centésima

de segundo, ó sea, después del cambio de la corriente, se encontrará exactamente debajo de los lados S_3 y S_4 del inducido (fig. 1b). El disco polar, en esta posición, recibe otro impulso hacia la izquierda.

Si el rotor, con ayuda exterior, se pone en sincronía con la frecuencia de la red, funcionará sólo, en cada carga, exactamente con la frecuencia de la rotación sincrónica.



FIGURA la y b.

El motor sincrónico normal no puede arrancar por sí sólo

De lo anterior se pueden sacar las conclusiones siguientes:

- a) El funcionamiento de un motor sincrónico exige una fuente de tensión continua para el devanado magnetizante de la rueda polar.

- b) Para el arranque se requiere un motor de marcha se pueda desconectar después de la sincronía.

Los motores síncronos para corriente trifásica pueden arrancar por sí solos, como los motores asíncronos, si se agrega a la rueda polar un pequeño devanado de corto circuito. En los motores síncronos para c-a, el sentido de la rotación lo determina el motor propulsor. El sentido de rotación de los motores síncronos para corriente trifásica depende del campo giratorio del devanado del estator.

La corriente en vacío que acepta el motor síncrono es variable. Depende del valor de la corriente que circula por el devanado magnético. Si modificamos la corriente I_m que fluye por el devanado magnético del motor síncrono (corriente de excitación), a través del regulador magnético de corriente, a cada valor de la corriente de excitación corresponderá una determinada corriente de vacío I_0 (fig. 2a). Las líneas de la gráfica representan una trayectoria semejante a una "V" y muestran que:

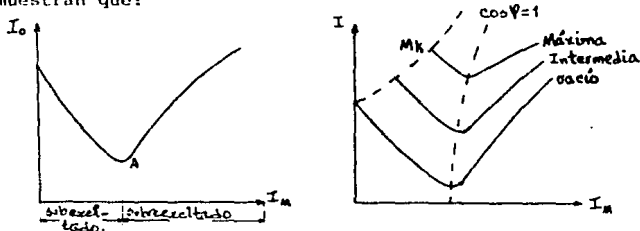


FIGURA 2a y b.
La corriente de vacío de un motor síncrono depende de la corriente de excitación I_m .

Las líneas en V de un motor síncrono, en vacío, en carga media y carga total.

Dada una corriente de excitación determinada I_{m1} , la corriente de vacío del motor alcanza su valor mínimo (punto A de la gráfica). Ahora, el motor sólo funciona con corriente activa en fase con la tensión U . $\cos \varphi = 1$.

Si pasa una corriente de excitación menor que I_{m1} , se dice que el motor está sub-excitado. En sobre excitación la corriente de excitación es mayor que I_{m1} . La corriente del motor es m_a yor, tanto en la subexcitación como en la sobre excitación.

La corriente aceptada por el motor síncrono con carga, depende de la intensidad de la carga y del valor de la corriente de excitación. De manera análoga al funcionamiento en vacío, las líneas de carga presentan un formato en V; (fig. 2b). También en este caso existe un valor mínimo de corriente (corriente activa, ó sea, $\cos \varphi = 1$). La línea Mk indica el límite en el que, en sub-excitación (debilitamiento del campo), - el conjugado se hace tan pequeño que el motor no es capaz de vencer al binario de carga. El motor se "embala" cuando tiene un binario 1.8 veces menor que el nominal y se detiene. En este caso, por el devanado del estator pasa una corriente muy alta.

DESARROLLO:

- 1.- Conecte el siguiente circuito (fig. 3).

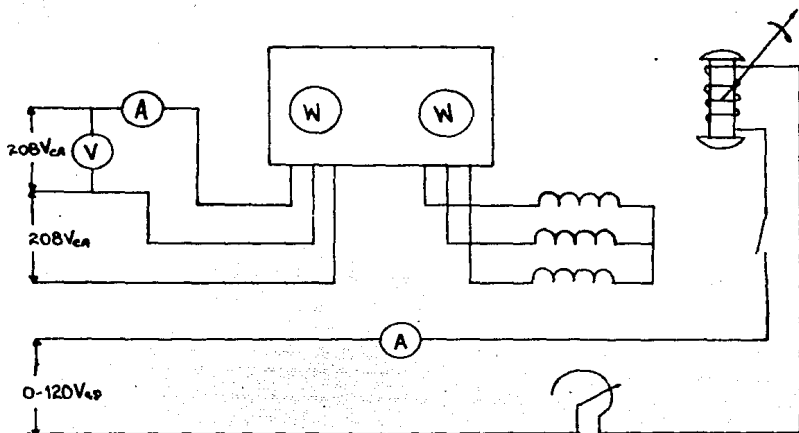


FIGURA 3.

2.- Acople el electrodinamómetro al motor por medio de la banda.

3.- Ajuste el reóstato del electrodinamómetro para una carga igual a cero.

4.- Ajuste el reóstato del motor para una resistencia máxima.

5.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 208 V c-a. Si el motor tiene un interruptor ciérrelo en este instante.

6.- Aumente gradualmente la carga hasta llegar a 9 lb-in y varíe la excitación para obtener un factor de potencia igual a uno.

7.- Con las lecturas obtenidas llene la tabla #1.

8.- Sin variar la excitación de C-D aumente en forma gradual la carga hasta que el motor se salga de sincronismo anotando el par requerido para ello.

9.- Repita los procedimientos anteriores pero con la corriente de excitación fija en 0.8 ampères.

I_m (A)	I_L (A)	V_{CD} (V)	P_i (W)	P_o (W)	PAR _{máximo} (lb.in)
0.52	0.70	120	140	140	14
0.80	0.85	120	190	95	18

TABLA 1.

10.- En condiciones de vacío y con un voltaje de 208 V c-a ajuste el valor de la corriente de excitación a un valor tal que el factor de potencia sea igual a uno y anóte ese valor, manteniéndolo constante durante el resto de la práctica $I_m = 0.5$ ampères.

11.- Llene la tabla (2) siguiente para cada una de las cargas indicadas y grafique sus resultados.

12.- Haga sus conclusiones a la práctica.

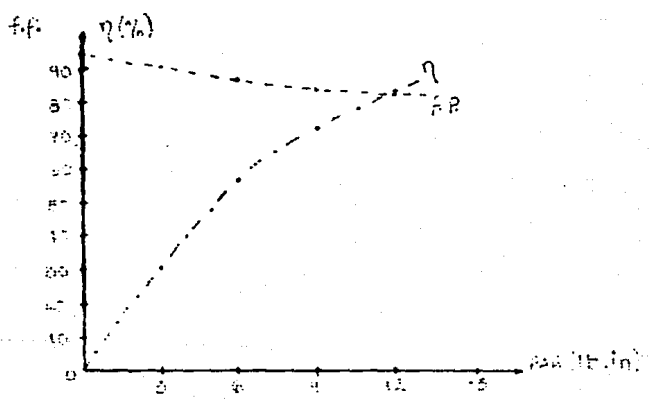
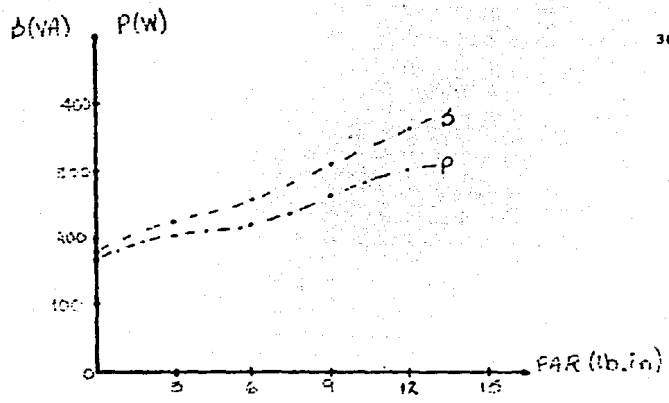
PAR (lb-in)	I (A)	S (VA)	P (W)	ω (rpm)	H.P.	F.P.	η (%)
0	0.50	180.13	170	1800	0	94.57	0
3	0.63	226.96	206	1800	0.085	90.76	30.78
6	0.72	259.39	223	1800	0.171	86.97	52.70
9	0.87	313.43	264	1790	0.257	84.22	72.62
12	1.02	367.47	305	1790	0.343	83.00	83.89

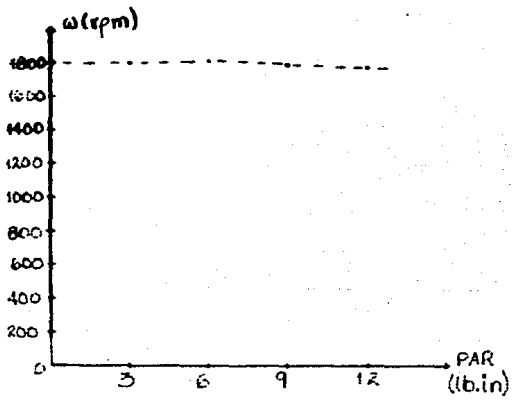
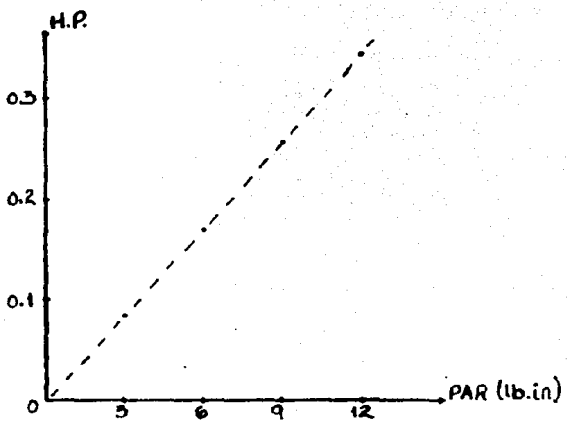
TABLA 2.

CONCLUSIONES:

Los motores síncronos son convenientes para las aplicaciones que necesitan una velocidad constante y un par-motor poco variable; su ventaja es que pueden provocar un avance de corriente sobre el voltaje y, por consiguiente, mejorar el factor de potencia. Son pues económicos.

Los inconvenientes de los motores síncronos es que no pueden arrancar solos y que exigen, además de la corriente alterna (c-a), un generador de corriente continua (c-c) que alimente el inductor.





PRACTICA 9

" GENERADOR DE C. D. "

(Primera parte)

OBJETIVOS:

1.1 Conocer la estructura y funcionamiento de los generadores de CD.

1.2 Conocer las características básicas de la conexión de un generador en serie, derivación, acumulativo, diferencial y compuesto.

1.3 Analizar de acuerdo a sus curvas características, la mejor opción para aplicaciones específicas.

1.4 Obtener y concluir de acuerdo a las curvas características que se requieren en esta práctica la conveniencia de cada conexión que se muestra.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Módulo de motor síncrono	EMS 8241
2.-	Módulo de generador de CD	EMS 8211
3.-	Fuente de poder	EMS 8821
4.-	Módulo de resistencias	EMS 8311

5.-	Módulo de medición de corriente CD	EMS 8412
6.-	Módulo de medición de voltaje CD	EMS 8412
7.-	Banda	EMS 8942
8.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

Los tipos normales de motores y generadores de c-c son los llamados comúnmente en derivación, en serie y compuesto. Las máquinas en derivación y en serie tienen normalmente sólo un circuito equivalente de campo.

Fisicamente puede haber varias bobinas idénticas colocadas en los polos salientes, pero éstas están interconectadas para formar un circuito eléctrico alimentado desde una fuente. Las máquinas en serie tienen su circuito de campo conectado en serie con la armadura, de tal manera que la corriente de la armadura pasa a través de las bobinas de campo. La máquina en derivación ha sido llamada de esta manera porque los devanados del campo están diseñados para ser conectados en derivación (paralelo) con la armadura, de tal forma que el voltaje a través de la armadura es también el voltaje a través del circuito de campo.

En muchas aplicaciones, sin embargo, el campo puede ser energizado desde una fuente separada, que suministra un voltaje constante; ó la armadura puede ser alimentada por una corriente constante y el campo alimentado por una

fuelle de suministro ajustable ó variable. Normalmente las máquinas que se usan en dichas aplicaciones son máquinas en derivación, aún cuando si se desea se pueden usar máquinas en serie. Naturalmente las bobinas en derivación por lo general están diseñadas para operar a alto voltaje y baja corriente, mientras que las bobinas en serie lo están para bajo voltaje y elevada corriente; estos factores deben ser considerados al seleccionar una máquina para condiciones especiales de operación. La máquina compuesta tiene dos juegos de bobinas de campo, uno diseñado para conexión en derivación y el otro para conexión en serie: con diseño y conexiones convenientes este "compuesto" puede proporcionar algunas características deseables que no poseen ni las máquinas en derivación, ni las máquinas en serie.

Todas estas máquinas tienen el mismo diseño de circuito de armadura, el que generalmente puede representarse como un circuito de una sola bobina.

Fisicamente, como es natural, la armadura real tiene muchas bobinas conectadas en serie ó en paralelo.

El arreglo conmutador-escobillas cambia de manera efectiva las conexiones del circuito físico, pero en cada máquina hay siempre cuando menos dos caminos en paralelo a través de la armadura; y cada camino contiene el mismo número de bobinas, aún cuando las bobinas físicas específicas se cambian de un camino al otro a medida que la armadura gira.

La gran mayoría de las máquinas se usan en aplicaciones en que la característica importante es el funcionamiento

de estado permanente. La característica más importante de un generador es su capacidad de mantener (o cambiar) su voltaje terminal cuando la carga conectada varía. Estas características son un tanto distintas en las máquinas en derivación, serie ó paralelo.

La máquina se puede representar convenientemente por un diagrama de bloque que use una trayectoria de retroalimentación positiva para ayudar al campo en serie (acumulativo) y retroalimentación negativa para contrarrestar al campo en serie (diferencial).

Además de las máquinas en derivación, serie ó compuestas existe un buen número de otras que tienen nombres especiales y características de operación especiales. Físicamente éstas sólo difieren muy poco de las máquinas normales.

Por lo general, tienen un cierto número de bobinas en los polos del campo. Estas bobinas están interconectadas y operan de manera especial. Algunas de estas máquinas pueden tener escobillas adicionales en el conmutador que están conectadas a una ó más de las bobinas de campo. Las ecuaciones de estas máquinas se obtienen y analizan exactamente con las mismas técnicas usadas para las máquinas normales.

Como se sabe en un generador con campo serie la corriente de excitación es la misma que la corriente que el generador proporciona a la carga, por lo tanto, esta conexión hace que al variar la carga varíe también el voltaje generado. El valor de este voltaje va desde el mínimo, a plena carga, hasta el generado en vacío.

Debido a esto su regulación de voltaje es muy grande y por tanto no puede ser usado como fuente de alimentación.

Una de las aplicaciones de éste tipo de generador se lleva a cabo en las líneas de distribución de C.D. como elevadores de voltaje de línea llamados también reguladores de voltaje. El voltaje fluctuante de las líneas se puede corregir insertando un generador en serie como lo muestra la fig. 1.

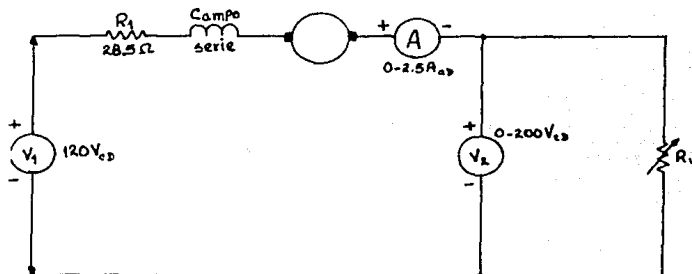


FIGURA 1.

Al aumentar la corriente de línea aumenta el voltaje del generador compensando la caída de voltaje producida en la resistencia de la carga R_L .

DESARROLLO:

- 1.- Alambre el siguiente circuito (fig. 2).

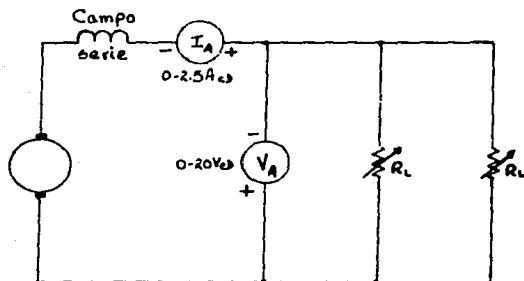


FIGURA 2.

2.- Conecte el motor síncrono y acóplelo al generador por medio de la banda para impulsar al generador.

3.- Encienda la fuente y ajuste el voltaje aplicado al motor para proporcionarle 208 volts.

4.- Varie los valores de la resistencia de carga para poder llenar la tabla 1.

R_L (Ω)	I_A (A)	V_A (V)	(W) Potencia
∞	0.00	7.0	0.00
40.0	0.30	13.0	3.90
37.5	0.38	14.4	5.47
35.3	0.46	16.5	7.59
33.3	0.50	17.5	8.75
31.5	0.64	20.0	12.80
30.0	0.80	25.0	20.20
28.5	1.10	31.0	34.10

TABLA 1.

5.- Para verificar el funcionamiento del generador primero arme el siguiente circuito (fig. 3).

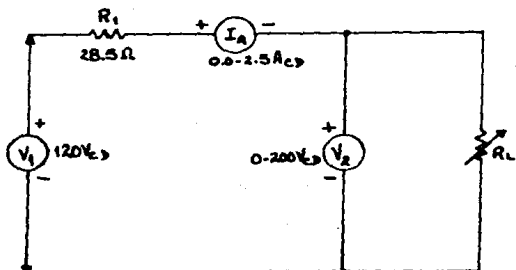


FIGURA 3.

6.- A continuación varíe el valor de la resistencia de carga para llenar la tabla 2.

R_L (Ω)	I_A (A)	V_2 (volts)	Potencia (W)
∞	0.00	120	0.00
600	0.15	118	17.70
240	0.42	103	45.78
150	0.65	95	61.75
100	0.85	85	72.25
80	1.00	80	80.00

TABLA 2.

7.- Introduzca en su alambrado el generador en serie de tal forma que se tenga el siguiente circuito (fig. 4).

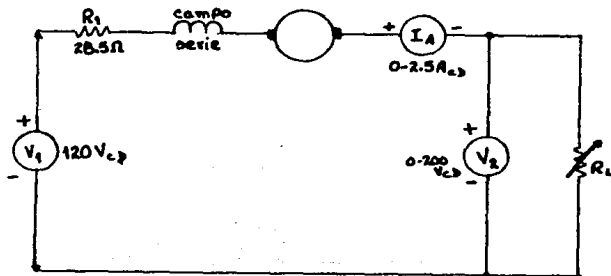


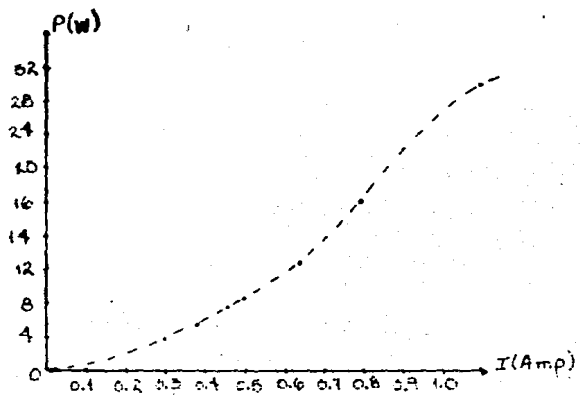
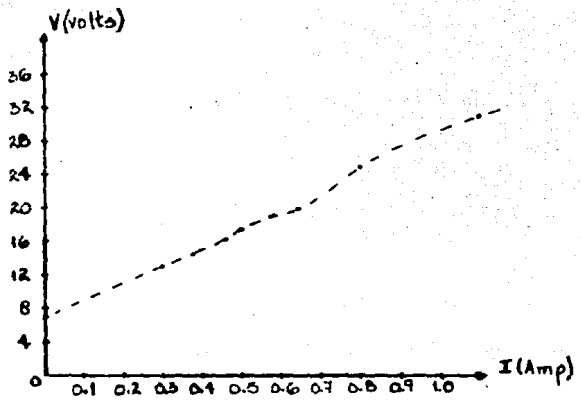
FIGURA 4.

