

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO, Y PREDICTIVO DE LOS
BANCOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS DEL LABORATORIO
DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA C.U.T.B**

**BELISARIO JIMÉNEZ MARRUGO
ROLANDO VANEGAS PUELLO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.**

2003

i

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO, Y PREDICTIVO DE LOS
BANCOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS DEL LABORATORIO
DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA C.U.T.B**

**BELISARIO JIMÉNEZ MARRUGO
ROLANDO VANEGAS PUELLO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para
optar el título de Ingeniero Electricista**

**Director
LUIS EDUARDO RUEDA RINCÓN
Ingeniero electricista
Especialista en automatización industrial**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.**

2003

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. 13 de noviembre 2003

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. Mayo de 2003

Señores:

**Departamento de Investigaciones
Corporación Universitaria Tecnológica De Bolívar.
Cartagena D. T. H. y C.**

Respetados Señores:

Presentamos para su consideración el Proyecto de Grado titulado: **“MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO, Y PREDICTIVO DE LOS BANCOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA C.U.T.B”**. Como requisito para optar el título de Ingeniero Electricista.

Atentamente,

Rolando Venegas Puello

C.C. 7.918.933

Cartagena de Indias, D. T. H. Y C, 13 de Mayo de 2003

Belisario Jiménez marrugo

C.C 73.150.445

Señores

Departamento De Investigaciones

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Cartagena D. T. y C.

Respetados Señores:

Por solicitud de los estudiantes ROLANDO VANEGAS PUELLO Y BELISARIO JIMÉNEZ MARRUGO dirigí a satisfacción el proyecto de grado titulado: **“MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO, Y PREDICTIVO DE LOS BANCOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA C.U.T.B”**. Como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista.

Espero que el contenido y las normas aplicadas cumplan con los requisitos exigidos por esta dirección.

Atentamente,

LUIS EDUARDO RUEDA RINCÓN

Director

ARTICULO 105

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grados aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. MANTENIMIENTO	2
1.1. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO.	1
1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO.	3
1.2.1. Mantenimiento correctivo.	3
1.2.2. Mantenimiento preventivo.	5
1.2.3. Mantenimiento predictivo.	6
2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBA.	8
2.1. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MAQUINAS.	8
2.1.1. Cojinetes.	8

2.1.2. Colectores y anillos rozantes.	9
2.1.3. Escobillas y portaescobillas.	11
2.1.4. Limpieza de los aislamientos.	12
2.1.5. Barnizado de los aislamientos.	13
2.1.6. Impregnación de los arrollamientos.	15
2.1.7. Lubricación.	19

v

	Pág.
2.1.8. Ventilación.	20
2.2. DESCRIPCION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA	22
2.2.1. Fusibles.	22
2.2.2. Breakers.	23
2.2.3. Transformadores de medida.	24
2.2.4. Barrajes.	25
2.2.5. Cables.	26
2.2.6. Contactores.	27
2.2.7. Relés de protección.	28
2.2.8. Pulsadores.	30
2.2.9. Unidades de mando y señalización:	31
2.2.10. Reóstato de arranque y regulación.	32
2.2.11. Aparatos de medida eléctrica.	34

3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.	35
3.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.	35
3.2. PRUEBA HI-POT.	38
3.3. INDICE DE POLARIZACIÓN.	40
3.4. ÍNDICE DE ABSORCIÓN.	42
3.5. TERMOGRAFÍA.	42
3.6. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN.	44

vi

	Pág.
4 MANTENIMIENTO APLICADO A LOS BANCOS DE PRUEBA DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS.	49
4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS.	49
4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA	51
4.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.	53
4.3.1. Mantenimiento correctivo para el banco de prueba motor generador síncrono.	53
4.3.2. Mantenimiento correctivo para el banco de prueba motor dc generador de inducción	56
4.3.3. Reestructuración de las estructuras mecánicas de los bancos.	58
5. DISEÑOS DE NUEVOS CIRCUITOS DE CONTROL Y POTENCIA.	61

5.1. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA DEL BANCO DE INDUCCIÓN.	61
5.2. DISEÑO DEL MÉTODO ESTROBOSCÓPICO PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DESLIZAMIENTO.	65
5.3. DISEÑO DE UN CIRCUITO DE ARRANQUE TEMPORIZADO PARA LOS PRIMOTORES DEL BANCO SINCRONO.	67
5.3.1. Cálculo de las resistencias para el arranque de los primotores.	69

vii

	Pág.
6. GUIAS DE LABORATORIOS.	70
6.1. MÁQUINA DE INDUCCIÓN.	70
6.1.1. Determinación de la polaridad del estator de un motor de inducción y campo rotatorio de una máquina trifásica.	70
6.1.2. Regulación de velocidad del motor de inducción trifásico con rotor devanado y arranque por el método de resistencias intercaladas al rotor.	80
6.1.3. Funcionamiento de la máquina de inducción rotor bobinado como generador síncrono y como motor síncrono.	89
6.1.4. El motor de inducción jaula de ardilla como generador.	98
6.2. MÁQUINA SÍNCRONA.	107
6.2.1. verificación de la resistencia de los devanados de un alternador sincrónico y comportamiento del alternador	

sincrónico en circuito abierto.	107
6.2.2. Prueba de corto circuito del alternador sincrónico – determinación de la impedancia sincrónica y porcentaje de regulación.	114
6.2.3. Regulación del alternador síncrono con carga resistiva, inductiva y capacitiva.	122
6.2.4 Maniobra de paralelaje y acoplamiento de los alternadores síncronos - transferencia de carga.	130
6.2.5. Funcionamiento de un alternador sincrónico, como un motor sincrónico.	138

viii

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Extractor de rodamientos.	9
Figura 2. Aro exterior(1) e interior(2) de un rodamiento.	10
Figura 3. Posición de la escobilla y portaescobilla con respecto al colector.	12
Figura 4. Impregnación por vacío y presión.	18
Figura 5. Tipos de desalineamientos.	46
Figura 6. Método estroboscópico (6 polos).	65
Figura 7. Arranque manual de un motor dc.	67

Figura 8. Arranque temporizado de un motor dc.	69
Figura 9. Comportamiento de la corriente de arranque cuando Se sacan pasos de resistencia.	70
Figura 10. Esquema de las tres fases en un motor de inducción de dos polos.	75
Figura 11. Porcentaje de deslizamiento comparado con el par.	82
Figura 12. Corriente de arranque comparada con el par.	82
Figura 13. Característica terminal voltaje-corriente, de un Generador de inducción, para carga con factor de potencia constante, en atraso	101

ix

	Pág.
Figura 14. Curva característica en vacío de un generador síncrono.	109
Figura 15. Verificación de la resistencia de los devanados.	110
Figura 16. Prueba en circuito abierto.	112
Figura 17. Curva característica de circuito abierto y cortocircuito.	116
Figura 18. Prueba de cortocircuito.	118
Figura 19. Obtención de la impedancia síncrona gráficamente.	120
Figura 20. Variación del factor de potencia para un motor síncrono.	141

x

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro1. Clase térmica de barnices.	15
Cuadro 2. Valores del coeficiente Kt en función de la temperatura en los bobinados de la máquina.	36
Cuadro 3. Tensiones de prueba para la medición de resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias.	38
Cuadro 4. Valores mínimos de índice de polarización.	41

Cuadro 5. valores mínimos de índice de absorción.	42
Cuadro 6. Análisis vibratorio de la máquina.	47

xi

LISTADO DE ANEXOS

- ANEXO A. Planos del circuito de control y potencia del banco síncrono y de inducción.**
- ANEXO B. Cronograma de mantenimiento preventivo.**
- ANEXO C. Cronograma de mantenimiento predictivo.**
- ANEXO D. Flujograma de mantenimiento preventivo de máquinas eléctricas.**
- ANEXO E. Manual de averías para detectar fallas en las máquinas**

eléctricas.

ANEXO F. Pruebas aplicadas a los motores de los bancos de inducción y síncronos.

ANEXO G. Especificaciones técnicas de los aparatos y/o equipos del banco de inducción y síncronos.

ANEXO H. Características de un circuito flash estroboscópico.

ANEXO I. Preventive/Predictive maintenance is good practice for motor users.

ANEXO J. Aplicaciones a la termografía.

ANEXO K. Presupuesto.

xii

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todas las personas que de una u otra forma, colaboraron en la realización de este proyecto. Al ingeniero Samir Espinosa, Alfredo Cerra y sus trabajadores (Taller Casa del embobinador) , al ingeniero Jorge Luis Tovar por su aporte incondicional, al ingeniero Fabio Niño (UT – INGETEC) , al ingeniero Jorge Chejuan por su colaboración brindada, a nuestros amigos Fabian

Deltoro Zuleta y Antonio Ballestas Majana , Orlando Moisés Tinoco y a nuestro director Luis Eduardo Rueda Rincón.

xiii

DEDICATORIA

A JEOVA, por darme la fortaleza

A mis padres Diana Cárdenas Puello y Libardo Vanegas Urango por su afecto y apoyo moral.

A mi tío Gustavo puello, a mis hermanas Karen Milena y Diana Katherine quienes siempre me colaboraron y motivaron.

Rolando vanegas puello.

xiv

DEDICATORIA

A DIOS, mi ángel de la guarda.

A mi esposa y a mi hijo Gerson David Jiménez por su amor hacia mí.

A mi madre Ana Isabel Marrugo por brindándome su cariño, ternura y afecto.

A mi padre, a mis hermanos , a mi tío Reinaldo Marrugo y demás familiares por haberme motivado.

Belisario Jiménez Marrugo.

GLOSARIO

ACCIÓN MAGNETIZANTE: Cualquier efecto que produce flujo adicional para ayudar o aumentar el flujo mutuo de entrehierro.

ARRANCADOR DE MOTOR: Controlador eléctrico, sea manual o automático, para acelerar un motor desde el reposo hasta la velocidad normal y para detener el motor.

BANCO: Conjunto de máquinas y equipos.

CONFIABILIDAD: Capacidad de un bien para cumplir una función requerida, en unas condiciones dadas y durante un tiempo dado.

CURVAS V: Familia de curvas para un motor síncrono que muestra la relación entre la corriente de armadura y la de campo para valores constantes de carga con FP en adelanto, en atraso y unidad.

CLASE DE AISLAMIENTO: Método para graduar un aislamiento determinado en términos de la temperatura que puede resistir para proteger la vida de los conductores y de la dinamo.

DESLIZAMIENTO: Es la relación de velocidad de deslizamiento con la velocidad síncrona expresada ya sea como cantidad decimal o como tanto por ciento.

DEVANADO DE JAULA DE ARDILLA: Devanado en el rotor que consiste en varias barras conductores cuyos extremos están conectados mediante anillos o placas metálicos a cada punta.

DINAMO: Máquina destinada a transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por inducción electromagnética.

EQUIPO: Colectivamente, aparatos o componente designados para un uso específico, tal como equipo electrónico , equipo vehicular de emergencia, equipo de radio etc.

FACTOR DE SERVICIO: Multiplicador que, cuando se aplica a la potencia nominal, indica una carga permisible que se puede aplicar a una dinamo bajo ciertas condiciones especificadas.

FALLA: Alteración de la capacidad de un bien para cumplir una función requerida.

LÁMPARA ESTROBOSCÓPICA: Lámpara de destello de tubo de neón o xenón, diseñada para emitir destellos repetitivos de luz a pulsos o intervalos bien determinados.

MÁQUINA: Conjunto de mecanismos accionados por una forma de energía para transformarla en otra más apropiada a un efecto dado.

MÁQUINA ASINCRONA: Cualquier máquina de ca cuyo rotor no gire a velocidad síncrona.

MAQUINA SINCRONICA: Dinamo síncrona que tiene los polos de campo excitados con cd para transformar energía eléctrica en mecánica y cuya velocidad media es exactamente proporcional a la frecuencia del suministro de corriente eléctrica.

MOTOR DE ROTOR DEVANADO: motor de inducción en el que el secundario consta de bobinas polifásicas cuyas terminales están en cortocircuito o bien se sacan a través de anillos rozantes a un circuito cerrado externo.

PLANO NEUTRO: Línea de simetría que se produce entre los conductores de la armadura que conducen cero corriente.

PRIMOTOR: Es la fuente de energía mecánica que impulsa a un generador o alternador.

SINCRONISMO: El estado en que dos o más máquinas trabajan a la misma frecuencia y en el que los desplazamientos de los ángulos de fase entre los voltajes en ellas son constantes o varían respecto aun valor promedio estable y permanente.

TEMPERATURA AMBIENTE: La temperatura del medio (aire, agua o suelo) en el que se disipa el calor de un equipo dado.

VELOCIDAD SINCRONICA: Velocidad de rotación del flujo magnético que produce el devanado primario de una dinamo o que enlaza a aquél con ésta.

RESUMEN

TITULO: MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LOS BANCOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN Y SINCRONOS DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA C.U.T.B

AUTORES: BELISARIO JIMÉNEZ MARRUGO

ROLANDO VANEGAS PUELLO

OBJETIVO GENERAL: Implementar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para los bancos de prueba de los motores de inducción y síncronos del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUTB.

Con el presente trabajo de grado se logró mejorar el estado de los bancos de prueba de inducción y síncrono. Primero que todo se llevo a cabo un análisis detallado de los problemas presentes en los bancos, con base a estos problemas encontrados se implemento un plan de mantenimiento preventivo y predictivo con el tiempo en que se deben realizar cada uno de ellas, para así garantizar el tiempo de vida útil a las máquinas y a los aparatos de protección.

Se desarrollo un plan de seguimiento, para la detección de fallas eléctricas que le permitan al estudiante corregir o dar criterios de solución de cualquier problema que se le presente al momento de maniobrar una maquina eléctrica, ya sea durante la practica de laboratorio o prestando algún servicio de mantenimiento a nivel industrial.

por otro lado, se llevo a cabo la reestructuración de las instalaciones eléctricas de los bancos, como su estructura misma para mejorar las condiciones de trabajo y seguridad en el laboratorio de máquinas eléctricas. En lo que respecta al banco de inducción, hubo

la necesidad de realizar un nuevo dimensionamiento para que se adaptara al nuevo diseño del circuito de potencia y control de las máquinas motrices y generadoras. De igual forma el banco síncrono que tenía dos panel de control; en un panel el circuito de potencia y control de los primotores y en el posterior el circuito de potencia y control de los generadores. Se dimensionó para un solo panel de control permitiendo con facilidad realizar el acople en paralelo de los generadores síncronos.

