

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA



*B<sup>2</sup> Egan*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## "Manual de Prácticas para el Curso de Máquinas Sincronas"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

**ARMANDO GARCIA GOBEA**

GUADALAJARA, JAL.

1987



## **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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION .....	1
ANTECEDENTES .....	3
CAPITULO 1.- TEORIA BASICA DE LA MAQUINA SINCRONA.	
1.1 ESTRUCTURA .....	5
1.2 TEORIA BASICA DEL ALTERNADOR .....	9
1.3 TEORIA BASICA DEL MOTOR .....	21
CAPITULO 2.-	
PRACTICA N° 1. ESTRUCTURA DE LA MAQUINA SINCRONA Y GENERACION DE UN CAMPO - MAGNETICO GIRATORIO .....	30
PRACTICA N° 2. RELACION QUE EXISTE ENTRE FRECUENCIA Y VELOCIDAD .....	42
PRACTICA N° 3. ESTUDIO DEL ALTERNADOR SINCRONO TRIFASICO OPERADO SIN CAR- GA .....	49
PRACTICA N° 4. GENERADOR TRIFASICO SINCRONO BAJO DIFERENTES TIPOS DE CARGA - BALANCEADA Y DESBALANCEADA .....	57
PRACTICA N° 5. EFECTOS DE LA SATURACION DEL ALTERNADOR SINCRONO CON DIFEREN- TES TIPOS DE CARGA Y METODOS DE REGULACION .....	66
PRACTICA N° 6. MOTOR SINCRONO EN CONDICION DE VACIO Y BLOQUEADO .....	74
PRACTICA N° 7. MOTOR CON CARGA VARIABLE .....	81
PRACTICA N° 8. METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR SINCRONO .....	89
CAPITULO 3.- PRACTICAS TOTALMENTE DESARROLLADAS .....	
PRACTICA N° 1. ....	90
PRACTICA N° 2. ....	96
PRACTICA N° 3. ....	100
PRACTICA N° 4. ....	106
PRACTICA N° 5. ....	113
PRACTICA N° 6. ....	120
PRACTICA N° 7. ....	127
CONCLUSIONES .....	132
SUGERENCIAS .....	142
BIBLIOGRAFIA .....	143

# I N D I C E

PAG.

INTRODUCCION .....	1
ANTECEDENTES .....	3
CAPITULO 1.- TEORIA BASICA DE LA MAQUINA SINCRONA.	
1.1 ESTRUCTURA .....	5
1.2 TEORIA BASICA DEL ALTERNADOR .....	9
1.3 TEORIA BASICA DEL MOTOR .....	21
CAPITULO 2.-	
PRACTICA N° 1. ESTRUCTURA DE LA MAQUINA SINCRONA Y GENERACION DE UN CAMPO - MAGNETICO GIRATORIO .....	30
PRACTICA N° 2. RELACION QUE EXISTE ENTRE FRECUENCIA Y VELOCIDAD .....	42
PRACTICA N° 3. ESTUDIO DEL ALTERNADOR SINCRONO TRIFASICO OPERADO SIN CARGA - GA .....	49
PRACTICA N° 4. GENERADOR TRIFASICO SINCRONO BAJO DIFERENTES TIPOS DE CARGA - BALANCEADA Y DESBALANCEADA .....	57
PRACTICA N° 5. EFECTOS DE LA SATURACION DEL ALTERNADOR SINCRONO CON DIFEREN- TES TIPOS DE CARGA Y METODOS DE REGULACION .....	66
PRACTICA N° 6. MOTOR SINCRONO EN CONDICION DE VACIO Y BLOQUEADO .....	74
PRACTICA N° 7. MOTOR CON CARGA VARIABLE .....	81
PRACTICA N° 8. METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR SINCRONO .....	89
CAPITULO 3.- PRACTICAS TOTALMENTE DESARROLLADAS .....	90
PRACTICA N° 1. ....	90
PRACTICA N° 2. ....	96
PRACTICA N° 3. ....	100
PRACTICA N° 4. ....	106
PRACTICA N° 5. ....	113
PRACTICA N° 6. ....	120
PRACTICA N° 7. ....	127
CONCLUSIONES .....	132
SUGERENCIAS .....	142
BIBLIOGRAFIA .....	143

## INTRODUCCION.

La Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica a través de la H. Comisión de Tesis, tuvo a bien aceptar la propuesta de Tesis cuyo título es: Manual de Prácticas para el Curso de Máquinas Síncronas; dada la necesidad de tener un paquete de prácticas que siga la secuencia de la teoría que se ve en clases, a fin de que el alumno tenga conocimientos más fundamentados y termine su carrera con un nivel de preparación más acorde a las necesidades reales del aparato productivo.

Con el afán de dar un mejor servicio en prácticas de Conversión de Energía y que el alumno aproveche mejor el desarrollo de las mismas, dichas prácticas se apegarán lo más posible al avance de teoría que se ve en las aulas de clases.

Para lograr lo anterior, se seguirá una coordinación adecuada entre profesor de teoría y el instructor que supervise el desarrollo de cada una de las prácticas. Lo anterior puede ayudar a que el alumno participe más en las clases, planteando dudas de interés para todos al poder visualizar mucho mejor, aspectos que con sólo la clase resultan bastante abstractos; esto nos permite poner un granito de arena en beneficio del alumno al lograr un nivel de conocimientos más elevado, y por consiguiente mejorar un poco más la calidad educativa de nuestra Alma Mater.

Las prácticas a desarrollarse se diseñarán con base al equipo con el que se cuenta actualmente, más material que el autor consiga con alguna Empresa, con el apoyo de la Universidad.

El manual de prácticas estará reforzado con teoría básica enfocada de manera secuencial a los temas que se vean en clase, para que el alumno pueda tener una retroalimentación en base a lo que realizará en dicha práctica desarrollada totalmente por él.

Es importante notar que las prácticas darán al alumno una mejor visión del funcionamiento de las máquinas síncronas y no precisamente la solución a problemas reales de grandes máquinas, esto significa que saldrá con mejores bases para enfrentarse a los problemas que se le presenten en el ejercicio de su profesión.

Reforzando los puntos anteriores, cada una de las prácticas tienen el siguiente contenido:

- Antecedentes Teóricos.
- Banco de Preguntas.
- Objetivos.
- Material requerido, con especificaciones completas y claras.
- Desarrollo, con indicaciones precisas.
- Resultados y análisis.
- Prueba de conocimientos
- Conclusiones.

Esperando que resulte el presente trabajo realizado con la dedicación y la seriedad que amerita, en beneficio de los alumnos, lo más eficientemente posible.

Agradeciendo también el apoyo brindado por mis maestros y alumnos - quienes de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

Una observación para terminar con esta pequeña introducción es la siguiente: La teoría que se va a desarrollar cubre sólo aspectos básicos respecto al curso de teoría, la profundidad o nivel que se estudie el curso - se determinará por el Profesor en base al programa de la U. N. A. M. y - del criterio del mismo Profesor.

## A N T E C E D E N T E S .

Todos los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y quienes terminamos la Carrera, sabemos que existen muchas formas de energía en la naturaleza, - por ejemplo: La energía Potencial, la Cinética, Nuclear, Química, Mecánica, Eléctrica entre otras muy diversas. También sabemos que muchas veces existe la necesidad de transformarla de un tipo a otro para poderla utilizar - adecuadamente, de ahí que se transforme, por ejemplo : de Energía Potencial a Energía Mecánica, de Energía Eléctrica a Mecánica y viceversa, por- mencionar sólo algunas.

La primera parte que a nosotros nos interesa es la obtención de energía eléctrica, desde el descubrimiento de que frotando algunos materiales- entre sí podíamos almacenar carga eléctrica; los métodos para la obtención de energía evolucionaron bastante hasta la fecha. Tenemos por ejemplo: Pilas fotovoltaicas, las pilas a base de placas y ácido las cuales con la - reacción química se transforman en energía eléctrica; hasta llegar a las má quinas rotativas.

A medida que la demanda de energía eléctrica fue aumentando, ha existido la necesidad de tener fuentes de energía eléctrica de grandes capacidades, de ahí que las máquinas rotativas han tenido una evolución a la par con los incrementos de la demanda.

Existían problemas para transmitir potencias eléctricas a grandes dis tancias, para abastecer poblaciones o lugares de producción industrial; -- los problemas eran más que nada en cuanto a costos que representaban las - pérdidas de energía al transmitirla a un receptor distante; dado que la - energía debía ser entregada con ciertas características en cuanto al tipo- de energía ( c.a. o c.d. ), frecuencia, voltaje y corriente.

De todos los estudios realizados durante la evolución se llegó a la - conclusión de que lo más económico y eficiente era la máquina sincrónica uti lizada como alternador trifásico sincrónico, acoplada con transformadores - elevadores de potencia en varias etapas. Porque se puede transmitir potencia a una frecuencia constante, porque el voltaje del receptor se puede re gular por medio de capacitores, transformadores, reguladores de tensión o bien por una máquina sincrónica funcionando como motor sub-excitado o sobre-

excitado; este último es útil dentro de una planta industrial.

En lo que concierne al funcionamiento de la máquina síncrona como motor, se logra fácilmente ya que la máquina es reversible cien por ciento; lo único adicional es una fuente de energía trifásica para excitar el embobinado de un estator más la fuente de corriente directa para la excitación del embobinado de armadura como se utiliza cuando funciona como alternador, que bajo el principio de inducción electromagnética induce energía al embobinado trifásico del estator.

El motor síncrono funciona a velocidades estables ( velocidad síncrona ), reemplazando en muchas aplicaciones a los motores ahunt de corriente directa, cuyo costo de operación es mayor, por ejemplo: Bombas centrifugas, ventiladores centrifugos, compresores de aire y amonfaco, grupos motor-generator, procesos industriales que requieren velocidad constante dentro de un rango de carga variable. Con la ventaja respecto a los otros motores de c.d. o de inducción de no tener que estar regulando la velocidad cada vez que se cambia la carga; es cierto que el par de estos motores es bajo, pero permite desplazar un rango de carga muy bueno a velocidad síncrona sin problema de ninguna especie.

Aparte de lo anterior es posible utilizarlo como regulador de tensión en los extremos receptores de líneas de transmisión o en los grandes centros de consumo de potencia reactiva; para lograrlo únicamente se requiere controlar la excitación del embobinado de armadura para sobre-excitarlo o bien sub-excitarlo, es importante que la máquina esté sin carga acoplada a la flecha ( en vacfo ).

Como podemos ver, la máquina síncrona resulta muy versátil en cuanto a las aplicaciones industriales, de ahí la importancia de su estudio y comprensión del funcionamiento de ellas por todos los que estamos interesados o involucrados en el manejo de las mismas.

Queremos de esta manera contribuir al logro de mejores bases del manejo, operación, mantenimiento y protección de estas máquinas que son pilares del progreso y producción industrial.

CAPITULO I  
TEORIA BASICA DE LA MAQUINA SINCRONA.

I.I. ESTRUCTURA.

Puesto que la máquina síncrona es de funcionamiento reversible, esto es, que puede funcionar como motor al aplicarle potencia eléctrica o - también como alternador al aplicarle potencia mecánica y excitación con corriente directa; básicamente su estructura es la misma. Sus partes primarias son las siguientes:

ESTATOR.- Compuesto de un núcleo a base de laminaciones de acero al silicio aisladas entre sí por una película de barniz especial, tratado químicamente para una rigidez dieléctrica determinada; con objeto de que las corrientes circulantes ( corrientes parásitas ) sean de una magnitud pequeña y de esa forma también las pérdidas por efecto joule (  $I^2R$  ) - también lo sean. Tiene una determinada cantidad de ranuras a través de - las cuales se coloca el embobinado trifásico, el cual es alambre magneto; en cada ranura entra un paquete de estos conductores con fajillas de material plástico colocadas; una en la cara interna de las ranuras y la otra cubriendo los paquetes de bobinas para aislarlas y asegurarlas mejor dentro del núcleo. El embobinado es realizado manualmente, igualmente las - fajillas de aislamiento y sujección; con el cuidado que requiere para no dañar el alambre magneto y el aislante de las laminaciones.

El estator puede ser del tipo fijo o móvil, utilizándose para - tensiones elevadas el de tipo fijo; para evitar el que se dañe el embobinado y específicamente el material aislante por los esfuerzos mecánicos a que se ve sometido al estar en movimiento. Aparte de la degradación del - estator, se evitan los anillos deslizantes y escobillas colectoras, utilizándose con más eficiencia barras colectoras que interconecten la máquina a la primera etapa elevadora y desde luego resulta más económico al no requerir mantenimiento tan a menudo. Además es más fácil el enfriamiento - del estator estático que en movimiento y más eficiente.

La explicación física y teórica de esta máquina será específicamente de un sistema trifásico, más adelante se profundizará un poco en la teoría del estator estático físicamente.

ARMADURA.- Al igual que el estator, puede ser fijo o móvil, utilizándose para tensiones elevadas el último. La armadura también es llama da rotor o bien inductor, por ser a esta parte a la que se aplica la excitación externa con corriente directa a través de anillos deslizantes y es cobillas.

El núcleo del rotor puede ser de acero macizo o bien laminado, para reducir pérdidas por corrientes parásitas. Puede ser de polos lisos o bien polos salientes; el primero se utiliza en máquinas de velocidad relativamente elevada; el segundo, para máquinas lentas, por ejemplo: las centrales hidroeléctricas utilizan máquinas con rotores de polos salientes y las centrales termo-eléctricas rotores con polos lisos.

Las máquinas que operan a velocidades altas son de diámetros pequeños con longitudes grandes, para evitar disminuir los esfuerzos mecánicos a los que se ve sometida la máquina por la fuerza centrífuga; que hace que la temperatura de las partes en fricción ( flecha y rodamientos ) se incremente dando por resultado un incremento del coeficiente de fricción de los metales y por ende del desgaste de las piezas en contacto. - También minimiza el deterioro de los materiales aislantes y de las bobinas del rotor al existir en ellos menores esfuerzos mecánicos.

En cambio, las máquinas de velocidades bajas en cuanto a su operación, son de diámetros grandes con longitudes bajas relativamente; por razones contrarias explicadas en el punto anterior.

Los rotores pueden ser colocados en forma vertical u horizontal. El que se utilice una forma determinada depende básicamente del tipo de propulsor mecánico que se tenga; para ver los esfuerzos mecánicos a los que se verá sometido y determinar también el tipo de rodamientos, cojinetes, baleros o chumaceras que utilizarán según el tipo de enfriamiento más eficiente.

Más adelante se profundizará un poco en la teoría básica del funcionamiento de rotores; de igual manera se explicará un poco sobre excitación externa con corriente directa para el embobinado del rotor.

El inductor o armadura tiene un devanado que debe ser excitado con corriente directa, para que la densidad del campo magnético y su intensidad (  $B-H$  ) sea siempre constante y sus líneas estén siempre en una

sola dirección en cada cara polar. Para lograr lo anterior debe existir al gún medio de conexión entre excitador piloto y el devanado de campo del ro tor, un ejemplo de lo anterior son los anillos deslizantes ( 2 ) aislados- totalmente entre sí y la flecha; más un par de escobillas que cierran el - circuito de excitación. Este método que acabamos de mencionar presenta inconvenientes puesto que requiere mantenimiento periódico para ver el estado de las escobillas y los anillos deslizantes y limpiar o reemplazar si - es necesario; los anillos por lo general son de cobre o bronce y deben soportar los esfuerzos mecánicos que produce la fuerza centrífuga; las escobillas se fabrican por lo general de grafito o bien grafito con algún metal para que puedan soportar mayor corriente por unidad de área sin que se deterioren. Como se puede imaginar, se suelta polvito por la fricción y - las piezas en contacto se van desgastando, de ahí la necesidad del manteni miento periódico.

A partir de la década de los sesenta se empezó a utilizar un método de excitación de corriente directa eliminando al excitador piloto (g nerador shunt de c-d), por WESTINGHOUSE; este método desde luego elimina - el uso de escobillas, conmutador, anillos colectores, elimina el manteni- miento que requerían estas piezas del excitador piloto y desde luego reduce los costos de fabricación y mantenimiento; aparte no requiere inspec- - ción tan seguido dando por resultado que no se interrumpa el servicio por- tiempo relativamente prolongado .

El método al que nos referimos se llama " Sistema de excitación- sin escobillas Westinghouse ", esto solucionó los problemas de grandes car gas de excitación para la armadura de la máquina síncrona, sin agregar nue vos problemas o complicaciones; ya que se utiliza un sistema simple de di dos rotativos para suministrar la corriente rectificada que requiere el de vanado de campo de armadura de la máquina síncrona, siendo mucho más con- fiable produciendo excitación o potencias más elevadas sin incrementar con siderablemente costos. No requiere mantenimiento periódico excepto para - una inspección rápida y ocasional.

El método presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona la mejor confiabilidad para producir excitación.
- Reduce considerablemente los costos de mantenimiento por la - eliminación de escobillas, conmutadores y anillos colectores.

- Elimina problemas de polvo de carbón y disminuye la posibilidad de bajo aislamiento de resistencia a tierra.
- Reduce los problemas asociados con la contaminación atmosférica, puesto que todos los componentes están sellados por una valla de protección adecuada.
- Contribuye para seguridad de continuidad de operación, eliminando la necesidad de limpiar o cambiar escobillas bajo carga o - suspensión de trabajo para el reemplazo cuando se requiere.
- Elimina el réstato de campo shunt del excitador a ser de c.a.
- Reduce los costos de establecimiento.
- Permite la operación conservativa continua y tolera sobrecarga transitoria.
- Permite generar a capacidades de potencia más elevadas en comparación con el método antiguo.
- Evita riesgo de interrupción prolongada.

En la actualidad se sigue utilizando este método que se ha mejorado notablemente conservando los detalles originales, modificándose sólo los detalles de los componentes a medida que se ha ganado experiencia, lográndose simplificaciones importantes en la estructura de las plantas generadoras de gran potencia.

Otra parte de tipo secundario para la operación de las máquinas-síncronas son por ejemplo: la tornillería de sujeción, caja de conexiones, sistemas de enfriamiento líquidos o sólidos, sistemas de protección contra sobrecorriente, contra sobretensiones, control de temperatura de los devanados y algunos otros aparatos de tablero, utilizados para monitorear con menor riesgo para los operarios.

## 1.2. TEORIA BASICA DEL ALTERNADOR

Vamos a explicar los principios básicos de operación, primero como al ternador trifásico y otro punto será el funcionamiento del motor síncrono.

El alternador funciona bajo el principio de inducción electromagnética ( Ley de Faraday ), es decir, para transferir energía de un circuito a otro se necesita que exista movimiento relativo entre campo magnético y un grupo de conductores; en el caso del alternador, el estator ( grupo de con ductores) se encuentra estático y el campo magnético creado en la armadura en movimiento. Lo anterior no excluye que el movimiento relativo pueda ser de manera inversa, sólo que en generadores de potencias elevadas se realiza como en el primer caso, por razones ya expuestas en el punto I.I.

Como en la actualidad la mayoría de los alternadores de las plantas - generadoras son trifásicos, enfocaremos la explicación al alternador trifá sico síncrono.

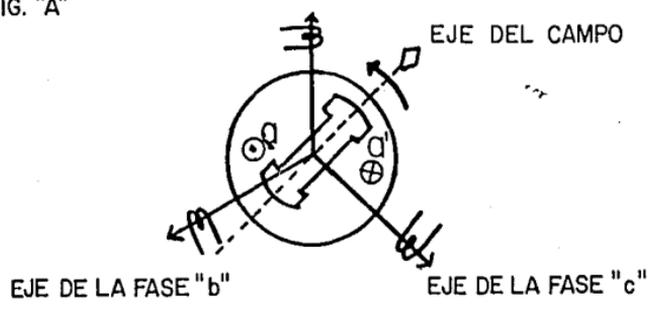
La representación de una máquina trifásica de dos polos se lleva a ca bo como se observa en la Fig. 1.2.A, los polos de la armadura o inductor a base de electroimán son excitados con c-d como se explicó en el punto 1.1, creando en ellos un flujo constante respecto a su curva ( B-H ); dicho flu jo corta los conductores de fase en el estator ( a, b y c ) y de acuerdo - con el principio de inducción se transfiere de éstos un voltaje que depen- de de la variación en el tiempo de los eslabonamientos de flujo cortado. -  
C - - \_\_\_\_\_.

La secuencia de generación de fases positiva se representa como se - observa en la figura anterior, induciéndose primero la energía en los conduc tores del estator de la fase ( a ) y en orden cronológico en los conduc tores de ( b ) y por último en ( c ); repitiéndose ese orden en función - del tiempo.

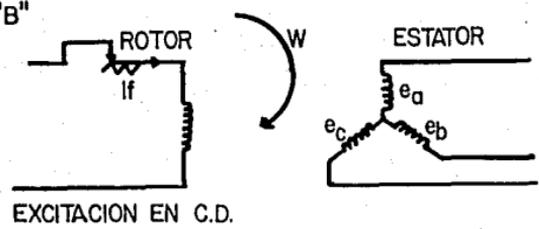
Lo anterior lo podemos representar con un diagrama eléctrico como se - observa en la Fig. 1.2.B, donde se indica el sentido en que debe desplazar se a la armadura por su impulsor mecánico para generar la energía con se- cuencia de fases positiva; en el diagrama se observa cómo queda colocado - el embobinado del estator, desfasados entre fase y fase 120 grados.

Dado que el inductor y el estator se diseñan de tal manera que se lo- gre una distribución de tipo senoidal del campo, los voltajes y corrientes que se inducen en los devanados del estator deben de ser senoidales tam--

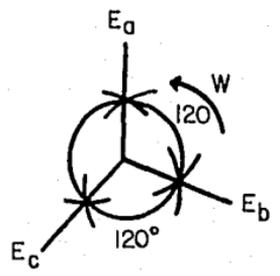
1.2  
FIG. "A"



1.2  
FIG. "B"



1.2  
FIG. "C"



bién, de igual magnitud y desfasados 120 grados entre fase y fase; si la armadura ( inductor ) gira en el sentido de las manecillas del reloj a una velocidad angular (  $\omega$  ), la secuencia de fases generada es positiva ( abc, bca y cab ), cambiando únicamente el orden de referencia, pero las magnitudes de los voltajes deben ser las mismas, quedando de la siguiente forma:

$$e_a = E_{\max} \cos \omega t$$

$$e_b = E_{\max} \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$e_c = E_{\max} \cos (\omega t - 240^\circ) \text{ ó } (\omega t + 120^\circ)$$

Lo anterior lo podemos representar con un diagrama fasorial y con uno senoidal, estos diagramas nos serán de gran utilidad para comprender el funcionamiento de un sistema trifásico ya que el alternador es el origen del resto del sistema, hállese de transformadores, líneas de transmisión y las propias cargas de tipo industrial, comercial o de uso doméstico. En la figura 1.2.C, se representa el diagrama fasorial para generación con secuencia de fases negativa, en la figura 1.2.D, para secuencia positiva; los diagramas senoidales quedan en el mismo orden de secuencia de fases en las figuras 1.2.E, y 1.2.F.

Cuando el alternador está sin carga no fluye corriente a través de los devanados del estator o inducido, entonces, a los voltajes de fase se les llama voltajes de vacío (  $E_o$  ) y su magnitud es proporcional a la corriente de excitación, quedando de la siguiente forma:

$$E_o = \frac{X_{af} I_f}{2}$$

Como en el estator ( inducido ) la inducción se produce en forma senoidal y existe una reactancia inductiva, entonces  $E_o$  se desfasa  $90^\circ$  respecto al flujo de campo.

Con apoyo a la forma matemática de la ley de Faraday se dará la demostración para  $E_o$  por fase, suponiendo que no existen pérdidas de ninguna especie en la máquina síncrona.

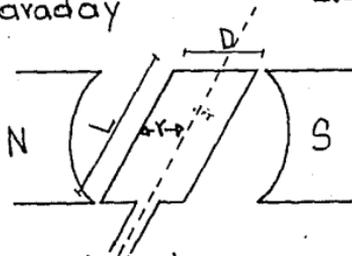
Cuando se le conecta carga a las terminales de salida del alternador en el sistema trifásico, fluyen corrientes a través de cada una de las líneas; si la carga es equilibrada entonces las corrientes también lo serán teóricamente. También existen las corrientes desequilibradas cuando las cargas también lo son, sólo que en estas condiciones de alguna manera se -

# Ley de Faraday

12

$$e = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \text{ para 1 espira}$$

$$e = -N \frac{\partial \phi}{\partial t} \text{ para } N \text{ espiras}$$



donde  $\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA L \rightarrow$  producto de B por A proyectada perpendicular a B

$$e = -N \frac{\partial (BA L)}{\partial t}$$

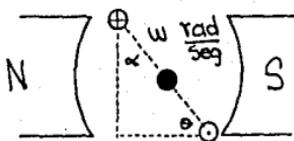
Donde el area  $A_L = L D \cos \alpha = L D \sin \theta$

Sustituyendo

$$e = -N \frac{\partial (B L D \cos \alpha)}{\partial t}$$

Derivando

$$\cos \alpha = -\sin \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial t}$$



$$e = N B L D \sin \alpha \frac{\partial \alpha}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = w \quad \therefore \partial \alpha = w \partial t \rightarrow \alpha = wt$$

$$2\pi = wt \quad ; \quad \frac{2\pi}{T} = w \quad ; \quad F = \frac{1}{T}$$

$$2\pi F = w$$

$$e = N B L D w \sin \alpha$$

$$e = N B L D w \sin(wt)$$

$$e = (NBLD2\pi F) \text{ sen}(2\pi Ft)$$

$$e_{\text{efectiva}} = e/\sqrt{2} = E$$

$$E = e_{\text{efectiva}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} NBLDF$$

$$E = 4.4429 NBLDF$$

$$\text{9}^{\circ} \quad \phi = \underbrace{B}_{\downarrow} \underbrace{A}_{\downarrow} L$$

$$E = 4.4429 NF \phi_{\text{maxima}}$$

o— En el sistema trifasico

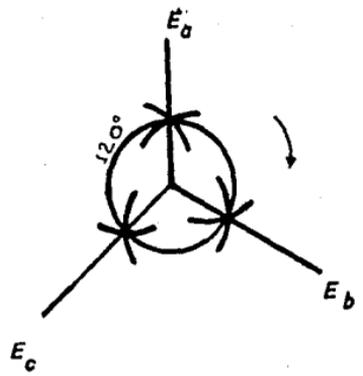
$$e_a = NBLD2\pi F \text{ Sen}(2\pi Ft)$$

$$e_b = NBLD2\pi F \text{ Sen}(2\pi Ft + 2/3\pi)$$

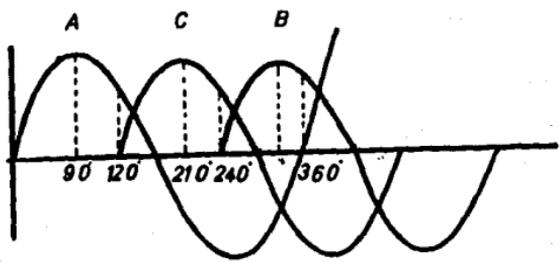
$$e_c = NBLD2\pi F \text{ Sen}(2\pi Ft + 4/3\pi)$$

$$\text{ya que } 4/3\pi = 240^{\circ}$$

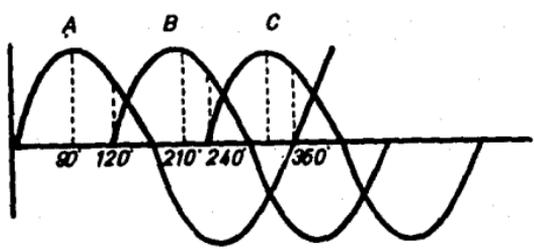
1.2.  
FIG. D



1.2.  
FIG. E



1.2.  
FIG. F



está desperdiciando más energía.