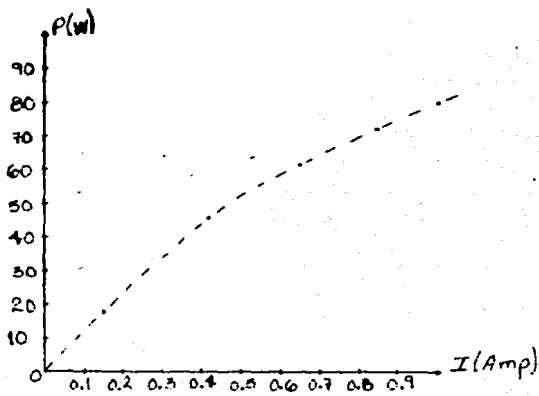
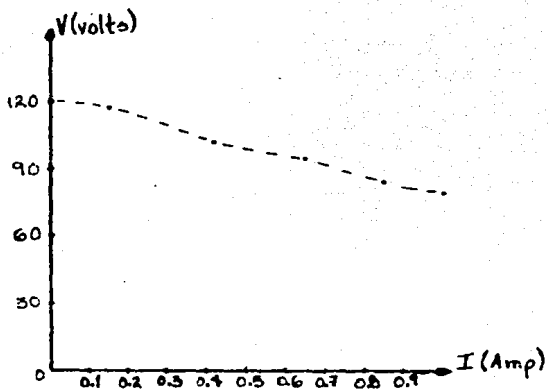
8.- Repita las mediciones anteriores (tabla 2) y anote sus resultados en la tabla siguiente (tabla 3).

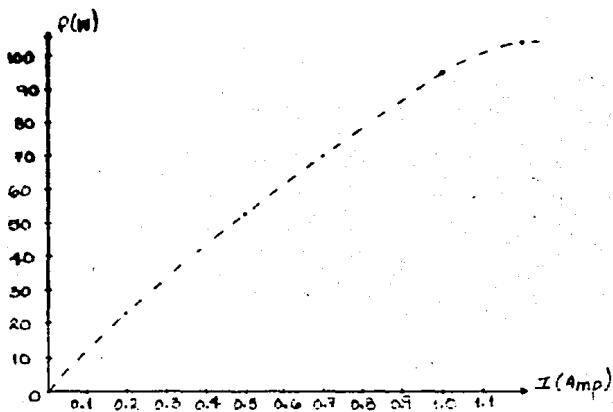
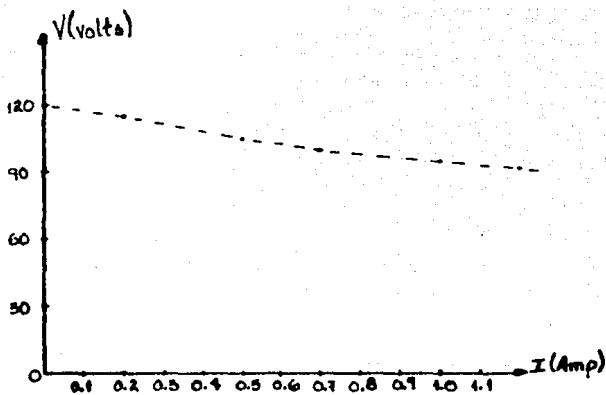
R_L (Ω)	I_A (A)	V_L (volts)	Potencia (w)
∞	0.0	120	0.0
600	0.2	115	23.0
240	0.5	105	52.5
150	0.7	100	70.0
100	1.0	95	95.0
80	1.2	92	110.4

TABLA 3.

9.- Obtenga el % de regulación y las gráficas correspondientes y compare sus resultados.







PRACTICA 10

" GENERADOR C. D. "

(Segunda parte)

OBJETIVOS:

1.1 Obtener las curvas características para el generador compuesto acumulativo.

1.2 Obtener las curvas características para el generador compuesto diferencial.

1.3 Obtener el % de regulación para los dos casos anteriores y concluya de acuerdo a estos datos.

1.4 Concluir de acuerdo a las curvas características las conveniencias e interconveniencias para cada una de las conexiones anteriores.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Módulo de motor síncrono	EMS 8241
2.-	Módulo de fuente de p.c.d.e.r	EMS 8821
3.-	Módulo de generador de CD	EMS 8211
4.-	Módulo de medición de CD	EMS 8412

5.-	Módulo de resistencias	EMS 8311
6.-	Banda	EMS 8942
7.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

La c-c necesaria para la excitación del campo magnético se obtiene de una fuente externa. El circuito magnetizante principal y el del rotor son independientes entre sí (máquinas con excitación independiente).

La tensión entre los bornes del generador depende de la carga, cuanto mayor sea la carga del generador, mayor será la caída de tensión en los bornes del rotor. Dependiendo del tipo de construcción, la diferencia de tensión entre el funcionamiento en vacío y el de carga nominal acusa de 5 a 10%.

Analicemos que: la tensión entre los bornes cae porque:

- a) La corriente en el devanado del rotor provoca una caída de tensión óhmica.
- b) La resistencia de contacto (escobillas del inversor) determina una caída de tensión.
- c) Aparece la reacción del rotor (efecto mínimo en máquinas de polos inversores). En corto-circuito, la tensión entre los bornes se hace nula.

Los generadores de c-c para conectarse en paralelo deben presentar necesariamente la misma tensión entre bornes, la misma polaridad y, de preferencia, las mismas líneas de carga.

- a) Funcionamiento en paralelo de generadores de excitación en derivación.- El generador, al conectarse en paralelo, se excita hasta que su tensión coincida con la de la red. En seguida se intercala el interruptor de la red. El generador todavía no puede ceder corriente a la red puesto que, aunque su tensión y la de la red sean del mismo valor, tienen no obstante, sentidos opuestos. Se anulan. Al reforzar a continuación el campo magnético del generador conectado a la red, a través de la disminución del valor de la resistencia del regulador de corriente de magnetización, se incrementa su tensión inicial.

Cuanto mayor sea el campo magnético mayor será la intensidad de la corriente que se puede obtener del generador. Mediante la modificación del campo magnético se tiene la posibilidad de distribuir la carga entre los diversos generadores. Si fuera necesario desconectar el generador, primeramente se tendría que disminuiría la corriente en el devanado de magnetización, hasta que la corriente cedida a la red fuera nula.

El funcionamiento perfecto en paralelo sólo es posible cuando los generadores posean las mismas líneas de carga,

ó sea, cuando su comportamiento eléctrico coincida en la medida de lo posible (fig. 1).

- b) Funcionamiento en paralelo de los generadores de excitación en serie exige conexiones especiales.- No es posible el funcionamiento en paralelo con conexión normal, puesto que a la menor irregularidad, el generador que, por ejemplo, sufra una propulsión más intensa, asumirá una carga mayor. La consecuencia sería una tensión mayor entre bornes y un aumento continuo de la carga.

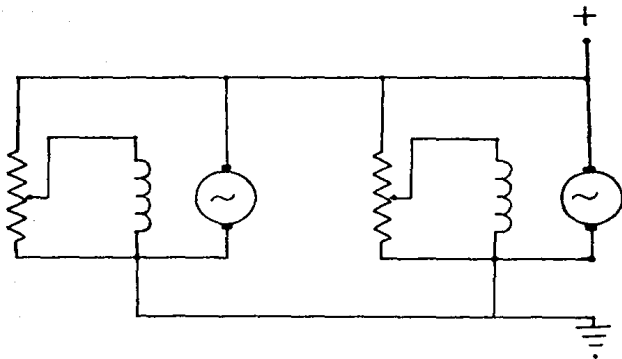


FIGURA 1.

Funcionamiento en paralelo de generadores de excitación en derivación.

Por eso se utiliza la conexión especial (fig. 2). Si a continuación, por ejemplo, el generador I adquiere una carga mayor, el generador II se excitará con mayor intensidad. Su tensión se eleva durante el periodo necesario para el regreso a la distribución regular de la carga.

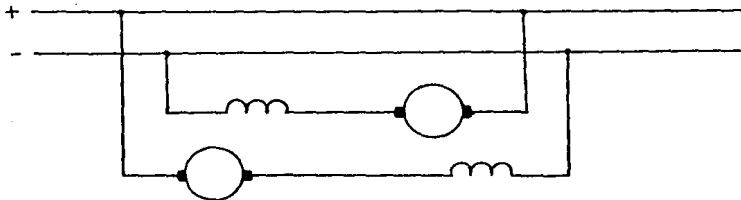


FIGURA 2.
Conexión especial de generadores
de excitación en serie.

- c) Los generadores de excitación doble sólo funcionan en paralelo con una compensación.- Obsérvese la fig. 3; si el generador I está en paralelo con el generador II, la carga se producirá, normalmente, por disminución del valor de la resistencia del regulador de corriente magnetizante.

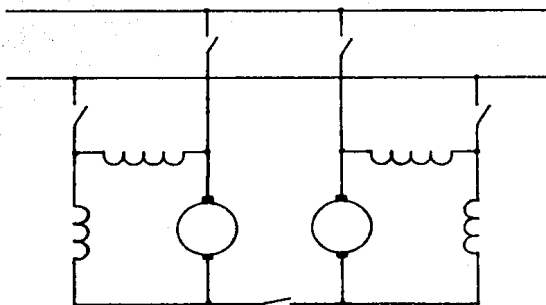


FIGURA 3.

Funcionamiento en paralelo de generadores de excitación doble, con conductor de equilibrio.

Por ende, la corriente de carga no sólo pasa por el rotor, sino también por el devanado de excitación en serie.

En esta forma se refuerza el campo magnético, se eleva la tensión inicial y aumenta la carga del generador II. En la misma proporción en que el generador II recibe una mayor carga, se alivia el generador I.

Por su devanado de excitación en serie para una corriente menor, el campo magnético se debilita y la tensión inicial baja; como consecuencia tenemos un mayor alivio de carga del generador I. Bastan las variaciones insignificantes del campo magnético para provocar grandes desviaciones de la carga que dificultan el funcionamiento.

El conductor de equilibrio (compensación) evita dificultades. Los devanados de excitación en serie de los generadores conectados en paralelo se conectan con un conductor de compensación entre ellos. Mediante este último se logra que los devanados de excitación en serie de los generadores estén conectados en paralelo y, por ende, sujetos a una misma tensión. Se descubrió que la corriente total proporcionada por los generadores, obedeciendo a la ley de Ohm, debe recorrer todos y cada uno de los devanados de excitación en serie. En el caso de los devanados de excitación en serie, de todos los generadores en paralelo con la misma resistencia óhmica, la corriente se distribuye uniformemente por todos los devanados y cualquier alteración de la carga se deja sentir por igual en todos los generadores.

DESARROLLO:

1.- Alambre el siguiente circuito para obtener las características del generador compuesto-diferencial (fig. 4).

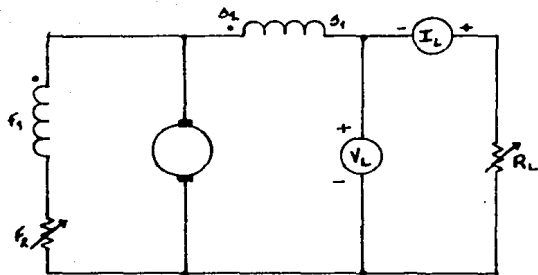


FIGURA 4.

2.- Conecte el motor síncrono y acóplelo al generador por medio de la banda para proporcionar la potencia al generador.

3.- Encienda la fuente y comience a variar el valor de la resistencia de carga para obtener los valores necesarios para llenar la siguiente tabla 1.

ω (rpm)	R_L (Ω)	V_L (volto)	I_L (A)
1800	∞	145	0
1800	1200	140	0.11
1800	600	131	0.22
1800	400	124	0.31
1800	300	112	0.39
1800	240	107	0.45
1800	171.43	85	0.50
1800	153.33	62	0.50

TABLA 1.

4.- Alambre el circuito para tener un generador compuesto acumulativo (fig. 5).

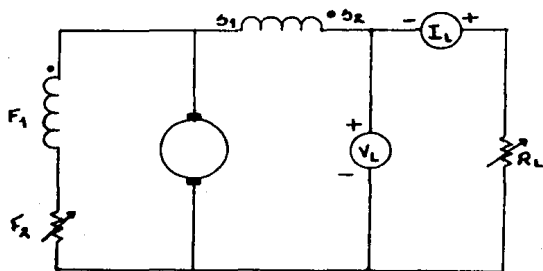


FIGURA 5.

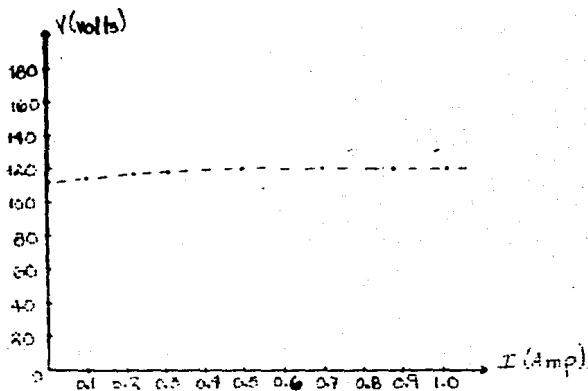
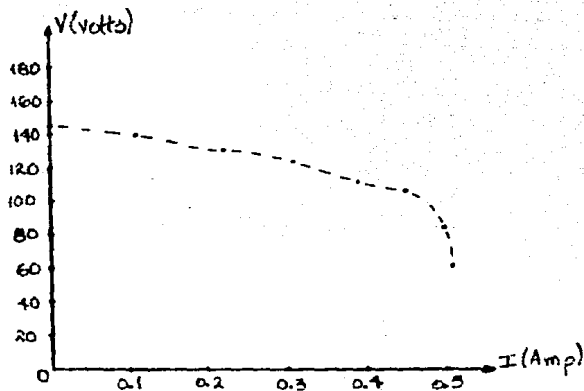
5.- Repita los pasos dos y tres para este circuito y llene la tabla siguiente (tabla 2).

6.- Calcule el % de regulación para ambos casos y grafique sus resultados.

ω (rpm)	R_c (Ω)	V_c (v)	I_c (A)
1800	∞	112	0
1800	1200	114	0.1
1800	600	117	0.22
1800	400	118	0.31
1800	240	120	0.50
1800	171.42	120	0.70
1800	155.53	120	0.88
1800	109.10	120	1.02

TABLA 2.

7.- Hãga las grãficas a esta prãctica.



PRACTICA 11

" MOTORES DE C. D. "

OBJETIVOS:

1.1 Conocer las características y curvas de operación del motor de C.D.

1.2 Conocer y aplicar las características de la conexión en derivación de un motor de C.D.

1.3 Conocer y aplicar las características de la conexión en serie de un motor de C.D.

1.4 Conocer y aplicar las características de la conexión compuesta acumulativa para un motor de C.D.

1.5 Obtener las curvas características para los diferentes tipos de conexión utilizadas para un motor de C.D. en esta práctica y de acuerdo a ello, concluir la mejor opción de acuerdo a la aplicación que se desee.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Fuente de alimentación	EMS 8821
2.-	Módulo de motor de C.D.	EMS 8211
3.-	Módulo de medición de C.D.	EMS 8412

4.-	Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
5.-	Tacómetro de mano (tipo precisión)	EMS 8920
6.-	Banda	EMS 8942
7.-	Cables de conexión	EMS 8941

INTRODUCCION TEORICA:

Un conductor móvil que conduce corriente se mueve en un campo magnético porque éste ejerce una fuerza sobre el conductor. La fuerza será tanto mayor cuanto más denso sea el campo, mayor el valor de la corriente y mayor la longitud útil del conductor. La fuerza de repulsión se calcula por medio de:

$$F = Bil \text{ --- (1)}$$

El sentido del movimiento del conductor se puede determinar por la ley de Lenz. Si se dibuja la trayectoria de las líneas de campo y el conductor por el que circula la corriente, se verá que de un lado se produce una intensificación del campo y, del otro, un debilitamiento (fig. 1a). El campo compuesto de ese modo presentará la trayectoria según la fig. 1b.

En el devanado del inducido en movimiento de rotación se induce una tensión primaria. Si el inducido del motor es atravesado por una corriente que se mueve circularmente, sus hilos cortarían a las líneas del campo magnético.

En el devanado del rotor se induce una tensión primaria denominada U . Según la ley de Lenz, U_0 se opone a la tensión aplicada entre sus terminales.

U_0 es igual a cero con el rotor en reposo y, por ende, en el momento del arranque, los hilos del inducido no cortan ninguna línea de campo. U_0 aumenta con la frecuencia creciente de rotación. Por lo que nunca podrá asumir el valor de la tensión aplicada, porque, en este caso, $U = U_0$ y $U - U_0 = 0$, y no habrá tensión que obligase a pasar una corriente por el resistor del inducido R .

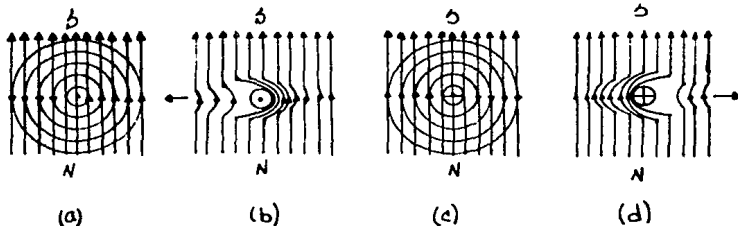


FIGURA la, b, c y d.
Sentido de movimiento del conductor, con corriente,
en el campo magnético.

U_0 es siempre menor que el valor de la caída de tensión en el rotor, que es la tensión aplicada entre los polos.

$$U_0 = U - IR_r \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (2)$$

La diferencia de potencial entre la tensión aplicada y la inducida U_0 es la que obliga a una corriente a pasar por la resistencia del inducido.

U_0 disminuye al aumentar la carga del motor. El motor con una carga importante reducirá su frecuencia de rotación, puesto que debe desarrollar un mayor conjugado. Por ende, la disminución de la frecuencia de rotación significa que los conductores del inducido interceptarán un menor número de líneas de campo en el mismo espacio de tiempo. Consecuentemente, U_0 disminuirá y, en esa forma, podrá atravesar al rotor una mayor corriente, lo que equivale a una nueva carga en el motor; a la inversa, al disminuir, la carga U_0 aumenta y la corriente cae. En cierta forma la tensión primaria es un regulador del motor de corriente continua.

El alto valor de la corriente que aparece en el momento del arranque se podrá disminuir con una resistencia en serie con el rotor.

El motor de excitación en serie gira lentamente con grandes cargas y rápidamente con las pequeñas. En vacío, el motor se puede disparar. Por eso, no debe funcionar sin cargas ó a través de bandas.

La regulación de diferentes frecuencias de rotación

es difícil, como en el caso de un motor de c-c en derivación, el uso de un arranque de posición, hasta la obtención de la frecuencia de rotación nominal, es muy necesario. Además de esto, se debe poner un regulador de corriente magnetizante, paralelamente al devanado de magnetización. Este no se debe conectar en corto, puesto que el motor se dispararía.

El motor de excitación en serie desarrolla un alto momento de torsión, cuanto mayor sea la carga, más fuerte será el campo magnético que depende de ella. El motor desarrolla un alto momento de torsión que puede aumentar con la corriente de carga elevada al cuadrado hasta el límite de saturación magnética. Por eso se utilizan motores de excitación en serie, sobre todo, en grúas, vehículos, compresoras, etc.

El motor de excitación doble (fig. 2) posee un devanado en derivación y otro de excitación en serie. Normalmente, la corriente atraviesa a ambos devanados en el mismo sentido.

El motor doble presenta, según su modo de construcción, tendencias de comportamiento de excitación en serie ó en derivación.

En caso de que impere el campo magnético del devanado en derivación, el comportamiento será de derivación. Su frecuencia de rotación caerá con carga, más intensamente que en el motor de derivación, aunque no con tanta fuerza como en un motor de excitación en serie. O al contrario, si predomina el devanado de excitación en serie, el comportamiento del motor será de excitación en serie.

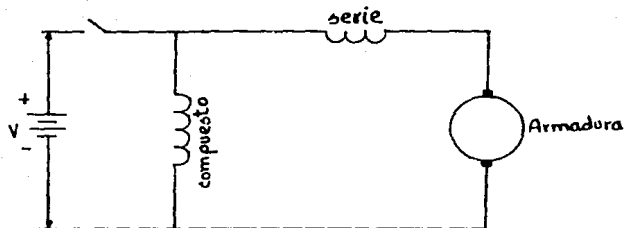


FIGURA 2.

Motor de excitación doble.

No se puede arrancar en vacío, puesto que se mantiene el campo magnético del devanado en derivación. Aplicación: en máquinas que tengan volantes (prensas, estampadoras, etc), ya que sólo puede actuar la masa centrífuga en frecuencias de rotación que cedan; cuanto más determinante sea el devanado de excitación en serie, mayor será la fuerza de tracción y el binario del motor de excitación doble.

Los polos de inversión sirven para invertir la corriente; se deben modificar al mismo tiempo que el rotor.

DESARROLLO:

I.- Conexión en derivación.

1.- Conecte el siguiente circuito ajustando la perilla del reóstato del motor para obtener una resistencia mínima (fig. 3).