Cabe anotar la implementación del método estroboscópico en el banco de inducción para el cálculo del deslizamiento. Pues el deslizamiento calculado con este método es más exacto, comparado con el tacómetro digital que tenía instalado. Por ejemplo, si la velocidad del motor a plena carga es 1740 y se mide la velocidad del rotor con el tacómetro, que tenga un error de 2 por ciento, la indicación puede ser de 1740 ± 35 rpm, o sea que puede ser tan alta como 1775 o tan baja como 1705 rpm. Este error del 2% en la medición de la velocidad del rotor se refleja en un error grande en el deslizamiento.

INTRODUCCION.

Este trabajo de grado consiste fundamentalmente en implementar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para los bancos de prueba de los motores de inducción y síncronos del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUTB. Dando a conocer los tipos de pruebas para la realización del mantenimiento preventivo y predictivo, y el tiempo en que se deben realizar cada uno de ellos.

Al comienzo se presenta material acerca de cómo organizar un departamento de mantenimiento a un área específica. Información de gran importancia porque quien organiza un departamento de mantenimiento debe tener muy buenos conocimientos, con el fin de lograr una clara definición de los objetivos, los cargos, sus funciones, los requisitos para ocuparlos y las relaciones entre personas y departamentos.

Seguidamente, se dará a conocer los procedimientos para realizar un mantenimiento preventivo y predictivo de partes eléctricas y mecánicas de una máquina síncrona, asíncrona, DC, y los dispositivos que hacen parte de un circuito de control y potencia de una instalación de fuerza. Finalmente se contará con un plan de seguimiento que permita al estudiante detectar cualquier tipo de falla que

se le presente al momento de maniobrar una máquina, ya sea en el laboratorio o a nivel industrial.

1. MANTENIMIENTO

1.3. DEFINICIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es una sistematización de operaciones de conservación y / o continuo funcionamiento de las instalaciones y maquinarias productivas. Aunque en estas palabras esta contenido todo el significado del mantenimiento, a continuación se dan algunos conceptos generales del mismo:

- El mantenimiento no solo es el corazón industrial que consigue que todo marche bien, sino la fuerza que asegura dicha marcha.

- El mantenimiento es el que garantiza que todos los cambios e intervenciones que deben efectuarse en las máquinas e instalaciones se realicen en el momento necesario, de tal forma que el ritmo de producción sea poco afectado.

- El mantenimiento como el conjunto de técnicas y sistemas que actuando sobre los medios de producción, permiten reparar y prever mediante revisiones y otras técnicas más complejas como: estadísticas, seguimiento y diagnóstico de maquinarias.

- El mantenimiento es considerado como un factor económico de la empresa, por tanto, debe existir un equipo de mantenimiento especializado con la información técnica completa.

1.4. TIPOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento puede ser de tres formas básicas: correctivo, preventivo y predictivo.

1.2.1. Mantenimiento correctivo. Se puede definir mantenimiento correctivo como la reparación para corregir condiciones no satisfactorias de los equipos, buscando la causa que originó la falla y eliminándola. La reparación que aquí se considera, es el trabajo sin una planificación o programación previa, generalmente de emergencia, necesaria para corregir paros imprevistos o llamadas urgentes. A diferencia de otras técnicas de mantenimiento, el mantenimiento correctivo debe realizarse en forma inmediata, con la correspondiente pérdida de tiempo del equipo, que normalmente es más larga que una parada programada, por las siguientes razones:

- No se sabe que piezas hay que cambiar y si hay existencia de ellas en el almacén.

- No se conoce la magnitud del daño, por lo que se debe desmontar e inspeccionar detalladamente la pieza dañada y las que trabajan junto con ella.

- El daño puede suceder en horas en que no trabaje administración (horario nocturno), lo que obliga a esperar para la consecución de cualquier recurso que se necesite, con la consecuente pérdida de tiempo.

- La falla puede causar accidentes entre operadores o personas cercanas al sitio.

- El daño puede precisar de evaluación técnica especializada e inclusive consulta con fabricantes del equipo, causando esto un aumento del tiempo no productivo.

Cualquier falla o mal funcionamiento que presente un equipo, tiene una causa muy bien definida y antes de empezar la reparación, primero se debe determinar la causa que ocasionó la falla, pues de esto dependerá la buena reparación y puesta en marcha del equipo, y sobre todo, evitará que se convierta en falla repetitiva y crónica, que haga perder tiempo continuamente. Para su evaluación posterior, ya que son trabajos imprevistos, debe quedar registrado en un archivo los costos de mano de obra directa como indirecta, materiales utilizados durante la operación y el tiempo de duración de la parada.

1.2.2. Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo o programado, son las acciones que se planean y programan con el objetivo de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos, antes de que ocurra una falla o daños mayores,

eliminando o reduciendo al mínimo los gastos producto de imprevisiones y por supuesto, estableciendo controles para aumentar productividad.

El mantenimiento preventivo reduce la carga de trabajo de mantenimiento correctivo y la presión de su ejecución, haciéndose el trabajo en forma más eficiente y a un costo más bajo. Para lograr un programa eficiente de mantenimiento de planta, las funciones de mantenimiento deben integrarse con un buen sistema administrativo, trabajo de planeación y programación, adiestramiento, medición de trabajo, informes de control, buenos talleres y herramientas y una buena estructura de costos.

Un elemento importante para realizar un programa de mantenimiento preventivo, es hacer inspecciones planeadas y periódicas para descubrir y corregir las condiciones desfavorables; parte del programa depende de las inspecciones y sus obligaciones relacionadas de adaptación y reparación. Las inspecciones son costosas en mano de obra y en tiempo de parada de equipos, sin embargo siempre será menor que si produce una falla. A continuación se enumeran algunas de las ventajas que se obtienen al aplicar un buen programa de mantenimiento preventivo:

- Disminuye el tiempo de parada de equipos.
- Disminuye el pago de tiempo extra al personal.
- Menor número de reparación a gran escala.
- Menor número de repetitividad en las reparaciones.
- Disminuye los costos por reparación.
- Mejor control de existencias de repuestos en almacén.
- Mayor seguridad industrial de los trabajadores.
- Menor costo unitario de producción.

1.2.3. Mantenimiento predictivo. Se basa en el conocimiento de las condiciones de la máquina, determinados mediante monitoreo periódico o permanente de vibraciones, temperaturas y otras variables de proceso y el diagnóstico de los problemas de la máquina. Por este método se conoce el estado de todas las máquinas de la planta y se pueden predecir las necesidades de mantenimiento. Solo se hace mantenimiento cuando el proceso de monitoreo, análisis y diagnóstico indica que es necesario hacerlo.

El mantenimiento predictivo puede ser considerado como parte de la técnica del mantenimiento preventivo, la diferencia está en que debido a la tecnología utilizada, por las máquinas cada vez más sofisticadas y automáticas e instrumentos de medición muy modernos, da la posibilidad de obtener datos de los diferentes parámetros que se presentan, en la operación del equipo, los datos así obtenidos, pueden ser procesados por computadoras y dar reportes o accionar alarmas e inclusive parar el equipo evitando daños mayores.

En otras palabras, los datos obtenidos por sensores e instrumentos sustituyen los datos obtenidos en las inspecciones obtenidas por los inspectores en el mantenimiento preventivo con la diferencia que con el mantenimiento predictivo se puede obtener un mayor acercamiento al punto final de la vida útil de los componentes, ya que se tiene una visión continua de su desgaste. Algunas de las ventajas que presenta el mantenimiento predictivo son:

- Facilita el análisis de las averías.

- Permite el análisis estadístico del sistema.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Requiere una plantilla de mantenimiento más reducida.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Tomar decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos crítico.

2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MAQUINAS

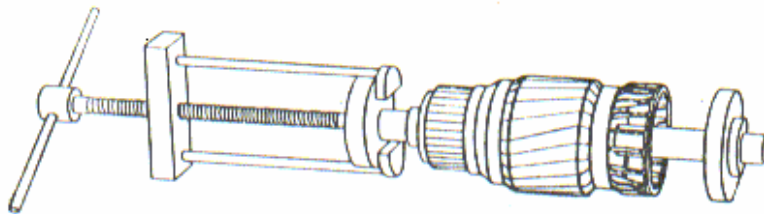
2.1.1. Cojinetes. Existen una gran variedad de tipos de cojinetes como son: cojinetes de bolas, de rodillos cónicos, de rodillos cilíndricos y de barriletes. En las maquinas eléctricas es muy común encontrar cojinetes de tipo de bolas (o de rodamientos), como en otros de rodillos cilíndricos, los cuales deben ser vigilados periódicamente su estado y desgaste para evitar cualquier posible juego del eje sobre el cojinete que trae como consecuencia un descentramiento del inducido. Como los entrehierros de las máquinas eléctricas son muy pequeños, este descentramiento puede ocasionar el roce mecánico del rotor con el estator que ocasionaría el deterioro de los arrollamientos

Para efectuar una limpieza total del cojinete, se desmontará este y se eliminará completamente la grasa vieja, limpiando a fondo y muy cuidadosamente el cojinete con desplazadores de grasa. Una vez se halla limpiado, se comprobará que no haya quedado en el interior del cojinete la menor partícula de grasa, ni pelo de cepillo, que pueda causar después perturbaciones en el servicio. Después se

llenaran completamente de grasa los cojinetes propiamente dichos, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante.

Para extraer los rodamientos, se debe emplear un extractor de rodamientos. Ver figura 1, nunca se debe golpear con un martillo. La presión que se debe aplicar con el extractor ha de ser sobre el anillo interior fijado al eje y no en el anillo exterior fijado a la tapa, pues se corre el riesgo de dañar el rodamiento.

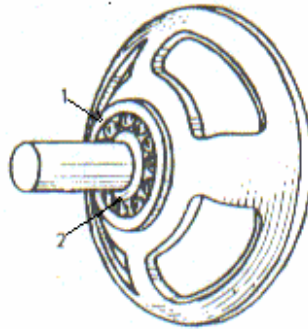
Figura 1. Extractor de rodamientos.



Para comprobar el estado y desgaste de los rodamientos se pueden utilizar dos métodos:

1. Análisis de las vibraciones con un estetoscopio o analizador de vibraciones.
2. Midiendo los aros exterior e interior para luego comparar tolerancias según catálogos. El exterior (1 de la figura2) y el interior (2 de la figura 2).

Figura 2. Aro exterior (1) e interior (2) de un rodamiento.



2.1.2. Colectores y anillos rozantes. Los colectores y anillos rozantes deben limpiarse a fondo periódicamente, quitándoles toda suciedad del polvo de carbón procedente del desgaste de las escobillas, que se acumula en los aislamientos (constituido casi siempre por laminas de mica), facilitando la creación de cortocircuitos entre esas mismas delgas; sobre todo se recomienda esta limpieza cuando se cambian las escobillas. La limpieza debe hacerse con papel de lija fino, o bien con limpiador eléctrico.

Las pequeñas irregularidades en las superficies de los colectores pueden alisarse con piedra pómez, pero cuando la superficie defectuosa del colector es de gran extensión, debe alisarse el colector torneándolo y rectificándolo.

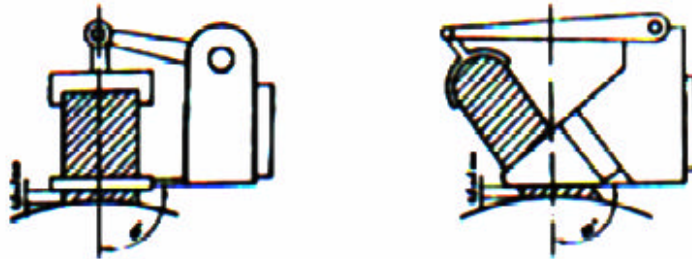
Si el aislamiento entre delgas no está suficientemente bajo respecto a dichas delgas, será preciso rebajar dicho aislamiento, por medio de una hoja de sierra de

espesor adecuado o bien con fresas especiales para tal objeto. Las laminas de mica quedarán 1.5 mm aproximadamente por debajo de las delgas de cobre, quedando libres de rebaba.

2.1.3. Escobillas y portaescobillas. Las escobillas son los órganos de toma de corriente en las máquinas eléctricas y están construidas de carbón especial. Los soportes sobre los que van montados reciben el nombre de porta-escobillas y, por lo general, llevan un muelle que aprieta la escobilla sobre el colector. Los porta-escobillas deben ajustarse de tal forma que la cara interior del marco quede a una distancia del colector de 1.5 a 2 mm y exactamente perpendicular al radio que pase por el centro de la superficie de contacto de la escobilla con el colector ver figura 3.

Las escobillas deben reemplazarse cuando se ha gastado una cuarta parte de su longitud, y cuando son nuevas se les debe adaptar a la curva del colector mediante papel de lija de granos finos, siguiendo con el papel de lija la curvatura del colector, obteniendo así aristas vivas en las escobillas. Los últimos movimientos del papel de lija se deben efectuar en el sentido de rotación, iniciando la operación con papel de clase 1 – 1/2, terminando con la clase 0. Después del curvado, se debe quitar el polvo de carbón o bien con aire comprimido seco, o bien con un equipo de aspiración.

Figura 3. Posición de la escobilla y portaescobilla con respecto al colector.



La presión de cada una de las escobillas de una determinada máquina debe ser la misma, dado que presiones desiguales conducen a una distribución desigual de corriente en las distintas escobillas, teniendo que soportar mayor corriente las de mayor presión. Sin embargo, un juego excesivo de la escobilla en el portaescobillas también es perjudicial, debido a que la escobilla tiende a oscilar produciendo chisporroteo, por lo tanto deben ser reemplazados los resortes por la pérdida de tensión.

2.1.4. Limpieza de los aislamientos. La limpieza del polvo puede efectuarse con un aspirador portátil o con aire libre, bien seco, comprimido. Los aislantes que estén recubiertos de una película de aceite o de mugre deben ser removidos con cualquier producto especial para limpieza de bobinados.

La proyección de líquidos pulverizados, hoy en día existentes en el mercado, es un método apropiado para ablandar y quitarlas capas aceitosas depositadas en lugares de difícil acceso. El líquido elegido debe proyectarse en forma de lluvia y no en chorro único.