Un aspecto importante en los alternadores lo es el tipo de carga conectada en la salida, el cual repercute en el factor de potencia al cual está operando; lo que a su vez tiene efectos relevantes en la regulación de tensión del alternador y desde luego en la eficiencia del sistema. Si la carga conectada es puramente resistiva el voltaje y la corriente generados van en fase y la energía se aprovecha en algún trabajo útil, y las caídas de tensión por fase son únicamente el producto de la corriente por la resistencia más una pequeña componente reactiva, pero si la carga es RL o RLC existe un desfaseamiento entre el voltaje y la corriente generada por fase, de tal manera que el sistema en el caso de carga RL presenta una regulación de tensión alta por bajo factor de potencia; en el caso de carga RLC es posible que exista compensación de los VARS con la carga capacitiva mejorando la regulación de tensión del generador, de cualquier manera existirá un desfaseamiento entre el voltaje y la corriente, provocando un desperdicio de energía menor que en el caso de carga RL.

Si las cargas son balanceadas las corrientes quedan de la siguiente forma, considerando un factor de potencia determinado:

$$\begin{aligned} I_a &= I_m \cos (wt - \theta) \\ I_b &= I_m \cos (wt - \theta - 120^\circ) \\ I_c &= I_m \cos (wt - \theta - 240^\circ \text{ ó } + 120^\circ) \end{aligned}$$

Donde  $\theta$  es el ángulo cuyo coseno es el factor de potencia en la carga conectada en la salida del generador. En las figuras 1.2.G, 1.2.H y 1.2.I, se observan los diagramas fasoriales para cargas puramente resistiva, predominantemente inductiva y capacitiva en orden.

Cuando empiezan a circular corrientes en los devanados del estator de la máquina síncrona, cada una de las fases se puede representar como se muestra en la figura 1.2.J. El flujo de armadura induce un voltaje que difiere al que existe entre las terminales de fase o de línea a línea, porque el devanado del estator tiene resistencia y una inductancia que producen caídas de voltaje. Si hacemos un análisis en base a las leyes de Kirchhoff y puesto que la corriente es senoidal, tendremos lo siguiente:

$$E_a = V_t + R_a I + jX_a I$$

Donde:

SECUENCIA DE FASES  
POSITIVA

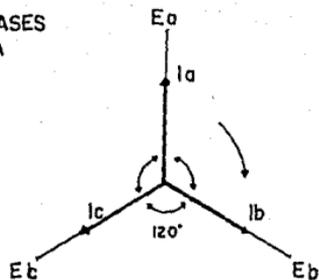


FIG. 1.2.G

V EN FASE CON LA I

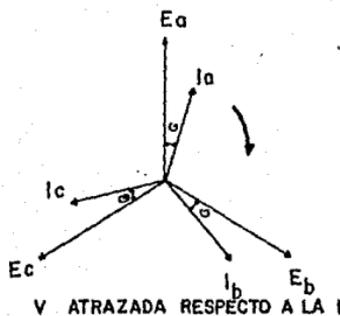


FIG. 1.2.H.

V ATRAZADA RESPECTO A LA I

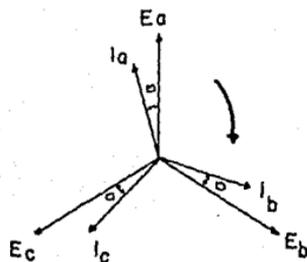


FIG. 1.2.I

$E_a$  = Es el voltaje inducido de armadura al estator ( inductor a inducido ).

$R_a$  = Es la resistencia por fase, que depende del coeficiente de resistividad del material, la longitud del conductor y del área transversal media.

$V_t$  = Es el voltaje entre terminales por fase ( línea a neutro ).

$X_e$  = Es la reactancia del embobinado por fase del estator, está dada en ohms y es igual a  $2\sqrt{f}FL \approx 6.28 FL$ , donde: F está en cps y L se encuentra en henry.

I = Es la corriente que circula por el devanado del estator.

Aunque en realidad ocurren dos caídas de tensión de tipo reactivo, - aparte de la caída resistiva; una es producida por el flujo de dispersión- la cual es más grande mientras mayor sea la magnitud de la corriente circulante a través del devanado del estator y la otra caída producida por la - reacción de armadura, o sea, la que se produce por la interacción de los - dos campos magnéticos ( armadura y estator o inductor e inducido ), a esta suma de reactancias se le llama: reactancia síncrona, de tal suerte que la caída de tensión se le llama caída por reactancia síncrona. El diagrama -- que represneta lo anterior queda como se observa en la Fig. 1.2.K, si apli- camos las leyes de Kirchoff su ecuación queda de la siguiente forma:

$$E_f = V_t + I_a R_a + JX_s I_a$$

Donde:

$E_f$  = Es el voltaje interno inducido por el flujo de armadura.

$JX_s$  = Es la reactancia síncrona.

En algunos casos la caída (  $I_a R_a$  ) puede ser despreciable comparádo- la con la reactancia síncrona, tomándose en cuenta sólo para calcular pér- didas y eficiencia.

El alternador síncrono queda representado como en la figura 1.2.L, -- considerando una carga balanceada; dicha carga puede ir desde lo que es la primera etapa elevadora ( transformadores ), la línea de transmisión, -- transformadores reductores, o bien, cargas a base de motores, lámparas, - equipo de medición, etc., directamente acoplados a las terminales de sali- da del alternador síncrono, como sucede en algunas plantas generadoras de- emergencia de cines, supermercados, escuelas, hospitales, plantas indus--

Fig. 1.2 J

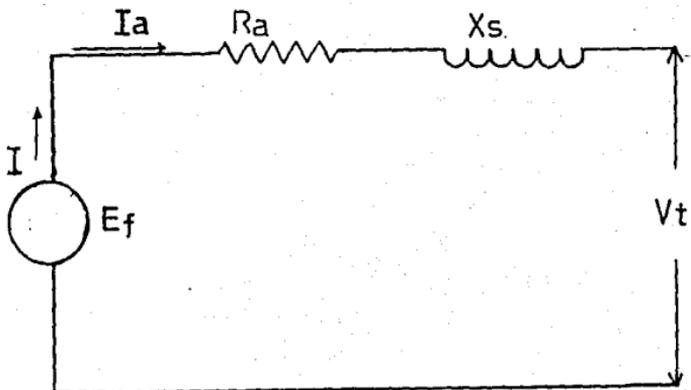
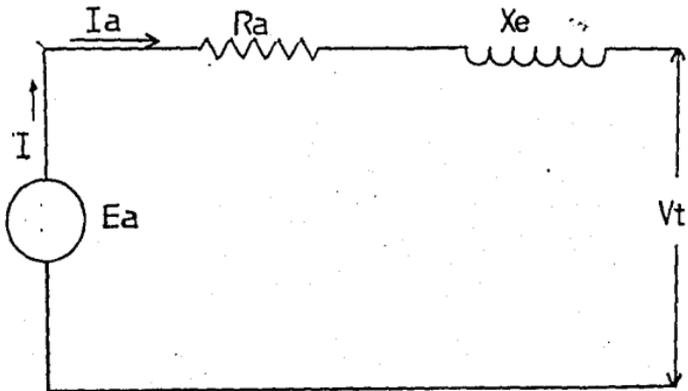


Fig. 1.2 K

triales, etc.

Cuando el alternador opera con cargas desbalanceadas, la eficiencia y aprovechamiento de la máquina bajan de manera apreciable, siendo más significativa cuanto más desbalanceada sea la carga entre terminales, y cuanto más sobrecarga tengamos acoplada, claro está también, que si el tipo de carga es predominantemente inductiva, la eficiencia y aprovechamiento de la máquina van a bajar más todavía, que si la carga es solamente resistiva, más detalles al respecto se verán durante el curso.

Si la máquina síncrona operando como alternador tiene cargas con bajo factor de potencia, o bien con un elevado factor de potencia, para poder controlar esas variaciones se utilizan máquinas síncronas operando como motor sin carga mecánica acoplada, y controlando la excitación del campo de armadura ( inductor ) es posible entregar o absorber potencia reactiva; de esta manera el alternador síncrono puede operar con una regulación de tensión relativamente estable. Si al motor que se utiliza como regulador síncrono se le sub-excita el campo del inductor es posible que absorba potencia reactiva, si por el contrario se le sobre-excita puede entregar potencia reactiva, controlando de esta manera el factor de potencia.

Un bajo factor de potencia implica un bajo aprovechamiento del sistema de generación, de ahí la importancia de corregirlo adecuadamente y con los medios más económicos posibles.

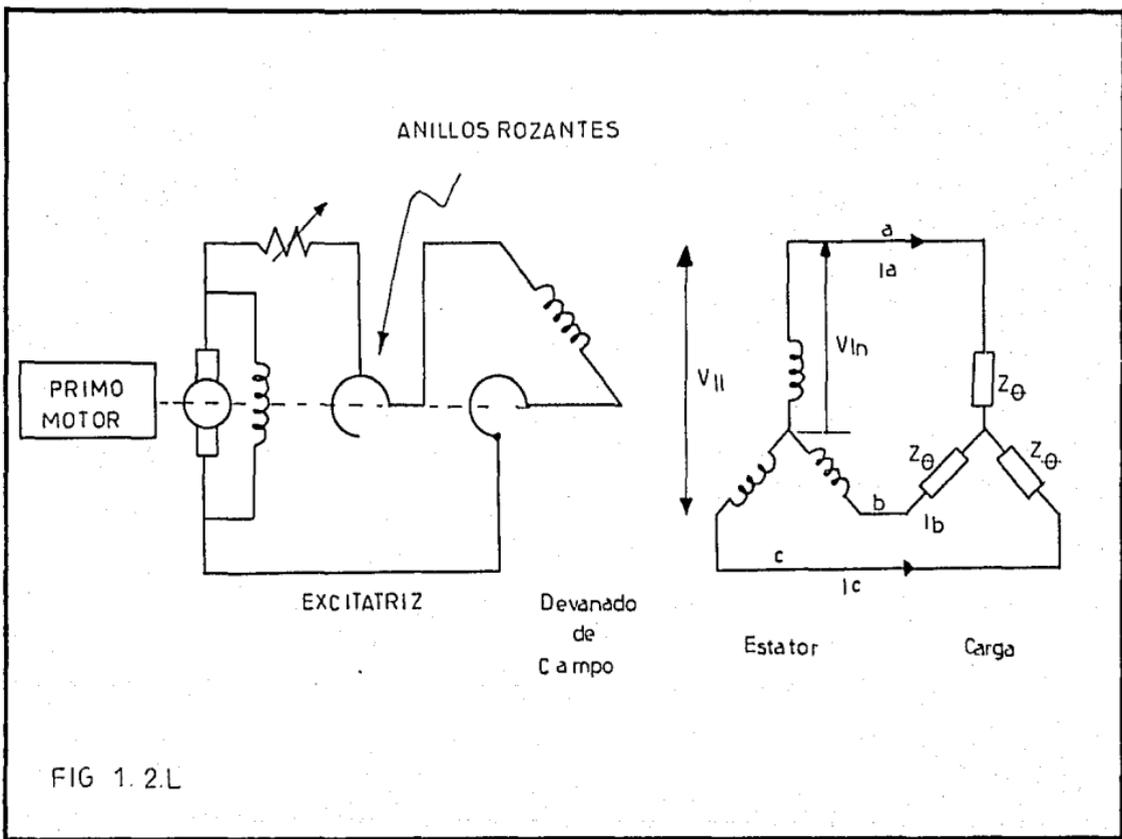


FIG 1.2.L

### 1.3. TEORIA BASICA DEL MOTOR.

A continuación veremos un poco de la teoría básica de la máquina síncrona funcionando ahora como motor.

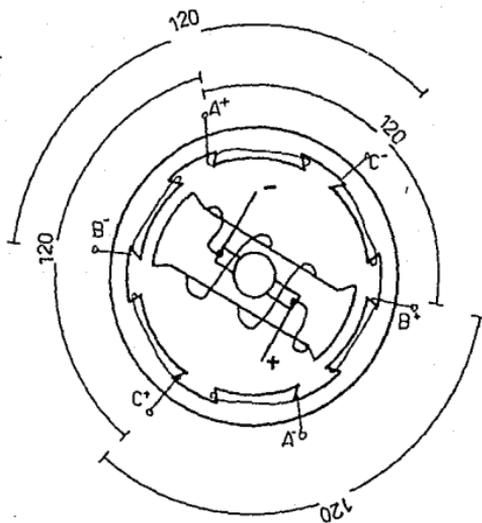
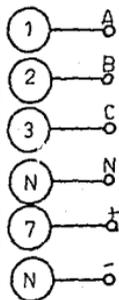
Mencionamos anteriormente que la máquina síncrona es cien por ciento-reversible; para hacerlo funcionar como motor necesitamos aplicarle potencia eléctrica, tanto al estator, como al rotor. En el caso del estator utilizamos una fuente de energía trifásica de corriente alterna para generar un campo magnético giratorio que lleve una velocidad constante; en el caso de la armadura o rotor, necesitamos excitarlo con una fuente de energía de c-d para producir un campo magnético unidireccional y constante en cuanto a su curva B-H para una corriente de excitación de magnitud definida dentro del punto de saturación magnética del embotinado monofásico del rotor; de tal manera que se requieren dos fuentes de energía. Para el estator, la fuente puede ser la salida de un transformador trifásico, las terminales de una línea de transmisión trifásica, o bien las terminales de alternador trifásico síncrono, en el caso del rotor se puede utilizar como fuente de energía una fuente externa, o bien una excitatriz acoplada a la flecha del motor para motores de alta velocidad, cualquiera que sea el caso la fuente debe ser de corriente directa, al menos la que llega al devanado del rotor.

Con lo que se mencionó anteriormente, quiere decir entonces que la estructura de una máquina síncrona funcionando como motor es básicamente la misma que la de un alternador.

En la figura 1.3.A, se muestra un motor de dos polos por fase, conectado en estrella sin indicar cuantas ramuras tiene por polo por fase, nada más lo vamos a tomar de referencia para explicar cómo funciona el motor síncrono de tres fases; siempre el número de polos que tenga el estator debe ser el mismo que tenga el rotor.

Al momento de energizar el estator trifásico, las corrientes van a entrar a los devanados de fase en orden cronológico y con una secuencia de fases previamente determinada, ya sea positiva ( abc, bca, cab ) o bien negativa ( acb, cba, bac ), si tomamos de referencia la secuencia positiva ( abc ) como punto de partida, entonces la primera corriente que entre será la de fase ( a ), esta corriente nos va a generar un campo magnético alterno en el devanado del estator de igual forma va a suceder con la corriente de las fases b y c en ese orden y con un desfaseamiento entre fases de 120-

FIG 1,3.A



$$N = A^- \cdot B^- \cdot C^-$$

CONEXION ESTRELLA

secuencia de fase positiva

grados eléctricos.

Las corrientes entrarían como se observa en la figura 1.3.B, de tal manera que la corriente de la fase ( b ) crece hasta que la de fase ( a ) empieza a disminuir, y la de fase ( c ) no crece hasta que la de fase ( b ) disminuye, repitiéndose lo anterior a una frecuencia que depende de la fuente de energía que alimenta al estator.

Cuando el campo magnético de la fase ( a ) es el predominante, puesto que la corriente en ese instante lo es, se genera un polo norte y un polo-sur en ese devanado de fase, cada uno de estos polos atrae a un polo de armadura de signo contrario acoplándose mutuamente; lo anterior se puede ver en la figura 1.3.C, un tiempo después cuando la corriente predominante es la de fase ( b ), el campo magnético predominante de la fase ( b ) también lo es en un intervalo de tiempo, generando dos polos que también atraen a dos polos de armadura de signos opuestos, acoplándose como se observa en la figura 1.3.D, posteriormente la corriente predominante es la de la fase ( c ), de tal forma que ahora el campo magnético cuya fuerza de atracción-predominante, también es la de fase ( c ), de igual manera atrae a dos polos de signo contrario de la armadura, girando siempre a la misma velocidad en revoluciones por minuto, esto último se puede observar en la figura 1.3.E, luego se repite nuevamente el procedimiento en la fase ( a ), siguiendo ese orden de fases a una velocidad constante que depende de el número de polos que tiene la máquina, la frecuencia de la fuente de alimentación trifásica y el espacio en grados eléctricos que existen entre fase y fase; su ecuación es la siguiente:  $N_g = 120 F/P$ . Como todos estos parámetros son constantes, salvo alguna posible perturbación o inestabilidad de la frecuencia por fallas fuera de control, la velocidad es siempre la misma, tanto del campo rotario, como de la armadura, de ahí el nombre de velocidad de sincronismo utilizado tan comúnmente en máquinas síncronas, cuyo nombre es derivado por lo anteriormente explicado.

Como el campo magnético de cada una de las fases del estator es alterno porque su corriente de excitación también lo es, sucede que existe un intervalo de tiempo en que los polos de estator y armadura se atraen y otro intervalo de tiempo igual en el que se rechazan o interactúan entre sí produciendo el par electromagnético. Si el campo magnético rotatorio no existiera, el par del motor síncrono sería pulsatorio y no se movería el rotor; es el cambio de posición del campo en el estator quien hace que es-

FIG. 13.B

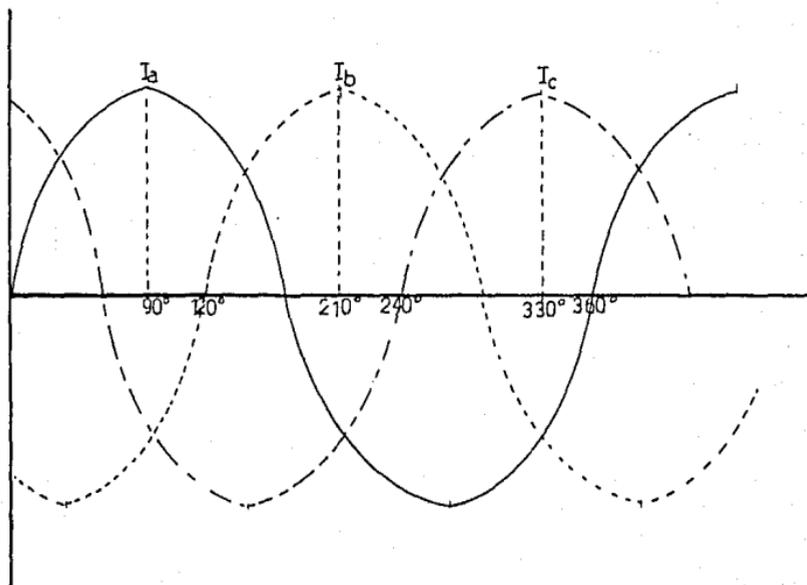


FIG. 13.C

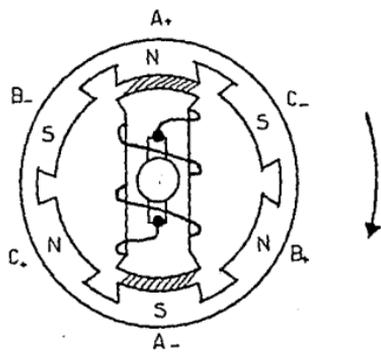


FIG. 13.D

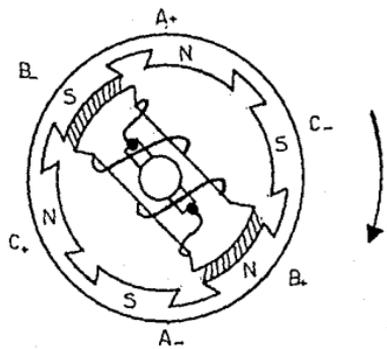
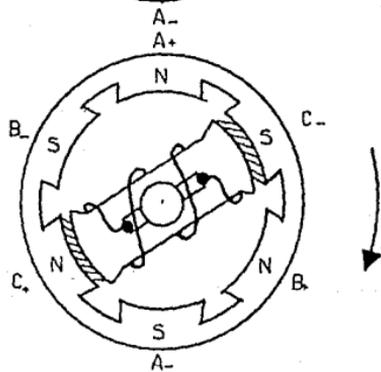


FIG. 13.E

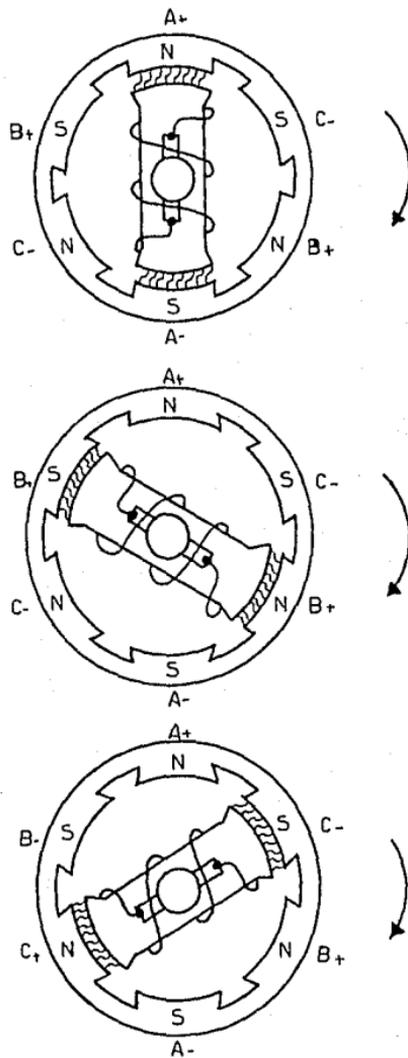


te tipo de motores tenga un par uniforme y definido en cuanto al sentido - en que se desarrolle. Cuando el motor está sin carga las líneas de flujo - del campo de estator y armadura se atraen e interactúan con un ángulo de - desfasamiento muy pequeño, entonces el par electromagnético o par desarrollado es muy pequeño dado que sólo tiene que vencer el peso de la armadura y la fricción de las piezas en contacto en los rodamientos; cuando se le - empieza a aplicar carga mecánica a la flecha del motor la tendencia de la - máquina es a detenerse, entonces produce un pequeño retraso de posición de las líneas de flujo de la armadura respecto a las del campo del estator, - esto permite que el efecto de la fuerza contraelectromotriz del rotor disminuya su función en el estator permitiendo el paso de mayor corriente en cada una de las fases del estator y logrando con esto que la fuerza electrotromotriz del estator sea mayor, provocando a su vez que el par desarrollado se incremente a medida que se incrementa la carga. Al desplazamiento angular entre los polos de inductor e inducido o de rotor y estator al aumentar la carga se le llama ANGUILO DE PAR, el cual estará limitado por la corriente nominal del embobinado del estator, de tal manera que si se sobrecarga significativamente rebasando mucho la corriente nominal, el cambio de posición momentáneo entre rotor y estator será considerable saliéndose de sincronía; esto sucede al romperse las líneas de flujo que se encuentran enlazadas entre un polo de un signo del estator con las de signo contrario de la armadura, las fuerzas de atracción resultan a mayor distancia más débiles rompiéndose el acoplamiento magnético.

En la figura 1.3.F, se puede observar lo que provoca el incremento de carga mecánica en un motor síncrono en cuanto a la posición del rotor y el restiramiento de líneas magnéticas acopladas.

Cuando la máquina síncrona está funcionando como motor está sin carga mecánica acoplada a su flecha, la corriente que absorbe de la fuente de - energía externa trifásica por fase es muy pequeña, puesto que no desarrolla más que un pequeño par para poder desplazar el peso de la armadura y - vencer la fricción de los rodamientos; en estas condiciones de operación, - el motor se puede representar por fase como se muestra en la figura 1.3.G, de tal manera que al aplicar las leyes de Kirchoff nos queda la siguiente ecuación:  $E_a = V_t - R_a I - jX_s I$ , sólo que ahora  $V_t$  es el voltaje que le -- aplicamos por fase entre terminales del estator.

FIG 13.F



Quando la máquina empieza a desplazar carga mecánica hasta alcanzar - la carga nominal, entonces la corriente incrementa su magnitud produciendo más pérdidas de energía, y por supuesto más caída de tensión; en estas condiciones el motor se puede representar por fase como se muestra en la figura 1.3.H, de tal manera que al aplicar las leyes de Kirchhoff nos queda la siguiente ecuación:  $E_a = V_t - I_a R_a - JX_B I_a$ , donde  $V_t$  es el voltaje que le aplicamos por fase entre terminales del estator, el cual debe mantenerse - a un valor constante.

Por sus características presenta varias ventajas de operación con respecto a otros motores, como son las siguientes:

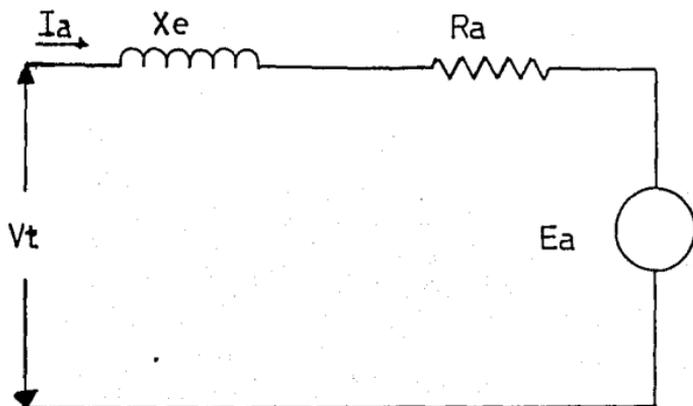
- a).- Puede mantener su velocidad constante dentro del rango de - carga cero hasta la carga nominal confiablemente.
- b).- Es posible controlar su factor potencia.