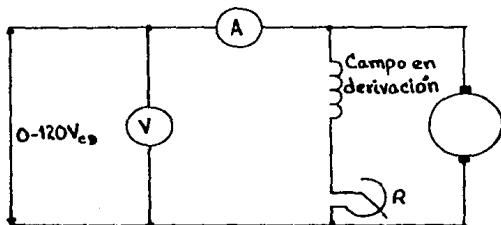


FIGURA 3.

2.- Acople el electrodinamómetro al motor de c-d por medio de la banda y ajústelo para proporcionar una carga mínima de arranque.

3.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 V c-d. Observe la dirección de rotación, si es en sentido contrario al de las manecillas del reloj,

apague la fuente e invierta la conexión del campo en derivación.

4.- Utilizando un tacómetro de mano, ajuste el reóstato del motor para una velocidad de 1800 rpm.

5.- Mida la corriente y anóte el valor en la tabla 1.

6.- Aplique carga al motor haciendo variar la perilla de control del electrodinamómetro para obtener cada una de las lecturas necesarias para completar la tabla 1.

7.- Apague la fuente de alimentación.

V (volts)	I (A)	ω (rpm)	PAR (lb.(n))	% reg.	H.P.	Pérdidas (W)	η
120	0.9	1800	0	0	—	—	—
120	1.0	1720	1	4.44	0.027	20.142	83.21
120	1.1	1680	2	6.66	0.053	39.538	70.04
120	1.4	1600	3	11.11	0.076	56.696	66.25
120	1.6	1580	4	12.22	0.100	74.600	61.14
120	1.8	1550	5	13.88	0.123	91.758	57.51
120	2.2	1520	6	15.55	0.145	108.170	59.02
120	2.6	1500	7	16.66	0.167	124.582	60.16
120	2.8	1480	8	17.77	0.188	140.298	58.25
120	2.9	1480	9	17.77	0.212	158.152	60.84
120	3.3	1450	10	19.44	0.230	171.580	56.67

TABLA 1.

8.- Calcule el % de regulación de velocidad

$$\% \text{ reg.} = \frac{W \text{ vacío} - W \text{ a plena carga}}{W \text{ a plena carga}} = 18\%$$

9.- Calcule los hp desarrollados para un par de 9 lb.-in y sabiendo que 1 hp = 746 watts, calcule las pérdidas y la eficiencia del motor.

$$\text{hp} = \frac{W T (1.59)}{1 \times 10^5} = 157.993 \text{ Watts.}$$

$$\text{Pérdidas} = (120)(2.9) - 157.993$$

$$\text{Pérdidas} = 190 \text{ W}$$

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{190}{348}$$

$$\% \text{ eficiencia} = 54.6\%$$

II.- Conexión en serie.

10.- Conecte el circuito de la fig. 4.

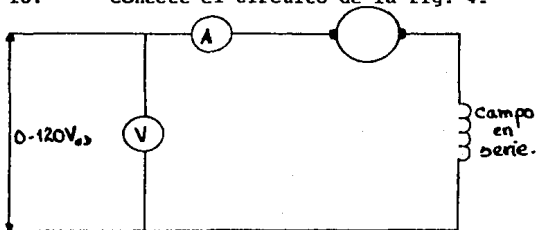


FIGURA 4.

11.- Ajuste la perilla de control del electrodinamómetro a su posición media.

12.- Encienda la fuente de alimentación y aumente gradualmente la excitación del motor. Si el sentido de giro no es el adecuado, intercambie las conexiones del campo en serie.

13.- Ajuste el voltaje a 120 V c-d y la carga aplicada a un valor de 12 lb.in.

14.- Mida la corriente de línea y la velocidad del motor y anóte esos valores en la tabla 2.

15.- Repita esta operación para cada par anotado en la tabla y complétela.

16.- Apague la fuente.

17.- Repita los procedimientos 8 y 9 para este tipo de conexión y anóte sus resultados.

V (Volts)	I (A)	ω (rpm)	PAR (lb.in)	% reg.	H.P.	(W) Pérdidas	η
120	1.4	2750	1	0	0.043	32.078	80.58
120	1.6	2500	2	9.09	0.079	58.934	69.30
120	1.8	2320	3	15.63	0.110	82.060	62.01
120	2.0	2030	4	26.18	0.129	96.234	59.90
120	2.1	2020	5	26.54	0.160	119.370	52.65
120	2.4	1850	6	32.73	0.176	131.296	59.91
120	2.45	1820	7	33.81	0.202	150.692	48.91
120	2.6	1750	8	36.36	0.222	165.612	46.51
120	3.0	1600	9	41.82	0.228	170.088	52.75
120	3.3	1500	10	45.45	0.238	177.518	55.16
120	3.5	1450	11	49.74	0.243	183.141	57.92

TABLA 2.

$$\% \text{ reg.} = \frac{2750 - 1600}{2750}$$

$$\text{hp} = \frac{(1600)(9)(1.59)}{1 \times 10^3}$$

$$\text{pérdidas} = (120)(3) - 170.8$$

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{189.19}{360}$$

$$\% \text{ reg.} = 41.48\%$$

$$\text{hp} = 0.228 \text{ h.p.}$$

$$\text{pérdidas} = 189.19 \text{ W}$$

$$\% \text{ eficiencia} = 52.55\%$$

III.- Conexión compuesta acumulativa.

18.- Sin mover las conexiones hechas para el motor de c-d en serie, conecte ahora el campo en derivación y el reóstato para obtener el circuito de la fig. 5.

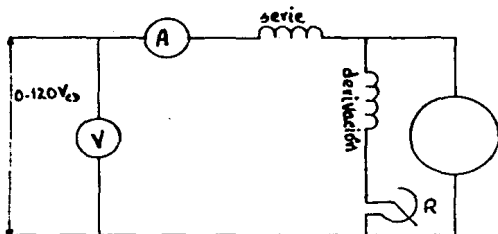


FIGURA 5.

19.- Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 120 V c-d, si el motor desarrolla una velocidad excesiva, apague la fuente e intercambie las conexiones del campo en derivación.

20.- Manteniendo el voltaje constante aplique carga al motor y mida lo necesario para poder completar la tabla 3.

- 21.- Apague la fuente de alimentación.
- 22.- Repita los procedimientos 8 y 9 con los datos obtenidos y anóte sus resultados.
- 23.- Compare los resultados obtenidos en cada fase de la práctica y anóte sus conclusiones.
- 24.- Haga las gráficas correspondientes a la práctica y de acuerdo a éstas, concluya.

V (Volts)	I (A)	ω (rpm)	PAR (lb.in)	% reg	H. P.	(w) Pérdidas	η
120	1.0	1340	0	0	—	—	—
120	1.0	1320	1	1.49	0.021	15.666	86.94
120	1.2	1260	2	5.97	0.040	29.890	79.24
120	1.4	1135	3	15.29	0.054	40.388	75.96
120	1.5	1190	4	11.19	0.075	56.460	68.63
120	1.6	1185	5	11.56	0.094	70.278	63.39
120	1.8	1170	6	12.68	0.112	83.267	61.45
120	2.0	1135	7	15.29	0.126	94.238	60.73
120	2.1	1130	8	15.67	0.143	107.227	57.45
120	2.2	1090	9	18.65	0.156	116.360	55.92
120	2.3	1085	10	19.03	0.172	128.696	53.37

TABLA 3.

$$\% \text{ reg.} = \frac{1340 - 1090}{1340}$$

$$\text{hp} = \frac{(1090)(9)(1.59)}{1 \times 10^3}$$

$$\text{p\u00e9rdidas} = (120)(2.2) - 116.56$$

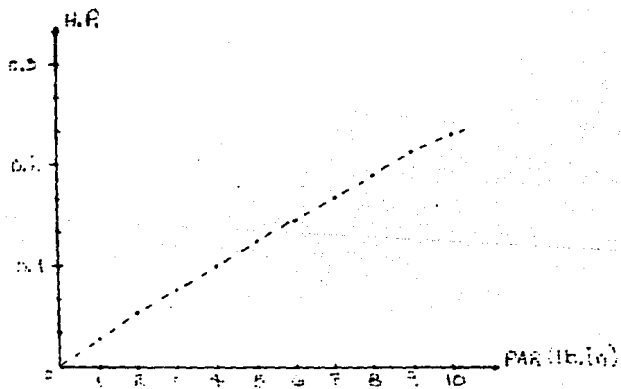
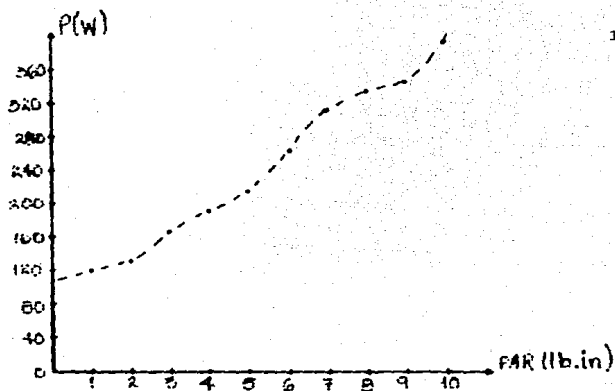
$$\% \text{ eficiencia} = \frac{147.64}{264}$$

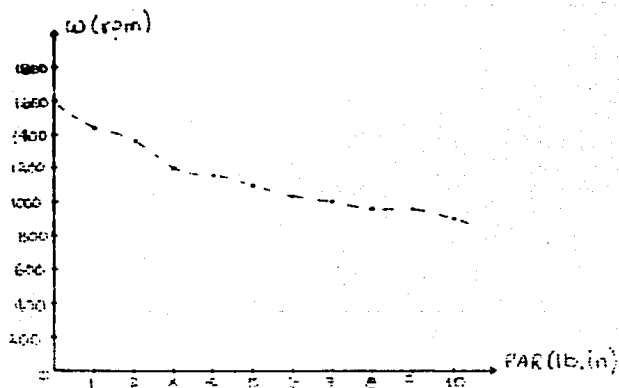
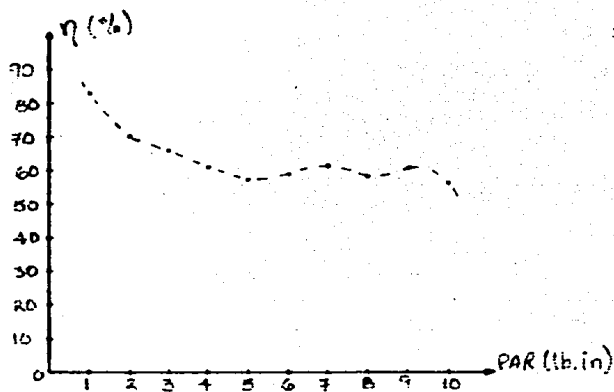
$$\% \text{ reg.} = 18.65\%$$

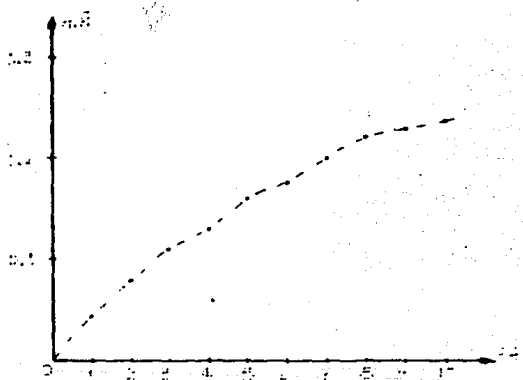
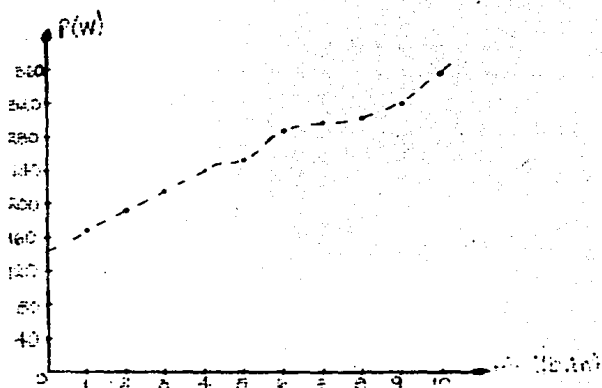
$$\text{hp} = 0.156 \text{ hp}$$

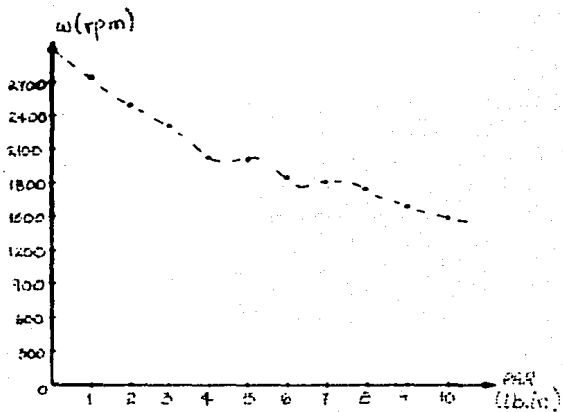
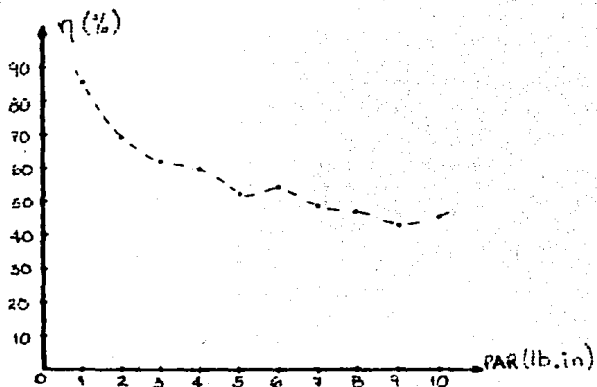
$$\text{p\u00e9rdidas} = 147.64 \text{ W}$$

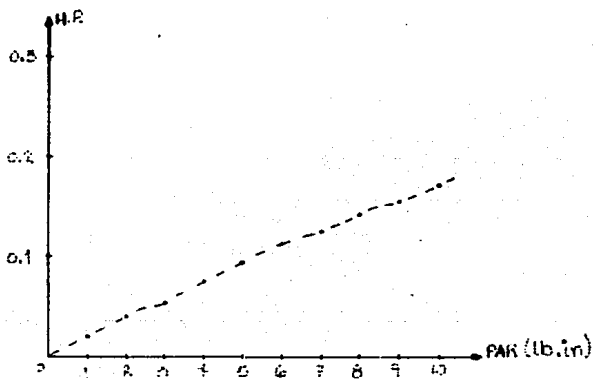
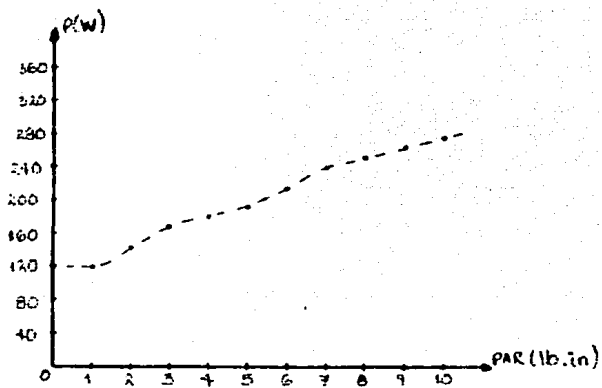
$$\% \text{ eficiencia} = 55.92\%$$

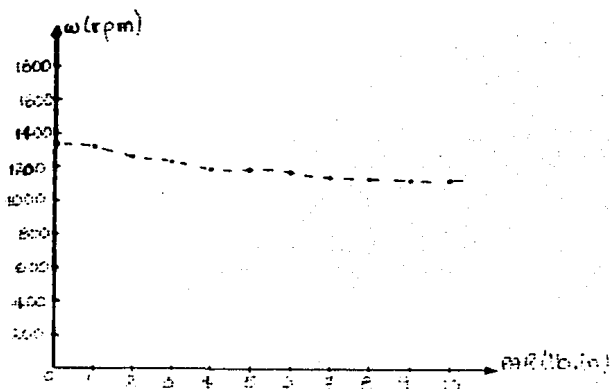
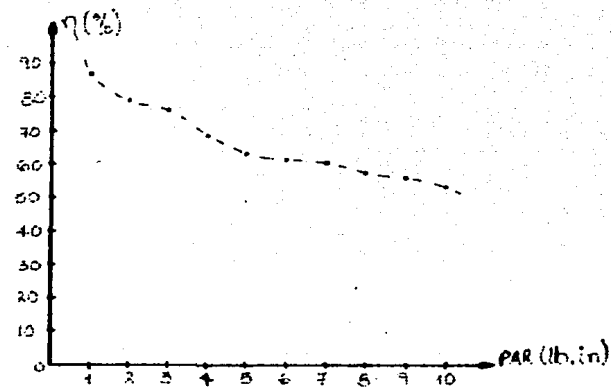












**PROYECTO DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE CONVERSION
DE ENERGIA ELECTROMECANICA III.**

PRACTICA 1

" INSTRUMENTACION "

OBJETIVOS:

1.1 Conocer la filosofía del control y protección de equipos y sistemas eléctricos.

1.2 Mostrar algunos dispositivos de control y protección utilizados en los sistemas eléctricos.

1.3 Conocer los diagramas de fuerza y control que se utilizan en sistemas eléctricos elementales y a partir de ellos, generalizar a los sistemas desarrollados en el laboratorio de CEEM III.

1.4 Analizar y concluir sobre los conceptos de control y protección en los sistemas eléctricos.

EQUIPO Y MATERIAL:

- 1.- Botón de presión, dos circuitos, rojo.
Contactos de doble interrupción, 1-NO
y 1-NC 10 Amp, 250 V_{máx} c-d ó c-a EMS 9101
- 2.- Botón de presión, dos circuitos, negro.
Contactos de doble interrupción, 1-NO
y 1-NC 10 Amp, 250 V_{máx} c-d ó c-a EMS 9103

- 3.- Interruptor de palanca de 3 vías, 10 Amp, 250 V c-a EMS 9104
- 4.- Interruptor de palanca de 4 vías, 10 Amp, 250 V c-a EMS 9105
- 5.- Conector electromagnético, cuatro polos, dos circuitos. Contactos de doble interrupción, 4-NO y 4-NC 10 Amp, 250 V_{máx} c-a EMS 9106
- 6.- Relevador de retraso, neumático, dos polos. Contacto doble ruptura, 2-NO y 2-NC 10 Amp, 250 V_{máx} c-a
- y:
- Relevador de control, cuatro polos. - Contactos de doble ruptura, 2-NO y 2-NC 10 Amp, 250 V_{máx} c-a EMS 9107
- 7.- Relevador de control, sensible, 1 Amp continuo a 120 V c-a ó 28 V c-d EMS 9108
- 8.- Relevador de sobrecarga, 1.1 a 2.1 - Amp, térmico, tres polos a 120 V c-a EMS 9109
- 9.- Interruptor de circuito, 5 Amp, magnético tres polos. Con palanca de tres polos "encendido-apagado" 5 Amp continuos a 240 V c-a EMS 9110

- 10.- Reloj secuencial, operado por motor ,
10 Amp a 220 V c-a EMS 9111
- 11.- Interruptor de leva de tipo de tambor,
cinco posiciones, cinco polos, cinco
contactos de doble interrupción, 25 Amp
continuos 240 V c-a_{máx} ó 120 V c-d_{máx} EMS 9112
- 12.- Interruptor de enchufe 1 Amp a 120 V c-a
ó c-d EMS 9113
- 13.- Estuche portátil 28.6 cm de alto X 87
cm de ancho X 45.7 cm de profundidad EMS 9901
- 14.- Freno electromagnético, bobina de ope
ración para 120 V c-a ó c-d EMS 9114
- 15.- Resistencias de alambre, 10 Ω , 5%, 40
watts EMS 9115
- 16.- Resistencias de alambre, 100 Ω , 5%,-
40 watts EMS 9116
- 17.- Resistencias de alambre, 1000 Ω , 5%,
40 watts EMS 9117
- 18.- Capacitor electrolítico, 1000 MF, 150
V c-d con resistencia de descarga de
27 K EMS 9118

19.- Capacitor tubular 1 MF, 400 V c-d

y:

	Diodo de silicio 3 A, 400 V	EMS 9119
20.-	Lámpara piloto, roja, 120 V con resistencia de sobrecarga repentina de 1 K	EMS 9120
21.-	Lámpara piloto, verde, 120 V con resistencia de sobrecarga repentina de 1 K	EMS 9121
22.-	Cable remoto	EMS 9122
23.-	Transformador de control 208/180/104V a 120 V, 25 VA, 60 Hz	EMS 9123
24.-	Zumbador de prueba con batería interna	EMS 9124
25.-	Cierre mecánico de combinación	EMS 9125
26.-	Volante de inercia	EMS 9126
27.-	Tablero de componentes	EMS 9127
28.-	Conjunto de puntas de conexión, 40 - cables de conexiones con enchufes de banana	EMS 9128

INTRODUCCION TEORICA:

Como con cualquier tema de t3pico t3cnico, la terminolog3a relacionada con los controles de equipo el3ctrico es bastante importante. Es por este motivo que en los siguientes p3rrafos de este trabajo se hace 3nfasis en la teor3a de operaci3n de los equipos y t3rminos de control relacionados con los motores.