2.1.5. barnizado de los aislamientos. Se denomina barnizado a la aplicación del barniz aislante sobre los bobinados. Este barnizado no debe efectuarse más que cuando sea necesario, pues varias capas de barniz pueden producir el agrietamiento de las superficies con la consiguiente entrada de polvo y humedad. Los barnices aislantes se fabrican a base de resinas, aceites asfaltos, sustancias que solas o combinadas entre sí son disueltas en un medio de naturaleza volátil, que sirve de transporte del barniz. Es importante que un barniz tenga las siguientes propiedades:

- Estabilidad térmica.
- Resistencia al envejecimiento.
- Buena conductividad calorífica.
- Máxima penetración, mínima concentración.
- Elasticidad.
- Resistencia a la humedad, ácidos, etc.
- Resistencia a la centrifugación, o sea, fuerza cohesiva.

Atendiendo a su composición, los barnices aislantes pueden ser clasificados como sigue:

5 A. Barnices al aceite, con resinas naturales: Producidos a base de aceites vegetales (aceite de linaza, aceite de madera china, etc.), resinas naturales (el ámbar y el copal), asfaltos u otros materiales básicos apropiados. Su secado se produce en un proceso físico (evaporación de los disolventes y dilución) y químico (formación de la capa de barniz por la entrada de oxígeno del aire).

B. Barnices al alcohol: A estos barnices también se les conoce como lacas, sobre todo cuando están coloreados. En ellos, las resinas (naturales o sintéticas) se mezclan con el alcohol, que actúa de disolvente. El secado se realiza generalmente al aire y se consigue por evaporación del alcohol; el tiempo de secado es bastante menor que para los barnices al aceite. Normalmente se emplean como barnices de recubrimiento.

C. Barnices sintéticos combinados. Constituido por combinación de diversas resinas sintéticas (de melanina, de urea, fenólicas, epoxídicas, etc.)¹ Térmicamente son más estables que los anteriores y presentan buena conductividad del calor. Su secado consta de dos fases: Evaporación del disolvente, Polimerización o condensación por calor.

1. Enciclopedia Ceac. Talleres electromecánicos bobinados. En: Barnices con resinas sintéticas. ; Pag. 407

Barnices sintéticos especiales. De naturaleza análoga a los barnices anteriores combinados, pero con una aplicación concreta y especial. Este grupo incluye los barnices de silicona, los barnices sin disolventes etc. Los barnices sin disolventes polimerizan por calor o por la acción de catalizadores. Otra clasificación de los barnices aislantes resulta al agruparlos según su clase térmica, de manera semejante para los aislamientos, ver cuadro 1.

Cuadro1. Clase térmica de barnices.

6 Clase térmica	7 Tiempo de secado	8 Clase de barniz
9 A (105)	10 6 a 7 horas a 15 –25 °C	11 Al aceite con resinas naturales
12 E (120°)	13 6 a 8 horas a 100 – 110°C	14 Al aceite con resinas naturales
15 B (130°)	16 2 a 3 horas a 120– 125°C	17 Electroesmalte sintético (Rojo)
18 F (155)	19 6 a 7 horas a 155 – 160°C	20 Sintético (amarillo)
21 H (180)	22 6 a 8 horas a 200°C	23 Silicónico (castaño claro)

2.1.6. Impregnación de los arrollamientos. La impregnación de los arrollamientos mediante barnices aislantes tiene por objeto principal:

- Mejorar el aislamiento, y protegerlo de la humedad.
- Favorecer la disipación del calor desarrollado en los aislamientos.

- Dar una rigidez mecánica al conjunto del arrollamiento.
- Proteger el arrollamiento de la acción de influencias exteriores (bacterias, termitas, vapores corrosivos etc). Entre los procesos de impregnación tenemos:

A. Impregnación por inmersión. El proceso total consta de cuatro fases:

1. Secado previo: La temperatura a que hay que someter los arrollamientos para eliminar la humedad es de 100- 110 °C. El tiempo a que deben ser sometidos, es obtenido de la curva de secado de los arrollamientos (tiempo vs aislamiento en MO) especificado para cada motor en particular por el fabricante. En ambos casos, los arrollamientos se deben dejar enfriar, sin refrigeración, dentro del horno, hasta una temperatura de 35°C.

2. Inmersión en el barniz: Inmediatamente después de la operación anterior, y sin que los bobinados puedan absorber humedad se sumergen completamente en el barniz (en una cuba), hasta que cesen de aparecer burbujas en la superficie del barniz (en la práctica se dejan unos cinco minutos, en motores medianos).

3. Escurrido: cuando la formación de burbujas en la superficie del barniz cesa, se sacan los arrollamientos del baño, y se les deja escurrir durante ½ a 1 hora, a la temperatura ambiente. Hay que asegurarse de que el escurrido es suficiente, de lo contrario se acumula barniz en las bases de los arrollamientos.

4. Secado: En primer lugar, hay que proceder a la evaporación, cuidando de su total eliminación. La ventilación con aire (solamente necesario para barnices grasos) debe ser lenta al principio, y más rápida al final del secado.

B. Impregnación bajo vacío y presión. El proceso total consta de cuatro fases:

1. Secado previo: Se realiza en horno aparte, según lo dicho en el proceso por inmersión. En este último caso se calienta el horno a una temperatura de 105°C, y se produce un vacío de 750mm durante 1 hora. Se desconecta la bomba de vacío,

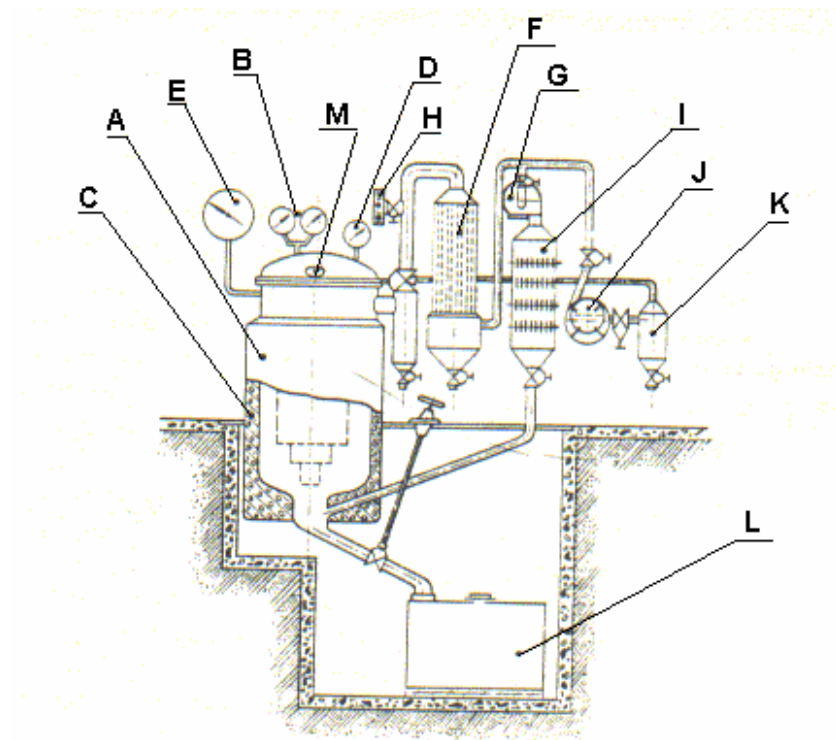
y manteniendo éste, se dejan enfriar los arrollamientos dentro del horno, hasta una temperatura de 35°C.

2. Impregnación bajo vacío y presión: Alcanzada a temperatura de 35°C, se conecta la bomba de vacío hasta que se alcancen de nuevo los 750mm, ver figura 4.

3. Se desconecta la bomba manteniendo el vacío, y se abre paso al barniz (que pasa del depósito-almacén al horno), procurando que al cubrir el barniz en los arrollamientos, el vacío residual sea de 300-400mm. La operación dura 1/2 hora a 1 hora, reconociendo que ha concluido cuando en la superficie del barniz dejan de aparecer burbujas de aire. Seguidamente, se lleva al horno a una presión positiva de 3 a 4 atmósferas durante 1/2 hora.

4. Escurrido: Se pasa el barniz al tanque-almacén, dejando escurrir los arrollamientos durante 1 hora. A la temperatura ambiente. Seguidamente, se eleva la temperatura a 70°C, produciendo un vacío de 200-300mm. Esta situación se mantiene durante una 1 a 4 horas, según el tamaño de las piezas impregnadas. Ahora se produce un nuevo.

Figura 4. Impregnación por vacío y presión.



- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| A. Horno o Autoclave. | H. Filtro de aire. |
| B. Manómetro y vacuómetro. | I. Aerotermostato. |
| C. Calefacción autoclave. | J. Compresor-Bomba de vacío. |
| D. Termostato. | K. Separador. |
| E. Registro de temperatura. | L: Depósito almacén de barniz. |
| F. Condensador. | M. Mirilla. |
| Ventilador. | |

2.1.7. Lubricación. Es importante que sea hecha una lubricación correcta, esto es aplicar la grasa correcta y en cantidad adecuada, pues una lubricación deficiente como una lubricación excesiva trae efectos perjudiciales.

La lubricación en exceso acarrea elevación de temperatura debido a la gran resistencia que ofrece al movimiento de las partes giratorias y acaba por perder completamente sus características de lubricación. Esto puede provocar pérdidas, penetrando la grasa en el interior del motor y depositándose sobre las bobinas u otras partes del motor. Para la lubricación de los rodamientos en máquinas eléctricas, está siendo empleado de modo generalizado grasa a base de litio, por presentar estabilidad mecánica e insolubilidad en agua. Existen tres categorías principales de lubricantes:

- Lubricantes fluidos. Aceites de petróleos, sintéticos, aceites animales o vegetales son los más usados.
- Grasas: las cuales también son lubricantes fluidos pero con espesadores dispersos en ellas para darles consistencia sólida o semisólida.
- Lubricantes sólidos: son un complemento de los lubricantes convencionales grasa y aceite (grafito, disulfuro de molibdeno, politetrafluoroetileno, etc.). Se aplican cuando estos ya no pueden cumplir su función: Rodamientos solicitados a temperaturas extremadamente altas o que estando en vacío el aceite se evapora fácilmente.

La grasa nunca deberá ser mezclada con otras que tengan base diferente. Existen muchos aditivos utilizados para mejorar la capacidad natural de un aceite

lubricante. Algunos de ellos son: agentes para eliminar el aire, agentes antiespumantes, Agentes antisépticos y bactericidas, Agentes detergentes, Agentes contra el desgaste, Agentes contra el desgaste, Agentes contra la corrosión, Agentes inhibidores de la oxidación, agentes para extrema presión.

La lubricación debe ser hecha conforme las instrucciones dadas por el fabricante. Sin embargo, si el motor posee placa adicional con instrucciones de lubricación, deberá ser realizada conforme las especificaciones de la placa. En la ausencia de estas informaciones, el rodamiento debe ser lleno hasta la mitad de su volumen.

2.1.8 Ventilación. Es importante revisar el sistema de ventilación o refrigeración, puesto que éste permite extraer gran parte del calor disipado en el interior de la máquina eléctrica. Una parte de la pérdida rotacional es la fricción con el aire creado por el campo rotatorio y el ventilador que está en el eje del motor. Sin embargo el enfriamiento por aire mediante ventiladores internos es, en general, inadecuado para motores de gran tamaño, ya que estos necesitan determinado tipo de sellos para evitar que entren polvo y humedad, y ventilación forzada para llevarse el calor que se genere. En los modernos turbogeneradores² el enfriamiento por hidrógeno es usado en vez de la ventilación por aire, debido a que el hidrógeno tiene menos viscosidad que el aire (unas 8 veces la conductividad térmica), necesita menos pérdidas por fricción para hacer circular el enfriador, no se produce efecto oxidante en el aislamiento debido a la descarga corona que se produzca y aumenta la eficiencia de la máquina.

Este gas se hace circular mediante sopladores y ventiladores a través del rotor y el estator, y luego se lo hace pasar por serpentines de enfriamientos dentro de una carcasa sellada; los serpentines contienen un medio de enfriamiento, que en general es agua o aceite, para conducir el calor y alejarlo del hidrógeno. El gas se mantiene a una presión mayor que la atmosférica para evitar la entrada por fugas de aire que contaminen el medio de enfriamiento, y se regula con cuidado la presión para evitar y descubrir las fugas.

2. Ver Irving L. Kosow. Máquinas eléctricas y transformadores. En: ventilación de alternadores. P. 480.
Segunda edición, Prentice Hall Hispanoamericana, S:A.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA

2.2.1. Fusibles. Instalados delante de transformadores, condensadores, etc. Los fusibles protegen a estos aparatos de los efectos térmicos y dinámicos de las intensidades de cortocircuito. Por otra parte, separan de la red la parte defectuosa, pudiendo seguir aquella normalmente. Los hay de cartucho, fusible de cuchilla y atornillados.

El cartucho fusible consta de un tubo de porcelana, cerrado completamente por las dos tapas de contactos plateados. El tubo lleva en su interior una capa de aislante térmico, que evita que el tubo reviente por causa del calor producido por el arco. Los hilos principales de fusión, siempre varios en paralelos, están arrollados sobre el tubo interior de material cerámico. Además de los hilos principales de fusión, lleva el cartucho fusible otro hilo de fusión, el cual sirve para la señalización. Al fundirse el cartucho queda libre un resorte que empuja un pequeño vástago de señalización hacia fuera. Las operaciones a realizar cíclicamente pueden ser las siguientes:

Con la instalación en marcha:

- Comprobar con carga si esta fundido.
- Medir la intensidad de corriente entre cada fase con la ayuda de un amperímetro de pinza.
- Comprobar calentamiento en sus puntos de contactos en baja tensión.

Con la instalación desconectada:

- Revisar y apretar conexiones
- Limpiar
- Comprobar retirando fusibles, la presión de las cuchillas sí fuera de este tipo.
- Comprobar si el calibre es el debido.

2.2.2. Breakers. Disponen de una caja aislante de elevada resistencia mecánica y baja higroscopicidad. Las cámaras de extinción del arco suelen estar provistas de placas metálicas para el soplado magnético. Los contactos están protegidos por materiales resistentes al arco. Están formados por dos partes principales:

1. Parte fija: constituida por la base, los contactos fijos con los bornes y la cámara de extinción del arco.

2. Parte móvil: constituido por el mecanismo de maniobra brusca independiente, en el que la acumulación de energía se realiza en resortes de lámina a torsión. Las operaciones a realizar cíclicamente pueden ser las siguientes:

Con la instalación en marcha:

- Comprobar que el deslizamiento de los contactos entre si bruña las superficies por igual, sin presentar oxidaciones ni chisporroteo y comprobar apagachispas.
- En los de tipo blindado, comprobar apagachispas, tapa juntas y prensaestopas.