También presenta algunas desventajas, como son las siguientes:

- a).- No se puede utilizar donde se requiere velocidad variable.
- b).- Requiere una fuente de excitación de c-d adicional.
- c).- No tiene PAR de arranque, por lo que con carga debe ser ayudado por otro motor hasta alcanzar un 90 a 95% de su velocidad de sincronismo.
- d).- Es posible que se salga de sincronismo al sobrecargarlo.
- e).- Desde luego resulta más costoso.

Este tipo de motores se puede utilizar en las centrales eléctricas y en plantas industriales para corregir el factor de potencia, en bombas centrifugas, en grupos de motor-generador; en fin en todas aquellas aplicaciones que requieran velocidad constante para su operación.

FIG. 1.3 G



SIN CARGA MECANICA

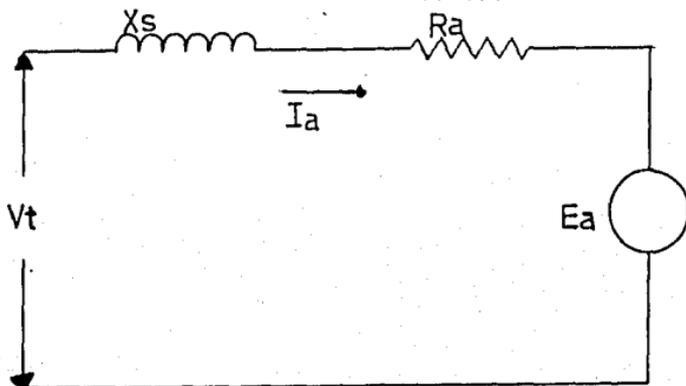


FIG. 1.3 H

CON CARGA MECANICA NOMINAL

## P R A C T I C A # I

## ESTRUCTURA DE LA MAQUINA SINCRONA Y GENERACION DE UN CAMPO MAGNETICO GIRATORIO.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

El alumno debe estar familiarizado con la estructura de la máquina síncrona, al menos indentificar la forma y función básica de cada una de las piezas que la componen.

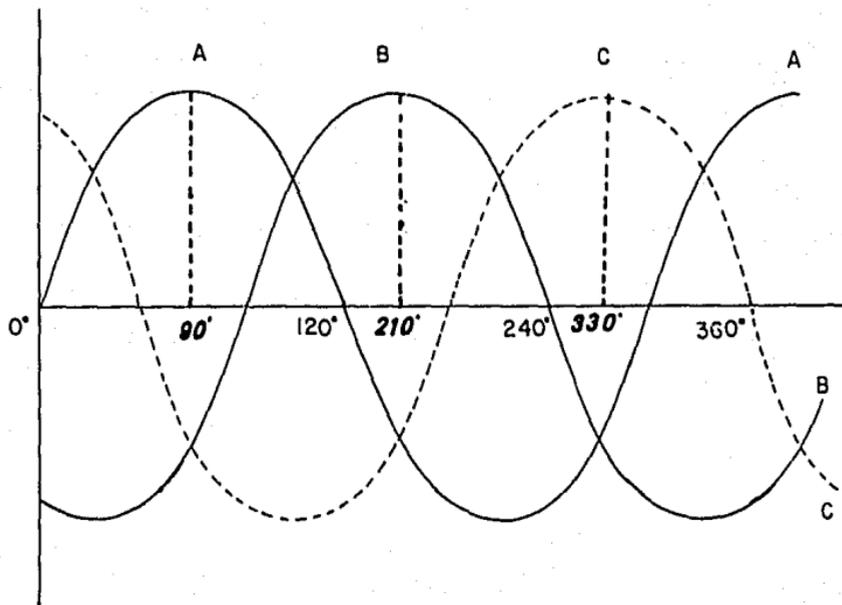
Es importante comprender cómo al aplicarle energía trifásica a un estator trifásico de una máquina síncrona, o bien, de un motor de inducción, se produce en ellos un campo magnético rotatorio, cuyo sentido de giro depende de la secuencia de fases aplicada en las terminales del estator por una fuente externa; también que la velocidad a la que gira dicho campo es constante sin importar la carga mecánica que pueda tener la flecha de la máquina, ya que dicha velocidad depende de los siguientes parámetros que siempre son constantes: El espacio en grados eléctricos que existen entre fase y fase, siendo dicho espacio  $120^{\circ}$ ; de la frecuencia de la fuente de energía que alimenta el estator, y del número de polos (P) que tiene la máquina en cuestión; lo anterior se da en forma matemática con la siguiente ecuación: Velocidad síncrona =  $N_s = 120 F/P$ .

En la figura 3.1.A, se observa cómo entran las corrientes en el embobinado del estator trifásico, para una secuencia de fases positiva, también se observa el espacio en grados eléctricos entre fase y fase, repitiéndose en orden cronológico a una frecuencia constante.

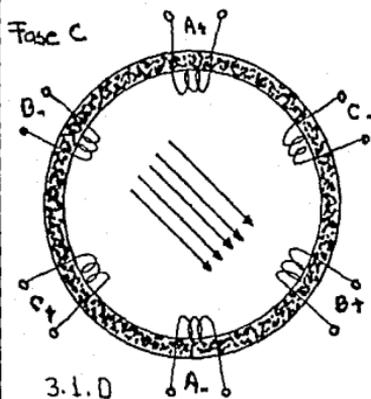
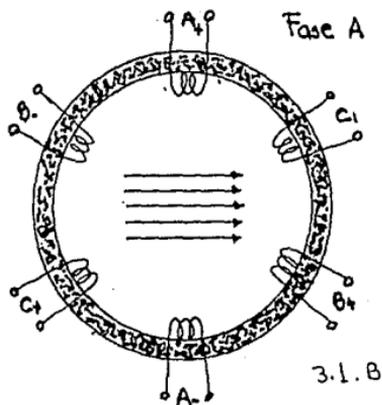
En las figuras 3.1.B, 3.1.C y 3.1.D, se observa el efecto de rotación del campo magnético del estator en el sentido de las manecillas del reloj ( secuencia de fases positiva ), repitiéndose el fenómeno cronológicamente y a velocidad constante mientras dure aplicada la energía por la fuente externa.

Desde luego la magnitud de las corrientes va a ser mayor mientras mayor sea la carga mecánica aplicada a la flecha de la máquina, y por consecuencia la intensidad del campo magnético giratorio también crecerá de manera proporcional dentro de los valores nominales de los parámetros.

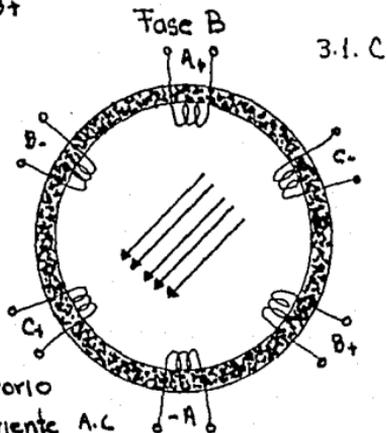
FIG 3.1 A



Campo magnetico  
producido por la  
fase A



Campo magnetico  
producido por la  
fase C



Campo magnetico  
producido por la  
fase B

Campo magnetico givatorio  
engendrado por la corriente A.C  
que circula por un arrollamiento trifasico. N.S giva.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- Mencione sólo en este punto todas las partes de una máquina síncrona.- Separe las principales de las secundarias. No explique nada referente a las partes.
- 2.- ¿Cómo está compuesto un estator ( sus partes )? ¿ De qué material es c/u de ellas?
- 3.- ¿ Cómo está compuesta una armadura o rotor de la máquina síncrona (sus partes)? ¿ De qué material es c/u de ellas?
- 4.- ¿ Qué parte es giratoria, y cuál es fija? ¿ Se pueden dar los dos casos? Explique completa y claramente. Esto es, puede ser el estator fijo y la armadura móvil o viceversa?
- 5.- Mencione solamente qué tipos de fuente de excitación se utilizan para la armadura o inductor.
- 6.- Explique por qué el estator es laminado.
- 7.- Diga si la armadura es también laminado o no. Explique su (s) respuesta claramente.
- 8.- Explique brevemente y de manera clara cuál es la función de cada una de las partes de la armadura o inductor.
- 9.- Existen dos tipos de armaduras. ¿ Dónde se utiliza una y otra ? Los tipos a que nos referimos es en cuanto a la estructura.
- 10.- Calcule la velocidad síncrona de los generadores que tienen los siguientes datos: a) 60 Hz, 4 polos; b) 60 Hz, 2 polos; c) 50 Hz, 6 polos; d) 50 Hz, 4 polos; e) 50 Hz, 2 polos y f) 60 Hz, 6 polos.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno **COMPRENDA** claramente la estructura y función básica de cada una de las partes de la máquina síncrona.

- Que el alumno identifique las diferentes formas de conectar un estator trifásico.
- Que el alumno defina la función básica de cada una de las partes de la máquina síncrona y sus variantes.
- Que el alumno distinga el efecto de campo magnético giratorio en un estator trifásico.
- Que el alumno reconozca cómo se produce el acoplamiento del campo magnético giratorio del estator con el rotor, alcanzando este último la velocidad síncrona.

**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Fuente de energía trifásica fija, terminales ( 1,2,3 y N ).
- \* Estator trifásico de caballaje fraccionado, no mayor de 1 hp.
- \* Laminaciones de estator y de armadura.
- \* Máquina Síncrona trifásica LAB-VOLT.
- \* Rotafolio con los diagramas de conexión.
- \* Voltímetro de c. a. con escala de 0-250 V ( módulo ).
- \* Amperímetros de c. a. ( módulo que tenga de 0-25 A. ).
- \* Tacómetro y estroboscopio.
- \* Cables de conexión.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

I.- Solicite a su instructor las piezas de un estator trifásico.

I.I.- Identifique cada una de sus partes, anotando en el espacio inferior la letra de identificación acompañada del nombre de la pieza en cues ti ón.

1.2.- Mencione qué materiales tiene cada una de las piezas anteriores.

1.3.- Algunas piezas del estator son aleaciones, o bien, combinaciones de materiales. ¿Por qué es necesario lo anterior, y en qué piezas? Explique claramente.

2.- Solicite a su instructor las piezas de un rotor de máquina síncrona - del tipo jaula de ardilla.

2.1.- Identifique cada una de sus partes, anotando su letra de identificación acompañada del nombre de la pieza en cuestión.

2.2.- Mencione qué materiales tiene cada una de las piezas anteriores.

2.3.- Algunas de las piezas del rotor son aleaciones, o bien, combinaciones de materiales. ¿Por qué es necesario lo anterior, y en qué piezas? Explique claramente. Respuestas al punto 1.3 y 2.3.

3.- Conecte las terminales de un estator trifásico como se muestra en la figura 3.1.E. NO APLIQUE POTENCIA POR AHORA.

3.1.- Discuta con sus compañeros otras formas posibles de conectar el estator. Si las hay, menciónelas a su instructor corroborando sus ideas y anote sus respuestas.

3.2.- Ponga un rodamiento de material ferromagnético en el centro de su estator conectado ya a su fuente de energía ( INTERRUPTOR ABIERTO ). Ahora sí aplique potencia. NO DEJE CERRADA SU FUENTE DE ENERGÍA POR MÁS DE TRES SEGUNDOS. CUIDADO. Describa lo que pasa con el rodamiento anotando su respuesta en el espacio siguiente.

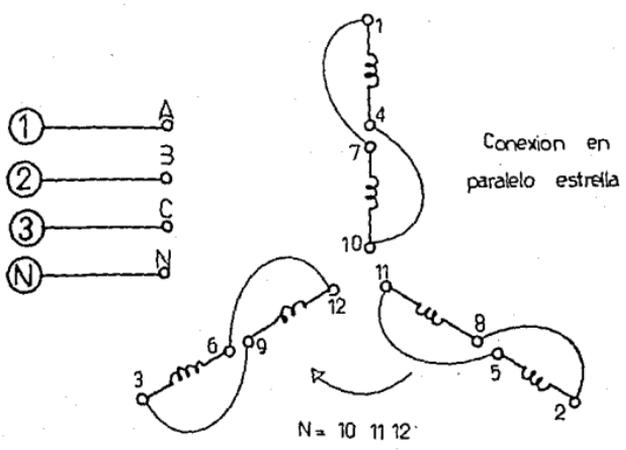
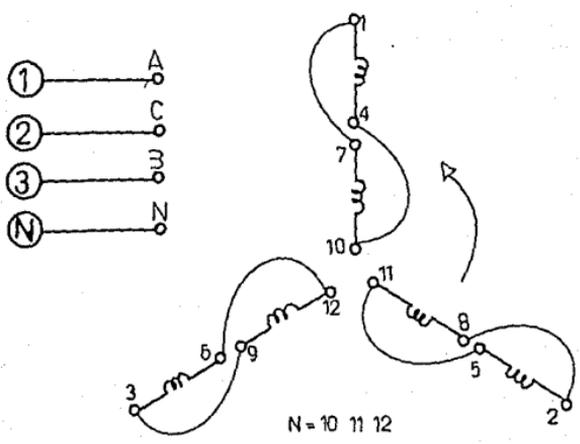


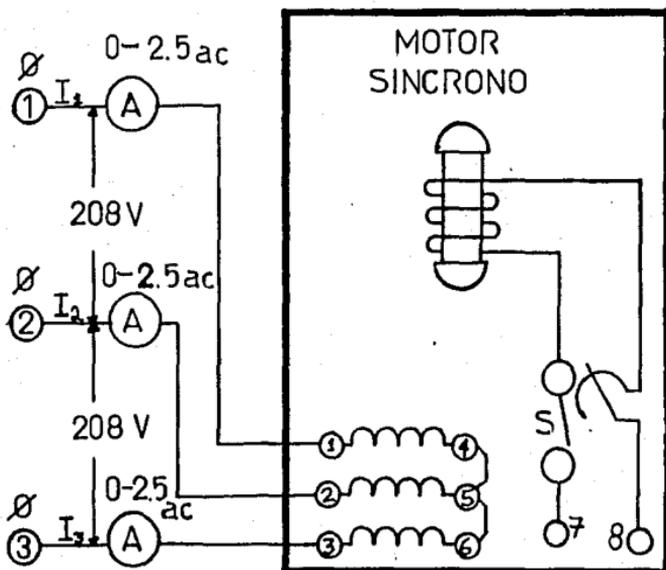
FIG 3.1E Secuencia de fase positiva



Secuencia de fase negativa

- 3.3.- Repita el procedimiento anterior, intercambiando dos de las tres ter  
minales de la fuente de energía. ¿Qué sucede ?
- 4.- Conecte el siguiente circuito como se observa en la figura 3.1.F. Uti-  
lice la máquina síncrona armada. No cierre el interruptor del rotor -  
por ahora.
- 4.1.- Aplique potencia, cerrando el interruptor de su fuente de energía. -  
¿Qué sucede con el rotor ? ¿Cuál es su sentido de rotación ?
- 4.2.- Utilice el tacómetro y mida su velocidad en RPM.
- 4.3.- Cierre el interruptor del rotor. Describa qué sucede al momento de -  
cerrarlo, observe cuidadosamente.
- 4.4.- Utilice el tacómetro y mida su velocidad en RPM.
- 4.5.- Invierta dos de las tres terminales de su fuente de energía ( CUIDAN  
DO QUE SU FUENTE ESTE ABIERTA ).
- 4.6.- Ahora sí aplique potencia. Describa sus observaciones con el inte---  
ruptor del rotor abierto.
- 4.7.- Mida su velocidad con el tacómetro. RPM.
- 4.8.- Cierre el interruptor del rotor. Describa sus observaciones.
- 4.9.- Mida su velocidad. RPM. ¿ Coincide con la del punto -  
4.4. ?

FIG. 3.I.F.



## PRUEBA DE CONOCIMIENTOS:

- 1.- Haga las diferentes conexiones del estator con dibujos, utilizando sus conocimientos adquiridos en la práctica.
  
- 2.-¿ Puede excitarse el rotor de una máquina síncrona con corriente alterna ? Explique su respuesta.
  
- 3.-¿ Qué tipo de rotor se utiliza en máquinas síncronas de alta velocidad? Explique su respuesta.
  
- 4.-¿ Qué tipo de rotores se utilizan en máquinas de baja velocidad ? Explique su respuesta.
  
- 5.-¿ Por qué la velocidad del rotor de la máquina síncrona utilizada en la práctica difiere de los puntos 4.2 y 4.4 ?
  
- 6.-¿ Es la misma velocidad en los puntos 4.2 y 4.7, así como en los puntos 4.4 y 4.9 ? ¿ Por qué ?. Respuestas 5 y 6

COMPARACION TEORICO-PRACTICA :

CONCLUSIONES .

## PRACTICA # 2

## RELACION QUE EXISTE ENTRE FRECUENCIA Y VELOCIDAD.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

En los motores síncronos polifásicos, la frecuencia, el número de polos y el espacio en grados eléctricos entre fase y fase deben mantenerse siempre constantes, a fin de que la velocidad también se mantenga constante ( velocidad síncrona), por otro lado es importante que la carga que se mueva con el motor síncrono no exceda los valores nominales de corriente - en las fases del estator y el rotor de la máquina más allá del rango especificado por el fabricante; en vacío no existe problema.

Respecto al número de polos y el espacio entre fases ya vienen determinados por el fabricante, es cuestión de diseño. En cuanto a la frecuencia y la carga, el usuario los puede controlar. Para la frecuencia se utilizan dispositivos electrónicos ( cambiadores de frecuencia ) acoplados a la entrada del motor, o bien, se altera la velocidad del alternador por medio de su impulsor en la planta generadora; para controlar la carga únicamente se quita o se agrega teniendo cuidado de no exceder los valores nominales de corriente en las fases del estator.

En base a lo anterior podemos comprobar que la ecuación  $N_p = 120 F/P$  es una relación que afecta, tanto al alternador trifásico en los cambios de frecuencia al variar la velocidad del impulsor, como a un motor síncrono que opera dentro de los valores nominales de carga, de tal forma que para una carga estable se puede cambiar su velocidad con sólo alterar su frecuencia. Los otros parámetros son cuestión de diseño y es indistinto como alternador o motor.

En el caso de un motor trifásico del tipo jaula de ardilla, la velocidad del campo magnético giratorio se calcula de la misma forma que en los motores síncronos, sólo que el primero tiene deslizamiento en cuanto a la operación del rotor o armadura, el motor síncrono NO tiene dicho deslizamiento, por lo que la velocidad de campo giratorio es igual a la del rotor o armadura.

El deslizamiento en vacío de un motor de 1/4 de HP del tipo jaula de ardilla es aproximadamente de 0.5 %, este dato lo vamos a utilizar como factor de corrección en la práctica por no contar con dos máquinas síncronas o con un cambiador de frecuencia.

## BANCO DE PREGUNTAS.

- 1.- Investigue una definición de alternador trifásico síncrono.
- 2.- Investigue una definición de motor trifásico síncrono.
- 3.- ¿ Qué es velocidad síncrona ?
- 4.- ¿ Qué es velocidad asíncrona ?
- 5.- ¿ Qué es un campo magnético giratorio ? ¿ Cómo se produce ?
- 6.- ¿ Qué ecuación nos relaciona la velocidad del campo magnético giratorio en una máquina síncrona trifásica? Diga qué son cada uno de los parámetros de la ecuación.
- 7.- Respecto a la pregunta anterior. ¿ Qué parámetros puede variar un usuario ? ¿ Por qué los otros parámetros no los puede cambiar el usuario común y corriente ?
- 8.- Respecto a la pregunta anterior, primera parte. ¿ Cómo lo puede llevar a cabo ?
- 9.- Calcular la velocidad síncrona de los generadores que tienen los siguientes datos:  
a).- 60 Hz, 4 polos; b).- 60 Hz, 6 polos; c).- 50 Hz, 4 polos.
- 10.- ¿ Un motor síncrono tiene deslizamiento ? Explique su respuesta brevemente sin profundizar.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno sea capaz de aplicar correctamente la relación que existe entre frecuencia y velocidad en una máquina síncrona.

Que analice la relación en el alternador síncrono trifásico.

Que analice la relación en el motor síncrono trifásico.

Que compare los puntos anteriores.

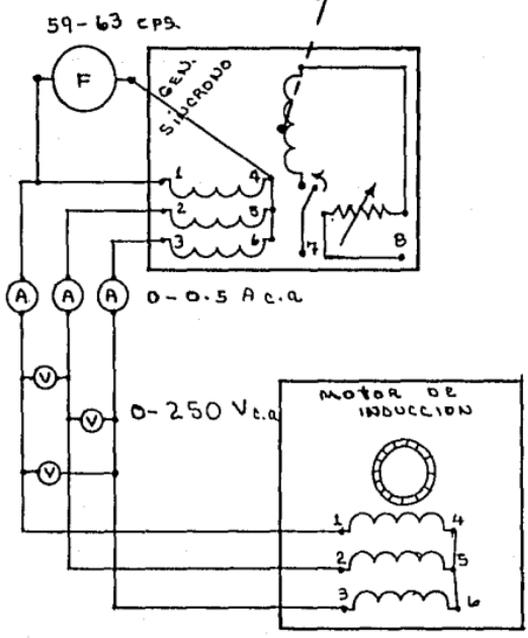
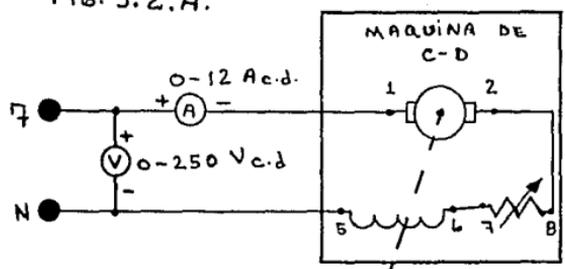
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de fuente de alimentación LAB-VOLT.
- \* Módulo de motor/ generador de C. D.
- \* Módulo de motor/ generador síncrono.
- \* Módulo de motor de inducción jaula de ardilla.
- \* Frecuencímetro de 59 a 63 cps, 125 Volts, modelo 7004.
- \* Tacómetro digital modelo TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio LAB-VOLT.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. con escalas de 0-250 V.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. con escalas de 0-2.5 A.
- \* Módulo de Volt-Amper de C. D.
- \* Cables de conexión LAB- VOLT y tipo caimanes.
- \* Banda.

**DISEÑO DE PRACTICA:**

- 1.- Conecte el circuito mostrado en la figura 3.2.A. NO APLIQUE POTENCIA - POR AHORA.
- 2.- Pida a su instructor que revise las conexiones.
- 3.- Aplique potencia gradualmente y verifique el sentido de rotación de su sistema. Todas las máquinas deben girar en el sentido de las manecillas del reloj.
- 4.- Si la máquina de C. D. gira en sentido inverso, intercambie las terminales de su fuente de energía.
- 5.- Si el motor de inducción jaula de ardilla gira en sentido inverso, in-

FIG. 3.2.A.





## PRUEBA DE CONOCIMIENTOS:

- 1.- ¿ Cómo puede cambiar el sentido de rotación del motor que es alimentado por su alternador síncrono en su práctica ? Explique su respuesta.
  
- 2.- ¿ Existe alguna otra manera de hacer lo anterior en el sistema utilizado como práctica ? Explique su respuesta.
  
- 3.- Investigue qué diferencias físicas existen entre alternadores trifásicos utilizados en Hidro-eléctricas, respecto a los que se utilizan en Termo-eléctricas. ¿ Por qué son diferentes ? Amplíe su respuesta de forma clara.

COMPARACION TEORICO-PRACTICA :

CONCLUSIONES .

## PRACTICA # 3

## ESTUDIO DEL ALTERNADOR SINCRONO TRIFASICO OPERANDO SIN CARGA ( EN VACIO ).

## ANTECEDENTES TEORICOS:

En un experimento que resulta sencillo realizar en laboratorio se pueden comprobar fácilmente las características en vacío de un alternador trifásico sincrónico.

Todos los alternadores entregan un voltaje cuya frecuencia depende totalmente de la velocidad de desplazamiento, del número de polos y del espacio entre fases que tiene la máquina sincrónica.

El valor en magnitud del voltaje generado por fase en la salida ( terminales de línea a neutro ) cuando la máquina está sin carga depende de los siguientes parámetros: La velocidad de rotación a la que se desplaza el campo magnético de corriente directa, de la magnitud de la corriente de excitación del campo creado en el rotor y de la reactancia por fase en el estator. En base a lo anterior lo que se hace es fijar el alternador a una velocidad nominal ( velocidad sincrónica ) con el impulsor mecánico estando el alternador en vacío; se dan diferentes valores de corriente de excitación de C. D. al rotor y se va graficando la curva; esto porque al dar incrementos de corriente, el flujo magnético se va incrementando en proporción directa y por consecuencia el voltaje generado también crece en proporción al incremento del flujo, sólo que el voltaje se desfasa en atraso respecto al flujo. No obstante los incrementos en la corriente de excitación del campo de corriente directa, el flujo alcanzará finalmente un valor lo suficientemente alto que satura el material magnético de la máquina sincrónica, ya sea el hierro o el acero al silicio; de esta forma la curva de generación o de saturación magnética empieza a perder proporcionalidad, de no ser por esto la curva podría ser lineal, cosa que no es posible en realidad. Según la teoría electromagnética, la saturación del hierro significa que, para un incremento dado de la corriente de campo de C.D., se tendrá un incremento menor en el flujo creado en el rotor; por lo tanto también el voltaje generado crece en una proporción cada vez más pequeña.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- Dibuje el circuito equivalente más elemental para un alternador síncro  
no.
- 2.- ¿Qué es una curva de magnetización ? ¿ Para qué sirven ?
- 3.- ¿ Para qué se realizan pruebas en vacío en alternadores síncronos? Ex-  
plique en forma breve y clara.
- 4.- ¿ Cómo se logra el desfase constante de  $120^{\circ}$  entre una fase y otra  
del voltaje generado por un alternador síncrono ? Explique brevemente y  
en forma clara.
- 5.- ¿Qué es la reactancia síncrona ? Explique claramente.
- 6.- Si un alternador síncrono trabaja en vacío y repentinamente se le some  
te a un corto circuito en las terminales de salida. ¿Qué sucede al ins-  
tante del corto circuito y un tiempo después ? Amplíe un poco sus res-  
puestas¿ Se puede dejar así permanentemente?
- 7.- Un alternador síncrono operando sin carga ( en vacío ) y sin corriente  
de excitación de campo, ¿ Puede generar voltaje entre terminales de sa-  
lida ? Explique brevemente su respuesta.
- 8.- ¿ Qué sucede si la corriente de excitación del campo se eleva muy por-  
por arriba de su valor nominal por tiempo indefinido en un alternador-  
síncrono operando en vacío ? ¿Se puede hacer lo anterior en interva-  
los de tiempo pequeños ? Explique brevemente y de forma clara.
- 9.- ¿Qué sucede en un alternador síncrono operando en vacío, si repentina-  
mente se le baja o se incrementa su velocidad de rotación por medio de  
su impulsor mecánico ? ¿Qué parámetros son los que se ven afectados ?  
Explique en forma breve.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno compruebe las características en vacío de un alternador trifásico síncrono.