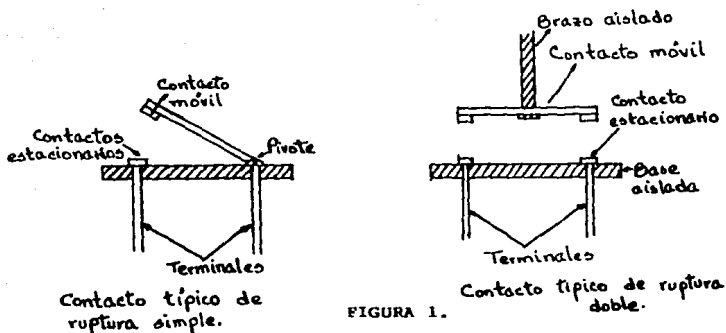
Cada circuito de control, est3 compuesto de un cierto n3mero de componentes b3sicos conectados entre s3 para cumplir con un comportamiento determinado. El principio de operaci3n de estos componentes es el mismo y su tama3o var3a dependiendo del equipo que van a controlar.

1.- A3n cuando la variedad de componentes es amplia, los principales elementos el3ctricos de control son los que a continuaci3n se mencionan:

1.1 CONTACTOS:

Un contacto consiste en bornes conductores conectados a las terminales y que estan dise3ados para resistir de la mejor manera los arcos el3ctricos y las chispas que se generan al completar o interrumpir un circuito el3ctrico.

Un contacto puede estar normalmente abierto (NO). En el caso de contactos accionados magneticamente, el estado normal ocurre cuando la bobina est3 sin energizar.



1.2 Los interruptores de tipo tambor son dispositivos manuales que tienen un grupo de contactos fijos e igual número de contactos móviles. Estos contactos permiten obtener las posiciones de abierto y cerrado con una secuencia determinada por una manija rotatoria. Ya que las levas están preajustadas, se debe proporcionar una tabla de funcionamiento de los contactos (fig. 2).

Continuo	15Aca/cs				
Cierre	180Aca/cs				
Apertura	165Aca/cs				
Contactos	H1	H2	OFF	L1	L2
1 2	X	X			
3 4				X	X
5 6	X				
7 8					X
9 10			X		
X = Contacto cerrado					

FIGURA 2.

1.3 El interruptor de conmutación, tiene un contacto conectado a un brazo que cuando cambia de posición interrumpe un circuito normalmente abierto. Cuando se regresa la palanca los contactos se mantienen en su nuevo estado (acción mantenida) fig. 3.

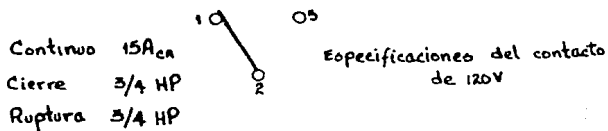


FIGURA 3.

1.4 PUSH BOTON:

Los botones de presión son interruptores que se activan por medio de la presión de los dedos, de manera que se cierren o abren dos o más contactos. Cuando se libera, un resorte regresa los contactos a su posición original (acción momentánea) fig. 4



ESTACIONES DE BOTONES

10250

Servicio Normal. Accesorios de Arrancador para ejecutar la operación de Arrancar, Parar o invertir la marcha a control remoto. Control en 2 ó 3 hilos.

- De 2 o 3 botones
- Dispositivo de seguro
- 1 o 2 lámparas piloto
- En caja de usos generales, a Prueba de agua o prueba de explosión

EN CAJA NEMA 1 DE USOS GENERALES

DESCRIPCION	CONTACTOS	LEYENDA	CAT. 1929	PRECIO
UN BOTON		ARRANCAR	HS100	
		PARAR	HS101	
DOS BOTONES		ARRANCAR-PARAR	HS200	
		ARRANCAR-PARAR (CON SEGURO EN PARAR)	HS200-S	
		SUBIR-BAJAR	HS201	
		ADELANTE-REVERSA	HS202	
TRES BOTONES		SUBIR-BAJAR-PARAR	HS301	
		ADELANTE-ATRAS-PARAR	HS302	
		RAPIDO-LENTO-PARAR	HS304	
DOS BOTONES CON LAMPARA ROJA		ARRANCAR-PARAR	HS100-1	
			HS100-2	
			HS100-3	
DOS BOTONES CON DOS LAMPARAS ROJAS		ARRANCAR-PARAR	HS100-1	
			HS100-2	
			HS100-3	
D-SPOSITIVO DE SEGURO (PARA BOTON PARAR)		ROJA AMARILLA	HS110	

EN CAJA NEMA 4-S A PRUEBA DE AGUA Y POLVO

DOS BOTONES		ARRANCAR-PARAR	HS304
-------------	--	----------------	-------

EN CAJA NEMA 7-9 A PRUEBA DE EXPLOSION

DOS BOTONES		ARRANCAR-PARAR	HS104
-------------	--	----------------	-------



1.5 CONTACTORES ELECTROMAGNETICOS:

Los contactores son dispositivos para establecer e interrumpir repetidamente un circuito de energía eléctrica. Un contactor electromagnético es un relevador del tipo de potencia con contactos de trabajo pesado para interrumpir cargas industriales. El diseño del magneto de un contactor de c-a consiste en un núcleo estacionario y una armadura móvil. El magneto, hecho de acero laminado de alta permeabilidad, proporciona la trayectoria para el campo magnético que establece la corriente de la bobina. Este campo atrae la armadura hacia el núcleo. Los contactos móviles de la armadura hacen conexión con los contactos estacionarios, completando un circuito eléctrico.

Cuando se interrumpe la corriente de bobina, el campo magnético desaparece y mediante resortes se regresa la armadura a su posición original, separando con ello los contactos. Los contactores pueden tener contactos auxiliares para hacer funcionar lámparas indicadoras, relevadores, otros contactores y para fines de retención o cierre de combinación.

El contactor electromagnético (cuyo diagrama se muestra en la fig. 6) es un relevador universal de cuatro polos y tipo de potencia, que permite una diversidad de arreglos de contacto abierto y cerrado. Cada polo universal consiste en dos pares estacionarios de contactos de doble interrupción de plata sólida para trabajo pesado. Un par está normalmente cerrado y el otro normalmente abierto.

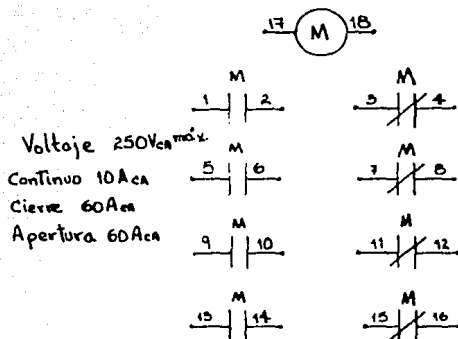


FIGURA 5.
 Especificaciones del contacto

1.6 RELEVADOR DE TIEMPO:

Un relevador de tiempo ó de retraso es un dispositivo de circuito de control que suministra una función de conmutación con el paso del tiempo. Puede haber muchos tipos de relevadores de tiempo, tales como los operados por motor, hidráulicos, de decaimiento de flujo magnético, de descarga de capacitor y electrónicos. Sin embargo, las características de construcción y comportamiento del relevador con retraso neumático lo hacen adecuado para la mayoría de las operaciones de control industrial. Un relevador con retraso neumático es un dispositivo de restablecimiento que utiliza el escape de un fluido ó aire a través de un orificio ajustable.

A los relevadores de tiempo que provocan un retraso en la activación de la carga se les conoce como relevadores de retraso.

El relevador de este tipo consta de una bobina de operación, una cabeza neumática y dos conjuntos de contactos. El conjunto inferior de cuatro polos de contactos de plata sólida de doble interrupción (dos normalmente cerrados y dos normalmente abiertos) actúa instantáneamente suministrando energía a la bobina de operación. La pareja superior de contactos (uno normalmente cerrado y uno normalmente abierto) se abre ó cierra con un retraso de tiempo después de que se ha dado energía a la bobina. Girando la rueda de ajuste, se pueden obtener retrasos repetidos (dentro de 15%) entre 0.2 y 1.0 segundos.

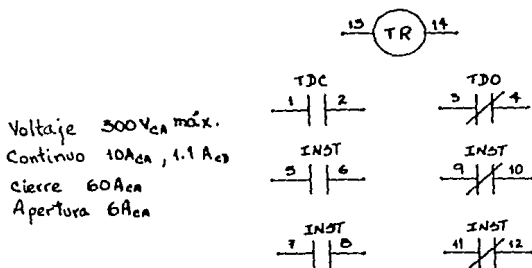


FIGURA 6.
Especificaciones del contacto

1.7 RELEVADOR DE CONTROL:

Los relevadores de control se diseñan para utilizarlos como dispositivos en circuitos piloto, en los circuitos de control de diferentes relevadores, contactores ú otros dispositivos. Debido a sus requerimientos más bajos de corriente y voltaje, los contactos pueden ser mucho más pequeños y tener menos separación. Su potencia de operación es relativamente baja y se pueden clasificar como relevadores de trabajo ligero, tipo sensible.

El voltaje de retención es bajo y permite que este relevador también sea utilizable en determinadas aplicaciones como detector de pérdida de campo e indicador de velocidad cero. Ver fig. 7.

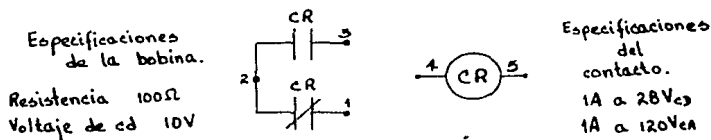


FIGURA 7.
Relvador de control

1.8 Otro tipo del relevador de sobrecarga es el dispositivo bimetálico de tres elementos que actúa como un interruptor interconstruido cuando se sobre calienta uno de los tres elementos. Se puede ajustar fácilmente el relevador para que se dispare dentro de un rango de varios Amp haciendo girar el disco calibrado que está en la parte superior de la unidad.

Los elementos bimetálicos tienen una función de retraso incorporada que impide el disparo inconveniente durante el arranque del motor. Después del disparo se requiere un periodo de enfriamiento antes de que se restaure el relevador fig. 8.

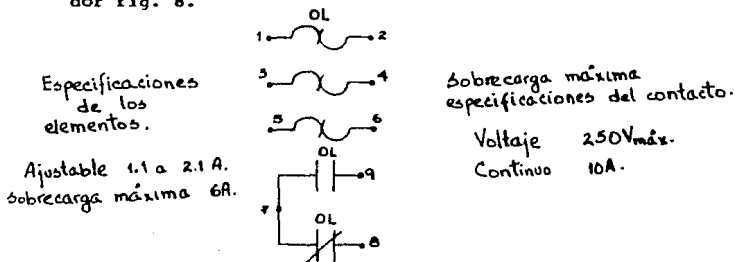


FIGURA 8.
Relvador de sobrecarga

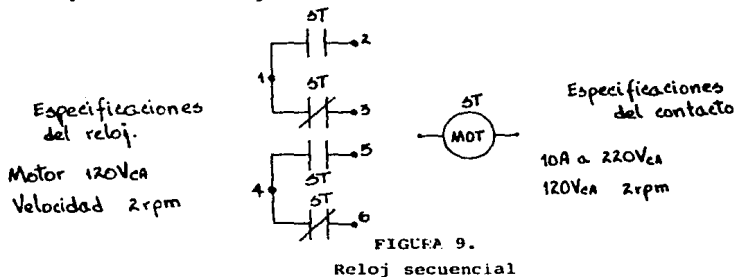
1.9 RELOJ SECUENCIAL:

Un reloj secuencial del tipo de leva de recirculación operado por motor, es un dispositivo de control piloto que

se utiliza cuando debe ocurrir un proceso definido de "encendido" ó "apagado" ó una secuencia de operaciones dentro de un intervalo dado. Los relojes secuenciales cíclicos abren y cierran interruptores de acuerdo con un programa fijo. El ciclo de funcionamiento se repite hasta abrir el circuito del motor que mueve el reloj.

El reloj secuencial tiene un pequeño motor síncrono como los que se utilizan en los relojes eléctricos, que opera a un tren de engranajes.

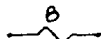
La flecha de baja velocidad del tren de engranajes lleva dos levas ajustables que a su vez hacen funcionar dos micro-interruptores de un polo, doble tiro. Se puede ajustar cada leva para que proporcione un periodo de "encendido/apagado" desde 2% hasta 98% del ciclo completo. Se han preajustado ambas levas para un ciclo de 50% de "encendido" y 50% de "apagado". Las levas también se fijan en la flecha para girar a 90° entre sí, dando una diferencial de tiempo de operación. Ver fig. 9.



1.10 FRENOS MAGNETICOS:

Los frenos mecánicos se utilizan en diversas aplicaciones de motores no sólo para conseguir la parada rápida de un motor, sino también para impedir que una carga estacionaria se mueva por influencia de la gravedad ú otras fuerzas; se pueden emplear en combinación con sistemas de frenado eléctrico (dinámico). El freno se aplica conforme el motor reduce velocidad y actúa para retener al motor después de que ha cesado el movimiento. Se pueden diseñar los frenos electromagnéticos para que proporcionen torsión de retención cuando la bobina tiene energía ó cuando no la tiene.

El freno magnético es un freno electromagnético de tipo de disco que se monta directamente en cualquier placa frontal del módulo de motor. Suministra torsión de retención cuando tiene energía. La bobina del magneto está sujeta a un plato fijo de fricción. El conjunto de disco y resorte de retención está montado en la flecha del motor y tiene libertad para girar. Cuando la bobina recibe energía a 120 volts, se establece un campo magnético que atrae el disco y lo pone en contacto con la placa de fricción. Cuando se interrumpe la energía a la bobina, se desvanece el campo magnético y la acción del resorte separa al disco de la placa de fricción, liberando al freno. Ver fig. 10.



Bobina del freno.

Bobina 120Vca/60 y 8W
Torsión 20lb.-ft.pulg.

FIGURA 10.

Freno magnético. Especificaciones

1.11 LAMPARAS INDICADORAS:

Las lámparas indicadoras son dispositivos piloto que generalmente se montan en ó cerca de los botones de conmutación. Sirven para mostrar una condición de funcionamiento específico del motor tal como directa, reversa, rápido, lento, ascenso, descenso, sobrecarga, etc. Aunque generalmente son rojas ó verdes, se pueden utilizar otros colores tales como el ámbar, azul ó blanco.

Las lámparas que comunmente se utilizan son las incandescentes que funcionan con 120 V c-a ó c-d. Tienen resistencias limitadoras de corriente interconstruídas para protegerlas contra los impulsos de voltaje elevado. Ver fig. 11.



FIGURA 11.
Lámparas indicadoras

1.12 CONJUNTO DE CABLE REMOTO:

Las funciones de operación de un motor tal como arranque, parada, directa, reversa, rápido y lento generalmente se controlan desde una estación de interrupción (con botón

de presión e interrupción de palanca) controlada manualmente. La estación de control puede estar ubicada próxima al controlador físico del motor, ó lejos del mismo. Las corrientes del circuito de control son relativamente pequeñas y la longitud de los conductores que van del controlador del motor a una estación remota de botones no afectan materialmente el funcionamiento del controlador.

1.13 TRANSFORMADORES DE CONTROL:

Los transformadores de control son dispositivos diseñados especialmente para proporcionar bajo voltaje (usualmente 120 volts; en forma razonablemente constante y segura para relevadores, contactores y otros dispositivos electromagnéticos. Las fallas, rupturas, alambrado descuidado y demás del circuito de control pueden exponer al operador a choque eléctrico que puede ser grave a mayores voltajes (tal como 440 volts).

Además del factor de seguridad, otra razón de limitar los circuitos de control a 120 volts es el costo de los dispositivos piloto, relevadores de control, contactores y demás para funcionar a altos voltajes.

1.14 VOLANTES:

Un volante es una rueda relativamente pesada sujeta a un eje ó flecha. Su propósito es suavizar los cambios repentinos en la velocidad de la flecha provocados por las fluctuaciones de carga periodica tal como los que se encuentran en prensas de perforación, compresoras de aire del tipo

de pistón y bombas de agua. Proporciona inercia para mantener a la flecha girando en forma uniforme durante los periodos de carga cíclica máxima. El volante absorbe energía del motor conforme se aproxima a la máxima velocidad y libera energía cuando la velocidad tiende a disminuir.

Los pequeños motores eléctricos poseen inercias que son, proporcionalmente, mucho más pequeñas que las de las máquinas grandes, con el resultado de que alcanzan su velocidad normal con mayor rapidez.

En consecuencia se les debe agregar inercia para que estas pequeñas máquinas se comporten como las grandes, para lo cual se agrega la rueda de inercia.

Para nuestro caso y como ejemplo usaremos un volante diseñado para almacenar 74.8 Joules (550 libras-pie) de energía cuando gira a 1800 rpm. El motor debe suministrar esta energía total durante su aceleración desde el reposo a la velocidad máxima. Utilizando el volante como una carga simulada de alta inercia, se pueden observar y medir las características de arranque de motor. El volante de inercia se fija a la flecha del motor girando el tornillo de control de fijación en el sentido de las manecillas del reloj hasta que la varilla con punta de latón establezca contacto con la flecha. Para todos los experimentos basta la presión aplicada manualmente al tornillo. Ver fig. 12.

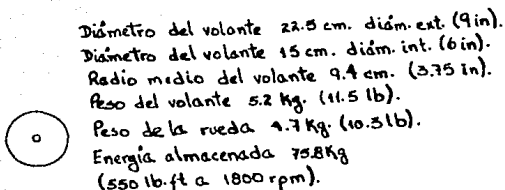


FIGURA 12.

Especificaciones del volante de inercia

2.- Los equipos de protección más importantes empleados en este Laboratorio son:

2.1 INTERRUPTORES:

Los interruptores de cuchilla, constituyen uno de los medios más elementales de control de los motores eléctricos, ya que conecta o desconecta a los equipos de la fuente de alimentación. Por lo general tienen un fusible por conductor y están diseñados para conducir la corriente nominal por un tiempo indefinido y para soportar la corriente de arranque por periodos breves de tiempo.

2.2 Un interruptor termomagnético permite abrir en forma automática cuando el valor de la corriente que circula por ellos, excede a un cierto valor prefijado. Después

de que estos interruptores se disparan se deben restablecer en forma manual. Ver fig. 13.

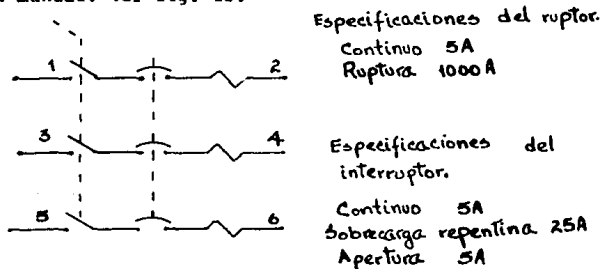


FIGURA 13.

2.3 RELEVADOR DE SOBRECARGA:

El relevador de sobrecarga es un dispositivo de circuito de control, para proteger a un motor contra cargas excesivamente pesadas. En serie con los conductores de línea del motor se conectan elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente. Cuando se produce algún valor predeterminado de corriente de sobrecarga, el relevador se dispara y corta la energía a los controles de arranque, lo que para al motor. Se proporciona un botón de restablecimiento manual o automático para restablecer el funcionamiento del circuito de control.

2.4 CIERRES DE COMBINACION MECANICA:

Los cierres de combinación mecánica y eléctrica, se utilizan para impedir el cierre simultáneo de dos contactores.

Dos ejemplos son contactores de inversión de motores o los contactores en motores de velocidades múltiples. Hay muchas formas de cierres de combinación mecánica, los cuales se arreglan para funcionar de manera que cuando se cierra un contactor, se mueve e impide el cierre del segundo contactor.

El cierre de combinación mecánica consiste en un brazo metálico articulado al centro con una abrazadera metálica. Cuando se monta entre dos contactores, los extremos del brazo traban cada armadura. Cuando cierra un contactor, su armadura se levanta jalando el brazo al mismo tiempo, haciendo que el otro extremo del brazo se mueva hacia abajo e impida que cierre el otro contactor. Ver fig. 14.