Con la instalación desconectada:

- Comprobar desgaste uniforme de los contactos.
- Observar presión de los contactos móviles y que el contacto sea uniforme y sin holguras.
- Comprobar ajuste mecánico, muelles, bielas o palancas, aparatos de desenganche.
- Limpiar si fuera necesario, desmontando la parte móvil.
- Comprobar buen estado de las baquelitas y aislantes.
- Reapretar conexiones.
- Engrasar los contactos con una capa de vaselina neutra.
- Engrasar el accionamiento mecánico.
- Comprobar estado y funcionamiento del enclavamiento.

2.2.3. Transformadores de medida. El mantenimiento a realizar tanto para transformadores de corriente y tensión es el siguiente:

Con la instalación en marcha:

- Comprobar lo que marcan los aparatos de medida, anotando los valores observados.
- Comprobar temperatura en plena carga, nunca han de sobrepasar los 110°C.
- Medir tensión primaria y secundaria (transformadores de tensión) y corriente primaria y secundaria (transformadores de corriente), para comprobar la relación de transformación.

Con la instalación parada:

- Limpiar devanados.
- Comprobar conexiones y puesta a tierra.
- Comprobar aislamiento.
- Comprobar polaridad.

2.2.4. Barrajes. Las barras de cobre son hechas de cobre electrolítico semiduro, estirado y de forma rectangular como soporte y sujeción de las mismas se emplean soportes aislantes de gran resistencia mecánica y gran higroscopicidad. El mantenimiento a realizar sobre este aparellaje puede ser el siguiente:

Con la instalación desconectada:

- Observar y comprobar calentamiento en derivaciones y puntos de unión.
- Comprobar los aislantes en puntos de derivación, superficies de contacto y piezas de conexión.
- Reapretar todas las conexiones.
- Limpiar los elementos aislantes y comprobar su estado, cambiando si es necesario.

2.2.5. Cables. Para este tipo de aparellaje podemos determinar las siguientes revisiones.

Con la instalación conectada:

- comprobar calentamientos
- Revisar terminales de sujeción.
- Revisar canales de cables
- Comprobar y revisar cubiertas protectoras.

Con la conexión desconectada:

- Revisar terminales, reapretado bornes.
- Comprobar empalmes y estanqueidad en cajas de conexión
- Comprobar puesta a tierra

- Comprobar continuidad.

2.2.6. Contactores. Permiten el paso o no paso de la energía a la carga. Básicamente están constituidos por un núcleo donde se aloja la bobina y las espiras de sombra (para evitar vibraciones). La armadura, los contactos de trabajo, los contactos auxiliares y un resorte antagonista.

El principio de funcionamiento de un contactor es similar a la de un electroimán; al aplicarse la tensión nominal a los terminales de la bobina se origina una fuerza magnética que atrae la armadura. En ese mismo instante la armadura comprime el muelle permitiendo el cierre de los contactos de trabajo y auxiliar. Al retirar la tensión en los terminales de la bobina, la armadura regresara su posición inicial por acción de la fuerza de restitución del muelle logrando así la apertura de los contactos de trabajo y auxiliar. Las operaciones usuales en las inspecciones son las siguientes:

Con la instalación conectada:

- Comprobar tensión en la bobina

Con la instalación desconectada:

- Comprobar correcto accionamiento mecánico.
- Usar limpiador eléctrico para retirar el polvo.

- Limpiar contactos, lijándolos de forma apropiada o cambiándolos si es necesario.
- Comprobar la sujeción de los contactos fijos.
- Comprobar la posición y maniobra de los contactos móviles.
- Comprobar estado y presión de los muelles.
- Revisar las bobinas.
- Verificar el estado del circuito magnético.

2.2.7. Relés de protección. Los dispositivos de este tipo, incluidos en los equipos eléctricos, tienden a la protección de los motores eléctricos contra las sobrecargas. El problema consiste en cortar la alimentación a un motor si su calentamiento llega a ser excesivo. Para obtener la protección ideal sería preciso que la curva de calentamiento del relé fuera una imagen exacta de la del motor; debido a que las curvas de calentamiento de los motores no son todas idénticas. Los fabricantes preparan relés de una curva válida para un gran número de motores.

El elemento fundamental de los relés térmicos es generalmente bimetálico se calienta en función de la corriente del motor. Con lo que su curvatura varía y puede provocar, si la temperatura alcanzada es excesiva, la separación de un contacto colocando en serie con la bobina del contactor, el cual interrumpe la alimentación al motor. Normalmente, la mayoría de los tipos de relés pueden poseer además

del dispositivo térmico otro magnético que actúa cuando la corriente de línea que recorre un bobinado es suficiente (del orden de 10 veces la del calibre del relé) para atraer a una placa metálica, la cual provoca la desconexión del contacto. Las operaciones de mantenimiento a realizar en estos equipos son los siguientes:

Con el equipo conectado:

- Comprobar su correcto funcionamiento.
- Limpieza exterior.

Con el equipo desconectado:

- Limpieza de bobinas.
- Comprobar el estado de los aislantes.
- Comprobar y engrasar mecanismos, núcleos móviles, etc., observando que se mueve libremente.
- Comprobar accionamiento, observando el calibramiento o ajuste del relé, el tiempo de disparo, etc.
- Limpiar los contactos auxiliares.
- Revisar y apretar las conexiones.

Tratándose de relé temporizados es conveniente realizar estas operaciones:

- Limpiar y engrasar la relojería.

- Comprobar la escala de tiempo.
- Comprobar que las conexiones están según el plano.

2.2.8. Pulsadores. Estos dispositivos permiten dar un orden de inicio de una operación, para modificar o terminar una acción. Pueden ser de contacto momentáneo o sostenido.

1. Contacto momentáneo: Son contactos que al presionarlos regresan a su posición inicial por acción de un muelle recuperador. Ej: *los pulsadores de marcha y arranque.*

2. Contacto sostenido: Son diseñados con dos contactos que están mecánicamente interconectados, de manera que cuando se cierra uno de sus contactos, el otro se abre permaneciendo en este estado hasta que el operador lo desee, (ya que no tiene muelle recuperador).Ej: *los pulsadores de emergencia, swicher de lámpara.*

El color usado para pulsador de parada es rojo (parada de emergencia, parada general, parada individual). Para el pulsador de marcha puede ser verde o negro (puesta en marcha de elementos auxiliares, puesta en tensión de una instalación, etc.). La inspección a realizar en estos equipos puede ser la siguiente:

Con la instalación en marcha:

- Limpieza exterior.
- Comprobar su correcto funcionamiento.

Con la instalación parada:

- Revisar los contactos, limpiándolos con trapo seco y puliéndolo con lija de cuatrocientos ceros, si perdieron el baño de plata hay que recambiarlos.
- Limpiar el polvo existente de la caja de pulsadores y de la superficie aislante.

2.2.9. Unidades de mando y señalización: Según su función el código de colores para las lámparas de señalización es el siguiente:

a. peligro o condición anormal (rojo): puesta en tensión, marcha automática, defectos en circuitos tales como aire, agua, engrase, etc.

b. atención (naranja): Motor en marcha, maquina en ciclo, unida en posición adelante.

c. Seguridad (verde): Final del ciclo, unidad en posición atrás, motor parado, volante parado, contactor en reposo. Los trabajos de inspección en estos equipos, podemos resumirlos así:

Con la instalación en marcha

- Comprobar funcionamiento correcto.

- Limpieza exterior.
- Observar si existe alguna lámpara fundida.
- En las unidades con relé temporizado observar correcta temporización.

Con la instalación parada:

- Limpiar contactos.
- En las unidades temporizadas comprobar mecanismos, comprobando su accionamiento tanto en calibrado del relé como en el tiempo de disparo.
- Revisar y reapretar conexiones, comprobando que las mismas estén según plano.
- Reemplazar lámparas defectuosas o fundidas.

2.2.10. Reóstato de arranque y regulación. Los reóstatos conectados en estrella, que alimentan a través de los anillos rozantes, el rotor devanado de un motor de inducción se emplean para controlar la corriente de arranque, el deslizamiento, el factor de potencia y el par de arranque. Para conservar a los reóstatos en buenas condiciones de funcionamiento es necesario efectuar una inspección periódica y limpiar los contactos. La presión necesaria entre los contactos móviles y los estacionarios tiene que ser mantenida por medio del ajuste correcto de la tensión de muelle para reducir al mínimo la picadura, sobrecalentamiento y oxidación de los contactos.

Al poner en servicio un reóstato por primera vez, es conveniente comprobar el valor de dicha resistencia antes de iniciar cualquier maniobra. La presencia de chispas o el quemado de los contactos de accionamiento es indicio de fallos del tipo cortocircuito de estos contactos. Para las operaciones de mantenimiento de los reóstatos podemos señalar las siguientes:

Con el equipo conectado:

- Inspección ocular.
- Comprobar estado de contactos
- Comprobar calentamiento
- Limpieza exterior
- Revisar nivel de aceite.

Con el equipo desconectado:

- Revisar los puntos de contactos, lijando con lima fina y lija de cuatro ceros.
- Comprobar holguras en accionamiento mecánico, dispositivo de mando, muelles tensores, etc.
- Engrasar el accionamiento.
- Comprobar resistencias y medir aislamientos.
- Comprobar estado de aceite.
- Revisión de los puentes de conexión reapretando si es necesario (tuercas y conexiones).

- Limpieza interior de caja.
- Comprobar cable de salida.

2.2.11. Aparatos de medida eléctrica. En él podemos incluir los siguientes aparatos:

- Voltímetro de hierro móvil y bobina móvil.
- Amperímetros de hierro móvil y de bobina móvil.
- Voltímetros y amperímetros de bobina móvil con rectificador.
- Vatímetros en sus diferentes tipos.
- Fásímetros.
- Frecuencímetros.
- Sincronoscopio.

En todos ellos son válidas las siguientes operaciones de mantenimiento, a realizar al menos una vez al año:

Con el aparato conectado:

- Comprobar y contrastar su funcionamiento.
- Limpieza exterior.

Con el aparato desconectado:

- Comprobar estado de tornillos de contacto, puentes, conexiones interiores, etc.

- Comprobar estado de indicador.

3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

3.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias es la resistencia óhmica que ofrece los bobinados de la máquina respecto a tierra. Como esta resistencia es muy elevada se mide en megahomios. Tal resistencia se altera por la humedad y la suciedad, por tal motivo la medida de aislamiento constituye una buena indicación del deterioro de las máquinas. El valor de la resistencia de aislamiento de una máquina depende de la tensión aplicada al bobinado y de la corriente conductiva de fuga (microamperios) que normalmente pasa a través del aislamiento entre dos conductores, o desde un conductor a tierra. La corriente conductiva de fuga aumenta a medida que se deteriora el aislamiento.

El aparato utilizado para medir aislamientos es el megóhmetro o Megger. Para que las medidas de aislamiento tengan su valor exacto deben efectuarse inmediatamente después de parar la máquina; con ello se evitarán los errores debidos a la condensación de la humedad en los arrollamientos.

Los valores de resistencia de aislamiento medidos deben ser corregidos a los valores esperados en las bobinas a una temperatura de 40 °C. El valor de resistencia debe ser corregido de acuerdo a la siguiente

fórmula que aparece en la guía ANSI/IEEE Std.43 – 1974:

$$R_c = K_t \times R_t$$

Donde:

Rc = Resistencia de aislamiento (en Meghoms) corregida a 40 °C.

Rt = Resistencia de aislamiento (en Meghoms) medida a una temperatura t.

Kt = Coeficiente de temperatura asociada a la resistencia de aislamiento a temperatura t.

La temperatura de los bobinados puede ser medida con un termómetro o termocupla. Los valores aproximados de Kt se pueden obtener del cuadro 2.

Cuadro 2. Valores del coeficiente Kt en función de la temperatura en los bobinados de la máquina.

°C	coef.(kt)	°C	coef. (kt)
0	0,06	55	3
5	0,09	60	4
10	0,12	65	6
15	0,18	70	8
20	0,24	75	12
25	0,35	80	16
30	0,48	85	23
35	0,70	90	32
40	0,96	95	43
45	1,5	100	64
50	1,97	105	90

En lo que respecta a valores de resistencia de aislamiento, el valor mínimo recomendado para un minuto de medición según ANSI/IEEE Std. 43-1974 viene dado por la siguiente fórmula:

$$R_m = kV + 1$$

Donde:

Rm = Valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento en Megahoms

si las bobinas están a 40 °C.

KV= tensión de la máquina eléctrica expresada en kilovoltios

Ejemplo: para una máquina de 440V, 5HP, 60HZ su valor de resistencia de aislamiento según ANSI / IEEE debe estar por encima de 1,44 megahomios. Esto es: $R_m = 0,44 + 1 = 1,44 \text{ M?}$

En cuanto a las tensiones de prueba a aplicar por el instrumento de medición, estas se pueden apreciar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tensiones de prueba para la medición de resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias.

Rango de tensiones del bobinado (V)	Tensión de prueba (V)
<1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
>12000	5000 – 12000

3.2. PRUEBA HI-POT

Los ensayos hi-pot, o de alto potencial, son aplicados a los bobinados de los distintos equipos eléctricos con el fin de evaluar el estado en que se encuentra el aislamiento. Este tipo de prueba es de carácter destructivo siempre y cuando no sea bien aplicada, vale decir, el aislamiento del equipo se considerará en buenas condiciones si no sufre ruptura con la aplicación de una prueba hi-pot. La metodología de este tipo de ensayos consiste en aplicar una tensión alterna o continua de magnitud superior al valor nominal de voltaje del equipo, durante un período de tiempo que, por lo general, varía entre 1 y 30 segundos, dependiendo del equipo eléctrico a probar. En el caso de transformadores y máquinas rotatorias este período es de 1 minuto.

1. Ensayo hi-pot con corriente alterna. Los ensayos de alto potencial con corriente alterna (AC hi-pot test), consisten en la aplicación de una tensión alterna a frecuencia industrial (50-60 Hz) al aislamiento de cables, transformadores, máquinas rotatorias y condensadores de potencia.

Los ensayos del AC hi-pot test tiene como ventaja la aplicación de otras pruebas como la medición del factor de disipación y detección de descargas parciales. La forma de onda y la frecuencia de la tensión aplicada representan de manera más fidedigna los esfuerzos eléctricos que deberían ser capaz de soportar un equipo determinado de corriente alterna.