Que el alumno obtenga la curva de saturación magnética de el alternador síncrono.

Que el alumno obtenga las características de corto circuito del alternador síncrono.

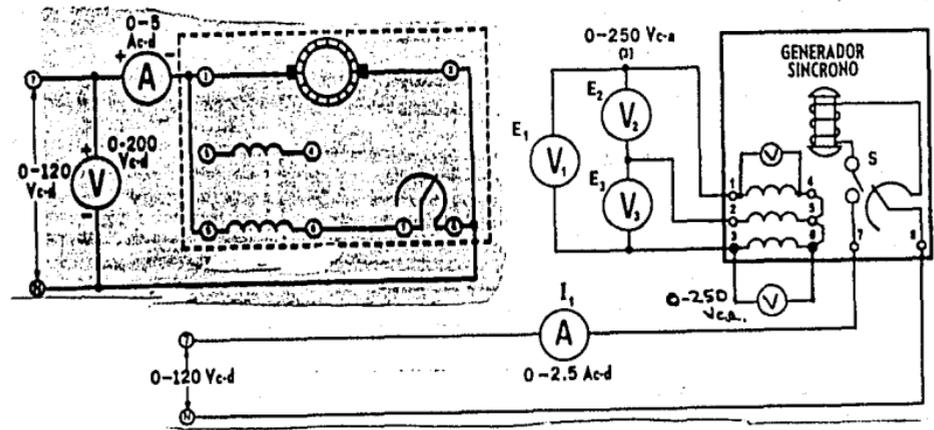
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de motor/generador de C. D.
- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de interruptor de sincronización.
- \* Módulo de voltímetros, de C. A. de 0-250 Volts y de 0-150.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. de 0-25 A.
- \* Módulo de Volt-Amperímetro de C. D.
- \* Tacómetro digital Modelo TACHO DT-2235.
- \* Cables de conexión.
- \* Banda.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL.**

- 1.- Conecte el circuito mostrado en la figura 3.3.A. cuidadosamente.
- 2.- Pida a su instructor que le revise sus conexiones.
- 3.- Acople el motor de C. D. al alternador síncrono por medio de la banda.
- 4.- Ajuste el reóstato de campo del alternador síncrono a su posición de máxima resistencia ( sentido inverso a las manecillas del reloj ). -- Abra el interruptor de palanca del reóstato.
- 5.- Aplique potencia con la fuente de alimentación. El motor de corriente directa debe girar en sentido de las manecillas del reloj, si no es así intercambie las terminales 1 y 2 del motor de C. D.
- 6.- Ajuste la velocidad con el tacómetro a 1800 RPM, moviendo el reóstato-

FIG. 3.3.A.

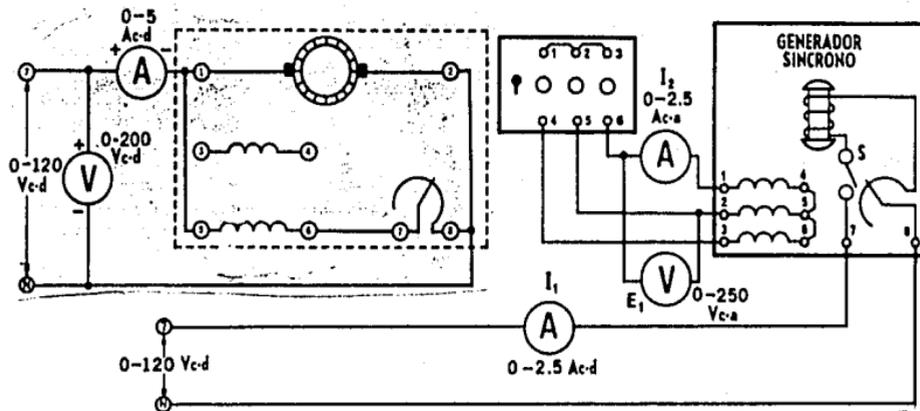


- de excitación de campo de la máquina de C. D. ( terminales 7 y 8 ).
- 7.- Mida todos los voltajes de fase y de línea-línea y anótelos en la tabla 3.3.A, para la condición de acero corriente de excitación de campo del alternador síncrono.
  - 8.- Cierre el interruptor de palanca del campo del alternador síncrono.
  - 9.- Con la perilla de control de la fuente de alimentación ajuste la magnitud de la corriente de excitación del campo del alternador a 0.1 Amper de C. D.
  - 10.- Mida y anote todos sus voltajes de fase y de línea-línea en la tabla 3.3.A, para ese valor de excitación de campo.
  - 11.- Repita el punto anterior para todos los valores de corriente de excitación indicados en la tabla para el alternador síncrono.
  - 12.- Reduzca el voltaje completamente con la perilla de la fuente de alimentación y abra el interruptor de tres polos de la propia fuente.
  - 13.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.3.B, cuidadosamente.
  - 14.- Pida a su instructor le revise sus conexiones.
  - 15.- Abra el interruptor de tres polos de palanca del módulo de sincronización.
  - 16.- Con la velocidad ajustada en 1800 RPM, regule el voltaje de  $E_T$  a 208-Volts variando la excitación de campo y la perilla de voltaje de la fuente de alimentación. Las tres lámparas deberán estar encendidas.
  - 17.- Anote el valor de la corriente de excitación de campo del alternador-síncrono. Ac. d.
  - 18.- Ponga en corto circuito las tres terminales del alternador, cerrando el interruptor del módulo de sincronización. Observe qué sucede instantáneamente con la corriente de línea del alternador (  $I_2$  ), y un tiempo después.
  - 19.- ¿ Qué valor alcanza instantáneamente  $I_2$  aproximadamente ? A.
  - 20.- ¿ En qué valor se estabiliza tiempo después ? A.
  - 21.- Abra su interruptor de tres polos de la fuente de alimentación.
  - 22.- Desconecte completamente todo su circuito.

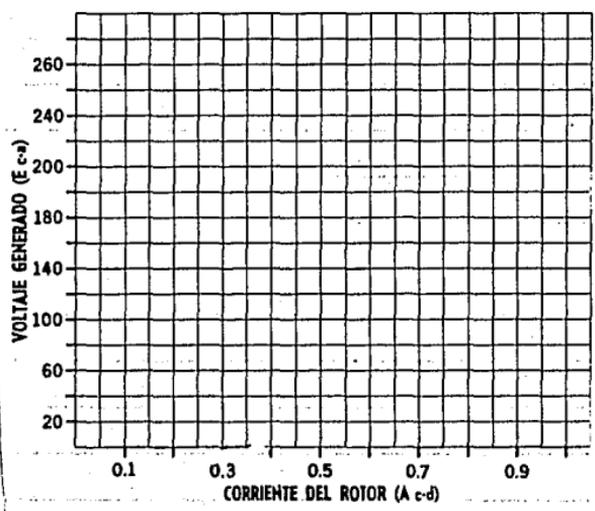
$I_{exc}$	$V_{HB}$	$V_{DC}$	$V_{CA}$	$V_{AN}$	$V_{BN}$	$V_{CN}$
0						
0.1						
0.2						
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						

TABLA 3.3.A

FIG. 3.3.B.







COMPARACION TEORICO-PRACTICA Y CONCLUSIONES.

## P R A C T I C A # 4

GENERADOR TRIFASICO SINCRONO BAJO DEFERENTES TIPOS DE CARGA BALANCEADA Y -  
DESBALANCEADA.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

Cuando el alternador está sin carga el voltaje de salida depende básicamente del flujo resultante en el entrehierro; puesto que no existe corriente en los devanados del estator, tampoco existe fuerza magnetomotriz en dichos devanados, y el flujo de entrehierro depende básicamente de la corriente de excitación del campo en el rotor ( corriente directa ). Pero cuando existe carga y fluye corriente a través del estator aparece otra fuerza magnetomotriz cuya interacción con la del rotor hacen que exista un desfaseamiento del voltaje de salida con carga respecto al voltaje que se tenía en vacío, esto cuando la carga es puramente resistiva donde el voltaje y la corriente de carga están en fase. Ya que cuando existen otros tipos de carga como la inductiva o capacitiva, estos producen otros efectos, en el primer caso donde la carga es predominante inductiva se produce un retraso de la corriente respecto al voltaje en la carga y esto provoca que el rotor se desmagnetice un poco dando por resultado que las fuerzas magnetomotrizes de estator y rotor produzcan un desfaseamiento entre el voltaje de salida con carga respecto al voltaje de vacío un poco más pequeño que si la carga fuera puramente resistiva; en el segundo caso donde la carga es predominante capacitiva el efecto es totalmente opuesto a lo que pasa con carga inductiva, esto es, la corriente y el voltaje también se desfasan pero la corriente va en adelanto y provoca un efecto magnetizante en el rotor, como las fuerzas magnetomotrizes son más grandes el desfaseamiento entre voltaje vacío y voltaje de carga es más grande incluso que cuando la carga es puramente resistiva.

Desde luego al existir corrientes en el estator y puesto que los devanados tienen una impedancia también van a existir caídas de tensión, entonces el voltaje de salida para cargas resistivas y predominantemente inductivas va a tener siempre una magnitud menor que en vacío, en el caso de cargas capacitivas si éstas son predominantes pueden hacer que el voltaje de carga sea mayor que en vacío.

Cuando las cargas son balanceadas se tiene que tener cuidado solamente de no operar el alternador en la zona de saturación, de no rebasar los -

valores permitidos por el fabricante en cuanto a la corriente de carga por línea y cuidar el bajo factor de potencia al cual se opera, la frecuencia de operación y la temperatura de la máquina. Pero las cargas son desbalanceadas, aparte de que no es aconsejable operar el alternador con cargas demasiado desbalanceadas por el bajo aprovechamiento de la máquina, es importante tener mucho cuidado con la saturación magnética, la temperatura de operación ya que la máquina se calentará de manera no uniforme porque las corrientes de fase son diferentes en magnitud y el flujo resultante por polo por fase también lo es; al ser fuerzas magnetomotrices diferentes por polo por fase también se ve sometido a esfuerzos mecánicos no uniformes que contribuyen a un calentamiento disparejo con el posible riesgo de falla o de inestabilidad. Desde luego lo anterior se puede controlar con protecciones adecuadas, pero el bajo rendimiento se ve sacrificado en escala considerable dependiendo de la magnitud del desbalance de cargas. Otra cosa importante al operar con cargas desbalanceadas es la correcta operación del hilo de neutro para el retorno de corrientes y lograr mantener el voltaje más o menos uniforme en las cargas a pesar de que sean de diferentes corrientes absorbidas en cuanto a la magnitud.

Independientemente de las cargas balanceadas o desbalanceadas la regulación de tensión se ve afectada mientras mayor sea la carga, una carga resistiva provoca mejor regulación de tensión que una carga inductiva del mismo valor por efecto desmagnetizante que tienen estas últimas, en cambio una carga capacitiva da una regulación negativa por el efecto magnetizante que se produce.

Con cargas desbalanceadas en gran escala provocan regulación de tensión más mala que en caso de cargas balanceadas o con muy poco desbalanceo de ellas, entonces es importante tener todo lo anterior en cuenta para un mejor aprovechamiento de los alternadores síncronos y el equipo auxiliar.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- ¿ Por qué un alternador no debe operarse en la zona de saturación magnéticas ? Explique ampliamente y de manera clara.
- 2.- Dibuje el diagrama equivalente del alternador con carga y explíquelo brevemente.
- 3.- Haga los diagramas vectoriales del alternador para los diferentes tipos de carga existentes y explíquelos breve y claramente.
- 4.- Explique por qué un alternador síncrono siempre se conecta en estrella. brevemente y de forma clara.
- 5.- ¿ Qué sucede con el flujo del entrehierro del alternador síncrono bajo las siguientes cargas: a) puramente resistiva; b) predominantemente inductiva; c) predominantemente capacitiva ? Explique de forma breve y clara.
- 6.- Investigue si existen otras formas posibles de excitar el campo del rotor de corriente directa en la actualidad. Explique brevemente.
- 7.- Diga todo lo que puede provocar un alternador que se opera al inicio exactamente del codo de saturación magnética, pero que es sobrecargado de manera considerable en cuanto a la corriente nominal de línea y no tiene protección contra sobrecorriente. Su carga es balanceada. Investigue ampliamente.
- 8.- Investigue ampliamente por qué debe mantenerse un alternador operando siempre a velocidad constante independientemente de la carga que tenga. Explique brevemente sus investigaciones.
- 9.- Anote la ecuación de regulación de tensión y explique de forma breve cada uno de sus parámetros.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno compruebe el efecto de diferentes cargas balanceadas o desbalanceadas y la importancia del hilo neutro en un alternador síncrono.

Que compare el efecto de voltaje y corriente con cargas balanceadas - R, L y C.

Que compare el efecto de voltaje y corriente con cargas desbalanceadas R, L y C.

Que compare el efecto de regulación de tensión en las diferentes cargas utilizadas.

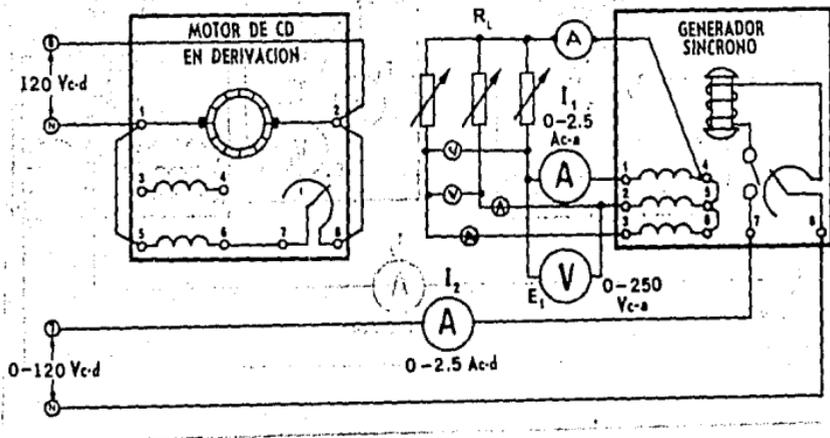
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de motor/ generador de C. D.
- \* Módulo de motor/ generador síncrono.
- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de capacitancia.
- \* Módulo de resistencia.
- \* Módulo de inductancia.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. de 0-250 Volts.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. de 0-2.5 Amperes.
- \* Módulo de Volt-Ampermetro de C. D.
- \* 2 TMK.
- \* Tacómetro digital TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio de equipo LAE-VOLT.
- \* Banda.
- \* Cables de conexión.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.4.A, cuidadosamente. REVI SE QUE LA FUENTE DE ALIMENTACION ESTE ABIERTA ANTES DE HACER CUALQUIER CONEXION.
- 2.- Pida a su instructor que lo revise sus conexiones.
- 3.- Acople el motor de C. D. al alternador por medio de la banda.

FIG. 3.4.A.



- 4.- Ajuste el réostato de campo del motor de C. D. en resistencia mínima ( sentido totalmente a las manecillas del reloj ).
- 5.- Ajuste todas las resistencias en posición abierta ( palanca en posición inferior ).
- 6.- Ajuste el réostato de campo del alternador síncrono a un valor de resistencia máxima ( sentido inverso a las manecillas del reloj ).
- 7.- Cierre el interruptor de palanca del campo del alternador ( posición superior ).
- 8.- Aplique potencia cerrando el interruptor de tres polos de la fuente de alimentación. Gire la perilla de la fuente, el motor de C. D. debe girar en sentido de las manecillas del reloj. Si no es así abra su fuente e intercambie las terminales 1 y 2 del motor de C.D.
- 9.- Con la perilla de la fuente de alimentación y el réostato del motor de C. D. ajuste la velocidad a 1800 RPM. Utilice el tacómetro digital. Es ta velocidad debe mantenerla constante durante el resto del experimento, no lo olvide.
- 10.- Con el réostato de campo del alternador, ajuste el voltaje de línea-línea a un valor de 220 Volts, no vuelva a tocar el réostato durante el resto del experimento.
- 11.- Mida los voltajes de línea-línea, corrientes de línea y del hilo de neutro para todos los valores mostrados en la tabla 3.4.A., Calcule la regulación en cada caso posteriormente a la práctica y analice sus resultados cuidadosamente.  
  
Recuerde ajustar la velocidad cada que cambie de carga.
- 12.- Cambie la carga por una inductiva también equilibrada y repita el punto (11). La fuente debe estar en posición abierta antes de hacer cambio de conexiones de carga.
- 13.- Cambie la carga por una capacitiva también equilibra y repita el punto (11). La fuente debe estar abierta antes de hacer cambio de conexiones.
- 14.- Vuelva a poner carga puramente resistiva y llene la tabla indicada -- con el número 3.4.B, LA FUENTE DEBE ESTAR ABIERTA ANTES DE CAMBIAR CONEXIONES. La carga ahora es desequilibrada según se observa en la ta-



Carga puramente resistiva desbalanceada .

Valores de cargas en orden de fases A,B y C : 300, 200 y 171

$V_{AB}$	$V_{BC}$	$V_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	% Reg.

Carga puramente inductiva desbalanceada .

--	--	--	--	--	--	--	--

Carga puramente capacitiva desbalanceada .

--	--	--	--	--	--	--	--

TABLA 3.4.B

bla. Tome todos los datos indicados.

15.- Repita el punto ( 14 ) para carga inductiva.

16.- Repita el punto ( 14 ) para carga capacitiva.

17.- Abra la fuente de alimentación y desconecte totalmente el circuito.

## PRUEBA DE CONOCIMIENTOS:

- 1.- ¿ Qué tipo de carga produce más caída de tensión a un mismo valor en ohms de dicha carga, en el alternador ? Explique porque.
  
- 2.- Explique por qué es importante el neutro del alternador síncrono.
  
- 3.- ¿ Por qué es importante cuidar la temperatura de operación del alternador síncrono ?
  
- 4.- ¿ Por qué en cargas capacitivas el voltaje aumenta al incrementar dicha carga ?
  
- 5.- ¿ Puede suceder en un alternador que el voltaje de carga nominal sea mayor que en vacío, cuando las cargas conectadas son resistivas, inductivas o bien RL ? Explique su respuesta brevemente.

COMPARACION TEORICO-PRACTICA.

C O N C L U S I O N E S .

## PRACTICA # 5

EFFECTOS DE LA SATURACION DEL ALTERNADOR SINCRONO CON DIFERENTES TIPOS DE CARGAS Y METODOS DE REGULACION.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

En alternadores síncronos la saturación magnética produce cambios en el flujo resultante del entrehierro, en las fuerzas magnetomotrices, la regulación de tensión, temperatura de operación, eficiencia, esfuerzos mecánicos, deterioro de los materiales aislantes de manera más rápida en función del tiempo, etc. Lo anterior sucede tanto en cargas balanceadas como desbalanceadas, sólo que en estas últimas lo anterior que mencionamos se ve afectado de una manera dispareja en las fases del estator, de tal manera que a mayor desbalance en las cargas mayor es el daño posible en la máquina en función del tiempo de estado permanente.

La fuerza magnetomotriz del estator tiene un efecto importante en el flujo magnético resultante del alternador síncrono, de ahí que el alternador tenga una regulación de tensión muy mala con cargas resistivas e inductivas, a bien, cuando son combinadas (RL); ya que un incremento de corriente produce un aumento en la magnitud de la fuerza magnetomotriz del estator y éste hace que el flujo resultante baje en su magnitud; este efecto es mayor con cargas puramente inductivas por la desmagnetización que provoca este tipo de cargas, de ahí que la regulación de tensión sea peor en este tipo de cargas.

Una forma de mejorar la regulación de tensión sería sobre-excitar el campo del alternador con sus inconvenientes al operar en la zona de saturación magnética, la otra forma sería mejorar el factor de potencia con bancos capacitores, o bien, con condensadores síncronos acoplados a las líneas de transmisión. Al hacerlo con los dos últimos métodos no provocamos daños al alternador síncrono en las modalidades arriba mencionadas.

Las cargas capacitivas o bien el condensador síncrono compensan los VARS inductivos que requieren los motores, transformadores, equipos de soldadura, balastras, etc. Potencia necesaria para el funcionamiento de estos aparatos, pero que no producen algo útil por sí mismos; al existir compensación de VARS inductivos con los VARS capacitivos el alternador de una planta generadora ya no se desmagnetiza, mejorándose la regulación de tensión, la eficiencia y en general el funcionamiento adecuado y óptimo del -

alternador.

Desde luego al no requerir sobre-excitar el campo del alternador no exponemos a daños mayores los circuitos internos del alternador, tampoco a los núcleos y materiales aislantes por calentamientos excesivos y los esfuerzos mecánicos adicionales, amén de factores imprevistos por alguna falla del sistema en general.

Por lo anterior resulta importante proveer de protecciones a la máquina síncrona contra sobrecorrientes, sobrevoltajes, calentamientos excesivos, bloqueos accidentales y algunos otros factores derivados de lo anterior, en el último capítulo hablaremos más de protecciones.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- Explique ampliamente qué es la regulación de tensión de un alternador-síncrono. Sea claro.
  
- 2.- Explique ampliamente cómo se puede mejorar la regulación de tensión en los alternadores síncronos. ¿ Qué método es más utilizado ? ¿ Por qué? Explique claramente.
  
- 3.- Explique ampliamente qué es el factor de potencia y cómo se puede corregir en un alternador síncrono. ¿ Qué método es más utilizado ? ¿ Por qué ? Explique claramente.
  
- 4.- Explique brevemente los métodos para encontrar el voltaje en vacío ( $E'$ ) de un alternador síncrono trifásico, sin tener que desconectar la carga acoplada nominalmente.

## OBJETIVOS:

Que el alumno valore los efectos de saturación y de regulación de volaje de un alternador síncrono trifásico con diferentes cargas balanceadas y desbalanceadas.

Que analice el efecto de saturación con las distintas cargas.

Que analice la regulación de tensión con distintas cargas.

Que analice el factor de potencia con las diferentes cargas.

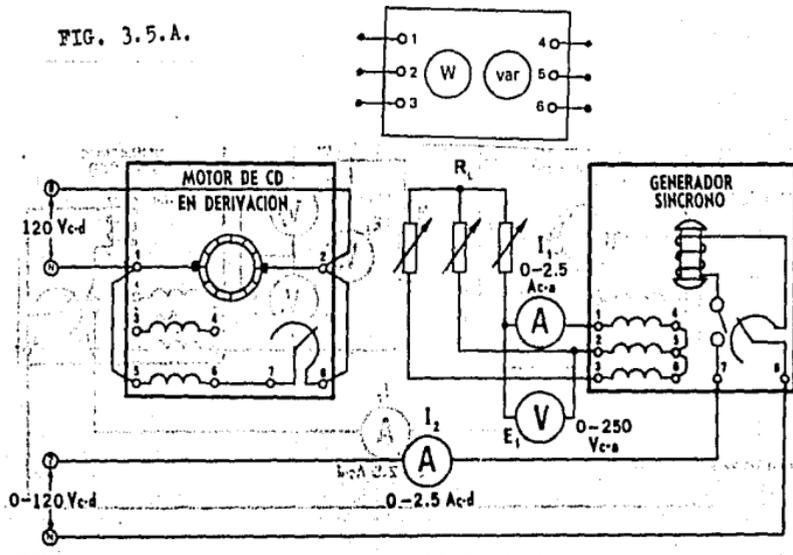
## MATERIAL REQUERIDO:

- \* Módulo de fuente de energía.
- \* Módulo de motor/generador de C. D.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulos de resistencia, inductancia y capacitancia uno de *c/u*.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. con escala de 0-250 V.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. con escalas de 0-2.5 A.
- \* Módulo de medición de C. D. ( Volt-Ampermetro ).
- \* 2 TWK.
- \* Tacómetro digital, modelo TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio.
- \* Banda y cables de conexión.

## DESARROLLO Y DISEÑO DE PRACTICA TOTAL:

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.5.A, cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE DE ENERGIA ESTE ABIERTA ANTES DE HACER CUALQUIER CONEXION.
- 2.- Acople el alternador por medio de la banda a la máquina de C. D.
- 3.- Ajuste el reóstato de campo del motor de C. D. a su posición de resistencia mínima ( sentido de las manecillas del reloj ).
- 4.- Ponga el reóstato de campo del alternador síncrono a su posición de resistencia máxima ( sentido inverso a las manecillas del reloj ).
- 5.- Abra los interruptores de las cargas y del reóstato del alternador sin crono ( posición inferior en todas ).

FIG. 3.5.A.



- 6.- Conecte la fuente de energía y con el tacómetro ajuste el reóstato del motor de C. D. para una velocidad de 1800 RPM. El motor debe girar en sentido de las manecillas del reloj. Si no es así intercambie las terminales de la máquina de corriente directa ( terminales 1 y 2 ).
- 7.- Cierre el interruptor del reóstato del alternador síncrono.
- 8.- Ajuste la excitación de C. D. del alternador síncrono hasta que el voltaje de línea-líneal sea 208 Volts. Reajuste la velocidad nuevamente en 1800 RPM. Anote el valor de la corriente de excitación de C.D.

Acđ.

- 9.- Aumente la corriente de excitación al máximo según lo permita el reóstato del alternador síncrono. Anote lo siguiente:

$I_{exc}$	Acđ., $V_{LL}$	Vca., $I_L$	Aca., Vel.	RPM.
-----------	----------------	-------------	------------	------

Anote algunas otras observaciones.

- 10.- Reajuste la excitación nuevamente para un voltaje de 208 V. Rectifi-- que la velocidad en 1800 RPM.
- 11.- Ajuste cada sección de resistencias a un valor de 300 ohms. ( carga - equilibrada prácticamente ).
- 12.- Observe cuidadosamente el efecto al hacer lo anterior. Anote nuevamente sus resultados:  $V_{LL}$  Vca.,  $I_L$  Aca Vel. RPM
- 13.- Incremente la excitación del alternador hasta el valor máximo según lo permita el reóstato. Observe sus efectos y anote sus resultados: -
- | $I_{exc}$ | Acđ., $V_{LL}$ | Vca., $I_L$ | Aca. Vel | RPM |
|-----------|----------------|-------------|----------|-----|
|-----------|----------------|-------------|----------|-----|

Sus observaciones adicionales.