FIGURA 14.
Cierre de combinación mecánica

2.5 INTERRUPTORES DE ENCHUFE:

Un interruptor de enchufe es un dispositivo detector, conectado mecánicamente a una flecha de motor para proporcionar

conmutación eléctrica independiente de la dirección en que trabaja el motor.

A veces se conoce como interruptor de velocidad cero y puede servir para parar automáticamente un motor en forma rápida. El interruptor impide la inversión rotacional después de que se ha enchufado eléctricamente (como por ejemplo invirtiendo el voltaje de línea o la secuencia de fases).

El interruptor de enchufe es un interruptor de tres terminales. El brazo móvil se conecta eléctricamente a la terminal central. Una banda conectada al brazo pasa sobre una flecha controlada por el motor. Si el motor comienza a girar en la dirección que siguen las manecillas del reloj, la banda empuja al brazo de contacto hasta que se cierran los contactos del lado derecho. Se impide que el brazo se mueva todavía más y la banda que empuja al brazo de contacto se desliza sobre la flecha, manteniendo cerrados los contactos por fricción.

La rotación del motor en sentido contrario al de las manecillas del reloj abre los contactos de la derecha y cierra los contactos de la izquierda.

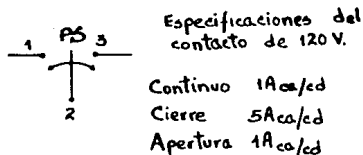


FIGURA 15.

Especificaciones del contacto de 120 V.

3.- El equipo de prueba con que cuenta el Laboratorio es el siguiente:

3.1 EL ZUMBADOR DE PRUEBA:

El zumbador de prueba es un dispositivo de señales audibles que utilizan los electricistas para identificar los alambres y terminales interconectados directamente. Determina si los contactos de un interruptor están abiertos o cerrados o si un alambrado tiene un corto circuito.

A diferencia de un óhmetro, el zumbador no indica continuidad de circuito si hay resistencia muy grande.

El zumbador de prueba es un dispositivo autocontenido, de bajo voltaje, operado por batería. Como todos los instrumentos de prueba, se debe comprobar antes de utilizarlo. Al conectar un cable a las dos terminales polarizadas, se completa el circuito externo y se debe escuchar un zumbido, el cual debe ser débil (o la falta de zumbido) indica una batería débil o muerta. Ver fig. 16.

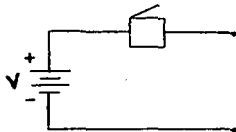


FIGURA 16.
Zumbador

3.2 TABLERO DE COMPONENTES:

El tablero de componentes proporciona un método conveniente de armar los dispositivos para realizar los experimentos anotados en este trabajo de tesis.

Los tableros (2) se montan verticalmente en las aberturas del módulo de la consola. Hay muelles de hoja de fijación que mantienen a los tableros en su sitio. Los tableros también proporcionan un camino a tierra para el marco metálico de cada dispositivo de control. Este camino pasa por la pista metálica hasta la terminal de tierra ubicada en la esquina inferior izquierda.

Durante cada experimento es necesario conectar esta terminal mediante un cable apropiado, a una de las terminales "N" de la fuente de energía.

3.3 RESISTENCIAS:

Las resistencias se utilizan en los circuitos de control de motores para limitar el flujo de la corriente durante determinados periodos de funcionamiento. También se utilizan como divisores de voltaje o para limitar el voltaje aplicado a los dispositivos piloto.

Contrario a los inductores o capacitores, las resistencias no pueden almacenar energía eléctrica, sino que la disipan en forma de calor.

Los elementos de resistencia son dispositivos del tipo de potencia que pueden soportar grandes sobrecargas por periodos reducidos. Ver fig. 17.

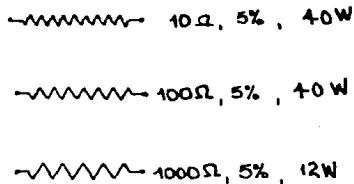


FIGURA 17.
Especificaciones de las resistencias

3.4 CAPACITORES Y DIODOS:

Los capacitores se utilizan en los circuitos de control de c-d para suprimir los arcos entre los contactos de relevadores, para dar tiempo en la operación de relevadores y disminuir el rizo de voltajes rectificadas. Algunos dispositivos de control funcionan más eficientemente con c-d que con c-a.

Los diodos permiten que la corriente fluya sólo en una dirección por lo que tienen la habilidad de convertir (rectificar) la c-a en c-d pulsante.

La amplitud de las pulsaciones, ú ondulaciones se puede reducir conectando un capacitor de filtro a través de la carga. En operación a c-d, los diodos se pueden colocar en paralelo con las bobinas para reducir los altos voltajes inversos inductivos durante la conexión y desconexión. Ver fig. 18 la que a su vez está conectada internamente al conductor de tierra de la línea de energía de entrada.

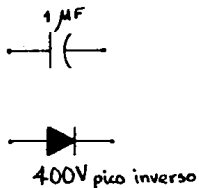


FIGURA 18.
Especificaciones del capacitor y diodo

3.5 CABLES PARA CONEXION:

El conjunto de cables para conexión, consiste en cables de conexión con clavijas de banana de apilación. Estos cables altamente flexibles para uso pesado vienen en distintas longitudes y colores para utilizarlos en las interconexiones de los circuitos de control.

Hága sus conclusiones a esta práctica.

PRACTICA 2

"CONTROL DE FRECUENCIA DEL GENERADOR 3 ϕ "

OBJETIVOS:

- 1.1 Estudiar la estructura de un control electrónico y su funcionamiento con ciclo abierto.
- 1.2 Observar como influye la carga en la frecuencia del generador.
- 1.3 Estudiar la estructura de un control electrónico y su funcionamiento con ciclo cerrado.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Módulo de control de velocidad SCR	EMS 9011
2.-	Módulo de motor de C.D.	EMS 8211
3.-	Módulo de generador síncrono	EMS 8241
4.-	Módulo de medición de C.D.	EMS 8412
5.-	Módulo de voltmetro de C.A.	EMS 8426
6.-	Tacómetro de mano	EMS 8920
7.-	Cables de conexión	EMS 8941
8.-	Banda	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

Uno de los factores más importantes en lo que se refiere al control de los generadores es la frecuencia.

Si por alguna razón la frecuencia normal de las líneas de distribución bajara en un 15%, la industria se vería totalmente afectada, los motores trabajarían a menor velocidad y se sobre-calentarían al grado de quemarse, los equipos de seguridad variarían sus condiciones de disparo y todos los equipos eléctricos sufrirían en menor o mayor grado desperfectos.

Por esa razón se tienen complicados sistemas de seguridad para evitar que la frecuencia se salga de su rango con una regulación que es muy crítica.

Como es sabido, la frecuencia depende básicamente de la velocidad con que se mueve el rotor del generador, ya que los polos se encuentran fijos dentro de la armadura.

Por lo anterior, una manera de controlar que la frecuencia se conserve a determinado valor, es fijando la velocidad de la máquina que impulsa su flecha. La cual está sujeta a gran variación de la carga o para aplicado, ya que una manera de como se refleja la carga eléctrica en el generador, es la aplicación de un par mecánico en la flecha debido al flujo magnético que se establece en los devanados por los que circula la corriente proporcionada a la carga.

Como se sabe es posible controlar la velocidad de un

motor de c-d, haciendo variar el voltaje de armadura, en tanto se mantenga constante el voltaje del campo en derivación.

Muchos controladores para motores en derivación de c-d están provistos de rectificadores de silicio que se utilizan para hacer variar la potencia aplicada al motor. Cuando se utiliza un SCR para rectificar corrientes alternas, el punto del medio ciclo positivo de la corriente de entrada en el que se vuelve conductor el rectificador, se puede ajustar mediante la aplicación de una señal o excitación de la compuerta.

Se puede obtener un control de fase si se controla al instante en que se aplica la excitación o señal de disparo con respecto al cero correspondiente al inicio del medio ciclo positivo de la corriente alterna, con ello se puede hacer variar la potencia transmitida a través del SCR.

El control electrónico de SCR con ciclo abierto, tiene un amplio rango de velocidades; pero estas velocidades son poco estables cuando varía la carga.

Un controlador de velocidad sin retroalimentación está compuesto de una fuente de alimentación de campo y una de armadura, la cual se puede ajustar manualmente. Sin embargo con este controlador no se pueden evitar los cambios de velocidad debidos a variaciones en la carga.

En cambio el controlador de velocidad con retroalimentación se puede ajustar a fin de obtener la velocidad del motor que se desee. Está provisto de circuitos que detectan la veloci

dad del motor y ajustan automáticamente la potencia entregada al motor para mantener constante la velocidad aún cuando varíe la carga.

Todos los sistemas de retroalimentación diseñados para mantener un valor predeterminado en alguna magnitud, deben contar con un valor de referencia a fin de comparar con él la magnitud en cuestión. Por lo tanto, si se desea mantener constante la velocidad de un motor, el controlador debiera comparar su magnitud real con dicho valor de referencia. No obstante sería difícil comparar velocidades en sistemas que son básicamente eléctricos. Por esa razón se prefiere utilizar una magnitud eléctrica y compararlo con la referencia.

La diferencia o error entre el voltaje medido y el de referencia, se puede utilizar para "indicar" al sistema si debe aumentar o disminuir la velocidad con el fin de mantenerla lo más cerca posible del valor requerido.

DESARROLLO:

- 1.- Alambre el siguiente circuito utilizando sólo las partes indicadas del módulo de control de velocidad SCR (fig. 1).

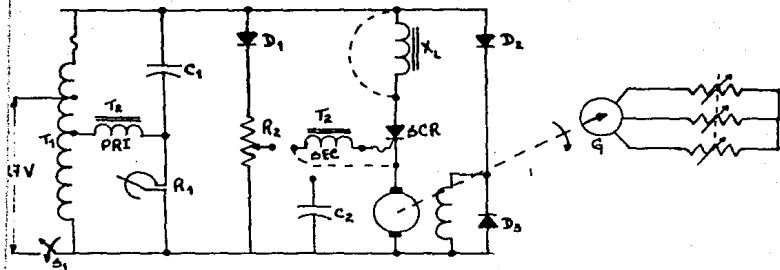


FIGURA 1.

- 2.- Observe que la reactancia X_L se encuentra en corto circuito y verifíquelo en sus conexiones.

- 3.- Conecte el módulo de control a una fuente disponible de potencia.
- 4.- Encienda la fuente, el motor debe funcionar con R_1 en su posición extrema para una resistencia máxima.
- 5.- Ajuste R_1 hasta obtener un voltaje de armadura de 90 Vc-d, mida la corriente de armadura y de campo así como la velocidad y anótelos en La tabla 1.
- 6.- Repita el procedimiento anterior para cada voltaje indicado en la tabla 1. Apague la fuente.

V (Volts)	I_A (A)	I_F (A)	ω (rpm)
90	0.30	0.340	1120
105	0.31	0.342	1360
120	0.32	0.346	1550
135	0.34	0.348	1700
150	0.36	0.350	1870

TABLA 1.

- 7.- Acople el generador al motor por medio de la banda.
- 8.- Con el generador sin carga encienda la fuente y ajuste la velocidad del motor a 1800 RPM mida la frecuencia del generador $F =$
- 9.- Aplique una carga de 1200Ω y mida la frecuencia $F =$
- 10.- Apague la fuente.
- 11.- Haga los cambios necesarios para tener el circuito ilustrado (fig. 2). Quite la banda entre el motor y el generador.

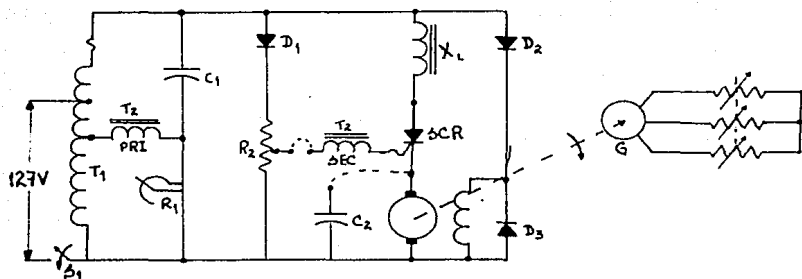


FIGURA 2.

- 12.- Encienda la fuente y ajuste el reóstato para obtener un voltaje de 90 Vc-d y anote los resultados en la tabla 2.

- 13.- Repita el procedimiento anterior para cada uno de los voltajes que marca la tabla 2.

V (volts)	I_A (A)	I_F (A)	ω (rpm)
90	0.150	0.360	1180
105	0.152	0.380	1400
120	0.154	0.385	1560
135	0.180	0.388	1720
150	0.182	0.389	1900

TABLA 2.

- 14.- Acople el generador al motor y sin aplicar carga al generador ajuste la velocidad a 1800 RPM y mida la frecuencia $F =$
- 15.- Aplique una carga de 1200 y anote sus resultados en la tabla 3.
- 16.- Repita el procedimiento anterior para cada una de las cargas medidas.

R_2 (Ω)	ω (rpm)	f (Hz)	V (volts)
∞	1800	60.0	90
1200	1800	59.8	90
600	1795	59.4	90
300	1790	58.4	90
140	1787	58.0	90

TABLA 3.

PRACTICA 3

"ARRANQUE DE MOTOR DE INDUCCION A TENSION PLENA O VOLTAJE DE LINEA"

OBJETIVOS:

- 1.1 Construir un arrancador de 3 ϕ a través de la línea.
- 1.2 Determinar el tiempo de disparo en función de la sobrecarga para el relevador de sobrecarga térmica.
- 1.3 Controlar un motor de 3 ϕ desde dos estaciones.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|------------------------------|----------|
| 1.- | Botón rojo (2) | EMS 9102 |
| 2.- | Botón negro (2) | EMS 9103 |
| 3.- | Contactador electromagnético | EMS 9106 |
| 4.- | Relevador de sobrecarga | EMS 9109 |
| 5.- | Ruptor de circuito | EMS 9110 |
| 6.- | Lámpara de piloto roja | EMS 9120 |
| 7.- | Conjunto de cables remotos | EMS 9122 |

8.-	Transformador de control	EMS 9123
9.-	Tablero de componentes (2)	EMS 9127
10.-	Cables de conexión	EMS 9128
11.-	Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla (3 ϕ)	EMS 8221
12.-	Lámpara piloto verde	EMS 9121

INTRODUCCION TEORICA:

Hay básicamente dos tipos de controladores de motor para funcionamiento a voltaje total: manuales y magnéticos. Considere el problema simple de arrancar y parar un motor de inducción trifásico con el dispositivo de control localizado en el motor. Para arrancar el motor sólo se necesita suministrar energía de c-a a sus terminales; para detenerlo basta con interrumpir la energía de c-a y permitir que el motor reduzca gradualmente su velocidad.

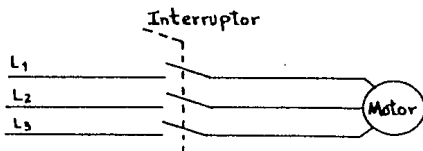


FIGURA 1.

En consecuencia, todo lo que se requiere es un mecanismo de contactos en el conjunto del motor y la manera de abrirlos y cerrarlos. La fig. 1 muestra ese circuito. En un controlador manualmente operado, la manera de abrir y cerrar los contactos es simplemente un interruptor operado manualmente. Observe que cada línea de fuerza se identifica en su punto de origen como L1, L2 y L3. Los números de identificación de las terminales del motor T1, T2 y T3 están marcados en los puntos de unión de las líneas de fuerza y el motor.

Una de las componentes faltantes en este circuito es alguna previsión para proteger al motor contra la sobrecarga. Una unidad de relevador (de protección) contra sobrecarga del motor es un dispositivo que detecta la cantidad de corriente que toma el motor; cuando la corriente excede un valor predeterminado, la unidad de protección responde y desconecta el motor de la línea. La fig. 2 muestra dicha unidad de protección, compuesta por tres detectores de sobrecarga OL en serie con la línea de fuerza y un contacto de control normalmente cerrado.

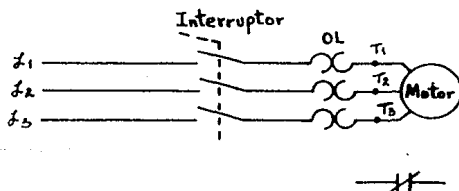


FIGURA 2.

Este contacto de control responde a una condición de sobrecarga en los sensores.

Si se requiere control remoto, se necesita un controlador magnético. Todavía se tendrá un conjunto de contactos en el circuito principal del motor para iniciar y parar el flujo de corriente eléctrica al motor, pero en vez de abrir y cerrar estos contactos normalmente, se hará en forma electromecánica. El elemento de control es la bobina de operación del contactor, de ahí el nombre de contactor electromagnético o arrancador magnético. Cuando se dá energía a esta bobina, su campo magnético cierra los contactos del circuito del motor. Para fines de control, se necesita una fuente de energía para la bobina, además de un medio de suministrar y cortar la energía a voluntad. En la fig. 3 se muestra una de las maneras más simples de hacerlo.

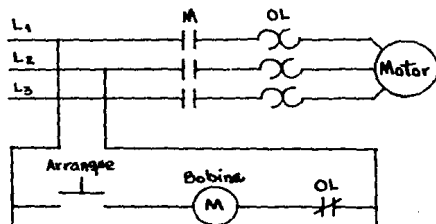


FIGURA 3.

La energía para el circuito de control proviene de una derivación en las líneas L1 y L2 adelante de los contactos principales. La bobina de operación, el botón de arranque y el contacto de sobrecarga (OL) están conectados en serie a través de los dos terminales del circuito de control. Observe que para distinguirlas del circuito de control se ha dibujado con líneas gruesas a las líneas de fuerza y sus componentes asociadas.

Para satisfacer el requerimiento de protección contra sobrecarga, se conecta a los elementos de sobrecarga térmica en serie con cada línea de energía.

El relevador de sobrecarga tiene un contacto normalmente cerrado (OL) conectado en serie con la bobina de operación. El sobrecalentamiento de cualquiera de los elementos térmicos hace que este contacto se abra, lo que corta la corriente a la bobina del contactor y abre los contactos principales (M). Con este circuito es necesario que el interruptor de control se mantenga cerrado durante el tiempo que esté encendido el motor, a lo que se conoce como circuito de "contacto mantenido" o control de dos hilos. Un método común que se utiliza para abrir y cerrar este contacto es un botón de presión de contacto mantenido.

La mayoría de los motores industriales están provistos de un control que protege a los operarios de cualquier arranque automático del motor que pudiera tomarlos desprevenidos y producirles heridas, ya sea debido al movimiento de partes mecánicas o a choques eléctricos. El re arranque automático puede ocurrir después de:

- 1.- La interrupción momentánea del circuito principal de la línea de energía.

- 2.- Una momentánea caída de voltaje de la línea de control por debajo "valor de retención" de la bobina del contactor.
- 3.- El cierre de nuevo del relevador de sobrecarga.

La protección puede lograrse sustituyendo los botones de acción momentánea por los de tipo de contacto mantenido y agregando un contacto auxiliar de "retención" o de sellado al contactor electromagnético.

La fig. 4 muestra este tipo de circuito. Cuando se oprime el botón de arranque, la corriente fluye en el circuito de control, dando energía a la bobina de operación.

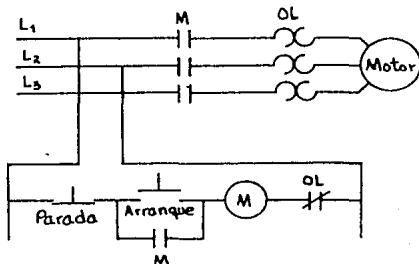


FIGURA 4.

El flujo de corriente en la bobina forma un campo magnético que hace que se cierren los contactos M (más el contacto auxiliar "de retención") del contactor principal. La corriente fluye en el circuito del motor y este arranca.

El motor sigue trabajando después de que se libera el botón de arranque debido a que el contacto auxiliar (que ahora está cerrado) proporciona una trayectoria para la corriente a través de la bobina de operación. Al oprimir el botón de presión de parada, se abre el circuito de la bobina de operación, lo que hace que se abran los contactos (más el contacto auxiliar "de retención"), que a su vez para el motor. El motor no puede arrancar de nuevo sino hasta que se oprima nuevamente el botón de arranque. A este tipo de circuito se conoce como circuito "de contacto momentáneo" o control de tres estaciones.

Se necesitan dos características adicionales de control: la manera de desconectar el circuito de rama del motor del circuito alimentador de distribución y un dispositivo de sobrecorriente para proteger al motor y su línea alimentadora contra cortocircuitos y tierras. Esto se logra con el circuito de la fig.5.

El ruptor del circuito de tres polos, interrumpe en forma segura las corrientes extremadamente altas que fluirían en el circuito de rama si se desarrolla un corto circuito. El ruptor de circuitos de tres polos también actúa como interruptor de desconexión.