Los ensayos de AC hi-pot test tiene el inconveniente de que el equipo de prueba es de gran tamaño, costoso y pesado, el ensayo con corriente alterna entrega escasa información adicional que permita hacer un diagnóstico más acabado del aislamiento bajo prueba.

2. Ensayo corriente hi-pot con dc. El ensayo de alto potencial con corriente continua consiste en la aplicación de tensión continua al aislamiento de cables, transformadores, máquinas rotatorias y condensadores de potencia. La tensión de ensayo es de mayor magnitud que la aplicada en el AC hi-pot test (de 1.7 a 3 veces, dependiendo el equipo bajo prueba).

Los ensayos con dc hi-pot test tienen la ventaja de que el equipo de prueba es de tamaño reducido, liviano y de bajo costo. Con la aplicación de tensiones continuas se puede obtener mayor información de la condición del aislamiento, debido a que se puede determinar el índice de polarización, parámetro que es de gran utilidad al momento de hacer un diagnóstico del aislamiento en un equipo determinado. Los ensayos DC hi-pot test tiene el inconveniente de que la tensión continua no representa de manera fidedigna los esfuerzos eléctricos en el aislamiento de equipos de corriente alterna. En el caso del aislamiento de cables de poder, este ensayo genera cargas espaciales en dieléctricos extruídos (XLPE), situación que puede provocar la falla del cable una vez que este entra en servicio. En el caso de generadores grandes refrigerados con agua, la aplicación de tensiones continuas provoca una trayectoria a tierra de baja impedancia, situación que puede sobrecargar la fuente de tensión del DC hi-pot test. Este inconveniente no se presenta al aplicar un ensayo de alto potencial con corriente alterna.

3.3. INDICE DE POLARIZACIÓN

El índice de polarización es la razón entre las mediciones de resistencia de aislamiento a los 10 minutos y al minuto. Un valor bajo del índice de polarización indica normalmente problemas en el aislamiento. La prueba de índice de polarización es especialmente valiosa para descubrir la presencia de humedad y/o aceite en el aislante. Estos defectos son especialmente peligrosos en las máquinas rotativas pues pueden llegar a poner en cortocircuito sus devanados.

A medida que un motor acumula partículas contaminantes y el aislamiento envejece, la magnitud del índice de polarización decrece. La acumulación de contaminantes depende del entorno de operación en que funciona el motor. El nivel de aislamiento decae en función de la temperatura y la edad del motor.

La disminución paulatina del nivel de aislamiento en un motor como producto de los factores antes mencionados, produce corrientes de fuga de cierta magnitud a través del material aislante. Esta situación se ve reflejada tanto en la magnitud de la resistencia como de la capacitancia a tierra del motor. Un continuo deterioro del valor en la resistencia a tierra conduce a un daño irreversible en los devanados del motor y por ende en su vida útil. El cuadro 4, presenta valores mínimos del índice de polarización, y las condiciones en que se encuentra el sistema de aislamiento.

Cuadro 4. Valores mínimos de índice de polarización.

Estado de la resistencia de Aislamiento	Relación 10/1 min (índice de polariza ción)
Peligroso	0 – 1
Deficiente	1 – 2
Bueno	2 – 4
Excelente	4 y superior

3.4. ÍNDICE DE ABSORCIÓN

Durante la prueba un voltaje es aplicado en un periodo largo de tiempo, usualmente 10 minutos. El operador toma lecturas con el Megger cada 10 segundos durante el primer minuto, y luego cada minuto hasta los 10 minutos. Al momento de tomar las lecturas de resistencia, la razón entre la lectura tomada a los 60 segundos y la lectura tomada a los 30 segundos, indica el índice de absorción. En el cuadro 5, podemos encontrar valores mínimos del índice de absorción y el estado de la resistencia del aislamiento.

Cuadro 5. valores mínimos de índice de absorción.

Estado de la resistencia de aislamiento	Relación 60/30s Absorción del aislamiento
Peligroso	0 – 1
Deficiente	1 – 1,3
bueno	1,3 – 1,6
Excelente	1,6 y superior

3.5. TERMOGRAFÍA

Una Termografía Infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara Termográfica produce una imagen en vivo, (visualizada como fotografía de la temperatura de la radiación).

Las cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: Termografía o Termograma. La termografía proporciona los siguientes beneficios:

- **Elimina caídas de energía inesperada**
- **Detecta problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo.**
- **Valora las prioridades para la acción correctiva**
- **Minimiza el mantenimiento preventivo y el tiempo perdido en localizar los problemas.**
- **Puede ser utilizada por compañías de seguros para cerciorarse que el equipo o las instalaciones se encuentran en estado óptimo.**
- **Detecta equipo defectuoso mientras se encuentra bajo la garantía de fabrica.**
- **Previene incendios o accidentes.**

Las termografías pueden ser aplicadas en cualquier situación donde un problema o condición pueda ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura ver anexo J.

3.6. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

La vibración es un movimiento oscilatorio que se origina cuando un punto material que rota se desvía de su posición de equilibrio por acción de una fuerza, esto origina una tendencia a recuperarse con una fuerza proporcional a la que produjo dicha desviación. La vibración se comporta como una onda, y se propaga en dirección radial y axial; las ondas o vibraciones axiales van en sentido paralelo al eje y las axiales van perpendiculares; hay también vibraciones torcionales que tienen un sentido angular.

Las vibraciones excesivas del motor son dañinas en varios aspectos, pues tienden a producir falla estructural del aislamiento debilitándolo, aflojando los amarres y cuñas. Las vibraciones también producen desgastes prematuros en los rodamientos.

Existen muchos instrumentos y equipos de medida para el estudio de las características de las vibraciones en los equipos industriales, entre los cuales se encuentran: vibrómetro, estroboscopio, estetoscopio electrónico o auriculares y los diferentes tipos de analizadores (de barrido, en tiempo real).

El espectro de vibración se obtiene al convertir la señal eléctrica de las características de vibración en una señal gráfica, esto se logra mediante la transformada de fourier.

Entre las posibles causas de vibración tenemos:

1. Desbalance dinámico. **El desequilibrio másico o desbalance ocurre cuando el centro de masa de la pieza rotativa no coincide con el eje de rotación.**
2. Desalineamiento. **El desalineamiento es debido a la pobre alineación entre superficies que se acoplan: se da entre acoples, rodamiento y axial. El desalineamiento puede ser angular, paralelo o una combinación de paralelo angular, ver figura 5.**
3. Eje pandeado. **Un eje pandeado aparece normalmente como una condición de desbalanceo, y muestra vibraciones a 1 X RPM, en la dirección radial. Un eje pandeado también muestra una alta vibración axial debido a la torsión.**

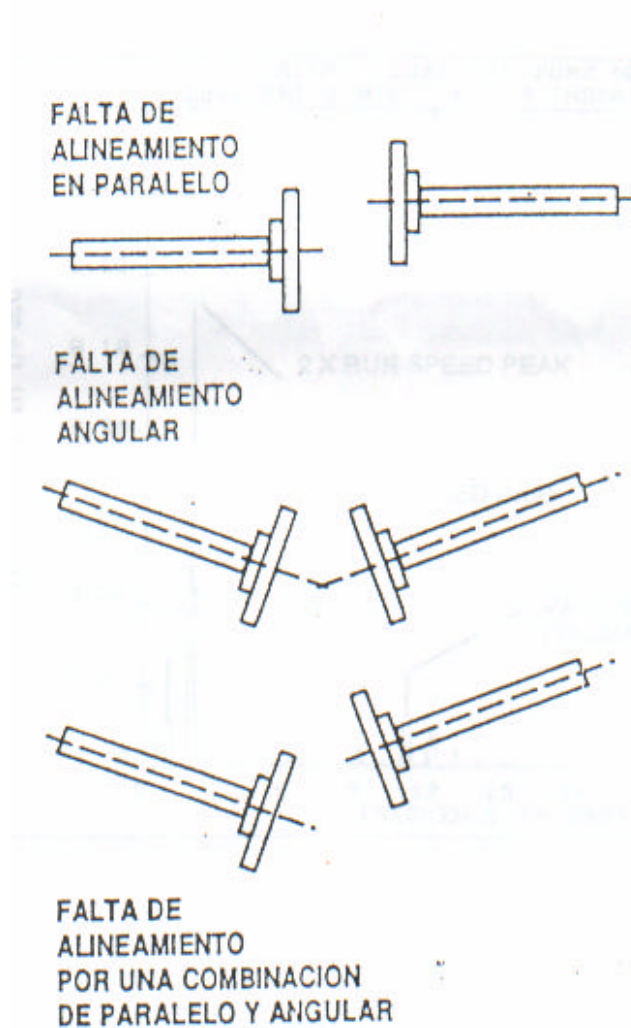


Figura 5. Tipos de desalineamientos.

4. Juego o soltura mecánica. **El juego mecánico no presenta problemas si no existe otra fuente de excitación, como el desbalanceo o el desalineamiento. Aún con pequeñas fuerzas de excitación, se genera altos niveles de vibración, cuando existen severos niveles de juego mecánico.**

5. Rodamientos defectuosos. **Cuando se analizan rodamientos se deben tener en cuenta los defectos en pistas, defectos en bolas o rodillos, defectos en la canastilla y defectos en la pista exterior e interior.**

En el cuadro 6, se presenta a continuación los criterios de consideración del estado del equipo según NEMA.

Cuadro 6. Análisis vibratorio de la máquina.

Estado de la máquina	Lectura filtrada (in/seg)
Bueno	0.049 – 0.0785
Regular	0.0785 – 0.157
Malo	0.157 – 0.628

De acuerdo con la frecuencia de vibración se puede determinar el tipo de anomalía. por ejemplo:

- 1. Vibraciones de alta frecuencia pueden ser ocasionadas por rodamientos, piñones en mal estado, correas defectuosas.**
- 2. Vibraciones de frecuencia igual al doble de la velocidad de giro, normalmente se debe a solturas mecánicas.**
- 3. Vibraciones de frecuencia igual a la velocidad de giro son sinónimo de desbalance dinámico.**

4. MANTENIMIENTO APLICADO A LOS BANCOS DE PRUEBA DE INDUCCIÓN Y SÍNCRONOS

4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS

Cada una de las máquinas (motores dc, generadores síncronos y de inducción) fueron trasladados hacia el taller para su respectivo mantenimiento, ubicados allí se identificaron inmediatamente sus características en un registro de ordenes de servicio y se procede a realizarle las pruebas de inicio y las pruebas finales.

Las pruebas de inicio se realizan en recepción del equipo antes de comenzar a practicar el mantenimiento, con la finalidad de revisar el aislamiento del motor, propiedades eléctricas y otros factores relativos a las operaciones de la máquina. Las pruebas finales como su nombre lo dice se realizan al final del mantenimiento y justo antes de ser energizado o conectado al sistema; estas pruebas indican el grado de mejoras en el equipo y sirven como punto de partida para compararlos con pruebas futuras.

Una vez que se realizan las pruebas de inicio, se procede a desarmar la máquina, revisando tapas y rodamientos para asegurarse de que estén en buen estado. El estator y el rotor son separados para ducharlos con detergente y luego para

eliminar la humedad se introducen al horno de 3 a 4 horas aproximadamente, después de esto se le practican las pruebas de inicio al estator y rotor, para verificar si la condición de aislamiento ha mejorado. A parte de esto el rotor ó inducido es balanceado y rectificado si hace falta; si el motor es de corriente continua. Por último, estator y rotor (si es bobinado) son pintados con barniz rojo, se introducen al horno y al secar bien el barniz se arma el motor y se le realizan las pruebas en vacío, una vez armado se pinta el motor y se almacena esperando que seque para su salida.

En la realización del mantenimiento preventivo de las máquinas se cambiaron los cables de conexiones ya que estos se encontraban cristalizados, por otro lado se reemplazaron los rodamientos de los motores dc y generadores de inducción por hallarse desgastado, menos los rodamientos de los generadores síncronos que se encontraron en buen estado.

El mantenimiento preventivo para Generadores Eléctricos A.C y D.C es prácticamente el mismo que el realizado a los motores, sólo se diferencian en que en el generador existe un elemento adicional al que se le hará mantenimiento, como lo es la excitatriz o campo de excitación. El proceso productivo para el mantenimiento preventivo de motores, se encuentra esquematizado en el flujograma, ver anexo D.

4.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA

El mantenimiento preventivo aplicado a los elementos de maniobra se llevó a cabo con la instalación desconectada, para ello hubo la necesidad de desconectar todos los aparatos de su respectivo banco. El procedimiento que se llevo a cabo con cada aparato es el siguiente:

Fusibles: Para desprender el oxido de los terminales de contacto de los fusibles de cuchilla se usó lija gruesa, además con un pincel se pinto los portafusibles de color negro. Para los fusibles de cartucho, por ser este de porcelana tipo rosca se mejoró su estado con limpiador eléctrico.

Breakers: No a todos los breakers se le hizo mantenimiento interno, puesto que el estado indicaban que era preferible ser reemplazados por equipo nuevo. A los que se le hizo mantenimiento interno se desarmaron retirando la tapa principal para poder lijar los terminales de entrada y salida, contactos móviles y fijos que presentaban sulfatación. Por otro lado se retiró el sucio con pincel de la cámara de extinción para finalmente aplicar limpiador eléctrico.

Contactores: Se usó limpiador eléctrico en su parte exterior. Para llevar a cabo la limpieza interna se retiró la parte móvil del electroimán soltando los tornillos,

desmontando la junta y el muelle quedando accesible para limpiar con facilidad el sucio contenido en la armadura y en núcleo.

Réles de protección: Se les hizo mantenimiento aplicándoles limpiador eléctrico, para finalmente realizar un retoque de color negro.

Pulsadores: Los pulsadores con cuerpo de aluminio, se lijaron con lija fina, mientras que los pulsadores con cuerpo de plástico se les mejoró su estado con ayuda del limpiador eléctrico. Los pulsadores de arranque se retocaron con pintura verde y los de parada con pintura roja.

Porta-bombillos de señalización: Con ayuda de un cepillo, se les realizó mantenimiento aplicando limpiador eléctrico, después de un secado se retocaron con pintura.

Reóstato de arranque y regulación: El banco de inducción contiene este aparato para poder arrancar el motor de inducción de rotor bobinado. Los contactos se lijaron con lija gruesa para quitar la sulfatación, y con lija fina se lijó la manivela. El soporte a base de baquelita que soporta al reóstato se pintó de color rape, por otro lado la parte aislante de la manivela se pintó de color negro.