- 14.- Abra el interruptor del reóstato del alternador y cambie las cargas por una inductiva. Abra las nuevas cargas. Repita los procedimientos del 10 al 13.

Respuestas :

15.- Repita el punto 14 para carga capacitiva.

Respuestas.-

16.- Abra el interruptor del reóstato del alternador y, cambie nuevamente a carga resistiva. Repita los puntos del 10 al 13, sólo que en punto 11 las cargas deberán ser de 300, 200 y 272 ohms respectivamente ( - carga desbalanceada ).

17.- Repita el punto 16 para carga puramente inductiva.

18.- Repita el punto 17 para carga puramente capacitiva.

Respuestas de los puntos 16 al 18.-

19.- Abra la fuente de energía con el interruptor general y pare.

20.- Abra todos los interruptores de cargas y el del alternador.

21.- Intercale un Watt-varímetro trifásico entre el alternador y las cargas. Conectando las terminales de salida del alternador en orden ABC- ( terminales 1,2 y 3 ) a las terminales 1,2 y 3 del medidor de potencia; las terminales 4,5. y 6 se conectan a la carga en el mismo orden que estaban.

22.- Energice el sistema cerrando el interruptor de la fuente de alimentación.

23.- Cierre el interruptor del alternador. Ajuste la excitación a un volta je de 208 V. Ajuste la velocidad del impulsor a 1800 RPM, mantenga es ta velocidad en adelante.

24.- Llene la tabla 3.5.A. Mantenga la velocidad constante.

25.- Abra la fuente de energía. Desconecte todo el sistema. Fin.

Carga puramente resistiva equilibrada .						
Carga	$V_{LL}$	$I_L$	W	VARs	% Reg	FP.
0						
1200						
600						
300						
171						
Carga puramente inductiva equilibrada						
0						
1200						
600						
300						
171						
Carga resistiva - inductiva equilibrada .						
0						
1200						
600						
300						
171						
Carga resistiva - inductiva - capacitiva equilibrada						
0						
1200						
600						
300						
171						

TABLA 3.5.A



## PRACTICA # 6

## MOTOR SINCRONO EN CONDICION DE VACIO Y BLOQUEADO.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

Todas las máquinas sincronicas se pueden hacer funcionar como motor, o bine, como alternador; cambiando simplemente el tipo de energía aplicada.- Al funcionar como motor puede operar sin carga mecánica acoplada a la flecha y lograr arrancar en esta condición a pesar de tener energizados, tanto el estator, como el campo del rotor; desde luego existen perturbaciones mecánicas y corrientes relativamente grandes comparadas con el estado permanente una vez que estabiliza su funcionamiento en vacío.

El motor sincrónico operando en vacío se puede utilizar para corregir - el factor de potencia en plantas industriales donde se utilizan en número elevado motores de inducción de elevada potencia del tipo jaula de ardilla o del rotor devanado, sobre todo si se cuentan ya por cuestión de producción o proceso con algunos de estos motores sincronicos, resultando muy económico y eficiente. También se utilizan como reguladores al final de líneas de transmisión de energía eléctrica; para lograr lo anterior en las plantas industriales o en las líneas lo que se hace en estos motores es controlar la excitación del campo del rotor sobre-excitándolo para tal finalidad, ya que de esta manera se compensa la potencia reactiva consumida por motores, transformadores, grandes hornos de inducción y cualquier otro dispositivo que opere con campos magnéticos alternos. Para mayor eficiencia del motor utilizado específicamente como condensador sincrónico, se le agrega más cobre en el devanado de campo del rotor para mejor control de la sobre-excitación; también tiene otra característica en sus baleros o chumaceras ya que por éstas son menos voluminosas al no desarrollar par apreciable en magnitud, por lo anterior el área transversal de dichos rodamientos es relativamente pequeño en comparación con los motores que si desplazan cargas mecánicas.

Cuando los motores sincronicos se les empieza a agregar carga en la flecha sucede un pequeño retraso en posición de la armadura o rotor respecto al flujo del estator, el ángulo de retraso se va incrementando al aumentar la carga en la flecha, a este ángulo se le conoce como ángulo de PAR; si el ángulo es demasiado grande se rompe el acoplamiento magnético y el motor se sale de sincronismo.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- Investigue una definición del motor trifásico síncrono.
- 2.- Dibuje el diagrama eléctrico y el equivalente de un motor trifásico -- síncrono.
- 3.- Investigue si un motor síncrono con excitación del campo del rotor y - con la carga nominal aplicada puede arrancar. Explique brevemente.
- 4.- Cuando se sobrecarga un motor síncrono considerablemente, ¿se sale de sincronismo ? Explique su respuesta ampliamente.
- 5.- ¿ Qué sucede en un motor síncrono cuando es sobrecargado considerablemente y no se le retira la energía al estator y al campo del rotor? Explique claramente su respuesta.
- 6.- Explique ampliamente cómo opera un condensador síncrono.
- 7.- Explique usted por qué el ángulo de PAR va aumentando conforme se in-crementa la carga en la flecha del motor.
- 8.- Investigue si resulta más económico utilizar un condensador síncrono - para corregir el factor de potencia en plantas industriales, o bien, - resulta mejor opción un banco de capacitores. Explique su respuesta.
- 9.- Investigue usted qué protecciones deben tener los motores síncronos,- explicando de forma breve por qué.
- 10.- Investigue 6 aplicaciones reales del motor síncrono.

## OBJETIVOS:

Que el alumno compruebe las características de vacío y en condición - de bloqueo de un motor síncrono.

## MATERIAL REQUERIDO:

- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo electrodinamómetro.
- \* Módulo del motor/generador síncrono.
- \* Módulo de interruptor de sincronización.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. escala de 0-8 A, 0-0.5 y 0-2.5.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. de escala de 0-250 V.
- \* Módulo de Volt-Ampermetro de C. D.
- \* Tacómetro de mano digital.
- \* Estroboscopio.
- \* Cables de conexión.
- \* Banda.

## DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:

- 1.- Observe la máquina síncrona. Localice los cuatro polos salientes. Observe el estator y verá que es idéntico al de un motor de inducción - jaula de ardilla. Anote todos los datos de placa de la máquina síncrona como motor:  $V_{LL}$  ,  $I_L$  ,  $I_{exc}$  ,  $V_{exc}$  , Vel. Nom. , Potencia en HP .
- 2.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.6.A, cuidadosamente. Aco- ple el motor al electrodinamómetro por medio de la banda **ASEGURESE - QUE LA FUENTE DE ENERGIA ESTE ABIERTA.**
- 3.- Ponga el interruptor de palanca del módulo de sincronización en posi- ción abierta ( lado derecho ). Se utilizará para interrumpir la poten- cia del motor.
- 4.- El reóstato del electrodinamómetro debe estar en resistencia máxima - ( sentido inverso a las manecillas del reloj completo ) .
- 5.- Ajuste el reóstato del campo del motor síncrono a su resistencia mínima

FIG.  
3.6.A.

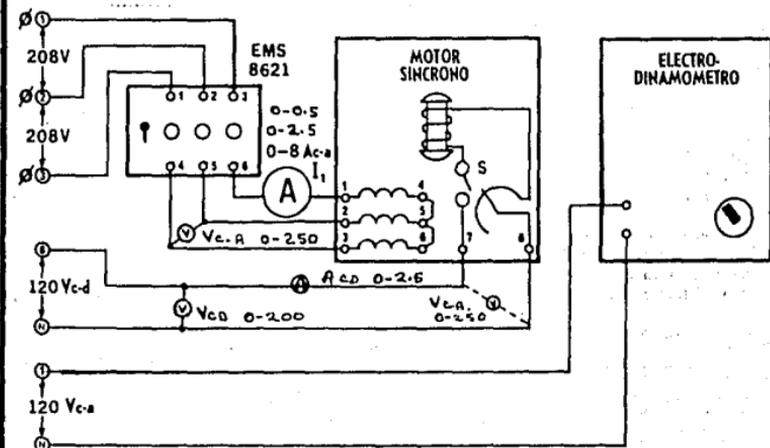
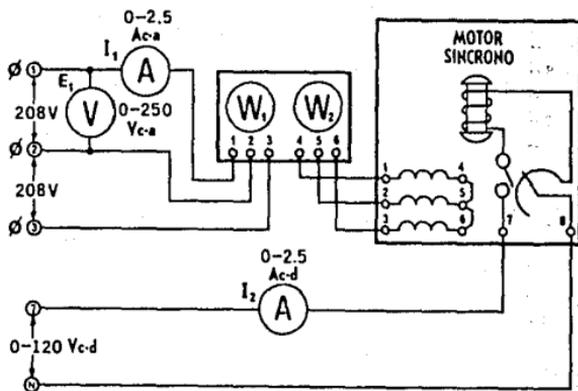


FIG. 3.6.B.



( sentido de las manecillas de reloj completo ).

Abra su interruptor de palanca. ( abajo ).

- 6.- Aplique potencia cerrada al interruptor del módulo de sincronización - después de haber cerrado el de la fuente. Anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  ,  $I_L$  , Vel . Observe qué sucedió en el medidor de  $I_L$  al instante de arranque y un tiempo después. - Descríbalo.
  
- 7.- Cierre el interruptor del campo de excitación del motor y anote los - siguientes resultados:  $V_{LL}$  ,  $I_L$  , Vel  $I_{exc}$  . Observe qué sucedió al instante de cerrar el interruptor del motor. Descríbalo.
  
- 8.- Abra el interruptor del módulo de sincronización.
  
- 9.- Ajuste el réostato del electrodinanómetro a un 40% aproximadamente de su excitación total.
  
- 10.- Cierre el interruptor del módulo de sincronización y observe lo que - sucede. NO APLIQUE POTENCIA MAS DE 6 SEGUNDOS. Describa sus observaciones y mida la corriente de línea.
  
- 11.- Abra los interruptores del módulo de sincronización y de la fuente. - Quite las terminales de alimentación del campo del rotor del motor - síncrono. En su lugar coloque un voltímetro de 0-250 volts de C. A.
  
- 12.- Ajuste la perilla del electrodinanómetro a su posición extrema ( sentido de las manecillas del reloj ). Para máxima carga.
  
- 13.- Cierre el interruptor del módulo de sincronización. Observe lo que - sucede. NO APLIQUE POTENCIA MAS DE 2 SEGUNDOS. Anote los siguientes - resultados:  $V_{LL}$  ,  $V_{rotor}$  Par de arranque -  
 ¿ Por qué se induce voltaje al rotor ?

Observaciones

- 14.- Aplique potencia nuevamente e inmediatamente empiece a reducir la carga haciendo girar la perilla de control del electrodinámometro. Observe qué sucede y descríballo.
- 15.- Abra su fuente de energía y pare el sistema.
- 16.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.6.B, cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE ESTE ABIERTA.
- 17.- Abra el interruptor del campo del rotor en el motor.
- 18.- Ajuste el campo del rotor a su resistencia mínima. ( sentido de las manecillas del reloj completamente ).
- 19.- Cierre la fuente de alimentación para aplicar potencia. anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  ,  $I_L$  ,  $I_{exc}$  ,  
 $W_1$  ,  $W_2$  .
- 20.- Cierre el interruptor del rotor en el motor. Diga qué sucede.
- 21.- Ajuste la excitación del campo con el reóstato del motor hasta que la corriente de línea esté en su valor mínimo. Anote los siguientes resultados:  $I_L$  ,  $I_{exc}$  ,  $W_1$  ,  $W_2$  .
- 22.- Aumente la excitación de C. D. al máximo y observe qué sucede. Anote los siguientes resultados:  $I_L$  ,  $I_{exc}$  ,  $W_1$  ,  $W_2$  .
- 23.- Ahora ajuste los valores de excitación como se indica en la tabla 3.6.A. empezando de 0 Acd. Anote sus resultados teniendo cuidado de apresurarse a tomar sus lecturas cuando la corriente de excitación rebase 0.6 Acd.
- 24.- Abra su fuente de alimentación y desconecte todo su sistema.

$I_{exc}$	$V_L$	$I_L$	$W_I$	$W_2$	Velocidad
0.1					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					

TABLA 3.6.A

## PRUEBA DE CONOCIMIENTOS:

- 1.- Cuando un motor síncrono tiene carga y su corriente de excitación del campo es normal en el rotor. ¿ Debe ser arrancado ? Explique por qué.
- 2.- En el punto 6 de su práctica. ¿ Funciona el motor como motor de inducción ? Explique su respuesta.
- 3.- En el punto 13, ¿ por qué el voltaje del rotor se reduce ? Explique ampliamente su respuesta.
- 4.- Indique dos razones por la que el devanado del rotor de un motor síncrono se conecta casi siempre a una resistencia externa durante el -- arranque.
- 5.- Compare las características de arranque del motor síncrono con las del motor de inducción jaula de ardilla.
- 6.- En los puntos 19,21 y 22 cómo se comporta el motor síncrono ? cómo inductor, resistor o capacitor. ¿ Por qué ? Explique brevemente su res- puesta.

## COMPARACION TEORICO PRACTICA Y CONCLUSIONES:

## PRACTICA 7

## MOTOR SINCRONO CON CARGA VARIABLE

## ANTECEDENTES TEORICOS:

Todo motor sincrónico operando con carga opera con buen factor de potencia siempre que no tenga sobrecarga. Este factor de potencia es posible mejorarlo aumentando la excitación del campo del rotor ( sobre-excitarlo ),- desde luego debe tenerse cuidado con la saturación magnética a fin de no dañar la máquina; en máquinas que se utilizan con carga y también para controlar un rango del factor de potencia en una planta industrial, se les diseña con más cobre para prevenir daños mayores por sobre-excitación del campo del rotor. De tal manera que en industrias que tienen muchos motores de inducción es posible compensar los Kilovars atrasados que toman del sistema con Kilovars adelantados de motores síncronos sobre-excitados, aumentando el factor de potencia al que opera dicha industria y en consecuencia bajando los costos por consumo de energía eléctrica al aprovecharla adecuadamente.

Cuando a un motor sincrónico trifásico se le empieza a aplicar carga en la flecha sucede un pequeño retraso en la posición del rotor respecto a la posición del flujo giratorio del estator, pero ambos siguen operando a velocidad síncrona, si le seguimos incrementando la carga el retraso de la armadura respecto al flujo sigue incrementándose hasta que se sale de sincronismo; esto es posible imaginarlo como ligaduras entre el flujo del estator y el flujo del rotor, ya que son campos magnéticos de polaridad contraria que se atraen amarrándose, entonces con el incremento de carga las ligaduras se empiezan a estirar en forma radial hasta que la carga mecánica se aumenta tanto que se rompen dichas ligaduras y la máquina se sale de sincronismo y para.

El restiramiento de las ligaduras permite que la máquina pueda desarrollar más Par capaz de desplazar los incrementos de carga porque aumenta el ángulo de par con cada incremento de carga, dicho ángulo es el que existe entre el voltaje de la excitación del campo y el voltaje aplicado en el estator, de tal manera que el Par máximo que puede desarrollar el motor síncrono sucede cuando el ángulo de Par se acerca a  $90^{\circ}$ , el Par al cual se sale de sincronismo se le denomina Par de arrastre; éste último se puede aumentar incrementando la excitación del campo del rotor.

## BANCO DE PREGUNTAS:

- 1.- Dibuje los diagramas vectoriales de un motor síncrono en sus diferentes formas de operación despreciando la resistencia de armadura despreciable.
- 2.- Explique brevemente y de manera clara cada uno de los diagramas anteriores.
- 3.- Explique qué se tiene que hacer para controlar el factor de potencia al cual opera un motor síncrono.
- 4.- Explique en forma completa y clara por qué un motor síncrono no tiene Par de arranque.
- 5.- Explique claramente qué es el ángulo de Par.
- 6.- Explique qué es el Par de arrastre en un motor síncrono. Sea claro.
- 7.- Investigue todas las formas de obtener la potencia eléctrica y la potencia mecánica en un motor síncrono. ¿Qué diferencia existe entre las dos potencias ? Explíquelo brevemente.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno compruebe las características de carga de un motor síncrono trifásico de 1/4 de HP.

Que el alumno compare el funcionamiento del motor con cargas y diferente excitación del campo del rotor.

Que compare la diferencia del Par de arrastre con diferente excitación.

Que observe el desplazamiento físico que existe del rotor respecto al flujo del estator al incrementar la carga mecánica, gradualmente hasta sacar el motor de sincronismo.

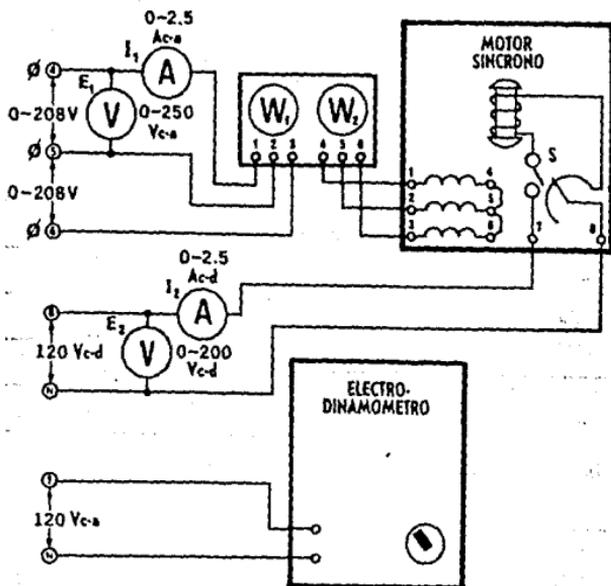
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de electrodinamómetro.
- \* Módulo de wattímetro trifásico ( 300-300 watt )
- \* Módulo de voltímetros de 0-250 Volts de C. A.
- \* Módulo de amperímetros de 0-2.5 A de C. A.
- \* Módulo de Voltímetro de corriente directa de 0-200 Volts.
- \* Estroboscopio.
- \* Tacómetro.
- \* Banda y cables de conexión.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.7.A, cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE ESTE DESCONECTADA ANTES DE REALIZAR CUALQUIER CONEXION.
- 2.- Pida a su instructor le revise sus conexiones que realizó usted en su panel de conexiones como Sistema de pruebas.
- 3.- Acople el motor síncrono al electrodinamómetro por medio de la banda y las poleas dentadas. Tense la banda con el bulero.

FIG. 3.7.A.



- 4.- Ponga la perilla del electrodinamómetro en su posición de máxima resistencia ( sentido contrario de las manecillas del reloj ).
- 5.- Haga lo mismo para el reóstato del motor síncrono y abra el interruptor de palanca.
- 6.- Conecte la fuente de energía ajustándola a 208 volts con la perilla. - El motor debe funcionar en el sentido de las manecillas del reloj. Si no es así revise su sistema.
- 7.- Cierre el interruptor de palanca del motor síncrono.
- 8.- Aumente el Par gradualmente hasta 9 lbf-plg y aumente la excitación de c-d, hasta que los dos wattímetros indiquen lo mismo ( la corriente de be estar en su valor mínimo, 1 de líneas del motor síncrono ). Mida y anote lo siguiente:
 

$I_1$	A.,	$I_2$	A.,	$E_2$	V.,	$W_1$	.	$W_2$	.
-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	---	-------	---
- 9.- Sin alterar la excitación de c-d, aumente de manera gradual la carga - hasta que el motor quede fuera de sincronismo. Tome nota del Par requerido rápidamente y desconecte la alimentación. Par de salida de sincronismo  
lbf-plg.
- 10.- Repita los procedimientos del 4 al 8, sólo que en este caso aumente - la excitación de c-d a 0.8 A c-d, mantenga el Par en 9 lbf-plg. Mida y anote sus resultados.  $I_1$  A.,  $E_2$  Vol.,  $W_1$ ,  $W_2$ .
- 11.- Repita el punto 9 y anote sus resultados. Desconecte en el menor tiempo posible. Par de salida de sincronismo.
- 12.- Intente repetir los procedimientos 10 y 11, sólo que en este caso baje la excitación a sólo 0.4 A c-d. Anote sus resultados.
- 13.- Ajuste la excitación del campo a 0.6 A c-d y el voltaje  $E_1$  nuevamente en 208. El electrodinamómetro debe estar en resistencia máxima ( sentido contrario a las manecillas del reloj totalmente ). Con la luz estroboscópica observe la posición de la marca previamente realizada en el rotor con un gis blanco o azul.

14.- Aumente la carga de manera gradual y con el estroboscopio disparando al rotor observe el desplazamiento del rotor ( retraso ) hasta que se salga de sincronismo. Anote todas sus observaciones.

15.- Repita los procedimientos 13 y 14, sólo que ahora para 0.8 A c-d en el campo de excitación del rotor. Anote todas sus observaciones.

16.- Repita el punto 15, sólo que ahora para 0.4 A c-d en el campo de excitación del rotor. Anote todas sus observaciones.

## PRUEBA DE CONOCIMIENTOS:

- 1.- Explique por qué aumentó la corriente línea en el punto 1. de su práctica.
  
- 2.- Respecto a la pregunta anterior, ¿ Es atrasado o adelantado el factor de potencia ? Explique brevemente su respuesta.
  
- 3.- Con los resultados del procedimiento 8, calcule las características a-9 lbf-plg del motor síncrono.  
  
Potencia aparente.  
  
Potencia real.  
  
Potencia reactiva.  
  
Potencia en C-D.  
  
Potencia en HP.
  
- 4.- Haga lo mismo que en el punto anterior, sólo que ahora con los resultados del punto 10.
  
- 5.- ¿ Existe alguna diferencia entre las potencias reactivas de las preguntas 3 y 4 ? Explique su respuesta brevemente.
  
- 6.- ¿ Tiene influencia la excitación del campo del rotor en el Par de arrastre o de salida ? Explique su respuesta brevemente.

COMPARACION TEORICO-PRACTICA:

CONCLUSIONES :

## PRACTICA # 8

## METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR SINCRONO.

## ANTECEDENTES TEORICOS:

El motor síncrono no tiene Par de arranque según se ha visto en prácticas anteriores a la presente. Por lo que debe ser arrancado por otros medios que le ayuden a acercarse a la velocidad de sincronismo para que entonces, al energizar el campo del rotor, logre entrar en sincronía con la carga mecánica acoplada a la flecha del motor. Esto es posible cuando la velocidad con el medio auxiliar alcanza alrededor del 95% de su velocidad de sincronismo.

## OBJETIVO:

que el alumno compare los diferentes métodos de arranque del motor síncrono trifásico en la realidad en plantas industriales.

## DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:

- 1.- El alumno debe investigar en plantas industriales que operen con motores síncronos y analizar los métodos de arranque.
- 2.- Explicar con diagramas de bloque y sus propias palabras cómo opera cada uno de los métodos que analizó.
- 3.- Presentar sus conclusiones y comparación teórico-práctica.
- 4.- En el orden anterior presentar su reporte de práctica. Dando los datos de las plantas industriales visitadas por él y de quienes le atendieron, con la ubicación y demás datos de localización.

NOTA: Si el alumno no logra tener acceso a visitar alguna planta que opere con motores de este tipo, debe realizar su investigación con información actualizada en revistas, folletos y libros especializados. Acompañando su trabajo con copias fotostáticas de los diferentes tipos de arranque que se utilizan en este tipo de motores.

Es importante que trate de realizarlo viendo realmente el equipo de arranque. Para ello se le dará a conocer este trabajo con mucho tiempo de anticipación ( dos meses antes de terminar el curso ).

## C A P I T U L O # 3

PRACTICAS TOTALMENTE DESARROLLADAS.

## P R A C T I C A # 1

ESTRUCTURA DE LA MAQUINA SINCRONA Y GENERACION DE UN CAMPO MAGNETICO GIRATORIO .

## OBJETIVOS:

Que el alumno COMPRENDA claramente la estructura y función básica de cada una de las partes de la máquina síncrona.

Que el alumno identifique las diferentes formas de conectar un estator trifásico.

Que el alumno defina la función básica de cada una de las partes de la máquina síncrona y sus variantes.

Que el alumno distinga el efecto de campo magnético giratorio en un estator trifásico.

Que el alumno reconozca cómo se produce el acoplamiento del campo magnético giratorio del estator con el rotor, alcanzando este último la velocidad síncrona.

## MATERIAL REQUERIDO:

- \* Fuente de energía trifásica fija, terminales ( 1,2,3 y N ).
- \* Estator trifásico de caballaje fraccionado, no mayor de 1 hp.
- \* Laminaciones de estator y de armadura.
- \* Máquina síncrona trifásica LAB-VOLT.
- \* Rotafolio con los diagramas de conexión.
- \* Voltímetro de c. a. con escala de 0-250 V ( módulo ).
- \* Amperímetros de c. a. ( módulo que tenga de 0-25 A. ).
- \* Tacómetro y estroboscopio.
- \* Cables de conexión.

## DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:

1.- Solicite a su instructor las piezas de un estator trifásico.

1.1.- Identifique cada una de sus partes, anotando en el espacio inferior la letra de identificación acompañada del nombre de la pieza en cuestión. Respuesta: a) Laminaciones de estator. b) Núcleo de estator armado. c) Cuñas de fijación de estator. d) Entolinado trifásico de estator e) Fajillas aislantes de renuras.

1.2.- Mencione qué materiales tiene cada una de las piezas anteriores. a)-

Acero al silicio. b) Paquete de laminaciones de acero al silicio con barniz aislante. c) De acero al silicio. d) Cobre con un barniz aislante (alambre magnético). e) Madera, baquelita amianto baquelizado. otros.

- 1.3.- Algunas piezas del estator son aleaciones, o bien, combinaciones de materiales. ¿ Por qué es necesario lo anterior, y en qué piezas ? Ex plique claramente.
- 2.- Solicite a su instructor las piezas de un rotor de máquina síncrona del tipo jaula de ardilla.
- 2.1.- Identifique cada una de sus partes, anotando su letra de identificación acompañada del nombre de la pieza en cuestión. Respuesta: a) Laminaciones de armadura. b) Núcleo armado. c) flecha. d) Embobinado de excitación. e) Anillos rozantes. f) Escobillas. g) Barras de aluminio. h) Anillos de corto circuito de la jaula.
- 2.2.- Mencione qué materiales tiene cada una de las piezas anteriores. Respuesta: a) Acero al silicio. b) Acero al silicio con barniz aislante. c) Acero al silicio. d) Alambre magneto. e) Cobre o bronce. f) Grafito. g) Aluminio y un poco de hierro. h) Aluminio.
- 2.3.- Algunas de las piezas del rotor son aleaciones, o bien, combinaciones de materiales. ¿ Por qué es necesario lo anterior, y en qué piezas ? Explique claramente. Respuestas al punto 1.3 y 2.3: En el caso de las laminaciones porque de esta forma se mejora su permeabilidad. En el embobinado para aislar una espira de otra y respecto a las laminaciones y demás materiales. En las escobillas para aumentar la resistencia mecánica por aumento de presiones y de temperatura. En las barras de corto circuito de la jaula de ardilla. para aumentar la permeabilidad.
- 3.- Conecte las terminales de un estator trifásico como se muestra en la figura 3.1.E. NO APLIQUE POTENCIA POR AHORA.
- 3.1.- Discuta con sus compañeros otras formas posibles de conectar el estator. Si las hay, menciónelas a su instructor corroborando sus ideas y anote sus respuestas. a) Serie estrella. b) En paralelo-delta. c) En serie-delta.