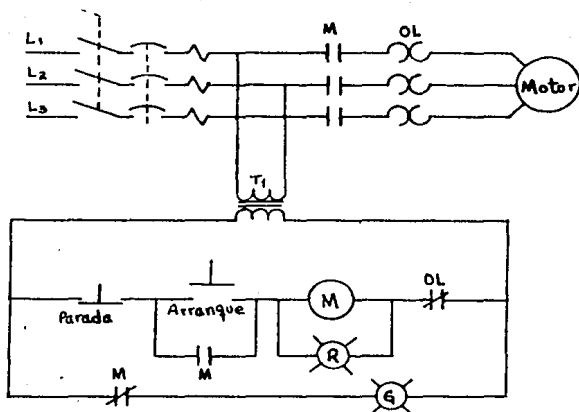


FIGURA 5.

Dos dispositivos adicionales de seguridad son el transformador de control y la lámpara piloto. El transformador permite que el circuito de control funcione a 120 volts en lugar de al voltaje más elevado de la línea de alimentación, en tanto que la lámpara piloto indica visiblemente al operador que el motor está funcionando.

Del estudio anterior se ve que todo el controlador del motor debe realizar cuatro funciones básicas:

- 1.- Proporcionar la manera de arrancar y parar al motor.

- 2.- Dar protección contra cortos circuitos.
- 3.- Dar la manera de desconectar todo el circuito de -
rama del motor de su línea de alimentación.
- 4.- Dar protección contra sobrecarga del motor.

DESARROLLO:

La presente práctica pretende una participación más activa de los alumnos en la instalación y alambrado de los circuitos.

1.1 Se tiene un motor trifásico conectado a la línea - pero esto no nos da ningún control sobre el. ¿Cuál sería el primer sistema que nos permitiera controlar el movimiento del mo - tor? (parado y andando). Conectelo.

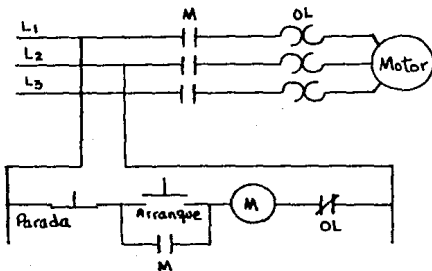


FIGURA 6.

1.2 Una unidad de motor no sólo debe contar con un apagador, debe tener además sistemas que lo protejan contra sobrecargas que podrían dañar los bobinados del motor, uno de estos equipos de PROTECCION es una unidad de relevador contra sobrecarga que evita que el motor trabaje a mayor corriente de la establecida. Incluya el relevador contra sobrecarga en su circuito.

1.3 En condiciones normales de operación los motores no son encendidos y apagados a través de interruptores de línea, sino que se utilizan estaciones de botones que protegen al usuario de exponerse a los voltajes de línea de los motores. Incluya en su circuito un contactor electromagnético que permita el encendido a través de una estación de botones debidamente protegido contra sobrecarga. Alámbralo.

1.4 Incorpore en su circuito un contactor de retención de encendido y un botón de apagado. Antes de proceder a incluirlo en su circuito discútalos en el pizarrón.

1.5 Su circuito requiere de una protección contra corrientes excesivas. Adicione el dispositivo de protección y conéctelo en su circuito.

El circuito debe ser conectado aproximadamente igual que el de la figura siguiente; si existen variantes discuta cual de ellas es la mejor opción.

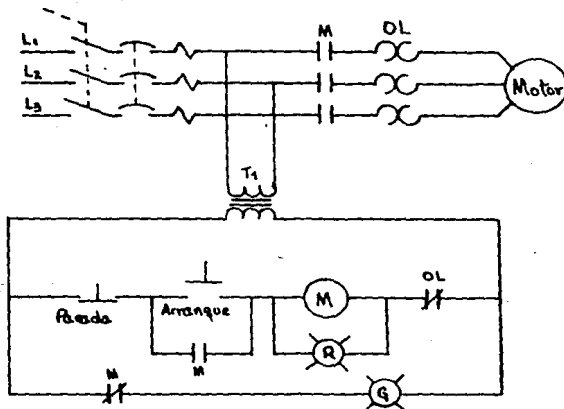


FIGURA 7.

1.6 Al diseño anterior se pueden agregar algunas características adicionales como son focos indicadores que muestren si el motor está encendido o apagado y nos ayudan para saber si existe alguna anomalía en nuestro circuito. Inclúyalos.

1.7 Otra característica podría ser que el circuito incluyera una señal de advertencia como una campana, un timbre, que pusiera en aviso a las demás personas que el motor se encenderá automáticamente después de un tiempo determinado, esto se logra usando un relevador de retraso de tiempo. Discuta en el grupo la manera de conectarlo y proceda a alambrrarlo.

1.8 Pruebe el funcionamiento de su circuito ajustando el dial de tiempo del relevador para que el motor arranque después de diversos retrasos de tiempo.

1.9 Incluya sus conclusiones y comentarios de la práctica en su reporte.

PRACTICA 4

" ARRANQUE DEL MOTOR DE INDUCCION A TENSION REDUCIDA "

OBJETIVOS:

- 1.1 Aprender el principio del arranque en un motor de inducción.
- 1.2 Construir un arrancador a tensión reducida del motor de inducción.
- 1.3 Comparar las características de funcionamiento del arrancador en Y-A contra los arrancadores con resistencia primaria y autotransformador.
- 1.4 Aplicar su criterio y habilidad en el alambrado de circuitos eléctricos.

EQUIPO Y MATERIAL:

1.-	Botón rojo	EMS 9102
2.-	Botón negro	EMS 9103
3.-	Contactador electromagnético (2)	EMS 9106
4.-	Relevador de retraso de tiempo	EMS 9107
5.-	Relevador de sobrecarga	EMS 9109
6.-	Ruptor de circuitos	EMS 9110

7.-	Lámpara piloto roja	EMS 9120
8.-	Lámpara piloto verde	EMS 9121
9.-	Volante de inercia	EMS 9126
10.-	Tablero de componentes	EMS 9127
11.-	Cables para conexión	EMS 9128
12.-	Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla (3 ϕ)	EMS 8221
13.-	Módulo medidor de C.A. (8 Amp)	EMS 8421
14.-	Módulo medidor de C.A. (250 volts)	EMS 8426
15.-	Módulo de fuente de energía	EMS 8821
16.-	Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
17.-	Juego de cables de conexión	EMS 8941
18.-	Banda de sincronización	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

Se puede arrancar cualquier motor moderno de jaula de ardilla de propósito general aplicando voltaje completo a sus terminales. Sin embargo, para impedir una caída excesiva en el voltaje de la línea de energía, es necesario reducir la corriente de

arranque. En un sistema de energía de bajo voltaje o en líneas alimentadoras largas, el arranque de un motor grande puede reducir el voltaje de línea hasta el punto en que se dificulte el funcionamiento de otros motores, luces o dispositivos en el mismo circuito.

La corriente se puede reducir limitando el voltaje aplicado en las terminales del estator del motor.

Un cambio en el voltaje aplicado a las terminales del estator produce un cambio proporcional en el flujo y corriente del rotor. Ya que el par del motor es proporcional al producto del flujo por la corriente del rotor, el par es proporcional al cuadrado del voltaje aplicado al estator, por lo tanto, al reducir el voltaje también se reduce el par del motor.

La resistencia primaria de arranque de la fig. 1 es una manera de reducir la corriente de arranque. La caída de voltaje en la resistencia, debida a la corriente del motor reduce el voltaje en las terminales del mismo.

Para determinar el voltaje deseado en el arranque del motor, el diseñador del equipo de control debe conocer su corriente de arranque (ó de rotor bloqueado) y el factor de potencia. La caída a través de la resistencia primaria debe restarse vectorialmente del voltaje de línea para determinar el voltaje que aparece en las terminales del motor. Al aumentar la velocidad del motor, la corriente del estator disminuye y con ella la caída de voltaje a través de las resistencias de arranque primarias. En consecuencia, el voltaje en las terminales del motor aumenta hasta que se desarrolla la velocidad máxima.

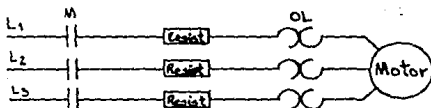


FIGURA 1.

En la fig. 2 se muestran las conexiones típicas de un arrancador de resistencia primaria. Se utilizan dos contactores de 3 polos. Un contactor A de aceleración conecta el motor a la línea a través de las resistencias de arranque, y el contactor principal M conecta el motor a la línea. El contactor de aceleración puede tener el mismo tamaño que el de línea, en los motores grandes puede ser más pequeño.

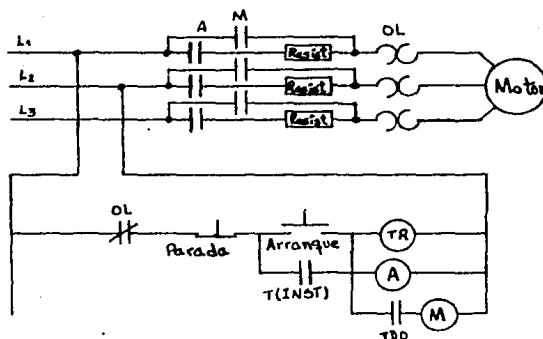


FIGURA 2.

Cuando se oprime el botón de arranque, el relevador de tiempo TR se energiza y queda operado por medio de sus contactos instantáneos a través del botón de arranque. Al mismo tiempo, - se cierra el contactor A de aceleración y conecta el motor a la línea con las resistencias de arranque en serie.

Después de un intervalo determinado por el ajuste del relevador TR, un contacto de dicho relevador suministra energía al - contacto de línea M. Las resistencias de arranque quedan en - corto circuito y se aplica todo el voltaje de línea al motor.

Cuando ocurre la transferencia de la conexión de arranque a la de marcha normal, la variación en la corriente de línea es - comparativamente pequeña.

2ª PARTE DE LA PRACTICA.

Otra manera de lograr el arranque a voltaje reducido es usando un transformador de reducción simple del tipo de autotransformador mostrado en la fig. 3.



FIGURA 3.

Con derivaciones el autotransformador en puntos específicos, se pueden lograr diversas reducciones en el voltaje de salida del arrancador.

Los autotransformadores proporcionan una manera más costosa, pero también más efectiva de reducir la corriente de arranque. Durante el ciclo de arranque, el voltaje de las terminales del motor se reduce en proporción a la relación de vueltas de transformador.

Excepto por la caída de voltaje a través del transformador, el voltaje de terminal se mantiene relativamente constante. En términos de la corriente de línea y para una reducción dada en el par de arranque, el arranque por autotransformador da una mayor reducción en la corriente de arranque que el arranque con resistencia primaria.

El arrancador con autotransformador consiste en dos auto - transformadores conectados en delta abierta como se muestra en la fig. 4.

Algunos fabricantes utilizan tres transformadores, aunque - bastan dos.

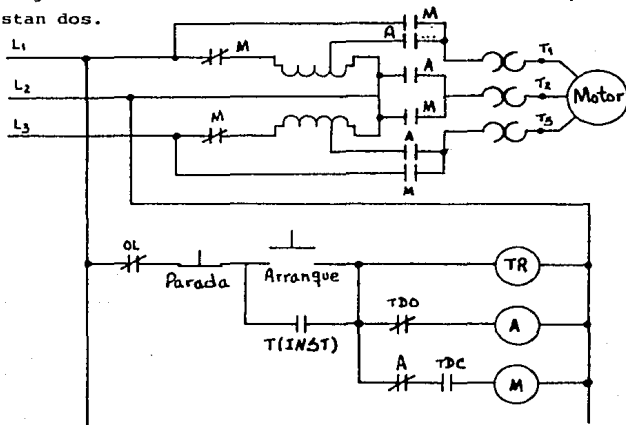


FIGURA 4.

Generalmente hay tres derivaciones que dan 50, 65 y 80% del voltaje total de línea. La corriente del estator varía directamente con el voltaje aplicado aunque la corriente de línea va - ría con el cuadrado del voltaje aplicado.

En consecuencia, el par de arranque varía directamente con - la corriente de línea. Las ventajas principales de arranque por autotransformador respecto del arranque con resistencia prima - ria son menor corriente de línea y menor potencia de línea. Una desventaja es que el voltaje del motor se mantiene constante - durante el primer paso del arranque, en tanto que con el arranque con resistencia primaria el voltaje aumenta uniformemente - conforme acelera el motor, lo que da una mejor característica - del par.

Otra desventaja es que al conmutar la derivación a la línea, el motor se desconecta momentáneamente de ésta. Por estas dos razones, la aceleración con el arranque por autotransformador no es tan uniforme como el arranque con resistencia.

Las funciones de operación básicas del arrancador con autotransformador son las mismas que las del arrancador con resistencia primaria. Las operaciones de interrupción se logran mediante contactores magnéticos en combinación con un relevador de sincronización. El relevador de tiempos inicia la transferencia de voltaje reducido a voltaje total. El primario de un autotransformador está conectado entre L1 y L2 y el primario - del otro transformador entre L3 y L2. Los secundarios de salida están derivados del primario para dar un voltaje un poco me - nor que el de línea.

En la operación, la bobina del contactor de aceleración A recibe energía para conectar el motor a las derivaciones de voltaje reducido del autotransformador.

Después de un retraso para permitir al motor acelerar a voltaje reducido, el relevador TR de tiempo abre el circuito de la bobina de aceleración, interrumpe los contactos A y cierra el circuito de bobina al contactor principal M que conecta el motor a todo el voltaje de línea. El relevador TR de tiempo entra en funcionamiento cuando se cierra el circuito de la bobina de aceleración.

La derivación elegida del autotransformador debe dar al motor el valor de voltaje más bajo que pueda llevar al motor a cierta velocidad antes de que se haga el cambio a la operación a voltaje total. Si se hace la transferencia al voltaje total de línea antes de que el motor tenga la velocidad de operación completa, la corriente que se tome de la línea será más alta que la que se tome al arrancar con voltaje reducido. El ajuste del tiempo de transferencia y el uso de derivaciones de voltaje deben de dar la más baja corriente posible y la corriente en la transferencia no debe exceder la de arranque.

— Al oprimir un botón de arranque, se cierran dos contactos para conectar en Y los tres devanados del estator, después se cierran los tres contactos de línea.

Una ventaja importante de este plan de arranque de voltaje reducido es que no se requiere equipo accesorio tal como resistencias, reactores o transformadores. —

DESARROLLO

Existen básicamente dos métodos de arrancar un motor a tensión reducida; por medio de resistencia primaria y por auto - transformador.

- 1.- Arme el siguiente circuito y discúptalo en la clase.

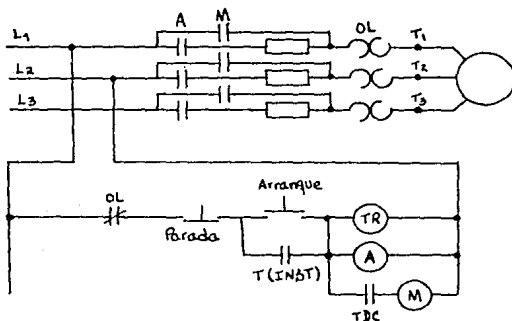


FIGURA 5.

- 2.- Acople el generador de C-D al motor de jaula de ardilla con la banda de sincronización.
- 3.- Monte el volante de inercia en el motor.
- 4.- Ajuste el tiempo de retraso a cero.
- 5.- Oprima el botón de arranque y observe el comportamiento del motor.
- 6.- Apaguelo y prendalo varias veces y anote los valores de los voltajes y corrientes de arranque. Obtenga el promedio.

$V_1 =$

$I_1 =$

$V_2 =$

$I_2 =$

$V_3 =$

$V_p =$

$I_3 =$

$I_p =$

7.-

Ajuste el tiempo de retraso a 10 seg.

8.-

Encienda el motor y observe su comportamiento, anote los voltajes y corrientes de arranque y el promedio.

$V_1 =$

$I_1 =$

$V_2 =$

$I_2 =$

$V_3 =$

$V_p =$

$I_3 =$

$I_p =$

9.- Apague la fuente y cierre el interruptor de corto circuito del generador.

10.- Encienda el motor y observe su comportamiento - anotando los voltajes y corrientes de arranque y su promedio.

$V_1 =$		$I_1 =$	
$V_2 =$		$I_2 =$	
$V_3 =$	$V_p =$	$I_3 =$	$I_p =$

11.- Ajuste el tiempo de retraso a cero y repita el paso anterior.

$V_1 =$		$I_1 =$	
$V_2 =$		$I_2 =$	
$V_3 =$	$V_p =$	$I_3 =$	$I_p =$

12.- Apague el motor y la fuente.

- 13.- Alambre el siguiente circuito y discútalos en el grupo.

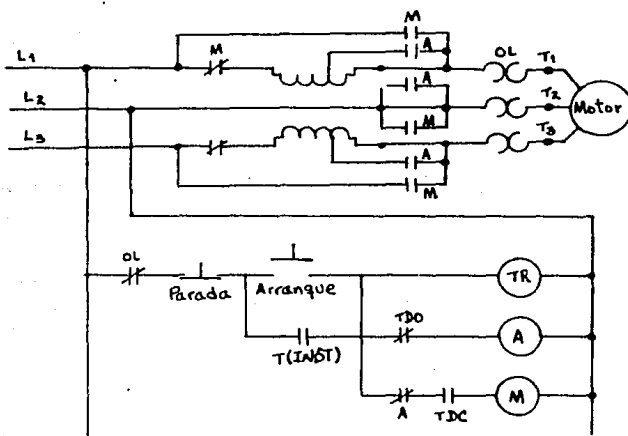


FIGURA 6.

- 14.- Repita los procedimientos del 2 al 12 de esta práctica y compare sus resultados. Discútalos y obtenga conclusiones.
- 15.- Alambre el siguiente circuito y discútalos en el grupo.

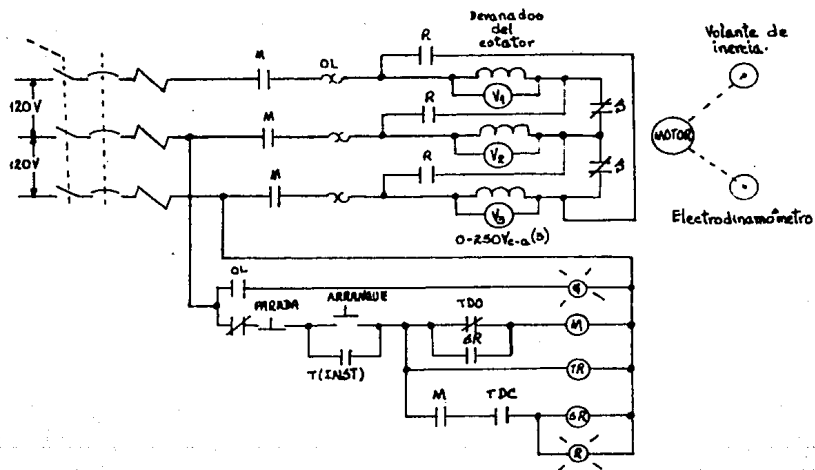


FIGURA 7.

- 16.- Repita los procedimientos del 2 al 12 de esta práctica, compare sus resultados. Discútalos y obtenga conclusiones.

PRACTICA 5

"ARRANQUE DEL MOTOR DE C.D. CON ARRANQUE REDUCIDO POR RESISTENCIAS CON FRENADO DINAMICO"

OBJETIVOS:

- 1.1 Construir un circuito arrancador para un motor de CD que incorpore un control de velocidad.
- 1.2 Construir un circuito arrancador de inversión para un motor de CD.
- 1.3 Aprender los principios del frenado dinámico.
- 1.4 Construir un circuito de control de arranque utilizando frenado dinámico.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|--------------------------------------|----------|
| 1.- | Ruptor de circuitos | EMS 9110 |
| 2.- | Interruptor de levas | EMS 9112 |
| 3.- | Freno electromagnético | EMS 9114 |
| 4.- | Resistencia de alambre, 10 Ω | EMS 9115 |
| 5.- | Resistencia de alambre, 100 Ω | EMS 9116 |

6.-	Volante de inercia	EMS 9126
7.-	Tablero de componentes	EMS 9127
8.-	Cables para conexión	EMS 9128
9.-	Módulo de motor/generador de CD	EMS 8211
10.-	Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla, de 3 ϕ .	EMS 8221
11.-	Módulo de fuente de energía (0-120Vcd)	EMS 8821
12.-	Banda de sincronización	EMS 8942

INTRODUCCION TEORICA:

1.- Arranque:

Si se conectara un motor de c-d directamente a una línea de energía, la corriente inicial de armadura sería de 10 a 20 veces mayor que la corriente normal del motor a carga total. Ya que el par es directamente proporcional a la corriente de armadura, el par de arranque sería veinte veces lo normal y el calentamiento inicial del motor sería 400 veces mayor que lo normal. Excepto para máquinas pequeñas, ni el motor, ni la máquina movida, ni la línea de energía podrían soportar ese castigo. En consecuencia, se debe reducir el voltaje a través del motor en alguna manera, y la forma más simple y usual es conectar una resistencia en serie con la armadura. La resistencia debe permitir que fluya mayor corriente que la de carga total, de manera

que el par será suficiente para acelerar la carga especificada. Una resistencia usual de arranque permite que fluya de 150% a 300% de carga total normal.