Aparatos de medida eléctrica: Todos los aparatos de medida eléctrica como son: voltímetros, amperímetros, vatímetros, cosenofímetros, sincroscopio, voltímetro diferencial medidores de rpm, se destaparon para limpiar la parte interna como externa de la tapa de vidrio.

4.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

4.3.1. Mantenimiento correctivo para el banco de prueba motor generador síncrono. A continuación se describe los aparatos que se encontraron en mal estado con su respectiva corrección:

Tacómetro: El tacómetro del grupo motor dc-generador N°1 se encontró dañado, ya que no registraba lectura alguna de rpm, se diseñó un tacómetro a partir de un voltímetro dc conectándole en serie un potenciómetro para poder hallar la relación de voltaje generado por el tacógenerador contra la velocidad del motor, lográndose crear una escala con dicha relación.

Eje de acople tacógenerador – motor dc: No existía un eje que acoplara el tacógenerador con el motor, por lo cual se procedió a colocar un eje de 3/4" de diámetro. Para su instalación se hizo un agujero de 25/32" de diámetro en el eje del motor para luego introducir a presión el eje de acople.

Transformador de tensión (220/110): Uno de los transformadores de tensión que alimenta al sincroscopio y al voltímetro diferencial se halló con una bobina abierta, por lo tanto se procedió a rebobinarla.

Armadura motor dc (220, 2.2HP): A esta armadura se le procedió a realizar las pruebas de cortocircuito entre delgas con el zumbador, debido a que al ponerse en funcionamiento a tensión nominal chisporroteaban excesivamente las escobillas, finalmente se registro que existía un cortocircuito entre espiras llevándose acabo un nuevo rebobinado.

Escobillas y balineras: Al verificarse el estado de las escobillas de las máquinas se hallaron demasiado desgastadas por eso se reemplazaron. De igual forma se le hicieron pruebas necesarias a las balineras encontrándose desgastadas las de los motores dc por tal motivo se procedió a su reemplazo.

Instalación eléctrica: La instalación eléctrica que presentaba el banco era un poco antiestética, debido a su mala distribución, cables en mal estado, número de identificación deteriorados y mucha suciedad. Por lo tanto se procedió a colocar una instalación nueva con cable #10 AWG para el circuito de potencia y #16 AWG para el circuito de control, ubicándolos en canaletas que se distribuyeron a través del fondo del perímetro del banco. Protegiendo del polvo a todos los aparatos del

circuito de control y potencia, como estructura de cableado con una ventana elaborada en acrílico.

Bornes de conexión: Estos se encontraban desgastados y descolorizados, Algunos de ellos no hacían buena conexión debido a la suciedad y oxidación, por lo tanto se reemplazaron por unos nuevos.

Bombillos de señalización de motores dc: Solamente se hallaron dos bombillos en buen estado, los demás se reemplazaron por unos nuevos.

Pulsador de acople: El pulsador de acople de indicación de paralelaje, tenía el contacto cerrado aislado, se procedió a su reparación.

Marquillas: Las marquillas identificativas de los paneles de control estaban incompletas y algunas en mal estado, por ello se elaboraron unas adicionales.

Plano eléctrico: Se diseñó un nuevo plano, debido a que se halló deteriorado el plano antiguo, con algunos errores de no-concordancia, como así también algunas normas de simbología desactualizadas.

4.3.2. Mantenimiento correctivo para el banco de prueba motor dc -generador de inducción. Los siguientes son una lista de los aparatos corregidos en el banco de inducción:

Sensor tacométrico: Este aparato utilizado para medir la rpm se halló dañado y se procedió a reemplazarse por un nuevo sistema de medición de velocidad, conocido como el método estroboscópico. La implementación de este método permite el cálculo del deslizamiento, pues es más exacto comparado con el tacómetro digital que tenía instalado. Por ejemplo, si la velocidad del motor a plena carga es 1740 y se mide la velocidad del rotor con el tacómetro, que tenga un error de 2 por ciento, la indicación puede ser de 1740+- 35 rpm, o sea que puede ser tan alta como 1775 o tan baja como 1705 rpm. Este error del 2% en la medición de la velocidad del rotor se refleja en un error grande en el deslizamiento.

Escobillas y Balineras: Se hicieron reemplazos de escobillas y balineras por encontrarse desgastadas en los promotores y generadores de inducción.

Cojinetes: A una de las tapas del motor de inducción de rotor bobinado fue necesario hacerle una camisa en el cojinete, puesto que este se encontraba desgastado y con signos de porosidad produciendo en el rodamiento juego axial.

Armadura de los motores dc y de inducción: Se encontraron la armadura de los motores dc y de inducción con bajo aislamiento. Se procedió a realizar un lavado con agua y detergente para después colocarlo en el horno durante 2 horas. Luego de este tiempo se le añadió barniz rojo dieléctrico y nuevamente se llevó al horno durante una hora y media quedando así en óptimas condiciones de aislamiento.

Instalación eléctrica: Se llevó a cabo una nueva instalación debido al nuevo diseño de circuito de control y potencia, mejorando el estructurado de cableado utilizando canaletas, números identificativos y una ventana hecha de acrílico para protegerlo de la suciedad.

Bornes de conexión: Estaban bastante deteriorados, puesto que al conectar los cables en dichos bornes no hacían buen contacto, por lo que se reemplazaron por otros nuevos.

Marquillas: Algunas marquillas por encontrarse en mal estado fueron reemplazadas. Por otro lado, el nuevo diseño del banco de inducción rotor bobinado conllevó a elaborar nuevas marquillas identificativas.

Voltímetro y amperímetro: Se encontró un voltímetro dc(0-110 V), y un amperímetro dc (0-15 A) dañado, se retiraron y se reemplazo por uno nuevo.

Rectificador: Se encontró quemado, por lo tanto se procedió a su reemplazo por uno nuevo.

Protección de sobrecarga: Una de las máquinas de inducción no tenía dicha protección, por ello se le instaló su respectivo rele de sobrecarga.

Planos eléctricos: Se hizo la elaboración de nuevos planos eléctricos para el nuevo diseño del circuito de potencia y control del banco de inducción.

4.3.3. Reestructuración de las estructuras mecánicas de los bancos: El diseño del mueble del banco de inducción y síncrono se realizó en forma didáctica, de manera que se le facilite al estudiante la conexión de los diferentes dispositivos y una observación clara y precisa de los elementos de medida y sincronización.

Tratándose del banco síncrono, se encontró diseñado con dos paneles de control; en un panel estaba los instrumentos de medición y el sistema de control de los generadores síncronos, mientras que en la cara posterior estaba el otro panel de control que constituía el sistema de control de los primotores (motores dc) con sus respectivos instrumentos de medición. Esta forma de diseño traía incomodidades al estudiante para realizar el acople de paralelaje de los generadores síncronos, cuando se trataba de controlar la tensión o la velocidad de los generadores a partir

de los reóstatos de excitación de los primotores. Por esta razón se reestructuro con un solo panel de control, de manera que se ubicaran los sistemas de control, medición de los primotores y generadores de una manera accesible al estudiante sin causar ninguna incomodidad para realizar las prácticas de laboratorio. También se le dió una profundidad de 20 cm para poder alojar los contactores, reles de sobrecarga, temporizadores y fusibles sobre una base elaborada en madera.

En lo que respecta al banco de inducción que esta constituido por dos paneles de control; en un lado el control de la máquina de inducción rotor bobinado y en el posterior el control de la máquina de inducción jaula de ardilla. Hubo la necesidad de desarmar toda la estructura, eliminando algunas barras que se encontraba en la parte frontal y superior para así adaptarse a las nuevas condiciones. Quedando con un nuevo ancho de 40cm, dándole una profundidad de 18 cm en ambas caras para poder alojar los contactores , reles de sobrecarga y fusibles. Por otro lado, la base de la estructura del banco se hizo atornillable a una base de rodachines para poder transportarla de una manera fácil de un lugar a otro, ya que con anterioridad se encontraba soldada a dicha base de rodachines, produciendo mayor dificultad para su transporte.

Los aparatos de medición (vatímetro, voltímetro, amperímetro) y de control (pulsadores de arranque y parada, reóstato de excitación, parada de emergencia, bombillos de señalización) de los bancos de inducción y síncrono se montaron sobre unas láminas de acero galvanizado #18. Haciendo uso de una caladora se elaboraron los huecos cuadrados para alojar los voltímetros y selectores de voltaje y corriente, mientras que para realizar los huecos redondos se utilizó un torno que tuviera sacabocados.

5. DISEÑOS DE NUEVOS CIRCUITOS DE CONTROL Y POTENCIA

5.1. DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL Y POTENCIA DEL BANCO DE INDUCCIÓN

Este banco posee dos paneles de control, el primer panel de control se encuentra en un lado de una cara para llevar a cabo las prácticas con el generador de inducción de rotor bobinado, mientras que en la cara posterior se encuentra el otro panel de control para efectuar las prácticas con el generador de inducción jaula de ardilla. El circuito de potencia y control (ver anexo A) para las prácticas con el generador de inducción de rotor bobinado fue diseñado con las siguientes características:

- 1. Fuente rectificadora:** Se instaló una sección rectificadora, de tal manera que le permita ser útil al estudiante cuando no tenga disponibilidad de una fuente de corriente directa para alimentar al motor dc que impulsa al generador de inducción de rotor bobinado.
- 2. Selector ON / OFF:** Este permite poner en marcha la máquina de inducción de rotor bobinado ya sea como generador o como motor. Cuando se encuentra en la posición OFF la máquina de inducción trabaja como generador, cuando se gira a la posición ON la máquina de inducción trabaja como motor.
- 3. Contactores:** El contactor C1 permite la transferencia de corriente directa hacia el motor dc (primotor). C2 transfiere la tensión alterna trifásica generada por la máquina de inducción hacia la carga. C3 cuyo accionamiento es controlado por el selector ON/OFF permite realizar el cambio de generador a motor de la máquina de inducción.

4. Enclavamiento: El contactor C2 se encuentra enclavado con C1, esto obliga a que el motor dc sea energizado primordialmente para poder transferir energía a la carga cuando el selector se encuentra en la posición OFF. C3 enclavado con C1, Esto con el fin de asegurar que la máquina de inducción rotor bobinado se encuentre trabajando como generador cuando el selector se encuentra en la posición OFF.

5. Reóstato de regulación: Este Reóstato realiza dos funciones:

A. Permite el arranque de la máquina de inducción rotor bobinado cuando se hace funcionar como motor, para ello debe estar en su máxima resistencia, la cual se varia lentamente hasta quedar completamente cortocircuitadas (punto medio del reóstato) las resistencias que se encuentran en serie con la armadura del motor de inducción a través de los anillos rozantes.

B. Cuando se va a colocar en funcionamiento la máquina de inducción como generador síncrono, se gira el reóstato mas allá de su punto medio, para inyectar corriente directa a dos de los anillos rozantes de la armadura del motor de inducción permitiendo obtener tensión entre los terminales del estator.

6. Protecciones: El circuito de control se encuentra protegido contra corrientes de cortocircuitos a través de fusibles. De igual forma la máquina de inducción y de corriente directa se encuentran protegida ante corrientes de cortocircuito a través de breaker y de corrientes de sobrecarga a través de relés de sobrecargas.

En cuanto al circuito de potencia y control (ver anexo A) para realizar las prácticas con el generador de inducción de jaula ardilla se diseño en base a las siguientes características:

1. Recificador: Instalada como medio auxiliar, en caso que no se tenga disponible una fuente de corriente directa para alimentar a la maquina dc (primotor).

2. Contactores: El contactor C3 permite la transferencia de corriente directa hacia el motor dc, la cual impulsa al generador de inducción de jaula de ardilla. C4 conecta los condensadores a la red trifásica de la máquina de inducción.

3. Enclavamiento: C4 se encuentra enclavado con C3, de manera que solo se permita conectar los condensadores a la red trifásica hasta que se halla energizado el primotor.

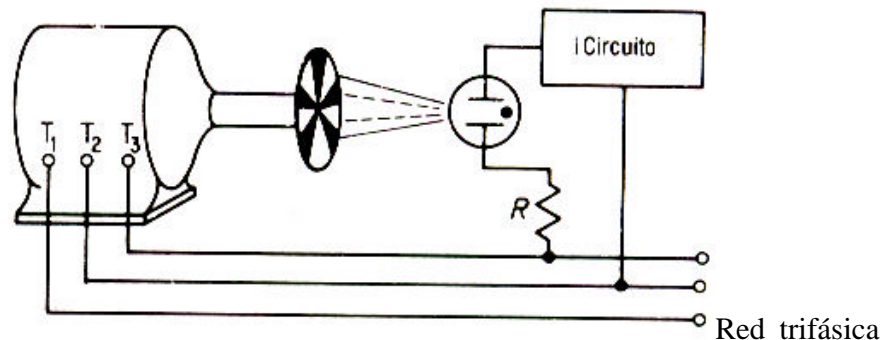
4. Condensadores: Estos inyectan los reactivos necesarios a la máquina de inducción jaula de ardilla para que esta pueda generar.

5. Protecciones: Constituido por fusibles, breakers, relés de sobrecarga, contra las corrientes de cortocircuitos y de sobrecarga que se presenten en el sistema.

6. Parada de emergencia: Provisto de un pulsador de parada de emergencia, usado en caso de una mala maniobra u operación del sistema.

5.2. DISEÑO DEL MÉTODO ESTROBOSCÓPICO PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DESLIZAMIENTO

Figura 6. Método estroboscópico (6 polos)



En un lado del eje de la máquina se fija un disco negro ver figura 6 en el que se marca con sectores radiales blancos, en número igual al de pares de polos que tenga la máquina. La intensidad luminosa del foco (que puede ser una lámpara de filamento metálico o, mejor de gas enrarecido. Ver anexo H) pasa dos veces por un máximo durante un periodo y hace resaltar entonces el dibujo con mayor intensidad. Si el eje gira, con la misma velocidad del campo, a n_1 revoluciones, cada medio periodo corresponde exactamente a un ángulo de giro del disco igual a un sector y, por consiguiente, el dibujo del disco citado, intensamente iluminado, aparece siempre igual a la vista, dando la sensación de estar fijo en el espacio.

Cuando el rotor desliza, el dibujo del disco se retrasa el ángulo correspondiente,

con relación a cada máximo de intensidad luminosa, y el disco gira aparentemente en sentido contrario. Si contamos el número de vueltas que pasan por un punto fijo determinado, por ejemplo en un minuto, y lo dividimos por el número de sectores que tenga el disco (tres para una máquina de 6 polos, etc.), podemos calcular la velocidad aparente en sentido contrario. Esto es fácil de hacer en la práctica.