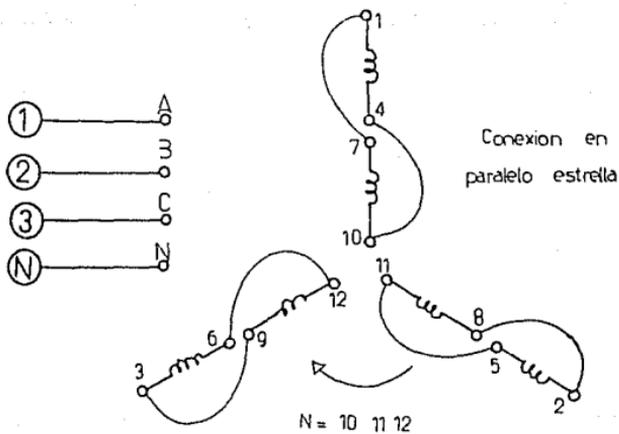
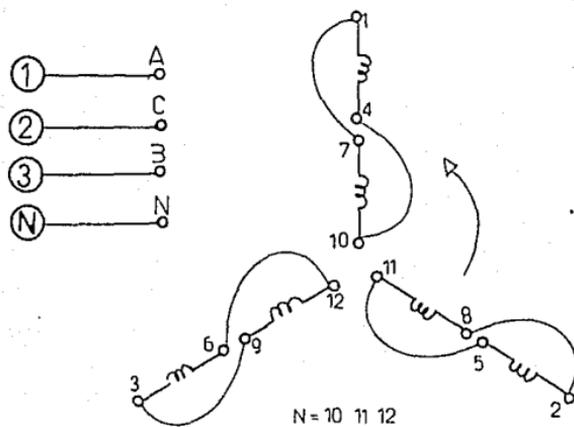


FIG 3.1E

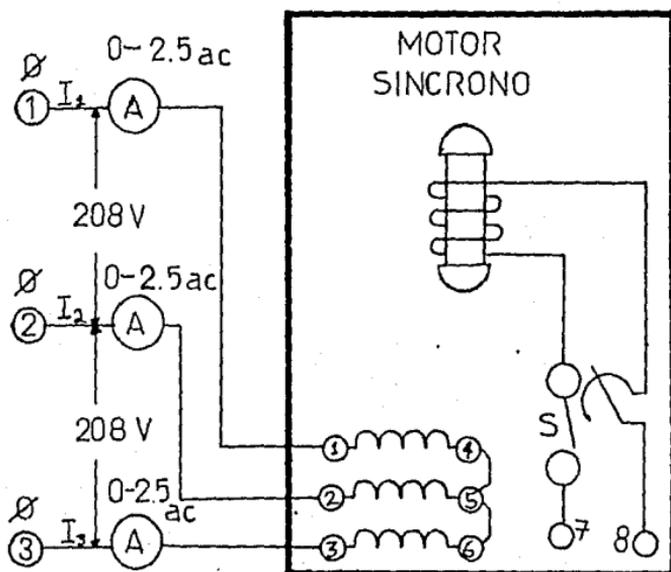
Secuencia de fase positiva



Secuencia de fase negativa

- 3.2.- Ponga un rodamiento de material ferromagnético en el centro de su es-  
tator conectado ya a su fuente de energía ( INTERRUPTOR ABIERTO ). -  
Ahora sí aplique potencia. NO DEJE CERRADA SU FUENTE DE ENERGIA POR-  
MAS DE TRES SEGUNDOS. CUIDALO. Describa lo que pasa con el rodamien-  
to anotando su respuesta en el espacio siguiente: Empieza a rodar -  
en el sentido de las manecillas del reloj con una velocidad aprecia-  
blemente grande.
- 3.3.- Repita el procedimiento anterior, intercambiando dos de las tres ter-  
minales de la fuente de energía. ¿ Qué sucede ? Respuesta: Gira en-  
sentido contrario a las manecillas del reloj, también con una buena  
velocidad.
- 4.- Conecte el siguiente circuito como se observa en la figura 3.1.F. -  
Utilice la máquina síncrona armada. No cierre el interruptor del ro-  
tor por ahora.
- 4.1.- Aplique potencia, cerrando el interruptor de su fuente de energía. -  
¿ Qué sucede con el rotor ? ¿Cuál es su sentido de rotación ? Res-  
puesta: Empieza a girar en el sentido de las manecillas de reloj, -  
con una muy buena velocidad.
- 4.2.- Utilice el tacómetro y mida su velocidad en RPM. Respuesta: 1793 RPM
- 4.3.- Cierre el interruptor del rotor. Describa qué sucede al momento de -  
cerrarlo, observe cuidadosamente. El rotor se acelera un poco y se -  
estabiliza.
- 4.4.- Utilice el tacómetro y mida su velocidad en RPM. Respuesta 1800 RPM.
- 4.5.- Invierta dos de las tres terminales de su fuente de energía ( CUIDAN  
LO QUE SU FUENTE ESTE ABIERTA ).
- 4.6.- Ahora sí aplique potencia. Describa sus observaciones con el inte-  
rruptor del rotor abierto. Se invierte la rotación ahora es contra-  
rio a las manecillas del reloj.
- 4.7.- Mida su velocidad con el tacómetro. Respuesta 1792 RPM.
- 4.8.- Cierre el interruptor del rotor. Describa sus observaciones. Se in-  
crementa su velocidad ligeramente estabilizándose en muy poco tiempo.
- 4.9.- Mida su velocidad. 1800 RPM. ¿Coincide con la del punto 4.4.? Sí .

FIG. 3.1.P.



## PRACTICA # 2

RELACION QUE EXISTE ENTRE FRECUENCIA Y VELOCIDAD.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno sea capaz de aplicar correctamente la relación que existe entre frecuencia y velocidad en una máquina síncrona.

Que analice la relación en el alternador síncrono trifásico.

Que analice la relación en el motor síncrono trifásico.

Que compare los puntos anteriores.

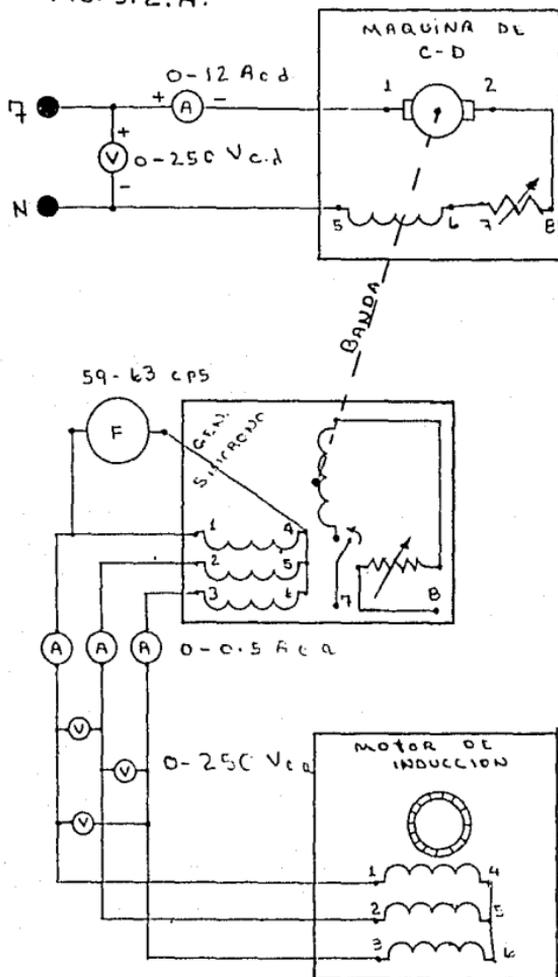
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de fuente de alimentación LAB-VOLT.
- \* Módulo de motor/generador de C. D.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de motor de inducción jaula de ardilla.
- \* Frecuencímetro de 59 a 63 cps, 125 Volts, modelo 7004.
- \* Tacómetro digital Modelo TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio LAB-VOLT.
- \* Módulo de voltímetro de C. A. con escalas de 0-250 V.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. con escalas de 0-2.5 A.
- \* Módulo de Volt-Amper de C. D.
- \* Cables de conexión LAB-VOLT y tipo caimanes.
- \* Banda.

**DISEÑO DE PRACTICA:**

- 1.- Conecte el circuito mostrado en la figura 3.2.A. NO APLIQUE POTENCIA - POR AHORA.
- 2.- Pida a su instructor que revise sus conexiones.
- 3.- Aplique potencia gradualmente y verifique el sentido de rotación de su sistema. Todas las máquinas deben girar en el sentido de las manecillas del reloj.
- 4.- Si la máquina de C. D. gira en sentido inverso, intercambie las terminales de su fuente de energía.

FIG. 3.2.A.



- 5.- Si el motor de inducción jaula de ardilla gira en sentido inverso, invierta dos de las tres terminales de alimentación ( terminales 1,2 y 3 del mismo motor ).
- 6.- Si hubo correcciones verifique el punto ( 3 ). Si todo está correcto - continúe.
- 7.- Ajuste la velocidad de la máquina de C. B. por medio de su fuente de - energía variable y del resultado de la misma máquina, hasta que observe en el frecuencímetro aproximadamente 59 cps.
- 8.- Mida la velocidad a la que gira el rotor del alternador síncrono impulsado por la máquina de C. B. a través de la banda y anote su respuesta 1762 RPM.
- 9.- Mida lo siguiente para el motor de inducción jaula de ardilla: Frecuencia 59 cps.

Voltaje de línea a línea 163 Volts.

Corriente de línea 0.153 Amperes.

Velocidad de operación 1736 RPM . Al resultado anterior agregue un 0.5 % de error, por el deslizamiento en vacío del motor de inducción jaula de ardilla para obtener la velocidad síncrona aproximada. Esto no sería necesario si se utiliza una máquina síncrona con motor, - o bien, un cambiador de frecuencia. Resultado corregido 1746 RPM

- 10.- Repita los puntos del 7 al 9 para las siguientes frecuencias:

a) 60 cps, b) 61 cps, c) 62 cps, d) 63 cps.

Anote sus resultados en una tabla de columnas y renglones.

Frecuencia	RPM de Alt.	RPM de Mot.	V en Mot	I en Mot.
60	1775	1748	163 V	0.153 A
61	1800	1754	163 V	0.153 A
62	1850	1835	168 V	0.153 A
63	1885	1874	171 V	0.153

## P R A C T I C A # 3

ESTUDIO DEL ALTERNADOR SINCRONO TRIFASICO

OPERANDO SIN CARGA ( EN VACIO ) .

**OBJETIVOS:**

Que el alumno compruebe las características en vacío de un alternador trifásico síncrono.

Que el alumno obtenga la curva de saturación magnética del alternador sin crono.

Que el alumno obtenga las características de corto circuito del alterna-  
dor síncrono.

**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de motor/generador de C. D.
- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de interruptor de sincronización.
- \* Módulo de voltímetros, de C. A. de 0-250 Volts y de 0-150.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. de 0-25 A.
- \* Módulo de Volt-Amperímetro de C. D.
- \* Tacómetro digital Modelo TACHO DTI-2235.
- \* Cables de conexión.
- \* Banda.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

- 1.- Conecte el circuito mostrado en la figura 3.3.A. cuidadosamente.
- 2.- Pida a su instructor que le revise sus conexiones.
- 3.- Acople el motor de C. D. al alternador sincrónico por medio de la banda.
- 4.- Ajuste el reóstato de campo del alternador síncrono a su posición de máxima resistencia ( sentido inverso a las manecillas del reloj). Abra el interruptor de palanca del reóstato.
- 5.- Aplique potencia con la fuente de alimentación. El motor de corriente directa debe girar en sentido de las manecillas del reloj, si no es así intercambie las terminales 1 y 2 del motor de C. D.
- 6.- Ajuste la velocidad con el tacómetro a 1800 RPM, moviendo el reóstato de excitación de campo de la máquina de C. D. ( terminales 7 y 8 ).
- 7.- Mida todos los voltajes de fase y de línea-línea y anótelos en la tabla -

- 3.3.A. para la condición de cero corriente de excitación de campo del alternador síncrono.
- 8.- Cierre el interruptor de palanca del campo del alternador síncrono.
  - 9.- Con la perilla de control de la fuente de alimentación ajuste la magnitud de la corriente de excitación del campo del alternador a 0.1 Ampor de C.D.
  - 10.- Mida y anote todos sus voltajes de fase y de línea-línea en la tabla 3.3.  
A. para ese valor de excitación de campo.
  - 11.- Repita el punto anterior para todos los valores de corriente de excitación indicados en la tabla para el alternador síncrono.
  - 12.- Reduzca el voltaje completamente con la perilla de la fuente de alimentación y abra el interruptor de tres polos de la propia fuente.
  - 13.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.3.B. cuidadosamente.
  - 14.- Pida a su instructor le revise sus conexiones.
  - 15.- Abra el interruptor de tres polos de palanca del módulo de sincronización
  - 16.- Con la velocidad ajustada en 1800 RPM, regule el voltaje de  $E_1$  a 208 Volts variando la excitación de campo y la perilla de voltaje de la fuente de alimentación. Las tres lámparas deberán estar encendidas.
  - 17.- Anote el valor de la corriente de excitación del campo del alternador síncrono. 0.6 A Ac.d.
  - 18.- Ponga en corto circuito las tres terminales del alternador, cerrando el interruptor del módulo de sincronización. Observe qué sucede instantáneamente con la corriente de línea del alternador ( $I_2$ ), y un tiempo después.
  - 19.- ¿ Qué valor alcanza instantáneamente  $I_2$  aproximadamente ? 2.1 A c.a.
  - 20.- ¿ En qué valor se estabiliza tiempo después ? 1.3 A c.a.
  - 21.- Abra su interruptor de tres polos de la fuente de alimentación.
  - 22.- Desconecte completamente todo el circuito.

FIG. 3.3.A.

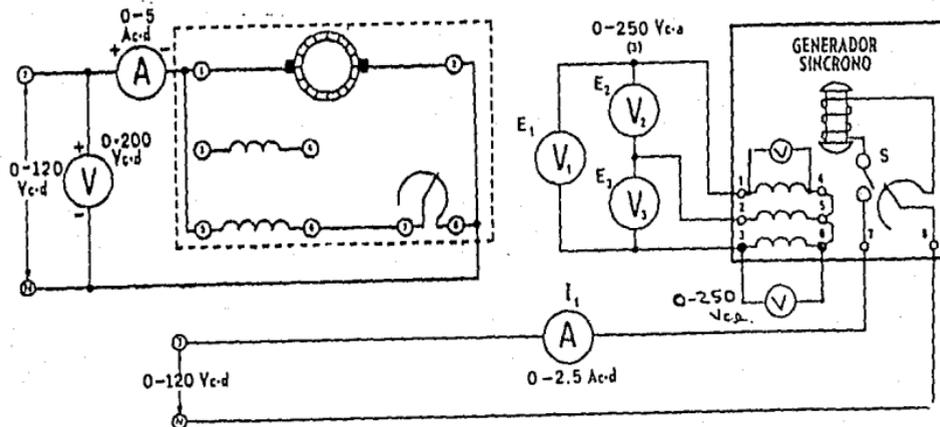
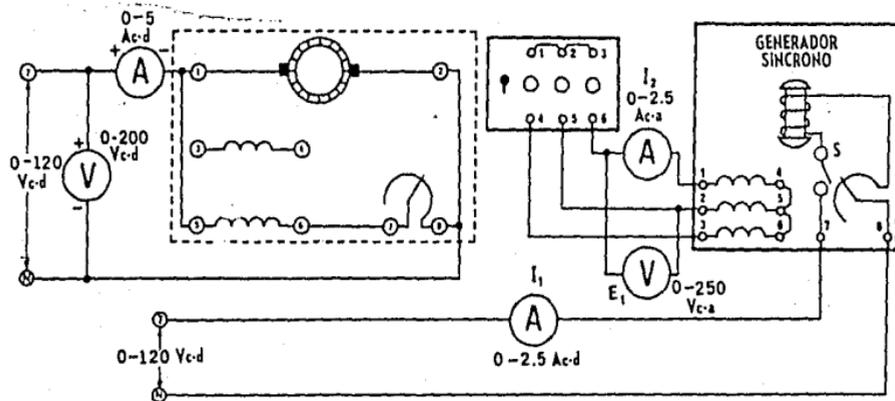


FIG. 3.3.B.



I exc	$V_{AR}$	$V_{BC}$	$V_{CA}$	$V_{AN}$	$V_{BN}$	$V_{CN}$
0	5	6	6	$5/\sqrt{3}$	$6/\sqrt{3}$	$6/\sqrt{3}$
0.1	45	48	48	$45/\sqrt{3}$	$48/\sqrt{3}$	$48/\sqrt{3}$
0.2	98	99	100	$98/\sqrt{3}$	$99/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$
0.3	137	138	138	$137/\sqrt{3}$	$138/\sqrt{3}$	$138/\sqrt{3}$
0.4	168	168	169	$168/\sqrt{3}$	$168/\sqrt{3}$	$169/\sqrt{3}$
0.5	192	192	193	$192/\sqrt{3}$	$192/\sqrt{3}$	$193/\sqrt{3}$
0.6	210	210	210	$210/\sqrt{3}$	$210/\sqrt{3}$	$210/\sqrt{3}$
0.7	229	229	229	$229/\sqrt{3}$	$229/\sqrt{3}$	$229/\sqrt{3}$
0.8	240	240	238	$240/\sqrt{3}$	$240/\sqrt{3}$	$238/\sqrt{3}$
0.9	248	249	247	$248/\sqrt{3}$	$249/\sqrt{3}$	$247/\sqrt{3}$

TABLE 3.3 A

## PRACTICA # 4

GENERADOR TRIFASICO SINCRONO BAJO DIFERENTES TIPOS DE

CARGA BALANCEADA Y DESBALANCEADA.

**OBJETIVOS:**

Que el alumno compruebe el efecto de diferentes cargas balanceadas o desbalanceadas y la importancia del hilo neutro en un alternador síncrono.

Que compare el efecto de voltaje y corriente con cargas balanceadas R, L y C .

Que compare el efecto de voltaje y corriente con cargas desbalanceadas R, L y C.

Que compare el efecto de regulación de tensión en las diferentes cargas utilizadas.

**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de motor/generador de C. L.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de capacitancia.
- \* Módulo de resistencia.
- \* Módulo de inductancia.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. de 0-250 volts.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. de 0-2.5 Amperes.
- \* Módulo de Volt-Ampermetro de C. D.
- \* 2 TMK.
- \* Tacómetro digital TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio de equipo LAE-VOLT.
- \* Banda.
- \* Cables de conexión.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.4.A. cuidadosamente. REVI  
SE QUE LA FUENTE DE ALIMENTACION ESTE ABIERTA ANTES DE HACER CUALQUIER  
CONEXION.
- 2.- Pida a su instructor que le revise sus conexiones.

- 3.- Acople el motor de C. D. al alternador por medio de la banda.
- 4.- Ajuste el reóstato de campo del motor de C. D. en resistencia mínima - ( sentido totalmente a las manecillas del reloj ).
- 5.- Ajuste todas las resistencias en posición abierta ( palanca en posición inferior ).
- 6.- Ajuste el reóstato de campo del alternador síncrono a un valor de resistencia máxima ( sentido inverso a las manecillas del reloj ).
- 7.- Cierre el interruptor de palanca del campo del alternador ( posición superior ).
- 8.- Aplique potencia cerrando el interruptor de tres polos de la fuente de alimentación. Gire la perilla de la fuente, el motor de C. D. debe girar en sentido de las manecillas del reloj. Si no es así abra su fuente e intercambie las terminales 1 y 2 del motor de C. D.
- 9.- Con la perilla de la fuente de alimentación y el reóstato del motor de C. D. ajuste la velocidad a 1800 RPK. Utilice el tacómetro digital. Esta velocidad debe mantenerla constante durante el resto del experimento, no lo olvide.
- 10.- Con el reóstato de campo del alternador, ajuste el voltaje de línea - línea a un valor de 220 Volts, no vuelva a tocar el reóstato durante el resto del experimento.
- 11.- Mida los voltajes de línea-línea, corrientes de línea y del hilo de neutro para todos los valores mostrados en la tabla 3.4.A. Calcule en cada caso la regulación posteriormente a la práctica y analice sus resultados cuidadosamente.  
Recuerde ajustar la velocidad cada que cambie de carga.
- 12.- Cambie la carga por una inductiva también equilibrada y repita en punto (11). La fuente debe estar en posición abierta antes de hacer cambio de conexiones de carga.
- 13.- Cambie la carga por una capacitiva también equilibrada y repita el punto (11). La fuente debe estar abierta antes de hacer cambio de conexiones.
- 14.- Vuelva a poner carga puramente resistiva y llene la tabla indicada -

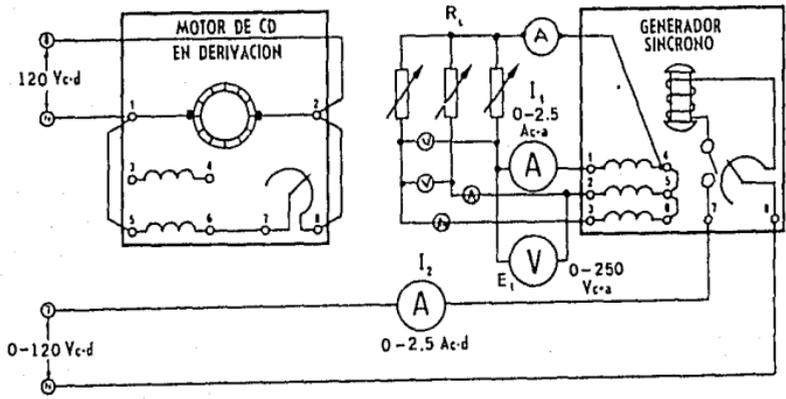
con el número 3.4.B. LA FUENTE DEBE ESTAR ABIERTA ANTES DE CAMBIAR -  
CONEXIONES. La carga ahora es desequilibrada según se observa en la ta  
bla. Tome todos los datos indicados.

15.- Repita el punto ( 14 ) para carga inductiva.

16.- Repita el punto ( 14 ) para carga capacitiva.

17.- Abra la fuente de alimentación y desconecte totalmente el circuito.

FIG. 3.4.A.



CARGA PURAMENTE RESISTIVA BALANCEADA								
CARGA ohms	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>	I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>N</sub>	%Reg
0	208	208	208	0	0	0	0	
1200	201	201	201	0.05	0.05	0.045	0	
600	199	199	199	0.180	0.185	0.183	0	
300	190	191	191	0.360	0.360	0.361	0	
200	182	182	182	0.48	0.490	0.470	0	
CARGA PURAMENTE INDUCTIVA BALANCEADA								
0	208	208	208	0	0	0	0	
1200	198	198	198	0.095	0.097	0.093	0	
600	188	189	189	0.181	0.181	0.182	0	
300	167	166	165	0.322	0.320	0.315	0	
200	152	153	154	0.420	0.418	0.422	0	
171	145	147	148	0.500	0.500	0.490	0	
CARGA PURAMENTE CAPACITIVA BALANCEADA								
0	208	208	208	0	0	0	0	
1200	219	218	219	0.110	0.110	0.110	0	
600	226	224	225	0.215	0.213	0.214	0	
300	249	248	247	0.490	0.490	0.480	0	
200	270	275	277	0.780	0.780	0.770	0	
171	280	285	286	0.820	0.820	0.810	0	

TABLA 3.4.A

CARGA PURAMENTE RESISTIVA DESBALANCEADA							
VALORES DE CARGAS EN ORDEN DE FASES A, B y C: 300, 200 y 171							
$V_{Ab}$	$V_{BC}$	$V_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	$I_N$	%Reg
I82	I80	I81	0.190	0.500	0.540	0.160	
CARGA PURAMENTE INDUCTIVA DESBALANCEADA							
I53	I52	I55	0.300	0.380	0.420	0.200	
CARGA PURAMENTE CAPACITIVA DESBALANCEADA							
260	256	257	0.500	0.780	0.900	0.195	

TABLA 3.4.B.

## PRACTICA # 5

EFFECTOS DE LA SATURACION DEL ALTERNADOR SINCRONO CON DIFERENTES TIPOS DE CARGAS Y METODOS DE REGULACION .

## OBJETIVOS:

Que el alumno valore los efectos de saturación y de regulación de voltaje de un alternador síncrono trifásico con diferentes cargas balanceadas y desbalanceadas.

Que analice el efecto de saturación con las distintas cargas.

Que analice la regulación de tensión con distintas cargas.

Que analice el factor de potencia con las diferentes cargas.

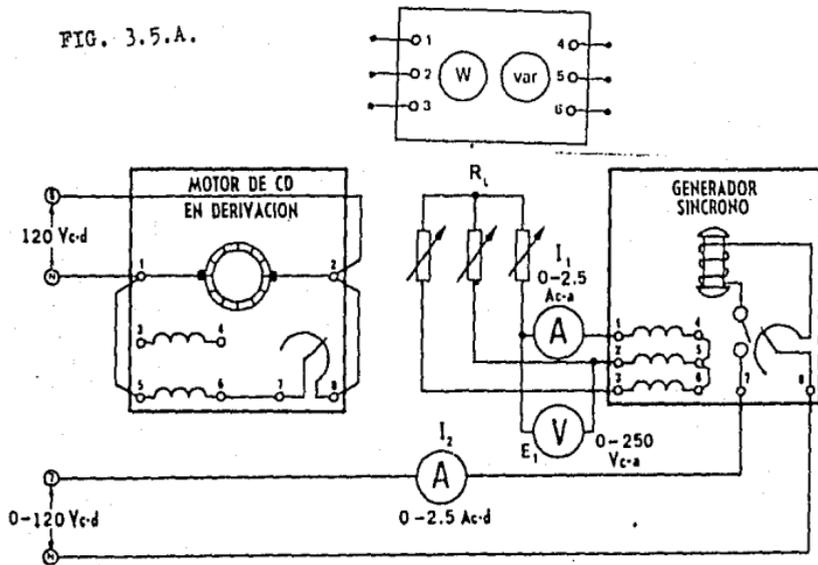
## MATERIAL REQUERIDO:

- \* Módulo de fuente de energía.
- \* Módulo de motor/generador de C. D.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulos de resistencia, inductancia y capacitancia uno de c/u.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. con escala de 0-250 V.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. con escalas de 0-2,5 A.
- \* Módulo de medición de C. D. ( Volt-Ampermetro ).
- \* 2 TNK.
- \* Tacómetro digital, Modelo TACHO DT-2235.
- \* Estroboscopio.
- \* Banda y cables de conexión.