2.- Aceleración:

Cuando el motor comienza a trabajar, acelera mientras su par sea mayor que la que recibe de la carga. Mientras acelera el motor, aumenta su fuerza contra electromotriz (FCEM) y disminuye su corriente de armadura, con una disminución correspondiente en el par. Para mantener el par a carga total es necesario reducir la resistencia de arranque, conforme aumenta la velocidad del motor. La fig. 1 es el diagrama elemental de un circuito de arranque para motor en derivación con tres pasos de resistencia de arranque y tres contactos de aceleración; se le llamó arrancador de cuatro pasos. En el primer paso se cierra el contactor M de línea y se conecta la armadura del motor a la línea con toda la resistencia de arranque en serie. En los pasos 2, 3 y 4 se cierran en secuencia los contactos 1A, 2A y 3A de aceleración, con intervalos entre los pasos, como lo gobierna la característica del sistema de control elegido para el arrancador. Los contactos pueden funcionar normal o electromecánicamente.

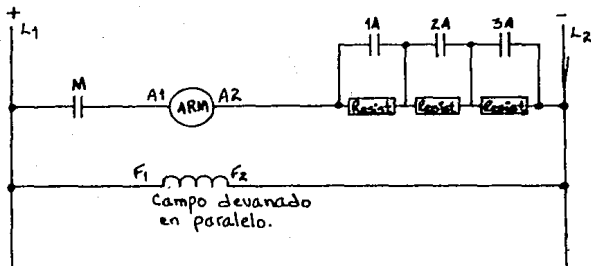


FIGURA 1.

3.- Velocidad:

La velocidad de un motor de c-d devanado en paralelo se puede reducir por debajo de lo normal disminuyendo el voltaje a través de la armadura o aumentando la intensidad del campo del devanado en paralelo. Ya que generalmente el devanado del campo está a través de la línea de energía, no existe manera práctica de aumentar su intensidad. Se puede reducir el voltaje de armadura disminuyendo el voltaje de la fuente, pero se puede usar una resistencia en serie con la armadura para obtener velocidades inferiores a la normal; aunque la regulación de velocidad es muy débil, tiene el mérito de la simplicidad.

4.- Reversa:

Se puede hacer que un motor de c-d marche en reversa, invirtiendo las conexiones de la armadura o del campo, pero no ambas. Se acostumbra invertir las conexiones de la armadura debido a que la alta inductancia de los devanados del campo los hace relativamente difíciles de abrir (por causa del arco del contacto) y lentos para responder. El invertir el campo también produce intensos picos de corriente de armadura. Con frecuencia los motores se bloquean para dar inversión rápida, lo que significa abrir el circuito de la armadura y reconectarlo de inmediato en la dirección inversa antes de que se haya parado el motor.

5.- Frenado dinámico:

El propósito del frenado dinámico es obtener una parada rápida. La armadura se desconecta de la línea y se conecta una resistencia de frenado a través de la misma, como se muestra en la fig. 2. El campo permanece en la línea. Ya que el motor está trabajando, actúa como generador y fuerza corriente alrededor del circuito formado por la armadura y la resistencia de frenado. Conociendo el par deseado de frenado, el diseñador puede calcular la corriente de frenado y por tanto el valor de la resistencia correspondiente. Por lo general, se hace que la corriente de frenado sea 150% de la corriente normal de armadura, pero cuando se desea parada muy rápida, se puede permitir a la corriente llegar hasta 300% de lo normal. Conforme frena el motor, disminuye el voltaje generado y consecuentemente se reducen la corriente y el par de frenado. A velocidad cero no hay efecto de frenado.

Para parada muy rápida, a veces se divide la resistancia de frenado en dos o más pasos conforme decae el voltaje, manteniendo así alta la corriente de frenado. No es raro parar una máquina grande en un segundo o menos.

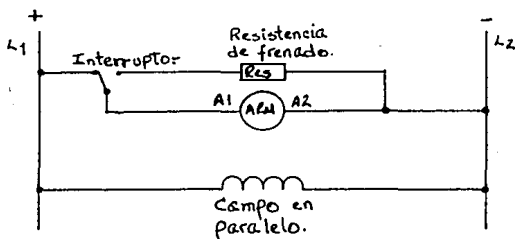


FIGURA 2.

2ª PARTE:

La aceleración de tiempo definido (o límite de tiempo) es un método de arranque que permite poner en corto circuito a las resistencias de arranque y conectar el motor a la línea de energía en el mismo intervalo para cada arranque, sin importar la carga que tenga el motor.

Los contactores de aceleración son enteramente independientes de la corriente del motor. Los intervalos entre los cierres de contactores se ajustan de manera que se obtenga aceleración-

suave, así como corriente y par uniformes bajo condiciones de carga normal.

Ya que la velocidad de un motor de c-d es inversamente proporcional al flujo magnético, se puede aumentar la velocidad de un motor de devanado en paralelo debilitando su corriente de campo paralelo, lo que se hace conectando una resistencia en serie con el campo en paralelo. Con frecuencia se usan reóstatos de control de velocidad para este propósito. Cuando se arranca un motor de velocidad ajustable, se prefija el reóstato y el motor acelera a velocidad de carga total, la que se determina por el ajuste del reóstato. Sin embargo, el par de arranque que se puede obtener con el campo debilitado sólo es una fracción del par de arranque que se puede obtener con el campo total.

Para obtener el par total de arranque, se debe disponer de corriente de campo total cuando se arranca el motor. Los arranadores para motores de velocidad ajustable incluyen un par de contactos que ponen en corto circuito al reóstato del campo mientras se acelera al motor a su velocidad básica. Después de que se ha cerrado el último contactor de aceleración, se abren los contactos de campo completo y el motor acelera a velocidad total, lo que corresponde al ajuste del reóstato.

Cuando se interrumpe el campo paralelo de un motor, el campo magnético se debilita mucho, pero el par del motor no cae completamente a cero. El campo débil puede hacer que el motor acelere hacia una velocidad progresivamente alta. Para impedir que suceda así, en el circuito del campo se conecta un relevador de "pérdida de campo" que responde a la corriente del campo.

Los contactos normalmente abiertos de este relevador se conectan en serie con los contactos de otros dispositivos protectores que impiden que el motor reciba energía bajo condiciones anormales.

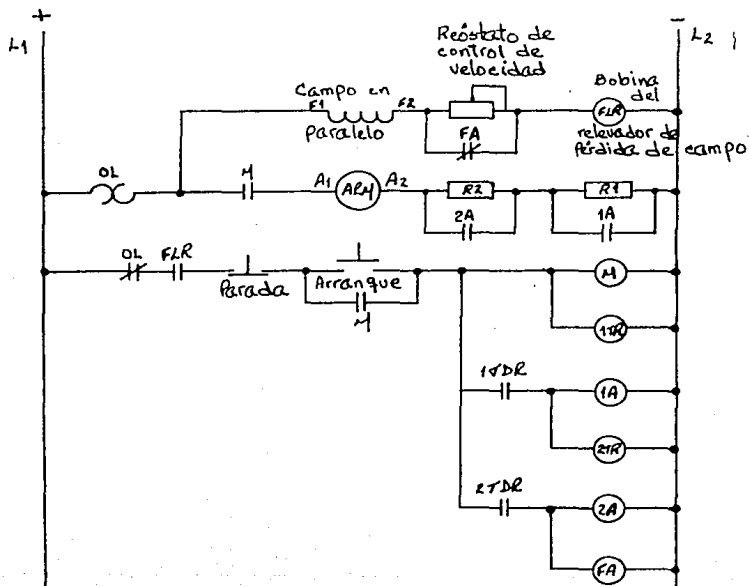


FIGURA 3.

En la fig. 3 se muestra un controlador de motor de velocidad ajustable de tres pasos que incorpora relevadores de pérdida de campo y de aceleración de campo. Observe especialmente la bobina relevadora de pérdida de campo (conectada en serie con el devanado del campo) y sus contactos normalmente abiertos (conectados en serie con los contactos del relevador de sobre carga). Si se interrumpe la corriente del campo, el relevador FLR se desactiva abriendo sus contactos y parando así el motor.

Cuando se oprime el botón de arranque, reciben energía el relevador ITR de tiempo y el contactor M, lo que conecta a la armadura con la línea a través de las 2 resistencias de arranque. El motor arranca bajo torsión de campo total al contacto FA normalmente cerrado a través del reóstato de control de velocidad. Después de un intervalo, determinado por el ajuste de tiempo del ITR, se cierran los contactos ITDR dando energía al relevador de tiempo 2TR y activando al contactor 1A. Esto hace que se cierre el contacto 1A y que ponga en corto circuito al primer paso de la resistencia R1. Después de otro intervalo determinado por el ajuste de tiempo 2TR, se cierran los contactos 2TDR dando energía al contactor 2A para cerrar y poner en corto circuito al segundo paso de la resistencia R2.

Se abren los contactos FA normalmente cerrados, lo que inserta al reóstato de control de velocidad en serie con el campo devanado. Entonces el motor acelera a velocidad total, lo que corresponde al ajuste del reóstato.

Otro método de hacer que un motor se pare (detenga) rápidamente es por medio del bloqueo. El bloqueo significa invertir las conexiones de la armadura mientras el motor se mueve en una

dirección dada, lo que invierte la corriente de la armadura y desarrolla un alto par que no sólo para rápidamente al motor, - sino que hace que trabaje en reversa. Dicho de manera distinta, el motor desarrolla un par de frenado dinámico, por lo que se reduce su velocidad y cuando se para, y está listo para marchar en reversa, un interruptor de bloqueo que trabaja automáticamente funciona dentro del circuito de control para desconectar la armadura de la línea.

Mientras el motor está bloqueado la FCEM de la armadura no se opone, sino que ayuda al voltaje de la línea. Al instante en que se bloquea al motor se aplica un voltaje casi del doble de lo normal al circuito de la armadura. Para limitar la corriente y el par de la armadura es necesario insertar resistencia en serie con la armadura durante el bloqueo.

Para limitar la corriente y el par de la armadura a los mismos valores que se obtienen cuando se parte del reposo, es necesario conectar casi el doble de la resistencia de arranque normal en serie con la armadura. La excitación del campo se mantiene constante mientras el motor está siendo hloqueado, y según disminuye la velocidad también lo hace el par de frenado, cuando el motor se para totalmente, el par es aproximadamente de la mitad del inicial y actúa para acelerar la carga en reversa.

Para evitar dar reversa al motor debe desconectar la armadura de la línea tan pronto se para el motor. Entonces se puede - hacer actuar un freno de retención magnética.

DESARROLLO:

- 1.- Arme el siguiente circuito (fig. 4).

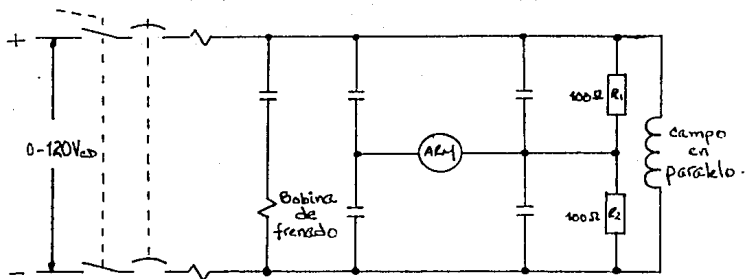


FIGURA 4.

- 2.- Monte el freno magnético en el motor de c-d.
- 3.- Encienda la fuente de energía y ajústela a 120 Vc-d.
- 4.- Cierre el interruptor de desconexión, el interruptor de levas debe estar en su posición de apagado.

- 5.- Sucesivamente mueva la manija de control del interruptor de levas a cada una de sus cinco posiciones mientras observa el funcionamiento del motor.
- 6.- Describa lo que sucede en cada posición del interruptor de levas.
- 7.- Arme el siguiente circuito (fig. 5).

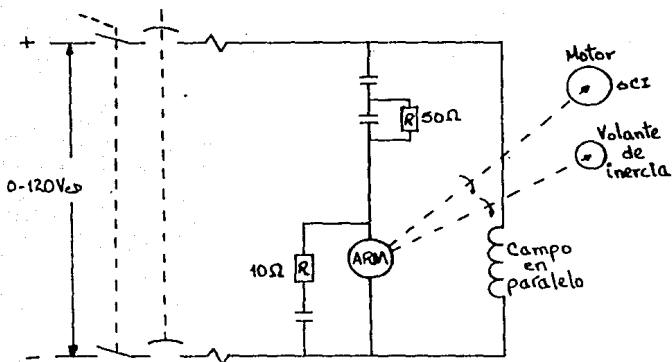


FIGURA 5.

- 8.- Acople el motor de jaula de ardilla por medio de la banda y monte el volante de inercia en la flecha del motor de c-d.

- 9.- Encienda la fuente de energía y ajústela a 120 Vc-d.
- 10.- Con el interruptor de levass en su posición de apagado, cierre el interruptor de desconexión.
- 11.- Ponga el interruptor de levass en la posición H_1 y observe lo que sucede.
- 12.- Ponga la leva en apagado y mida el tiempo que tarda el motor en detenerse.
- 13.- Ponga la leva en H_2 y observe.
- 14.- Pongala ahora en apagado y registre el tiempo de frenado.
- 15.- Abra el interruptor de desconexión y ponga en corto la resistencia, poniendo un cable entre sus terminales.
- 16.- Cierre el interruptor y repita los pasos 13 y 14 anotando sus observaciones y el tiempo de frenado.
- 17.- Abra el interruptor de desconexión y elimine el frenado dinámico.
- 18.- Cierre el interruptor y repita los pasos 13 y 14 anotando sus observaciones y el tiempo de frenado.

19.- Apague la fuente.

20.- Arme el siguiente circuito (fig. 6).

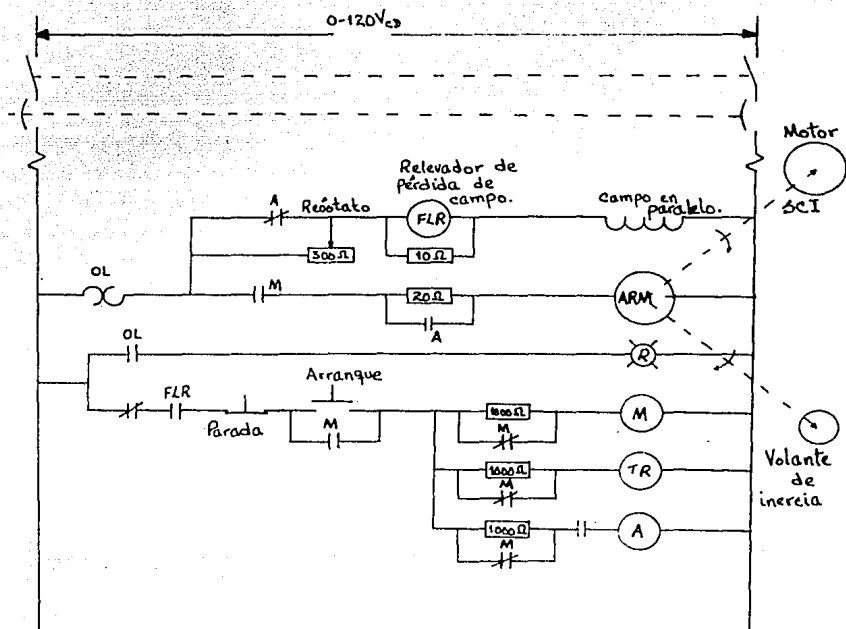


FIGURA 6.

- 21.- Acople el motor de jaula de ardilla al motor de c-d con la banda y monte el volante de inercia en la flecha del motor de c-d.

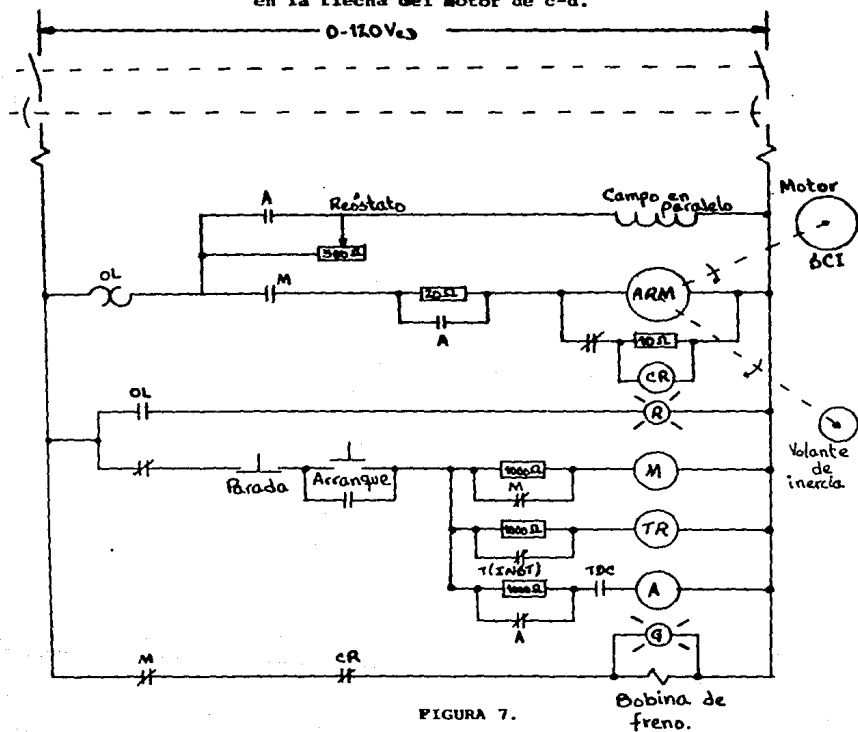


FIGURA 7.

- 22.- Mueva el dial de control del reóstato a aproximadamente $\frac{1}{4}$ de vuelta de su posición máxima.
- 23.- Ajuste el retraso del relevador de tiempo a 5 seg.
- 24.- Encienda la fuente de energía y ajústela a 120 Vc-d.
- 25.- Cierre el interruptor de desconexión.
- 26.- Oprima el botón de arranque y describa paso a paso lo que sucede.
- 27.- Mueva el reóstato y describa lo que sucede.
- 28.- Apague la fuente de energía.
- 29.- Sin desconectar su circuito, realice los cambios que considere pertinentes, para poder obtener el alambrado que se observa en la figura 7; para agregar el freno de retención magnética a nuestro circuito.
- 30.- Monte el freno magnético en la flecha del motor de jaula de ardilla.
- 31.- Encienda la fuente de energía y ajústela para un voltaje de 120 Vc-d.
- 32.- Cierre el interruptor de desconexión.

- 33.- Nuevamente ajústelo el reóstato a $\frac{1}{4}$ de su posición máxima.
- 34.- Oprima el botón de arranque y describa paso a paso lo que sucede.
- 35.- Oprima el botón de parado y describa paso a paso lo que ocurre.

Experimento opcional:

- 1.- Arme el siguiente circuito (fig. 8).

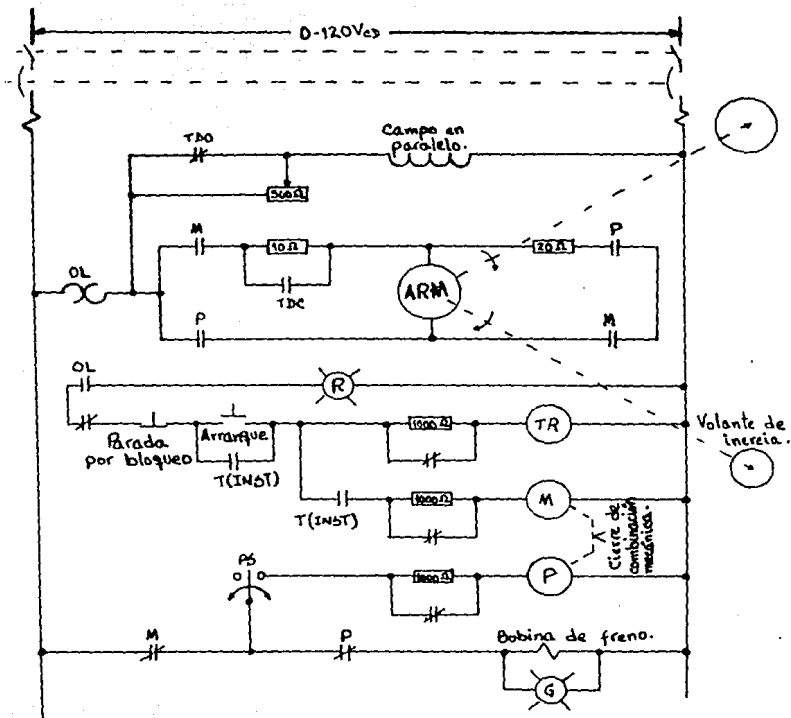


FIGURA 8.