La velocidad real que buscamos será:

**Velocidad que deseamos encontrar en rpm = velocidad síncrona en rpm --
deslizamiento en rpm.**

Por ejemplo, una prueba con carga hecha en un motor de 7.5 HP, 220 V, 50 HZ, trifásico y de tipo de inducción, se le midió la velocidad por el método estroboscópico. La velocidad aparente de los sectores blancos tomada fue de 20 revoluciones en 17.5 segundos. Calcular el deslizamiento y la velocidad síncrona.

DESLIZAMIENTO = $(20\text{rev} / 17.5\text{seg}) \times (60\text{seg} / 1\text{min}) = 68.6 \text{ rpm.}$

VELOCIDAD SINCRONÍA = $(50\text{ciclos/seg} \times 60) / (3 \text{ pares de polos}) = 1000 \text{ rpm.}$

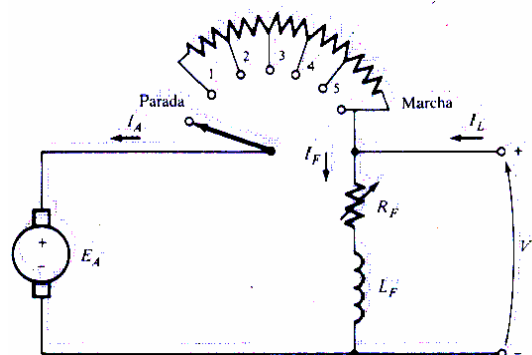
VELOCIDAD REAL = $1000 - 68.6 = 931 \text{ rpm.}$

DESLIZAMIENTO % = $(1000 - 931) / (1000) = 0.069 \times 100 = 6.9 \%$

5.3. DISEÑO DE UN CIRCUITO DE ARRANQUE TEMPORIZADO PARA LOS PRIMOTORES DEL BANCO SÍNCRONO

Las máquinas dc utilizadas para impulsar los generadores síncronos, se arrancaban manualmente a través de un reóstato intercalado en serie con el circuito de inducido, ver figura 7. Lo cual es un método muy anticuado y hace que el sistema sea más robusto.

Figura 7. Arranque manual de un motor dc.

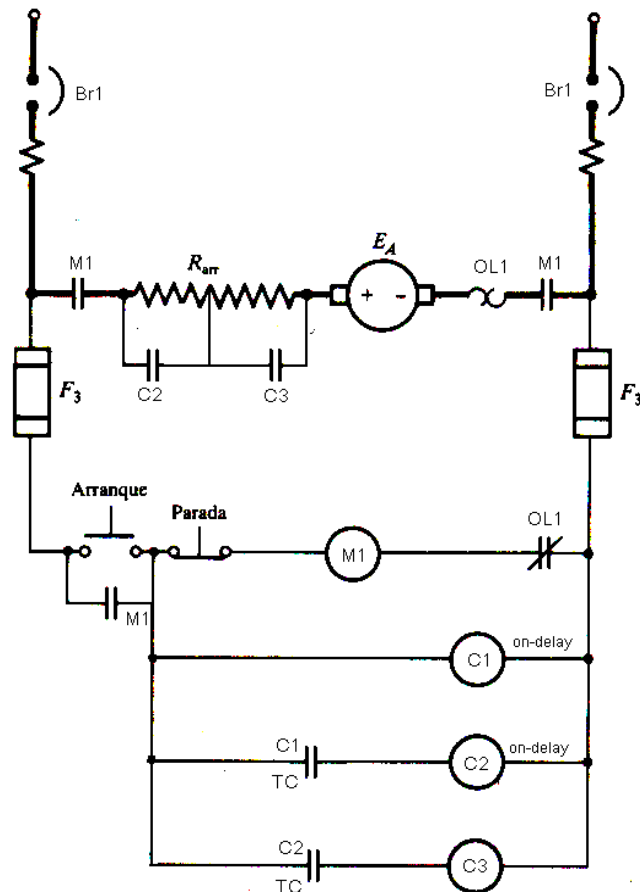


Para mejorar el circuito de arranque de las máquinas DC, se utilizó relés temporizados para quitar las resistencias de arranque hasta quedar completamente acelerada la máquina.

En la figura 8, puede observarse un circuito con una serie de relés temporizados que cierran los contactos para retirar cada sección de la resistencia de arranque aproximadamente en el tiempo adecuado después de que se aplica potencia al motor.

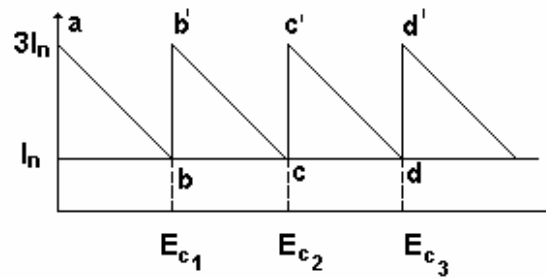
Al presionar el botón de arranque en este circuito, el circuito de inducido del motor se conecta a su fuente de potencia, y la máquina arranca con toda la resistencia en el circuito. Sin embargo el relé temporizado on-delay C1 se energiza al mismo tiempo que arranca el motor, de manera que después de algún retardo los contactos de C1 se cerrarán y quitarán del circuito una parte de la resistencia de arranque. Simultáneamente, el relé temporizado on-delay C2 se energiza y tras otro tiempo de retardo los contactos de C3 se cerrarán y quitarán la segunda parte de la resistencia de tiempo y finalmente el motor marcha a plena velocidad sin tener en su circuito de inducido ninguna resistencia de arranque. Si se escogen adecuadamente los retardos de tiempo, La resistencia de arranque puede quitarse precisamente en los momentos apropiados para limitar la corriente del motor a sus valores de diseño.

Figura 8. Arranque temporizado de un motor dc



5.3.1. Calculo de las resistencias para el arranque de los primotres. La figura 9 muestra el comportamiento de la corriente de armadura y la tensión de armadura cuando se sacan los pasos de resistencia.

Figura 9. Comportamiento de la corriente de arranque cuando se sacan pasos de resistencia.



en (a)

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_a = (V_t - E_a) / 3 I_n ;$$

$$E_a = 0$$

en (b)

$$E_{c1} = V_t - I_n (R_1 + R_2 + R_3 + R_a)$$

en (b')

$$R_2 + R_3 + R_a = (V_t - E_{c1}) / 3 I_n$$

en (c)

$$E_{c2} = V_t - I_n (R_2 + R_3 + R_a)$$

en (c')

$$R_3 + R_a = (V_t - E_{c2}) / 3 I_n$$

Para un motor de 2,2 HP, 220 V, 1750 rpm, $R_{arm} = 4\Omega$, $I_n = 8,8$, calcularemos la resistencia para dos pasos, si $I_{arr} = 2 I_n$

Solución:

$$I_{arr} = V_t / R_a = 220 / 4 = 55$$

$$I_{arr} / I_n = 55 / 8,8 = 6,25 \text{ A}$$

en (a)

$$R_1 + R_2 = (220 / 2 \times 8,8) - 4 = 8,5 \text{ O}$$

en (b)

$$E_{c1} = 220 - 8,8 (12,5) = 110 \text{ V}$$

en (b')

$$R_2 = \{ (220 - 110) / 2,5 \times 8,8 \} - 4 = 2,3$$

$$R_1 = 8,5 - 2,3 = 6,2 \text{ O}$$

$$P = (17,2)^2 \times 2,3 = 680,4 \text{ W}$$

$$P = (17,2)^2 \times 6,2 = 1834,2 \text{ W}$$

Como las resistencias calculadas no son comerciales, se consiguió resistencias de 3 ohmios a 1000W , y de 2.5 ohmios a 1000W por lo tanto se procedió de la siguiente manera:

Se conectaron dos resistencias de 3O a 1000 W en serie, y una de 2,5 O a 1000W a cada motor en serie con el circuito de armadura.

6. GUIAS DE LABORATORIOS

EXPERIENCIA N° 1

6.1. MÁQUINA DE INDUCCIÓN

6.1.1. Determinación de la polaridad del estator de un motor de inducción y campo rotatorio de una máquina trifásica.

OBJETIVOS

- Identificar el devanado de un estator trifásico.
- Determinar el número de polos, pasos de devanado y paso fraccionario de las máquinas trifásicas y monofásicas especiales.
- Observar el campo giratorio en una máquina trifásica.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) Horas.

MATERIALES NECESARIOS

- Estatores trifásicos y monofásicos.
- Fuente de poder variable de C.D.
- Fuente de poder variable A.C trifásica.
- Brújula.
- Esfera de acero.
- Cables de conexión.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

Determinación de la polaridad del estator de un motor de inducción: Un correcto devanado de las bobinas del estator de un motor asegura el normal funcionamiento de la máquina.

Bobinas con igual polaridad dan lugar a que los flujos, debidos a las corrientes que por ellos circulan, se contrarresten. En consecuencia, seguramente el motor no podrá funcionar de manera adecuada ya que no se produciría una fuerza que origine un par para que éste haga girar el rotor. Debido a lo anterior, es importante verificar la polaridad de los devanados después que estos hayan sido construidos y alojados en las ranuras del estator.

Es así como esta experiencia, descrita a continuación, permitirá obtener resultados para tal fin.

Observación de la presencia de un campo magnético giratorio en el entrehierro cuando al estator se le inyecta C.A.

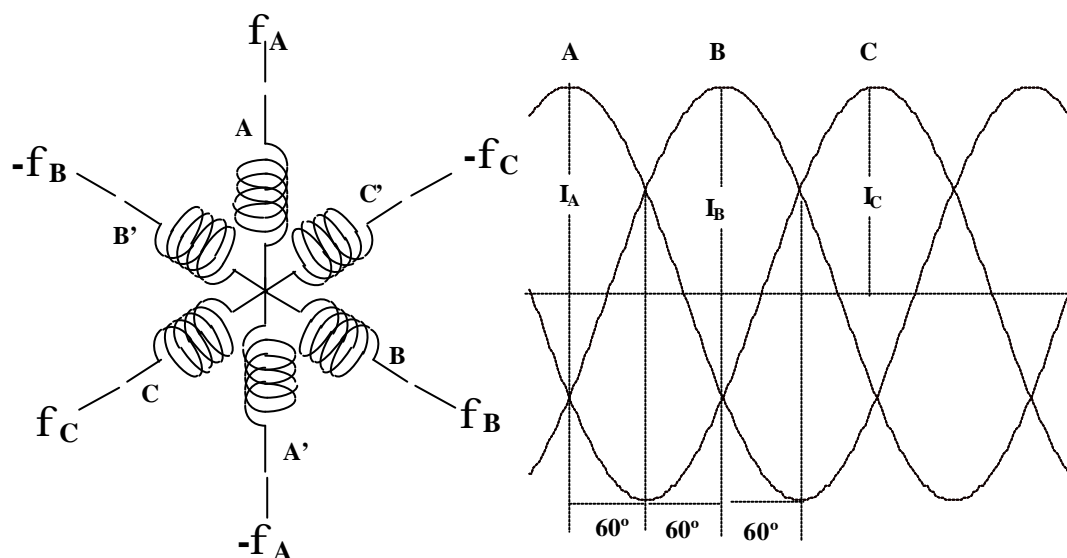
El motor trifásico de inducción es el motor de corriente alterna que más se emplea, debido a su simplicidad, a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante.

En el motor de inducción la potencia al rotor se transmite de manera inductiva, de la misma manera como funciona un transformador; en el caso del motor la disposición de los devanados del estator originan un campo magnético giratorio, el cual induce un voltaje y por consiguiente corriente en el rotor.

Cuando el estator trifásico se conecta a una fuente de alimentación, tres corrientes independientes tienden a fluir en cada una de las fases, esas corrientes se desfasan entre sí 120° eléctricos, lo cual se puede apreciar en la figura 10. (Esquema de las tres fases en un motor de inducción de dos polos).

En esta figura, la bobina de la fase A está representada en el eje vertical y la corriente de la misma producirá un flujo que actúa a lo largo del mismo. De esta manera, se asume que cuando la corriente es positiva, la fuerza magnetomotriz producirá un flujo directamente vertical hacia arriba; el mismo análisis se puede efectuar para las fases B y C. De esta manera se dice que hay un desplazamiento.

Figura 10. Esquema de las tres fases en un motor de inducción de dos polos



en el espacio de 120° eléctricos. Así cuando vemos que cuando las tres corrientes de fase I_A , I_B y I_C están desfasadas en el tiempo 120° y que cuando los tres devanados están desplazados en el espacio 120° , el campo magnético resultante (en este caso corresponde a dos polos) rotará en el espacio en la misma dirección

y secuencia de espacio de los devanados A, B, C lo cual ocasionará que el rotor gire en la misma dirección.

PROCEDIMIENTO

Determinación de la polaridad del estator de un motor de inducción:

- Identifique las tres líneas del estator trifásico asignándole nombre a cada línea, por ejemplo línea A, B y C.
- Con la fuente de C.C. suministre 10V entre la línea A y B.
- Introducir la brújula en el interior del estator y recorrerlo describiendo su forma circular en su interior.
- Observar que la aguja de brújula cambie alternamente del polo norte al polo sur.
- Si no sucede lo anterior incremente un poco el voltaje aplicado por la fuente variable hasta que suceda el fenómeno anterior.
- Retirar la brújula y desenergize.
- Repita el anterior procedimiento pero ahora alimentando por la línea AC y por la línea BC.
- Repita el anterior procedimiento pero con otros estatores disponibles (pregunte a su profesor cuales son los estatores).

Observación de la presencia de un campo magnético giratorio en el entrehierro cuando al estator se le inyecta C.A

- Efectúe las conexiones del estator (si es necesario) de tal manera que sus bobinas queden conectadas en "Y".
- En la conexión estrella los finales de las fases están unidos en un punto común, llamado punto de estrella. Cada principio de fase va conectado a una de las líneas de alimentación de la red trifásica, o en su efecto a un generador trifásico alterno.

EXPERIENCIA CON LA BRÚJULA

- Introducir la brújula en el interior del estator.
- Conecte el estator trifásico conectado en "Y" a la fuente A.C. trifásica variable y comenzando desde 0V vaya incrementando el voltaje hasta que la aguja de la brújula describa el sentido de giro del campo magnético (comience a girar la aguja de la brújula).
- Desenergize e invierta dos de los conductores de alimentación y note que la aguja gira en sentido contrario esto indica que el campo magnético ha cambiado de dirección.
- Desenergize y retire la brújula.