## DESARROLLO Y DISEÑO DE PRACTICA TOTAL:

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.5.A. cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE DE ENERGIA ESTE ABIERTA ANTES DE HACER CUALQUIER CONEXION.
- 2.- Acople el alternador por medio de la banda a la máquina de C. D.
- 3.- Ajuste el réostato de campo del motor de C. D. a su posición de resistencia mínima ( sentido de las manecillas del reloj ).
- 4.- Ponga el réostato de campo del alternador síncrono a su posición de resistencia máxima ( sentido inverso a las manecillas del reloj ).
- 5.- Abra los interruptores de las cargas y del réostato del alternador síncrono ( posición inferior en todas ).

FIG. 3.5.A.



- 6.- Conecte la fuente de energía y con el tacómetro ajuste el réostato del motor de C. D. para una velocidad de 1800 RPM. El motor debe girar en sentido de las manecillas del reloj. Si no es así intercambie las terminales de la máquina de corriente directa ( terminales 1 y 2 ).
- 7.- Cierre el interruptor del réostato del alternador síncrono.
- 8.- Ajuste la excitación de C. D. del alternador síncrono hasta que el voltaje de línea-línea sea 208 volts. Reajuste la velocidad nuevamente en 1800 RPM. Anote el valor de la corriente de excitación de C. D. 0.6 - Acd.
- 9.- Aumente la corriente de excitación al máximo según lo permita el réostato del alternador síncrono. Anote lo siguiente:  $I_{exc}$  0.8 Acd., -  $V_{LL}$  230 Vca.,  $I_L$  0 Aca., Vel. 1792 RPM. Anote algunas otras observaciones: Se escucha que el impulsor opera con mayor potencia, también se observa una reducción de la velocidad del impulsor por los esfuerzos electromagnéticos.
- 10.- Reajuste la excitación nuevamente para un voltaje de 208 V. Rectifique la velocidad en 1800 RPM.
- 11.- Ajuste cada sección de resistencias a un valor de 300 ohms. ( carga equilibrada prácticamente ).
- 12.- Observe cuidadosamente el efecto al hacer lo anterior. Anote nuevamente sus resultados:  $V_{LL}$  173 Vca.,  $I_L$  0.22 Aca. Vel 1624 RPM.
- 13.- Incremente la excitación del alternador hasta el valor máximo según lo permita el réostato. Observe sus efectos y anote sus resultados: -  $I_{exc}$  0.78 Acd.,  $V_{LL}$  190 Vca.,  $I_L$  0.28 Aca. Vel. 1550 RPM., - Sus observaciones adicionales: Se escucha que el impulsor desarrolla más potencia, también baja aún más la velocidad. Los esfuerzos electromagnéticos son aún mayores.
- 14.- Abra el interruptor del réostato del alternador y cambie las cargas por una inductiva. Abra las nuevas cargas. Repita los procedimientos del 10 al 13.
- Respuestas:  $V_{LL}$  172 Volts,  $I_L$  0.22 Amperas, Vel. 1782 RPM.  
Para sobre-excitación:  $V_{LL}$  180 Volts.  $I_L$  0.22 Amperas,  $I_{exc}$  0.78 Acd. Vel 1769 RPM.
- Los esfuerzos son menores, también lo es la reducción de velocidad, se

produce una demagnetización del sistema interno.

15.- Repita el punto 14 para carga capacitiva.

Respuestas:  $V_{LL}$  240 Volts,  $I_L$  0.32 Amperes, Vel 1768 RPM.

Para sobre-excitación:  $V_{LL}$  260 V,  $I_L$  0.48 A, Vel 1765 RPM. -  
 $I_{exc}$  0.75 Acd. Se escucha un esfuerzo ligeramente mayor del impulso con respecto a la carga inductiva, es por la magnetización de los circuitos internos.

16.- Abra el interruptor del reóstato del alternador y cambie nuevamente a carga resistiva. Repita los puntos del 10 al 13, sólo que en el punto 11 las cargas deberán ser de 300, 200 y 171 ohms respectivamente ( carga desbalanceada ).

17.- Repita el punto 16 para carga puramente inductiva.

18.- Repita el punto 17 para carga puramente capacitiva.

Respuestas de los puntos 10 al 13:

Resistiva:  $V_{LL}$  168 V,  $I_L$  0.2, 0.45, 0.5 Amperes, Vel 1596 RPM.

Con sobre-excitación:  $V_{LL}$  188 V,  $I_L$  0.28, 0.45, 0.5 Amperes. Vel-  
1541 RPM,  $I_{exc}$  0.68 A de C. D.

Inductiva:  $V_{LL}$  155 Volts,  $I_L$  0.2, 0.42, 0.48 Amperes, Vel. 1765 -  
 RPM.

Con sobre-excitación:  $V_{LL}$  180 Volts,  $I_L$  0.28, 0.42, 0.48 Amperes  
 Vel 1752 RPM,  $I_{exc}$  0.72 A de C. D.

Capacitiva:  $V_{LL}$  255 Volts,  $I_L$  0.46, 0.73, 0.83 Amperes. Vel -  
1752 RPM.

Con sobre-excitación:  $V_{LL}$  265 Volts,  $I_L$  0.48, 0.76, 0.88 Amperes.-  
 Vel 1742 RPM  $I_{exc}$  0.8 Acd.

19.- Abra la fuente de energía con el interruptor general y para.

20.- Abra todos los interruptores de cargas y el del alternador.

21.- Intercale un Watt-varímetro trifásico entre el alternador y las cargas. Conectando las terminales de salida del alternador en orden ABC - ( terminales 1, 2 y 3 ) a las terminales 1, 2 y 3 del medidor de potencia; las terminales 4, 5 y 6 se conectan a la carga en el mismo orden que estaban.

22.- Energice el sistema cerrando el interruptor de la fuente de alimentación.

- 23.- Cierre el interruptor del alternador. Ajuste la excitación a un volta je de 208 V. Ajuste la velocidad del impulsor a 1800 RPA, mantenga esta velocidad en adelante.
- 24.- Llene la tabla 3.5.A. Mantenga la velocidad constante.
- 25.- Abra la fuente de energía. Desconecte todo el sistema. Fin.

CARGA PURAMENTE RESISTIVA EQUILIBRADA						
Carga	$V_{LL}$	$I_L$	W	VARs	$\%ReE$	FP
0	208	0	0	0		
1200	202	0.12	26	0		
600	200	0.21	53	0		
300	195	0.38	100	0		
171	182	0.56	166	0		
CARGA PURAMENTE INDUCTIVA EQUILIBRADA						
0	208	0	0	0		
1200	199	0.110	20	250		
600	189	0.182	4.0	500		
300	172	0.330	6.0	77.0		
171	149	0.500	9.0	92.0		
CARGA RESISTIVA-INDUCTIVA EQUILIBRADA						
0	208	0	0	0		
1200	192	0.170	28	23		
600	181	0.270	49	46		
300	160	0.380	77	68		
171	131	0.600	90	78		
CARGA RESISTIVA-INDUCTIVA-CAPACITIVA EQUILIBRADA						
0	208	0	0	0		
1200	201	0.122	32	-2		
600	198	0.230	60	-1		
300	191	0.420	112	-9		
171	178	0.620	168	-8		

TABLA 3.5.A.

## PRACTICA # 6

MOTOR SINCRONO EN CONDICION DE VACIO Y BLOQUEADO

## OBJETIVOS:

Que el alumno compruebe las características de vacío y en condición - de bloqueo de un motor síncrono.

## MATERIAL REQUERIDO:

- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo electrodinámometro.
- \* Módulo de motor/generador síncrono.
- \* Módulo de interruptor de sincronización.
- \* Módulo de amperímetros de C. A. escala de 0-8 A, 0-0.5 y 0-2.5.
- \* Módulo de voltímetros de C. A. de escala de 0-250 V.
- \* Módulo de Volt-Ampermetro de C. D.
- \* Tacómetro de mano digital.
- \* Estroboscopio.
- \* Cables de conexión.
- \* Banda.

## DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:

- 1.- Observe la máquina síncrona. Localice los cuatro polos salientes. Observe el estator y verá que es idéntico al de un motor de inducción jaula de ardilla. Anote todos los datos de placa de la máquina síncrona como motor:  $V_{LL}$  208 V,  $I_L$  0.8 Aca,  $I_{exc}$  0.6 Acd,  $V_{exc}$  120 Vcd Vel. Nom. 1800 RPM, Potencia en HP 1/4.
- 2.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.0.A. cuidadosamente. Acoople el motor al electrodinámometro por medio de la banda. ASEGURESE - QUE LA FUENTE DE ENERGIA ESTE ABIERTA.
- 3.- Ponga el interruptor de palanca del método de sincronización en posición abierta ( lado derecho ). Se utilizará para interrumpir la potencia del motor.
- 4.- El réostato del electrodinámometro debe estar en resistencia máxima - ( sentido inverso a las manecillas del reloj completo ).

FIG.  
3.6.A.

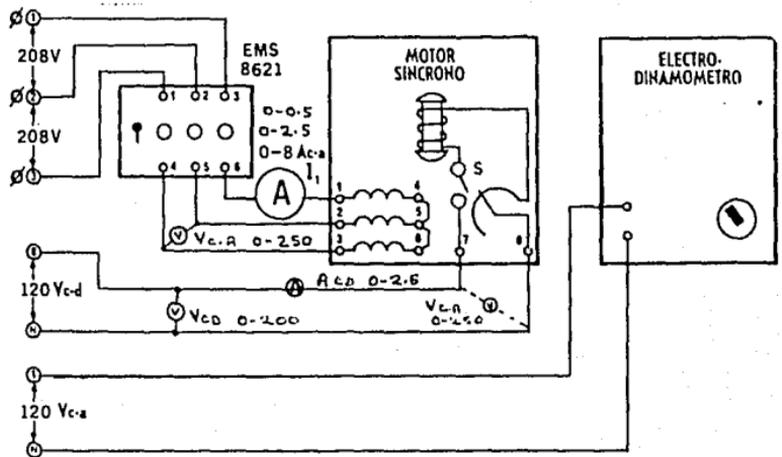
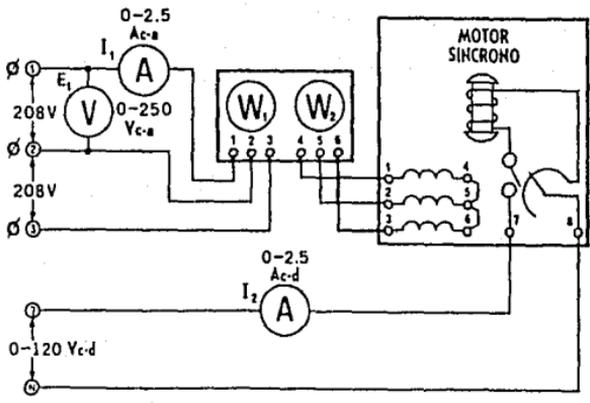


FIG. 3.6.E.



- 5.- Ajuste el réostato del campo del motor síncrono a su resistencia mínima ( sentido de las manecillas del reloj completo ).

Abra su interruptor de palanca. ( Abajo ).

- 6.- Aplique potencia cerrando el interruptor del módulo de sincronización después de haber cerrado el de la fuente. Anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  105 Vca,  $I_L$  1 a 1.4 A, Vel. 1775 RPM. Observe qué su cedió en el medidor  $I_L$  al instante de arranque y un tiempo después. - Describalo: la corriente de arranque se dispara hasta 1.6 Aca; luego se queda oscilando entre 1 a 1.4 Aca en cada línea.

- 7.- Cierre el interruptor del campo de excitación del motor y anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  204 Vca,  $I_L$  0.35 Aca, Vel. 1800 RPM,  $I_{exc}$  0.68 Aca. Observe qué sucedió al instante de cerrar el interruptor del motor. Describalo: la magnitud de la corriente de línea se reduce y se estabiliza en un valor más pequeño dejando de oscilar en 0.35 Aca. Se escucha que el motor se acelera.

- 8.- Abra el interruptor del módulo de módulo de sincronización.

- 9.- Ajuste el réostato del electrodinamómetro a un 40% aproximadamente de su excitación total.

- 10.- Cierre el interruptor del módulo de sincronización y observe lo que suceda. NO APLIQUE POTENCIA MAS DE 6 SEGUNDOS. Describa sus observaciones y mida la corriente de línea. La corriente de arranque se dispara alrededor de 6 Aca y el motor no logra acelerarse, mucho menos entrar en sincronismo. Se escucha mucho ruido por los esfuerzos a que es ta sometido al no poder arrancar.

- 11.- Abra los interruptores del módulo de sincronización y de la fuente. - Quite las terminales de alimentación del campo del rotor del motor síncrono. En su lugar coloque un voltmetro de 0-250 Volts de C. A.

- 12.- Ajuste la perilla del electrodinamómetro a su posición extrema ( sentido de las manecillas del reloj). Para máxima carga.

- 13.- Cierre el interruptor del módulo de sincronización. Observe lo que sucede. NO APLIQUE POTENCIA MAS DE 2 SEGUNDOS. Anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  200 Volts,  $V_{rotor}$  202 Vca. Par de arranque 21 lb-plg. Por qué induce voltaje al rotor? Porque existe un movimiento-

relativo entre el campo magnético giratorio del estator y el embobinado de excitación del rotor.

Observaciones: El motor no logra acelerarse dada la sobrecarga simulada con el freno eléctrico y se que la jaula de ardilla que tiene no es tan grande en área transversal como la de un motor de inducción jaula de ardilla.

- 14.- Aplique potencia nuevamente e inmediatamente empiece a reducir la carga haciendo girar la perilla de control del electroinánometro. Observe qué sucede y descríbalo: El motor empieza a acelerarse hasta que se estabiliza en cierta velocidad menor a la síncrona, a medida que sucede lo anterior y de manera proporcional la magnitud del voltaje inducido en el rotor disminuye, quedando oscilando en un voltaje de 0 a 15 volts de C. A.
- 15.- Abra su fuente de energía y pare el sistema.
- 16.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.:.B. cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE ESTE ABIERTA.
- 17.- Abra el interruptor del campo del rotor en el motor.
- 18.- Ajuste el campo del rotor a su resistencia mínima. ( sentido de las manecillas del reloj completamente ).
- 18.- Cierre la fuente de alimentación para aplicar potencia. Anote los siguientes resultados:  $V_{LL}$  204 Vca,  $I_L$  1 a 1.4 Aca,  $I_{exc}$  0.7 Acd  
 $W_1$  - 40 a 75 W,  $W_2$  105 a 200 W.
- 20.- Cierre el interruptor del rotor en el motor. Diga qué sucede: Las potencias se estabilizan en + 60 y - 9 Watt. La corriente de línea también se estabiliza en 0.35 Aca aproximadamente.
- 21.- Ajuste la excitación del campo con el reslato del motor hasta que la corriente de línea esté en su valor mínimo. Anote los siguientes resultados:  $I_L$  0.145 Aca,  $I_{exc}$  0.5 Acd,  $W_1$  20 Watt,  $W_2$  20 Watt
- 22.- Aumente la excitación de C. D. al máximo y observe qué sucede. Anote los siguientes resultados:  $I_L$  0.30 Aca,  $I_{exc}$  0.68 Acd,  $W_1$  45 Watt,  $W_2$  5 Watt. Se escucha más ruido, por esfuerzos.
- 23.- Ahora ajuste los valores de excitación como se indica en la tabla 3.6. A. empezando de 0 Acd. Anote sus resultados teniendo cuidado de apurar

se a tomar las lecturas cuando la corriente de excitación rebase 0.6 -  
Acd.

24.- Abra su fuente de alimentación y desconecte todo el sistema.

$I_{exc}$	$V_{LL}$	$I_L$	$W_1$	$W_2$	VELOCIDAD
0	208	1.2	-50	190	1800
0.1	208	0.85	-43	110	1800
0.2	208	0.65	-28	96	1800
0.3	208	0.48	-15	65	1800
0.4	208	0.28	-3	44	1800
0.5	208	0.145	14	24	1800
0.6	208	0.180	30	12	1800
0.7	208	0.350	47	1	1800
0.8	208	0.520	66	-10	1800
0.85	208	0.56	73	-11	1800

TABLA 3.6.A.

## PRACTICA # 7

MOTOR SINCRONO CON CARGA VARIABLE.

**OBJETIVO:**

Que el alumno compruebe las características de carga de un motor sincrónico trifásico de  $1/4$  de HP.

Que el alumno compare el funcionamiento del motor con carga y diferente excitación del campo del rotor.

Que compare la diferencia del Par de arranque con diferente excitación.

Que observe el desplazamiento físico que existe del rotor respecto al flujo del estator al incrementar la carga mecánica gradualmente hasta sacar el motor de sincronismo.

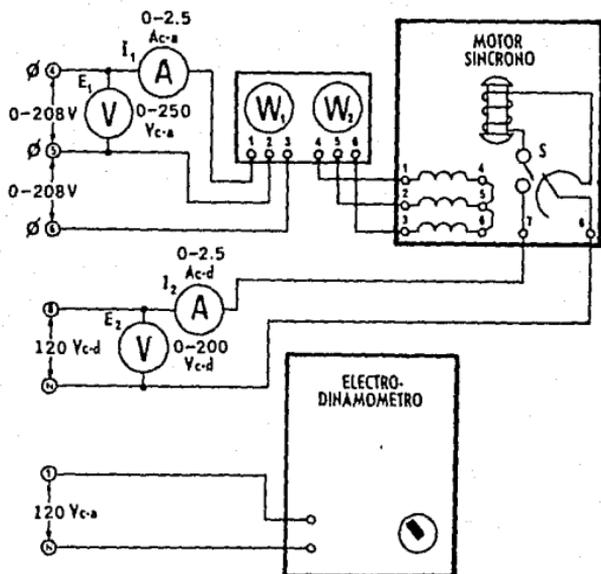
**MATERIAL REQUERIDO:**

- \* Módulo de fuente de alimentación.
- \* Módulo de motor/generador sincrónico.
- \* Módulo de electrodinámometro.
- \* Módulo de wattímetro trifásico ( 300-300 wat: ).
- \* Módulo de voltímetros de 0-250 Volts. de C. A.
- \* Módulo de amperímetros de 0-2.5 A. de C. A.
- \* Módulo de voltímetro de corriente directa de 0-200 Volts.
- \* Estroboscopio.
- \* Tacómetro.
- \* Banda y cables de conexión.

**DISEÑO DE PRACTICA Y DESARROLLO TOTAL:**

- 1.- Conecte el circuito ilustrado en la figura 3.7.A. cuidadosamente. ASEGURESE QUE LA FUENTE ESTE DESCONECTADA ANTES DE REALIZAR CUALQUIER CONEXION.
- 2.- Pida a su instructor le revise sus conexiones que realizó usted en su panel de conexiones como sistema de pruebas.
- 3.- Acople el motor sincrónico al electrodinámometro por medio de la banda y las poleas dentadas. Tense la banda con el balero.
- 4.- Ponga la perilla del electrodinámometro en su posición de máxima resis

FIG. 3.7.A.



tencia ( sentido contrario de las manecillas del reloj ).

- 5.- Haga lo mismo para el réostato del motor síncrono y abra el interruptor de palanca.
- 6.- Conecte la fuente de energía ajustándola a 200 volts con la perilla. - El motor debe de funcionar en el sentido de las manecillas del reloj.- Si no es así revise su sistema.
- 7.- Cierre el interruptor de palanca del motor síncrono.
- 8.- Aumente el Par gradualmente hasta 9 lbf-plg y aumente la excitación de c-d, hasta que los dos wattímetros indiquen lo mismo ( la corriente de be estar en su valor mínimo, 1 de línea del motor síncrono ). Mida y anote lo siguiente:  $I_1$  0.72 A.,  $I_2$  0.6 A.,  $E_2$  110 V.,  $W_1$  130+  $W_2$  130 +.
- 9.- Sin alterar la excitación de c-d, aumente de manera gradual la carga - hasta que el motor quede fuera de sincronismo. Tome nota del Par requerido rápidamente y desconecte la alimentación. Par de salida de sincronismo 15 lbf-plg.
- 10.- Repita los procedimientos del 4 al 8, sólo que en este caso aumente - la excitación de c-d a 0.8 A c-d, mantenga el Par en 9 lbf-plg. Mida y anote sus resultados.  $I_1$  0.95 A,  $E_2$  140 Vcd,  $W_1$  170 +,  $W_2$  94 +
- 11.- Repita el punto 9 y anote su resultado. Desconecte en el menor tiempo posible. Par de salida de sincronismo 18 lb-plg. El par de salida se incrementa de manera apreciable.
- 12.- Intente repetir los procedimientos 10 y 11, sólo que en este caso baje la excitación a sólo 0.4 A c-d. Anote sus resultados:  $I_1$  0.98 Aca.-  $E_2$  116 Vca,  $W_1$  90 +,  $W_2$  177 +, Par de salida es 11.5 lb-plg. El - par y la corriente bajan de manera apreciable.
- 13.- Ajuste la excitación del campo a 0.6 A cd y el voltaje  $E_1$  nuevamente en 208. El electrominómetro debe estar en resistencia máxima ( sentido contrario a las manecillas del reloj totalmente ). Con la luz estroboscópica observe la posición de la marca previamente realizada en el rotor con un gis blanco o azul.
- 14.- Aumenta la carga de manera gradual y con el estroboscopio disparando - al rotor observe el desplazamiento del rotor ( retraso ) hasta que se-

salga de sincronismo. Anote todas sus observaciones: Se observa un retraso de la posición del rotor respecto al estator de manera gradual al incrementar la carga mecánica en la flecha hasta que se rompe el sincronismo o acoplamiento magnético, esto sucede aproximadamente en 15 lb-plg a una corriente de línea también aproximada de 1.6 Aca.

15.- Repita los procedimientos 13 y 14, sólo que ahora para 0.8 Acd en el campo de excitación del rotor. Anote todas sus observaciones.

16.- Repita el punto 15, sólo que ahora para 0.4 Acd en el campo de excitación del rotor. Anote todas sus observaciones.

Respuesta de los puntos 15 y 16.- Sucede lo mismo que en para punto seis de la excitación sólo que ahora el ángulo de arrastre es mayor, por lo que el Par de salida se incrementa aproximadamente a 18 lb-plg; para el caso de la excitación de 0.4 los valores anteriores bajan considerablemente siendo el Par de salida aproximadamente de 11.5 lb-plg.

Desde luego en el primer caso todos los esfuerzos, tanto mecánicos como electromagnéticos, se incrementan apreciablemente; en el segundo caso sucede a la inversa. Siendo el punto de óptima operación cuando la corriente de excitación del campo es de 0.6 Acd, ya que el rendimiento de la máquina, según su diseño y pruebas, indican que no se debe rebasar esta excitación sin que con ello sucedan incrementos de temperatura y esfuerzos que dañen la máquina.

## CONCLUSIONES.

En la práctica uno, se puede comprender la importancia de los materiales utilizados en cada una de las piezas de una máquina síncrona, así como las diferentes formas físicas de algunas de sus partes dadas las aplicaciones que vaya a tener una determinada máquina síncrona. Conocer cada pieza resulta ventajoso.

El objetivo de una buena elección de materiales en algunas de las partes es importante para una buena eficiencia de una máquina síncrona, así como el tiempo que pueda durar en servicio operando adecuadamente sin mantenimiento tan periódico relativamente. Desde luego la posibilidad de una falla se minimiza bastante.

El conocer las posibilidades de conexión de estator resulta útil sobre todo cuando no se cuenta con una alimentación adecuada a una conexión determinada, también porque en un momento determinado se puede proteger la máquina al circular corrientes de menor magnitud a través de los devanados con una fuente de alto voltaje; otra cosa interesante resulta cómo invertir el sentido de rotación de estas máquinas y los peligros que en un momento determinado provocarían una rotación equivocada en un sistema determinado que sólo deba girar en un solo sentido.

En la práctica dos, en un alternador síncrono trifásico la frecuencia de generación está en función directa de la velocidad a la que es impulsado el rotor y el número de polos que tiene la máquina; así como el espacio en grados eléctricos que existe entre fase y fase. De tal manera que, si alimentamos un motor con la energía generada por un alternador síncrono, la frecuencia a la que opere dicho motor afectará también su velocidad de operación puesto que tendrá la misma frecuencia del alternador; así que si el alternador tiene un cambio en su frecuencia, también lo tendrá el motor y por lo tanto, su velocidad variará de manera directa con la frecuencia de la energía de alimentación y de manera inversa con el número de polos que tenga dicho motor.

Por lo tanto, para cambiar la velocidad de un motor trifásico de inducción o síncrono es posible lograrlo cambiando la frecuencia de la energía de alimentación únicamente, sin necesidad de alterar el diseño respecto al número de polos.

Práctica tres: Una sobre-excitación del devanado de campo de excitación de un alternador síncrono hace que el voltaje generado sin carga no aumenta en proporción casi lineal, como lo hace cuando la excitación está antes del codo de saturación magnética o cerca de él; con la sobre-excitación se empieza a calentar el circuito de excitación y se satura con la consecuente pérdida de energía por efecto joule en el campo o rotor.

Con la determinación del punto nominal de excitación o excitación normal del rotor, y la corriente de corto circuito a esa excitación normal, es posible determinar el valor numérico de la reactancia síncrona real, que se determina dividiendo el valor del voltaje generado en vacío a la excitación normal entre la corriente de corto circuito de estado permanente ( corriente tomada unos segundos después de realizar el corto circuito ).

El conocer los resultados anteriores nos servirá para saber si la regulación de voltaje es pobre o buena, la condición de estabilidad que está relacionada con la reactancia síncrona, las posibilidades de operar en paralelo eficientemente, y algunos otros parámetros de no menos importancia.

Cuando la máquina opera sobre-excitada también se enciende que está sometida a mayores esfuerzos mecánicos, resultados derivados de los incrementos también de fuerzas magnetomotrices y electromotrices en el estator y en el rotor respectivamente.