- 2.- Acople el motor de jaula de ardilla al motor de c-d con la banda de sincronización. Todavía no coloque la banda entre los dos cojinetes libres.
- 3.- Monte el interruptor de bloqueo en la flecha del motor jaula de ardilla.
- 4.- Coloque la banda solamente bajo el cojinete libre superior.
- 5.- Monte el volante de inercia en el motor de c-d y el freno magnético.
- 6.- El dial del reóstato debe estar a $\frac{1}{4}$ de su posición máxima.
- 7.- Ajuste el retraso del relevador de tiempo a 5 seg.
- 8.- Encienda la fuente de energía y ajústela a 120 Vc-d.
- 9.- Cierre el interruptor de desconexión.
- 10.- Oprima el botón de arranque y describa paso a paso lo que sucede.
- 11.- Oprima el botón de paro, y describa detalladamente lo que sucede. Mida el tiempo en que se detiene completamente el motor.

- 12.- Quite el volante de inercia y repita los dos pasos anteriores.
- 13.- Abra el circuito de bloqueo desconectando una terminal de la bobina de operación.
- 14.- Repita los incisos 10 y 11.
- 15.- Explique y compare los resultados obtenidos.
- 16.- Obtenga sus conclusiones a esta práctica.

PRACTICA 6

"PROTECCIONES ELECTRICAS"

OBJETIVOS:

- 1.1 Que el alumno conozca de una manera general los equipos de protección típicos.
- 1.2 Que el alumno conozca algunas de sus características principales.
- 1.3 Que el alumno aprenda a hacer el cálculo de una impedancia de corto circuito para proteger un transformador.

EQUIPO Y MATERIAL:

- | | | |
|-----|---|----------|
| 1.- | Fuente de poder | EMS 8821 |
| 2.- | Módulos del transformador monofásico
(3) | EMS 8341 |
| 3.- | Módulo de sincronización | |
| 4.- | Secuencímetro | |
| 5.- | Módulo de voltímetros de C.A. | EMS 8426 |
| 6.- | Módulo de amperímetros de C.A. | EMS 8425 |

- 7.- Módulo de resistencias
- 8.- Módulo de capacitores
- 9.- Interruptor termomagnético EMS 8942
- 10.- Cables de conexión

INTRODUCCION TEORICA:

Entre los dispositivos de protección y control en las instalaciones se tienen aquellos que deben satisfacer las normas y condiciones dadas para las instalaciones y diseño de los circuitos.

Los fusibles e interruptores termomagnéticos son los dispositivos que se usan normalmente para proteger las instalaciones y equipos contra sobre corrientes tales como corto circuito, operan básicamente abriendo los circuitos en los que están conectados antes de que los equipos sufran algún daño permanente.

Antes de iniciar se hará una breve revisión de las características de los elementos de protección y sus aplicaciones recomendadas; sin perder de vista que son sólo algunas generalidades de ellos, ya que un estudio profundo sería tema de una tesis de potencia.

1.- Interruptores de navaja:

También conocidos como interruptores de seguridad, son interruptores de cuchilla con palanca exterior y con fusibles integrados.

2.- Fusibles:

Los fusibles son elementos de protección que constan de un alambre o cinta de aleación de plomo y estaño con bajo punto de fusión, que se funde cuando se excede el límite para el cual fué diseñado interrumpiendo el circuito. Se fabrica según su operación, algunos como tipo tapón o tipo cartucho

3.- Interruptor termomagnético:

Estos interruptores están diseñados para abrir el circuito cuando ocurre una sobre carga accionado por una combinación de un elemento térmico y uno magnético, operan contra sobre cargas con el elemento térmico con retardo establecidos en curvas tiempo-corriente fig. , opera contra corto circuito con el elemento magnético.

Desde el punto de vista práctico, los interruptores termomagnéticos resultan más convenientes, ya que se puede cerrar con facilidad sin ningún riesgo después que ha disparado. Por el contrario, un fusible se debe desatornillar o jalar y se debe tener cuidado con las partes energizadas. Sin embargo, se sabe por experiencia que el uso de fusibles es confiable y normalmente no requieren ser cambiados por largos periodos de tiempo, además de que los interruptores termomagnéticos se ven más afec

tados por las condiciones ambientales y pueden llegar a ser un poco menos precisos en su operación.

Un problema que se puede presentar con el uso de fusibles, es la pérdida de fase dejando a los circuitos alimentados sólo por dos fases cosa que no sucede con los interruptores termomagnéticos ya que una falla en cualquiera de las fases, produce la apertura de todas las fases del circuito.

Las protecciones vistas anteriormente son prácticas para generadores y motores, no así para transformadores. De los cuales si observamos su circuito equivalente tenemos.

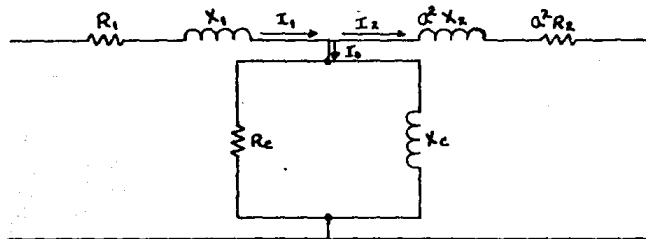


FIGURA 1.

Como sabemos $I_2 \approx I_1$ podemos despreciar las pérdidas en el núcleo teniendo el circuito que se muestra a continuación (fig. 2).

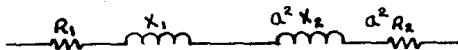


FIGURA 2.

o lo que es lo mismo, una impedancia Z que resulta muy pequeña para soportar un corto circuito en el lado secundario del transformador.

En un sistema trifásico conectado en estrella se tendría el circuito que se muestra en la fig. 3.

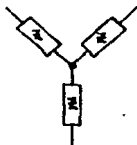


FIGURA 3.

Siendo Z la única impedancia que se tendría si ocurriera una falla de fase a tierra.

Una manera de reducir dicha corriente de corto circuito es la de introducir una impedancia de corto circuito como lo ilustra la fig. 4.

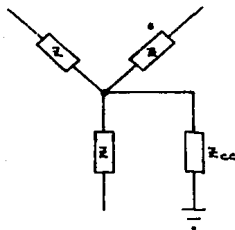


FIGURA 4.

Donde Z_{cc} es la impedancia de corto circuito que se puede calcular fácilmente si se tiene la impedancia propia del transformador y se conoce el potencial entre fases.

DESARROLLO:

Por desgracia no pudo realizarse la práctica debido a que el laboratorio se encontraba en proceso de algunos cambios y ya no podía detenerse en la realización de este trabajo. Sin -

embargo se presenta el siguiente desarrollo teórico que se podrá comprobar de manera práctica en el futuro; ya que pensamos que sin él, este trabajo quedaría incompleto.

De los datos obtenidos en las prácticas 2 y 3 de Conversión II tenemos los datos para completar el diagrama equivalente del transformador de forma simplificada fig. 5.



FIGURA 5.

de donde tenemos $Z =$ si sabemos que $V = 220v$ y la corriente nominal $I = 0.5A$

Si queremos limitar la corriente de corto circuito a 3 veces la nominal tendremos: $I_{cc} = 1.5A$

la impedancia deberá ser: $Z_T = \frac{V}{I_{cc}}$

y también: $Z_T = Z + Z_{cc}$

de donde: $Z_{cc} = \frac{V}{I_{cc}} - Z$

$$Z_{cc} = \frac{220}{1.5} - 8.8 \Omega - j622.1$$

$$Z_{cc} = 146.666 - 8.8 - j622.1$$

$$Z_{cc} = 137.866 - j622.1$$

de la fórmula: $X_C = \frac{1}{2 \pi f C}$

$$X_C = \frac{1}{2 \pi (60) C} =$$

$$C = 4.263 \mu f$$

$$R = 137.866 \Omega$$

Debido a que no se tienen los valores exactos de resistencia y capacitancia podemos tomar los más cercanos como son:

$$R = 140 \Omega$$

$$C = 4 \mu f$$

Por lo tanto, la corriente de corto circuito será:

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_T} = 1.45 \text{ Amp}$$

donde: $Z_T = Z + Z_{cc}$

$$Z_T = 0.8 + j622.1 + 140 - 663.146$$

$$Z_T = 148.8 - j41.046$$

$$o: \quad I_{cc} = \frac{V}{Z_T} = \frac{220}{148.8 - j41.046} = \frac{220}{151.95 \angle 15.92}$$

$$I_{cc} = 1.425 \text{ Amp.}$$

- 1.- Arme el siguiente circuito utilizando tres módulos de transformador 1 -

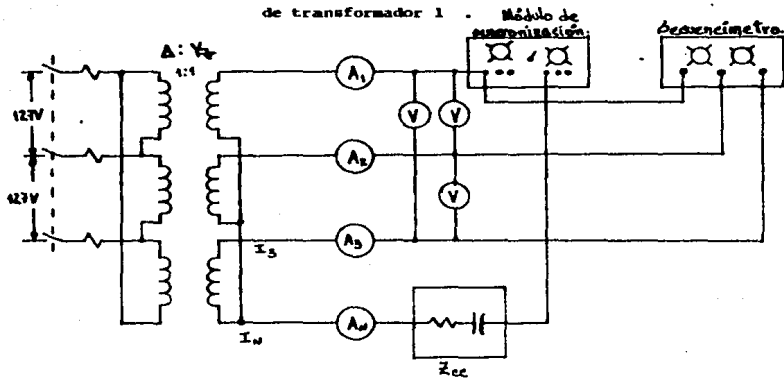


FIGURA 6.

- 1.- Ajuste el dial del interruptor termomagnético para una corriente nominal de 0.5 A.
- 1.- Asegúrese que el interruptor del módulo de sincronización esté en la posición de apagado.
- 4.- Conecte el módulo de resistencia y el de capacitancia en serie con los valores ya establecidos anteriormente.
- 5.- Encienda la fuente de poder y encienda el interruptor termomagnético, los focos del secuenciómetro deben encender, mida la corriente y voltaje aplicados.

$$I_1 = 1A$$

$$V_{12} = 208V$$

$$I_2 = 1A$$

$$V_{23} = 208V$$

$$I_3 = 1A$$

$$V_{31} = 208V$$

$$I_N = 0A$$

- 6.- Preparese para simular la falla y esté listo para medir la corriente de corto circuito y las corrientes de fase.
- 7.- Cierre el interruptor del módulo de sincronización y rápidamente tome sus mediciones antes de que el interruptor termomagnético se dispare.

$$I_1 = 1.7A$$

$$V_{12} = 110V$$

$$I_2 = 0.6A$$

$$V_{23} = 112V$$

$$I_3 = 0.6A$$

$$V_{31} = 108V$$

$$I_{cc} = 1.5A$$

- 8.- ¿Qué sucedió con los focos del secuencímetro?
R = Bajaron de intensidad.
- 9.- Ajuste el dial del interruptor termomagnético a 0.8 A y repita el experimento obteniendo sus conclusiones.

"PLAN PROPUESTO"

El objetivo fundamental de realizar este trabajo de tesis, es la aplicación que dentro de los laboratorios de Conversión de Energía Electromecánica (CEEM), puede tener con objeto principal de elevar el nivel de conocimientos de los alumnos del área eléctrica de la carrera de Ingeniería.

En cierta medida queremos formar antecedentes de que los alumnos busquemos una superación continua dentro de las aulas de la Universidad.

Las prácticas aquí presentadas se han desarrollado en base a una secuencia lógica; primero se parte de una introducción al conocimiento del equipo (incluyendo la fuente de poder), como se observa en las prácticas No. 1 de los laboratorios de CEEM I y III.

A continuación se sigue con las prácticas de generadores, seguimos con transformadores y al final con motores haciendo una división en lo que respecta a c-d y c-a.

Para poder llevarse a cabo, las prácticas pueden ó no ser modificadas en algunos puntos, pero tomando en cuenta que nuestro estudio el orden de éstas, fué cuidadosamente estructurado y todos los puntos y/o incisos son realizables sin ninguna complicación.

También sabemos que es un poco difícil que se acepte totalmente este trabajo de tesis y además se ponga en práctica tal cual por el sólo hecho de que aseguremos su éxito, por

lo que, proponemos se ponga en práctica en curso intersemestral, evaluando con detenimiento cada una de las prácticas a través de los conocimientos adquiridos por los alumnos.

Un factor muy importante y que se ha descuidado, es el número de alumnos que se aglutinan atrás de un sólo tablero de conexiones. Es por demás sabido y conocido que son escasos los grupos de Laboratorios de CEEM, y mucha la demanda, pero no por ello se deben permitir grupos con cantidades exageradas de alumnos.

El número máximo que debe tener cada grupo es de 10 alumnos, mientras que lo ideal es 5 alumnos por grupo.

Lo que proponemos es que los alumnos entreguen un reporte que contenga una pequeña introducción teórica, los esquemas de los alambrados, los resultados, gráficas y conclusiones obtenidas; sin tener por ello que copiar fielmente cada paso realizado en la sesión, sino sólo lo realmente importante.

La práctica deberá contener una portada estándar en la que se puedan localizar los datos del alumno de manera rápida y sencilla (véase ejemplo en la hoja anexa).

Las prácticas están desarrolladas en base al siguiente plan:

CEEM I. - Consta fundamentalmente de prácticas orientadas a que el alumno conozca las máquinas eléctricas, partiendo de la etapa generadora de c-a; se prosigue con la etapa transformadora, para finalizar con la carga en la que se

muestran algunos de los motores más comunes; se sigue el mismo proceso a continuación, pero ahora para máquinas de c-d.

CEEM II.- Está orientado para un estudio más profundo, siguiendo la metodología empleada en CEEM I; incluye además pruebas sencillas para algunas máquinas eléctricas. Se presenta también un Freno de Prony elaborado por nuestra cuenta, con el que se pueden probar las características de los motores de 5 a 50 HP.

CEEM III.- Se presenta como una innovación en la que se pretende introducir a los alumnos en los equipos de control, aplicados a las máquinas eléctricas con prácticas amenas y sencillas.

Todo lo descrito en las prácticas se llevó a cabo con material que se encuentra presente en el almacén de los laboratorios de CEEM para asegurar su posible y futura realización. La única excepción es el Freno de Prony que donaremos al laboratorio de CEEM a su debido tiempo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON.

INGENIERIA

LABORATORIO DE CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA _____

PRACTICA No. _____

NOMBRE DEL ALUMNO: _____

NOMBRE DEL PROFESOR: _____

GRUPO DE LABORATORIO: _____

GRUPO DE TEORIA: _____

FECHA DE ENTREGA: _____

INDICE

	Pág.
Agradecimientos	I
Antecedentes al Trabajo	V
I.- Introducción	1
II.- Justificación.	3
III.- Objetivos.	5
V.- Generalidades.	7
5.1 Propiedades del Campo Magnético. . .	8
5.2 Fuentes de Campos Magnéticos	17
5.3 Propiedades Magnéticas de la Materia	21
5.4 Fuerzas Electromotrices Inducidas. .	27
5.5 Ferromagnetismo.	42
VI.- Proyecto de Prácticas para el Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica I (CEEM I)	
1.- Normas de Seguridad y Fuente de Po- der.	55
2.- Instrumentos de Medición	62
3.- Generador de Corriente Alterna(C.A.)	84
4.- El Transformador Monofásico.	100
5.- El Transformador Trifásico	110
6.- El Motor Monofásico.	128
7.- Motor de Inducción Trifásica	144
8.- Generador de Corriente Directa(C.D.)	159
9.- Motores de Corriente Directa (C.D.).	180

	Pág.
10.- Motor Síncrono	199
11.- El Motor Universal	213
VII.- Proyecto de Pfacticas para el Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica II (CEEM II)	
1.- Generador de Corriente Alterna(C.A.)	221
2.- Transformador Monofásico	232
3.- Transformador Trifásico.	240
4.- El Transformador Trifásico (2ª Parte)	250
5.- Motores Monofásicos.	261
6.- Motor de Inducción con Arranque por Repulsión.	274
7.- Motores de Inducción Jaula de Ardilla Trifásica.	284
8.- Motores Síncronos.	296
9.- Generador de Corriente Directa(C.D.)	307
10.- Generador de Corriente Directa(C.D.) (2ª Parte)	320
11.- Motores de Corriente Directa (C.D.).	332
VIII.- Proyecto de Prácticas para el Laboratorio de Conversión de Energía Electromecánica III (CEEM III)	
1.- Instrumentación.	352
2.- Control de Frecuencia del Generador Trifásico.	378
3.- Arranque del Motor de Inducción a Tensión Plena o Voltaje de Línea . .	388
4.- Arranque del Motor de Inducción a Tensión Reducida	400

	Pág.
5.- Arranque del Motor de Corriente Directa (C.D.) con Arranque Reducido por Resistencias con Frenado Dinámico. .	415
6.- Protecciones Eléctricas.	435
Plan Propuesto.	446
Indice.	450
Conclusiones.	453
Bibliografía.	455

CONCLUSIONES

- Se logró que las prácticas de Conversión de Energía Electromecánica (CEEM I), fueran más amenas y más participativas.
- Las prácticas presentan facilidad en el desarrollo y flexibilidad a ser manejadas respetando la libertad de cátedra, sin perder de vista los objetivos.
- Todas las prácticas presentan una secuencia lógica comenzando por la generación, la transformación y la utilización de la energía eléctrica en los motores más usados, explicando los principios básicos de los equipos eléctricos.
- Se obtuvieron curvas características que se aproximan a las teóricas y que por tanto se utilizan como comprobación.
- Se optimizó en un 90% el equipo existente en el laboratorio hasta el momento de la elaboración de este trabajo.
- Se probó y utilizó el Freno de Prony que incluye a los Motores Trifásicos de 5Hp dentro de las prácticas del laboratorio.
- Se muestran los Sistemas de Control más generalizados de las máquinas eléctricas y asimismo se proponen prácticas demostrativas.
- Finalmente podemos decir que se cuenta con un manual de prácticas de laboratorio que pueden ser desarrolladas dentro de la escuela, contando con los recursos existentes, introduciendo -

ciendo a los alumnos con la simbología debida a la teoría y las prácticas, de forma amena, tratando a los alumnos como ingenieros y utilizando términos comunes en español y no palabras extrañas como sucede normalmente con las traducciones de manuales.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Arnold, Robert.
Wilhelm, Stehr.
Máquinas Eléctricas.
1ª Edición, Volumen I Corriente Alterna.
México, D.F., Edit. Trillas, 1980.
- 2.- Arnold, Robert.
Wilhelm, Stehr.
Máquinas Eléctricas.
1ª Edición, Volumen II Corriente Continua.
México, D.F., Edit. Trillas, 1980.
- 3.- Cutler - Hammer
Catálogo Industrial.
México, D.F., 1986.
- 4.- Enríquez Harper, Gilberto.
El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales.
1ª Edición.
México, D.F., Edit. Limusa, 1988.
- 5.- Estudillo G., José Luis.
Valdovinos P., Gerardo.
Tesis: Implementación del Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia III.
México, D.F., 1982.

- 6.- Gringrich, Harold W.
Máquinas Eléctricas,
Transformadores y Controles.
1ª Edición.
Madrid, Esp., Edit. Dossat, 1980.
- 7.- Gussow, Milton.
Fundamentos de Electricidad.
1ª Edición, Serie Schaum.
México, D.F., Edit. Mc Graw Hill, 1987.
- 8.- Langsdorf, Alexander S.
Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna.
2ª Edición.
Madrid, Esp., Edit. Castilla, 1967.
- 9.- Taborga, Huáscar.
Cómo hacer una Tesis.
3ª Edición.
México, D.F., Edit. Grijalbo, 1984.
- 10.- Wildi, Theodore.
De Vito, Michael J.
Control de Motores Industriales.
3ª Edición.
México, D.F., Edit. Limusa, 1987.
- 11.- Wildi, Theodore.
De Vito, Michael J.
Experimentos con Equipo Eléctrico.
4ª Edición.
México, D.F., Edit. Limusa, 1984.