Práctica 4: Un alternador síncrono trifásico debe ser operado preferentemente en el punto de carga nominal y cerca del codo de saturación magnética, porque si se rebasa la carga nominal la máquina tiene más pérdidas y aparte se somete a mayores esfuerzos mecánicos que hacen que las partes en fricción se deterioren más rápidamente, también el deterioro de los devanados se acelera por el incremento de temperatura al que se ve sometido al circular corrientes más elevadas; respecto a una sobre-excitación de campo del rotor también provoca daños similares, contribuyendo a acortar la vida de la máquina. Es posible sobrecargar un alternador siempre y cuando el período de tiempo que dure dicha sobrecarga no persista demasiado, deben ser tiempos cortos y el que puedan durar más tiempo depende básicamente de cuánta sobrecarga exista en la salida del alternador.

De cualquier forma las sobrecargas no son deseables en un alternador ya que también se afecta a la regulación de voltaje y el rendimiento de la máquina, aún de incrementar los costos de operación y mantenimiento.

Cuando existe desbalance de carga en las fases del alternador, dicho desbalance no debe exceder un 5% aproximadamente, aunque existen medios para evitar un desbalance de cargas, este desbalance puede suceder por alguna falla. Cuando existe desbalance de cargas, la máquina sufre esfuerzos mecánicos en sus piezas en fricción; también existe un calentamiento no uniforme en los devanados internos de tal suerte que el deterioro o envejecimiento es disparado en los devanados, lo anterior repercute en un cortamiento de la vida útil de la máquina y desde luego en mayores costos de operación y mantenimiento. Es lógico pensar que una carga desbalanceada -- arriba de los valores nominales de la máquina incrementaría considerablemente los daños antes mencionados, desde luego más que si la sobrecarga -- fuese balanceada en la salida del alternador trifásico.

Es importante el uso del neutro del alternador, ya que protege a los operarios si existe alguna falla; también equilibra los voltajes en las cargas cuando éstas son desbalanceadas y desde luego protege a la propia máquina de daños mayores cuando existe alguna falla que logre llegar a ella internamente.

Práctica 5: Un alternador no debe sobrecargarse en intervalos de tiempo considerables, aún cuando el campo del rotor no esté sobre-excitado mucho menos dejarlo en estado permanente bajo condición de sobrecarga, tampoco debe hacer con una sobre-excitación del campo ya que los daños serían mayores tanto por los esfuerzos mecánicos como por los electromagnéticos. Si en algún momento debe de operarse el alternador con sobrecarga equilibrada de estado permanente, dicha sobrecarga no debe exceder a un 5% con el fin de no dañar la máquina en general.

Cuando la máquina opera por alguna razón con cargas desbalanceadas, dicho desbalance no debe existir en estado permanente, tampoco en un rango de desbalance entre fases que sea considerable ya que todos los daños se incrementan considerablemente.

En la práctica la sobrecarga en condición balanceada o de muy poco desbalance de cargas, hablando de la sobrecarga máxima se encuentra directamente relacionado con el Par máximo que pueda soportar la flecha sin que se pierda el sincronismo. El tiempo que pueda durar la sobrecarga lo limita también la temperatura de operación; en realidad como todo el diseño está estrechamente relacionado con los valores máximos, entonces la sobrecar

ga se ve muy limitada en cuanto al tiempo de sobrecarga y valor máximo de sobrecarga.

Cuando los usuarios del servicio de energía eléctrica no corrigen su factor de potencia, sobre todo aquéllos que operan con motores de inducción monofásico o trifásico transfieren el bajo factor de potencia a las líneas de transmisión y a las plantas generadoras donde operan los alternadores síncronos con el bajo aprovechamiento de la generación. Por lo anterior se deben emplear métodos para incrementar el factor potencia. Pueden utilizarse bancos de capacitores o bien condensadores síncronos, resultando más económico la instalación de los primeros para compensar la potencia reactiva inductiva. Algunas veces sucede que el usuario por alguna razón cuenta con motores síncronos en una planta, en este caso puede operar alguno de ellos sin carga acoplada en la flecha y sobre-excitar su rotor para compensar el bajo factor de potencia pudiendo resultarle más económico.

Sea cual sea el método, existe una tabla de multiplicadores de KW para determinar los KILOVARS en capacitores requerido para corregir el Factor de Potencia que se anexa en las siguientes páginas. También existen tablas de multa o de penalidad para los usuarios que operan con bajo factor-potencia, que en algunos casos llegan a pagar por consumo cantidades de dinero mayores por la multa que por lo que realmente aprovechan de su energía suministrada. Para conocimiento del lector también se anexa tal información que consideramos de suma importancia para quienes desean corregir su bajo factor de potencia. Tiene también información sencilla respecto al triángulo de potencias que un lector con conocimientos elementales puede comprender perfectamente.

Práctica 6: Un motor síncrono que se diseña para operar sin carga con el objeto de utilizarlo para corregir el factor de potencia en alguna planta industrial, o bien, en terminales de líneas de transmisión, debe ser fabricado con aislamiento de mayor área transversal para que pueda soportar los incrementos de temperatura por sobre-excitación del campo sin que se deteriore o envejezca el material rápidamente. Lo anterior no quiere decir que un motor que no fue diseñado para tal fin, no se pueda utilizar para corrección de factor de potencia, sólo que, el rango de corrección sin que el material del rotor sufra daños apreciables es menor que en lo que se diseña para tal finalidad.



# CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

## -INTRODUCCION-

En la época actual, de continuo incremento de los costos, es de vital importancia el hacer uso racional de nuestros recursos.

La Energía Eléctrica es uno de nuestros recursos más valiosos, y no escapó a la tendencia del incremento de su costo, ya que, su materia prima fundamental constituida por los energéticos, se consume día a día en forma acelerada. Al tratarse de un recurso no renovable, es lógico que su gradual agotamiento lo convierta en un elemento cada día más escaso y por lo mismo, más costoso.

La Energía Eléctrica mueve nuestras industrias y debemos utilizarla en la forma más eficiente posible.

Una de las medidas al alcance del industrial, para juzgar el grado de eficiencia con el que se está utilizando la energía eléctrica en su planta, es el conocer el factor de potencia.

Siendo la energía eléctrica un factor que interviene en los costos de producción, debemos estar concientes, si estamos pagando, durante un periodo determinado, la cantidad justa o si estamos incurriendo en un sobrecargo en la tarifa por conceptos desconocidos y por consecuencia fuera de control.

## ENERGIA REACTIVA Y FACTOR DE POTENCIA.

Al conectar a una red de corriente alterna un aparato eléctrico inductivo (motores, transformadores, equipos de soldadura, circuitos de lámparas fluorescentes, etc), la corriente total absorbida tiene dos componentes: corriente activa, que es la que produce el trabajo útil, y corriente reactiva, que es la que produce el funcionamiento del aparato, por ser la que produce el campo magnético, pero que no produce por sí misma ningún trabajo.

La relación entre estos tres parámetros es la siguiente:

$$I_t = \sqrt{(I_a)^2 + (I_r)^2}$$

en donde:

$I_t$  = corriente total,  
 $I_a$  = corriente activa,  
 $I_r$  = corriente reactiva.

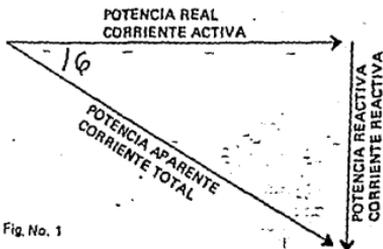


Fig. No. 1

## TRIANGULO DE CORRIENTES Y POTENCIAS.

Por consiguiente sus valores relativos pueden ser representados, como se indica en la figura No. 1, por medio de un triángulo rectángulo en el que los dos catetos representen las componentes activa y reactiva y la hipotenusa, la intensidad total.

La componente activa crea la potencia activa o real, que es la que a través del tiempo, produce el trabajo que demanda la máquina, siendo registrada la energía absorbida por el medidor de energía activa. Su unidad de medida es el kilowatio (KW). A su vez, la intensidad reactiva engendra la potencia reactiva y con el tiempo, la energía reactiva que es registrada por el medidor correspondiente, midiéndose en kilovoltamperes reactivos (KVAR).

El producto de la corriente total por la tensión de la red, es la potencia aparente, cuya unidad es el kilovoltampere (KVA). Entre estas tres potencias, existe la misma relación que entre las intensidades, por lo que también podemos establecer la siguiente relación:

$$P_A = \sqrt{(P_R)^2 + (P_r)^2}$$

en donde:

$P_A$  = Potencia aparente.

$P_R$  = Potencia real.

$P_r$  = Potencia reactiva.

El mismo triángulo de la figura No. 1, puede representar indistintamente intensidades o potencias.

Como se puede ver en ese mismo triángulo, la magnitud del ángulo depende de los valores relativos de las dos componentes, activa y reactiva; es decir, para aparatos que sean capaces de desarrollar igual potencia, pero que absorban potencias reactivas diferentes, el ángulo será mayor para aquel que la componente reactiva también lo sea. Este ángulo es lo que se conoce como ángulo de fase y el valor de su coseno recibe el nombre de « cos de  $\phi$  » o FACTOR DE POTENCIA  $\phi$ .

Del triángulo de la figura No. 1 se deduce:

$$\text{Intensidad total} = \frac{\text{Intensidad activa}}{\cos \phi}$$

**PORQUE SE PENALIZA EL BAJO FACTOR DE POTENCIA.**

Como el valor del coseno  $\phi$  siempre es menor a la unidad, se puede ver que la intensidad total tomará un valor más elevado que el que tomaría si el equipo no fuera inductivo, y que este valor será tanto más alto cuanto más inductivo sea el aparato considerado.

El hecho de que exista un bajo factor de potencia en la instalación, produce un aumento en la intensidad de corriente, lo cual origina pérdidas por calor y fuertes caídas de tensión, obligando a la compañía suministradora a aumentar a su vez, la potencia de sus plantas generadoras, transformadores y líneas de transmisión o distribución.

Por estas razones, se autoriza el distribuidor de energía eléctrica a cargar una penalidad al usuario, de acuerdo al criterio de la tarifa eléctrica en vigor.

En México, esta tarifa está determinada por el Diario Oficial de 1973.

Toda instalación que tenga un bajo factor de potencia, deberá por lo tanto pagar una multa o un sobre-precio por KW-h y este sobre-precio se calcula multiplicando el precio normal de KW-h por un coeficiente variable según el factor de potencia del consumidor.

De acuerdo con la tarifa, cuando el factor de potencia tenga un valor inferior a 85%, aparecerá en el recibo un renglón que dice "CARGO POR BAJO FACTOR DE POTENCIA" y además se indica el valor de este bajo factor.

Por medio de la tabla II y conociendo ya el factor al que se quiere llegar (mínimo 85%), se pueden obtener los KVAR capacitivos necesarios para llevar a cabo la compensación multiplicando el factor por los kilowatts consumidos.

Con objeto de asegurar que bajo cualquier condición de carga tengamos como mínimo un 85% de F.P., se recomienda siempre corregir a un valor ligeramente mayor a 90% ó 92%.

Este recargo se calcula de acuerdo a la siguiente tabla:

**TABLA No. 1**

F.P. Actual	F.P. Mínimo.	O/o de Penalidad
.84	↓	1.19
.83		2.41
.82		3.66
.81		4.94
.80		6.25
.79		7.59
.78		8.97
.77		10.39
.76		11.84
.75		13.33
.74		14.86
.73		16.43
.72		18.05
.71		19.72
.70		21.40
.69		23.19
.68		25.00
.67		26.86
.66		28.78
.65		30.77
.64	32.81	
.63	34.92	
.62	37.09	
.61	39.34	
.60	41.66	
.59	44.06	
.58	46.55	
.57	49.12	
.56	51.78	
.55	54.54	

**COMO ELIMINAR EL CARGO POR BAJO FACTOR DE POTENCIA.**

La forma más práctica y económica para corregir el factor de potencia y así evitar el recargo, es mediante la instalación de capacitores.

**COMO DETERMINAR EL FACTOR DE POTENCIA EN UNA INSTALACION**

En general y tratándose de instalaciones ya en funcionamiento, no es necesario determinar su valor, ya que como se mencionó anteriormente, este dato viene indicado en el mismo recibo de consumo. No obstante, puede confirmarse a través de medición.

A continuación mencionamos algunos métodos para efectuar la medición.

1º Con un medidor de energía activa y otro de reactiva.

Una vez instalados, se hacen simultáneamente lecturas en intervalos de tiempo (por lo menos de 4 horas) y en condiciones normales de carga.

De estas lecturas se deducen teniendo en cuenta las constantes de los medidores, los consumos KW-KVAR (energía activa y reactiva respectivamente). El Factor de Potencia promedio se obtiene con la siguiente expresión:

$$\text{Cos } \phi = \frac{\text{KWH}}{\sqrt{(\text{KWH})^2 + (\text{KVARH})^2}}$$

Estas lecturas deberán repetirse durante varios días, obteniendo la media de los valores encontrados.

2º Con un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro.

Se mide la potencia activa, en condiciones de plena carga, por medio del vatímetro. En las mismas condiciones, se mide el voltaje entre fases V y el amperaje por fase I. Por medio de la expresión:

$$\text{KVA} = \sqrt{3} (\text{KV}) \text{ I}$$

Se calcula los KVA consumidos a plena carga y por la expresión:

$$\text{Cos } \phi = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}}$$

Se calcula el factor de potencia en estas condiciones.

### CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA REQUERIDA EN CAPACITORES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.

#### A). Corrección del Factor de Potencia media.

Si tenemos un centro de carga cuyo consumo en kilowatts viene dado por la magnitud KW y su factor de potencia es Cos  $\phi_1$ , la potencia del banco de capacitores que es necesario instalar para pasar a un nuevo factor de potencia Cos  $\phi_2$ , viene dada por la expresión:

$$\text{KVAR} = \text{KW} (19 \phi_1 - 19 \phi_2)$$

Para facilitar el cálculo, se da directamente el valor del multiplicador (19  $\phi_1$  - 19  $\phi_2$ ), en función de los parámetros Cos  $\phi_1$  - Cos  $\phi_2$  en la tabla No. 2.

Veíamos anteriormente que cuando se habla de factor de potencia de un centro de consumo, es necesario precisar bajo que condiciones de carga se ha medido dicho factor de potencia.

Si la carga alimentada no está sujeta a grandes alteraciones durante las horas de trabajo, puede tomarse como Cos  $\phi_1$  el factor de potencia medio definido y como consumo, en kilowatts, el consumo medio resultante de dividir los kilowatts consumidos durante un mes, por las horas de trabajo mensuales. El Cos  $\phi_2$  a alcanzar, debe estimarse algo mayor que el mínimo aceptado por la compañía eléctrica, a fin de que en los momentos de plena carga no se este operando con un factor de potencia demasiado bajo.

#### B). Corrección del Factor de Potencia a plena carga.

Cuando la carga alimentada esté sujeta a fluctuaciones considerables durante las horas de trabajo, puede tomarse como Cos  $\phi_1$ , el factor de potencia a plena carga, medido por alguno de los procedimientos descritos anteriormente.

Como consumo, en kilowatts, debe tomarse también el consumo medio a plena carga y como Cos  $\phi_2$  a alcanzar, puede tomarse el mínimo que permita la compañía eléctrica; puesto que si se garantiza un factor de potencia correcto en condiciones de plena carga, es muy probable que el factor de potencia se mantenga en un valor adecuado durante todas las horas de trabajo.

#### C). Corrección del Factor de Potencia con un Banco de Capacitores Desconectable.

En caso de que las fluctuaciones de carga durante las horas de trabajo sean muy grandes, debe pensarse en la conveniencia de instalar un banco desconectable o con secciones desconectables que entren automáticamente en servicio, siguiendo las fluctuaciones de demanda de potencia reactiva del sistema.

Para determinar si es necesaria la instalación de un banco de capacitores de este tipo, puede calcularse el valor que va a tomar el factor de potencia en condiciones de carga mínima, suponiendo instalando un banco fijo que corrige el factor de potencia al 85%, en condiciones de plena carga.

MULTIPLICADORES DE KW PARA DETERMINAR LOS KILOVAMS EN CAPACITORES REQUERIDOS PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA

Factor de Potencia Original	Factor de Potencia Corregido																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.987	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.306	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.892	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.116	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.792	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.836	0.868	0.900	0.940	0.988	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.916	0.966	1.025	1.169
0.66	0.389	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.678	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.593	0.653	0.800
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.570	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.644	0.784
0.82	0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.619	0.685	0.829
0.83	0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.468	0.523	0.584	0.650	0.719	0.864
0.84	0.000	0.026	0.052	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.441	0.491	0.547	0.609	0.680	0.750	0.895
0.85	0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.413	0.461	0.513	0.570	0.633	0.704	0.776	0.921
0.86	0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.380	0.424	0.472	0.524	0.581	0.644	0.714	0.787	0.932
0.87	0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.360	0.406	0.454	0.506	0.563	0.624	0.691	0.764	0.839	0.984
0.88	0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.387	0.440	0.496	0.554	0.615	0.680	0.750	0.826	0.901	1.046
0.89	0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.387	0.440	0.496	0.554	0.615	0.680	0.750	0.826	0.901	1.046
0.90	0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.387	0.440	0.496	0.554	0.615	0.680	0.750	0.826	0.901	1.046
0.91	0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.303	0.356	0.413	0.474	0.538	0.604	0.674	0.748	0.826	0.909	0.997	1.090	1.187
0.92	0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.273	0.326	0.383	0.444	0.509	0.578	0.650	0.724	0.801	0.881	0.964	1.051	1.144	1.241
0.93	0.000	0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.242	0.294	0.350	0.409	0.471	0.536	0.604	0.676	0.751	0.828	0.909	0.994	1.083	1.176	1.273
0.94	0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.210	0.262	0.316	0.373	0.433	0.494	0.558	0.625	0.695	0.768	0.843	0.921	1.002	1.087	1.176	1.273
0.95	0.000	0.037	0.077	0.119	0.169	0.221	0.275	0.331	0.389	0.449	0.511	0.575	0.641	0.709	0.780	0.854	0.931	1.011	1.094	1.181	1.273
0.96	0.000	0.041	0.089	0.149	0.212	0.277	0.344	0.413	0.484	0.556	0.629	0.704	0.780	0.858	0.938	1.019	1.102	1.187	1.274	1.363	1.454
0.97	0.000	0.048	0.108	0.171	0.236	0.304	0.374	0.446	0.519	0.594	0.670	0.748	0.828	0.909	0.991	1.074	1.159	1.245	1.332	1.421	1.512
0.98	0.000	0.048	0.108	0.171	0.236	0.304	0.374	0.446	0.519	0.594	0.670	0.748	0.828	0.909	0.991	1.074	1.159	1.245	1.332	1.421	1.512
0.99	0.000	0.048	0.108	0.171	0.236	0.304	0.374	0.446	0.519	0.594	0.670	0.748	0.828	0.909	0.991	1.074	1.159	1.245	1.332	1.421	1.512

Cuando un motor se sobrecarga en su flecha, se debe tener cuidado de no llegar hasta el Par de arrastre, ya que entonces el motor se sale de sincronismo; por lo tanto se debe cuidar perfectamente la relación que existe entre el ángulo de arrastre, la excitación del campo y el Par de salida a fin de no dañar el motor al entrar en condición de bloqueo si se rebasan los valores máximo de sobrecarga. La condición de bloqueo se presenta antes, si la excitación del campo en el rotor está muy por debajo de su valor nominal, desaprovechándose el rendimiento máximo de la máquina según su diseño y pruebas.

Práctica 7: Como se menciona en los puntos anteriores las sobrecargas tienen limitaciones para los valores nominales, en algunas ocasiones y en intervalos de tiempo, un motor se puede sobrecargar sin que se salga de sincronismo, aumentando la corriente de excitación del campo, pero dicha sobrecarga no debe persistir en estado permanente, porque dañaría el motor considerablemente y dependiendo del tiempo de sobrecarga se ve afectada la vida útil o efectiva de la máquina en general, por los daños o envejecimiento de los materiales aislantes al incrementarse la temperatura, también por los esfuerzos y el incremento en la fricción de las piezas rozantes del motor.

Práctica 8: El problema principal que existe en los motores síncronos es el método de arranque, por lo que, a diferencia de las máquinas que son diseñadas para operar como alternadores tienen ciertas características, como son las siguientes: Tienen una jaula de alta resistencia para el arranque en las piezas polares.

Embrague de fricción, que permite que el motor arranque sin carga.

La posibilidad de un reóstato externo de arranque.

Lo anterior depende del método de arranque que se utilice en un motor determinado, ya que el problema principal es precisamente, cómo arrancarlo con carga en la flecha. Lo anterior se ha resuelto por varios métodos, siendo los más efectivos los que a continuación transcribo:

Arranque bajo el principio de inducción.

Arranque con ayuda de motor auxiliar, ya sea de corriente directa o de inducción jaula de arilla.

Para el primer caso el motor síncrono se diseña con una jaula de ardi

lla auxiliar, que permite el arranque bajo el principio de inducción electromagnética.

En el segundo caso deberá tenerse el motor que ayudará al arranque - acoplado a la misma flecha, con algún sistema de embrague, para que en el momento que se alcance la velocidad de sincronismo; o se esté muy cerca de ella, se opere el motor síncrono y pare el motor auxiliar.

Por todo lo que se observó en el transcurso de las prácticas, los alternadores deberán ser protegidos principalmente contra lo siguiente: Fallas a tierra, contra sobre-voltajes, sobre-excitación indebida, sobre-corrientes, inversión de secuencia de fases, sobre-calentamientos, voltajes-desbalanceados, cargas muy desbalanceadas, entre otras de no menos importancia que se verán en clase.

Para el caso del motor, se debe proteger principalmente para: evitar-sobre-calentamientos, evitar sobre-corrientes de estado permanente, evitar sobrecargas de estado permanente, entre otras de no menos importancia que se verán en clase.

**SUGERENCIAS:**

Se puede desarrollar una práctica existente en los manuales convencionales respecto a SINCRONIZACION, si el profesor lo sufiere, se cuenta con el equipo necesario para las simulaciones.

También es posible realizar una práctica de alternadores en paralelo, sólo que necesitamos otra máquina síncrona que actualmente no tenemos; es posible realizar una combinación de conexión en paralelo y estudio de cargas, amén de sincronizar los dos alternadores a la línea de alimentación - como complemento de la primer sugerencia.

Para todo el curso y específicamente en las prácticas sugeridas es -- necesario contar con un estroboscopio, para utilizarlo a manera de sincronoscopio, lo cual resulta bastante didáctico para comprender algunos fenómenos electromagnéticos.

Otra cosa interesante resultaría contar con un cambiador de frecuencias para acoplarlo entre la fuente de alimentación y el motor trifásico, y poder comprobar rangos mayores o menores de velocidades; al alterar este - parámetro, desde luego un frecuencímetro de rango mayor al que tenemos, re saltaría en gran provecho para nuestros alumnos.

Otro aspecto importante sería implementar prácticas con contactores, - para realizar diferentes simulaciones, pero resulta insuficiente el tiempo por lo amplio del curso.

El presente trabajo es perfectible, de ahí que si existen sugerencias, son aceptadas para ampliar o mejorar el desarrollo de las prácticas en beneficio de los posteriores alumnos.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Kosow Irving L., Ph. D.  
Máquinas Eléctricas y Transformadores \*  
Staten Island Community College.  
City University of New York.  
Original Prentice Hall.  
1972.
- 2.- Langsdorf Alexander S., M. M. E., D. Sc  
Principios de las Máquinas de Corriente Continua  
Original Mc. Graw Hill Book, Co., Inc., USA.  
1964.
- 3.- Enriquez Harper Gilberto.  
Curso de Transformadores y Motores Trifásicos de Induc-  
ción.  
Esime - IPN México, D. F.  
Original Limusa, S. A.  
1973.
- 4.- Harry Mileaf  
Electricidad; Serie 1-7; Volumen 6  
Original Limusa, S. A.  
1975.
- 5.- Mileaf Harry  
Electricidad; Serie 1-7; Volumen 7  
Original Limusa, S.A.  
1975.
- 6.- Enriquez Harper Gilberto  
Curso de Máquinas Síncronas.  
Esime; IPN México, D.F.  
Original Limusa, S. A.  
1983.
- 7.- Enriquez Harper Gilberto  
Curso de Máquinas de Corriente Continua  
Esime; IPN México, D. F.  
Original Limusa, S. A.  
1984.

- 8.- Thaler George J; Wilcox Milton L.  
Máquinas Eléctricas.  
 Original John Wiley And Sons, Inc., N. Y.  
 1966.  
 Limusa, 1969.
- 9.- Wildi Theodore; De Vito Michael J.  
Experimentos con Equipo Eléctrico  
 Original Lab Volt Educational Systems Buck Engineering -  
 Co. Inc.  
 1970-71.
- 10.- Siskind  
Electrical Machines.  
 Mc. Graw Hill.
- 11.- Match Leander W.  
Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas .  
 Representaciones y Servicios  
 1980.
- 12.- Langsdorf Alexander S., M. M. E., D. Sc  
Teoría de las Máquinas de Corriente Alterna.  
 Original Mc. Graw Hill Book, Co., Inc., USA.  
 1955.
- 13.- Nasar Syed A.  
Máquinas Eléctricas y Electromecánicas.  
 Serie de Compendios Schaum.  
 Original Mc. Graw Hill Book, Co., Inc., USA.  
 1981
- 14.- Alerich Walter N.  
Control de Motores Eléctricos ( Teoría y Aplicaciones )  
 Original Delmar Publishers, Inc.  
 1972.
- 15.- Wilkinson Karl:  
Rebobinado y Reparación de Motores Eléctricos.  
 1a. Edición Edit. Diana  
 1962.

- 16.- Kosow Irving L., PH. D.  
Control de Máquinas Eléctricas.  
Staten Island Community College  
City University Of New York.  
Original Prentice Hall., Inc.  
Reverte, 1977.
- 17.- Polouvdoff K.  
Conversiones Electromecánicas.  
Marcambo  
Boixereau  
1969.
- 18.- Cortez Manuel.  
Curso Moderno de Máquinas Eléctricas Rotativas.  
Tomos 1 y 2  
Editores Técnicos Asociados.  
1972.
- 19.- Wildi Theodore.  
Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica.  
Limusa.
- 20.- Stevenson.  
Análisis de Circuitos Eléctricos de Potencia.
- 21.- Líneas de Transmisión.  
Serie Schaum  
Mc. Graw Hill
- 22.- Fundamentos de Control Para Motores.  
Squared de México, S.A. de C. V.  
Enero, 1982.
- 23.- Doehner S. Werner.  
Protecciones de Alternadores Síncronos.  
Gerencia General de Construcción  
C. F. E. 1981.