EXPERIENCIA CON EL BALÍN

- Coloque un balín dentro del estator.
- Conecte el estator trifásico conectado en "Y" a la fuente A.C. trifásica variable y comenzando desde 0V vaya incrementando el voltaje hasta que el balín tienda a girar.
- Para que el balín gire aplique una pequeña fuerza en el sentido que él tiende a girar, esto con el fin de romper la inercia entre el balín y la superficie interna del estator.
- Desenergize y retire el balín.
- Nota: Observe que el sentido de giro del balín es contrario al sentido de giro descrito por la aguja de la brújula para la misma secuencia de fase (igual disposición de los conductores a la fuente de alimentación).

CUESTIONARIO

Preguntas sobre la determinación de la polaridad del estator de un motor de inducción.

- Qué sucede si la aguja de la brújula no cambia alternativamente de polo norte al polo sur?
- Se podría realizar esta experiencia con corriente alterna? Justifique su respuesta.

- Qué conclusiones adicionales?

Preguntas sobre la observación de la presencia de un campo magnético giratorio en el entrehierro cuando al estator se le inyecta C.A.

- Describa el principio de funcionamiento del motor de inducción.
- Por qué en el motor de inducción, el rotor no se mueve a la misma velocidad del campo magnético?.
- Explique por qué el sentido de giro del balín es contrario al sentido de giro descrito por la aguja de la brújula para la misma secuencia de fase (igual disposición de los conductores a la fuente de alimentación)?.

Preguntas del estator en general:

- Identifique la forma del devanado.
- Determine el número de polos (p) y el número de ranuras (q).
- Determine el número de bobinas por fase.
- Determine α el ángulo eléctrico entre ranuras adyacentes.
- Determine K_d (factor de distribución)

EXPERIENCIA N° 2

6.1.2. Regulación de velocidad del motor de inducción trifásico con rotor devanado y arranque por el método de resistencias intercaladas al rotor.

OBJETIVOS

- Controlar la velocidad de un motor de inducción por medio de una resistencia en el circuito.
- Observar el comportamiento de motores de inducción rotor bobinado con arranque por resistencia.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) horas.

MATERIALES NECESARIOS

- El tablero correspondiente al motor del rotor devanado.
- Medidor de revolución (Principio estereoscópico o fotométrico).
- Cables de conexión.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

En la figura 11 se puede observar las características del funcionamiento del motor de inducción rotor bobinado, en el que se ha añadido resistencia al rotor, a través de un reóstato bobinado, a los anillos deslizantes. La zona de funcionamiento entre vacíos y plena carga está comprendida entre par cero y par nominal. Las curvas indican que el deslizamiento es proporcional a la magnitud de la resistencia añadida al rotor.

Cuanto mayor sea la resistencia añadida al rotor peor será la regulación de velocidad del motor; por consiguiente, es posible variar la velocidad de un motor rotor bobinado con carga hasta cualquier valor inferior de la de sincronismo, añadiendo o quitando resistencia al rotor. Como resultado la resistencia de arranque proporciona pares de arranque elevados, y corrientes de arranque reducidas, permitiendo adicionalmente controlar la velocidad para velocidades inferiores a la nominal. La familia de curvas con trazo continuo, indicadas en la figura 12, representa las curvas deslizamiento – par para diversos valores de resistencia del rotor añadida a la resistencia básica del rotor R_r , para el motor rotor bobinado. El par de arranque T_r , que se presenta con la resistencia básica del rotor R_r , origina una corriente de arranque I_r , en la intersección superior de la curva de la corriente del estator.

Figura 11. Porcentaje de deslizamiento comparado con el par

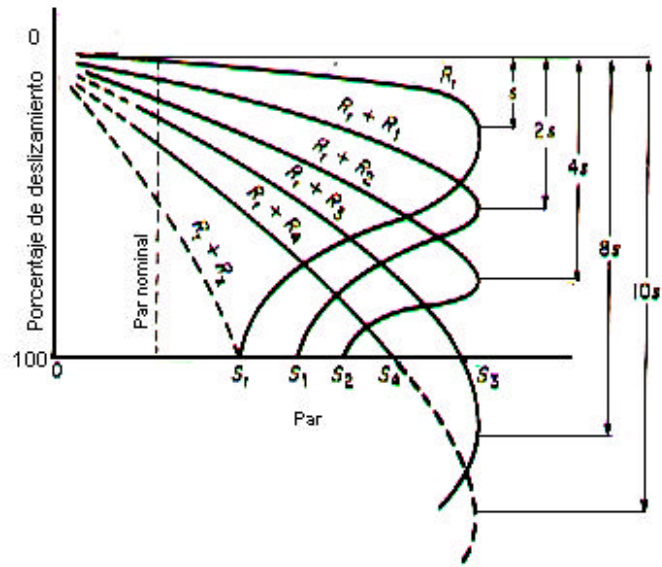
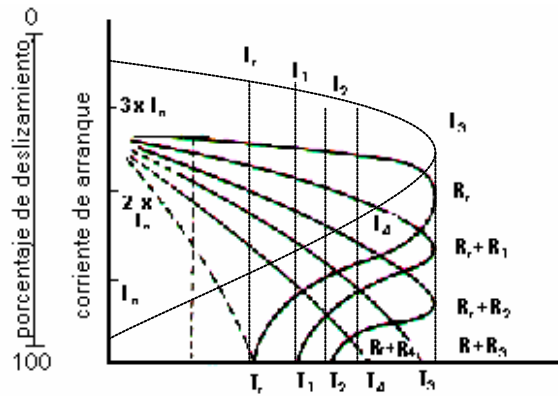


Figura 12. Corriente de arranque comparada con el par



Cuando a cada fase del motor del rotor bobinado conectado en estrella se añade la resistencia R_1 se crea una nueva curva par – deslizamiento, como se indica en las figuras 11 y 12.

Debe notarse que al aumentar la resistencia del rotor el deslizamiento aumenta a fin de desarrollar el mismo par, por lo tanto, para una resistencia del rotor R_r , el par máximo se presenta con deslizamiento "s". Para una resistencia del rotor $R_r + R_1$ el par máximo tiene lugar con deslizamiento "2s" (el doble de deslizamiento original) y así sucesivamente.

Nótese que la resistencia total del rotor puede ser tan elevada que el par máximo tenga lugar justamente a un deslizamiento de alrededor del 100%, o sea, cuando $R_r + R_3$ es igual a " sX_{1r} " si "s" es igual a 1. Nótese que, si la resistencia total del rotor es mayor, como en el caso $R_r + R_4$, el par máximo no puede alcanzarse con un deslizamiento unidad y el par producido en reposo T_4 es, por tanto, inferior al máximo.

Sin añadir resistencia al rotor, el par de arranque T_r se obtiene mediante la intersección del par de arranque con la intersección superior de la curva de corriente del estator. Al aumentar la resistencia del rotor, siempre disminuirá la respectiva corriente de arranque ($I_r, I_1, I_2, I_3, I_4, \dots$), incluso en el caso de una resistencia de rotor extremadamente elevada cuando el par de marcha T_4 corte la intersección inferior de la corriente I_4 .

Como se indica en la figura 12 el aumento de la resistencia del rotor aumentará el par de arranque hasta en el que se alcance el par máximo en reposo.

Aumentando la resistencia del rotor progresivamente mas allá de este valor ($R_r + R_3$), se producirán disminuciones en el par de arranque como en el caso T_4 (producido por $R_r + R_4$).

PROCEDIMIENTO

➤ Conecte el motor de rotor bobinado de acuerdo con el plano que está en el banco de trabajo:

1. Energice el banco a través del enchufe trifásico con su respectiva tierra, para alimentar el circuito de control y de potencia a 220 VAC.

2. Los terminales del rotor y estator del motor bobinado, conéctelos en los bornes indicados por las marquillas “ROTOR” y “ESTATOR” respectivamente. Tener en cuenta las polaridades mas y menos (del rotor) como las fases R, S y T (del estator), que sean correspondientes a las del tablero.

➤ Verifique que el reóstato se encuentre en la posición de máxima resistencia intercalada en el circuito del rotor del motor de inducción.

➤ Cierre los contactos de C3, girando el selector en la posición ON.

➤ Energice el motor inducción a través del contactor C2, haciendo uso de su respectivo pulsador de arranque localizado en la marquilla “MOTOR DE INDUCC. R. B.”

- Gire el reóstato a la primera posición. Tome el valor de R.P.M.
- Repita el paso anterior a las demás posiciones hasta llegar al punto medio del reóstato, esto es punto N (en esta posición los anillos deslizantes han sido cortocircuitados).

Nota: asegúrese que el sentido de giro del motor sea hacia adentro del banco.

- Desenergize el motor rotor bobinado a través del contactor C2, haciendo uso de su respectivo pulsador de parada ubicado en la marquilla “MOTOR DE INDUCC. R. B.”
- Estando el motor de inducción en estas condiciones de apagado, asegúrese de tener a la mano el flash para llevar a cabo el método estroboscópico.

Procedimiento para el calculo del deslizamiento por el método estroboscópico:

1. Antes de encender el motor marque un punto de referencia con cinta negra en uno de los sectores blancos del disco estroboscópico.
2. Nuevamente lleve el reóstato a la posición de máxima resistencia.

3. Cerciórese que los contactos de C3 se encuentren en la posición ON.

4. Una vez más energice el motor de inducción a través del contactor C2, haciendo uso de su respectivo pulsador de arranque localizado en la marquilla "MOTOR DE INDUCC. R.B"

3. Gire el reóstato a la primera posición. Usando el flash disponible en el laboratorio, ilumine el disco (tome la alimentación de la lámpara de los bornes indicados por la marquilla "SALIDA GENERADOR R.B") Haga perceptible el conteo de vueltas del punto de referencia marcado en el disco estroboscópico, esto es, variando la intensidad luminosa a través del potenciómetro que se encuentra en la lámpara.

4. Estando en la primera posición el reóstato, tome como referencia 20 revoluciones en el disco y contabilice el tiempo transcurrido para dichas vueltas en segundos.

5. Repita el paso anterior a las demás posiciones hasta llegar al punto medio del reóstato, esto es, punto N (en esta posición los anillos deslizantes han sido cortocircuitado).

6. Finalmente desenergize el motor bobinado a través del contactor C2, haciendo uso de su respectivo pulsador de parada ubicado en la marquilla "MOTOR DE INDUCC. R.B".

7. Abra los contactos de C3, girando el selector a la posición OFF.

8. Gire el reóstato todo a la izquierda (en esta posición no tiene resistencia intercalada en el circuito del rotor).

9. Retire todas las conexiones realizadas previamente con respecto al banco.

CÁLCULOS

- Calcule el deslizamiento para cada posición con la formula:
Deslizamiento = N° de revoluciones / tiempo(seg). Ver ejemplo pagina 66
- Calcule la frecuencia del rotor para cada uno de los pasos anteriores.

CUESTIONARIO

- Explique dos métodos diferentes para regular la velocidad del motor de inducción rotor bobinado.
- ¿Cuál es la relación de espiras de polos entre el rotor y el estator?

- Calcule la resistencia externa en el arranque sabiendo que el par de arranque es siempre constante.
- Calcule el factor de potencia del rotor con la resistencia externa y sin ella.

EXPERIENCIA N° 3

6.1.3. Funcionamiento de la máquina de inducción rotor bobinado como generador síncrono y como motor síncrono

OBJETIVOS

- Observar el funcionamiento de un motor de inducción rotor bobinado como generador síncrono, con carga y sin carga.
- Demostrar el comportamiento del motor rotor devanado como motor síncrono en forma práctica.
- Analizar el comportamiento del motor sincrónico al variar la excitación y elaborar las curvas en “V”.
- Medir el aislamiento del motor sincrónico

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) Horas

MATERIALES NECESARIOS

- Mesa de trabajo
- Grupo motor - generador
- Banco de resistencia variable o lámparas (carga)

- Reóstatos
- Cables de Conexión

INFORMACIÓN PRELIMINAR

Motor de inducción rotor bobinado como generador síncrono: Como se sabe, en máquinas de corriente continua, un motor sin ninguna transformación a su vez podrá funcionar como generador. Algo similar podemos experimentar en las máquinas con rotor devanado de corriente alterna. En este caso, tendríamos una excitación por el rotor con corriente directa. Esas máquinas, a su vez, dejan de ser asíncronas, por lo tanto se convierten en sincrónicas. Así es que producimos un campo magnético con corriente directa, mediante la aplicación de ésta al devanado del rotor, el cual haremos girar mediante un motor acoplado al eje, produciendo así la rotación del rotor con su campo magnético y ese campo magnético cortará los conductores del estator, induciendo un voltaje trifásico sobre los bornes del estator.

En nuestro caso es una demostración especial, puesto que se trata de un motor de inducción trifásico con rotor devanado, el cual puede funcionar como motor de inducción de corriente alterna o como generador sincrónico y motor sincrónico.

Motor de inducción rotor bobinado como motor síncrono: En el caso de la máquina síncrona, el rotor está conectado a una fuente de potencia de DC, y solamente hay una velocidad a la que el par motor es uniforme, es decir:

$$n = 120 f / p$$

Esta es la velocidad síncrona de la máquina. Si a un motor rotor devanado, le logramos alimentar el rotor con corriente continua, e inicialmente se le mueve por algún medio externo (puede ser por un motor DC acoplado a su eje), a una

velocidad cercana a la de sincronismo e inmediatamente se le conecta a la red, es posible que el motor de inducción trabaje ahora como máquina síncrona.

Al variar la excitación de este tipo de máquinas, varia también el factor de potencia. Si se gráfica esta variación de excitación, tenemos como resultado las curvas en "V", cuya ventaja es poder analizar las condiciones de trabajo para este motor, cuando trabaja en paralelo con un sistema eléctrico, para corregir el factor de potencia del sistema.

Con la ayuda de las curvas en "V", se puede obtener el factor de potencia para cualquier valor de intensidad de la corriente en la línea de alimentación y para un valor determinado de la potencia absorbida.

PROCEDIMIENTO

Motor de inducción rotor bobinado como generador síncrono

➤ Conecte el motor de inducción rotor bobinado de acuerdo al plano que aparece en el banco de trabajo, así:

1. Energice el banco a través del enchufe trifásico con su respectiva tierra, para alimentar el circuito de control y de potencia a 220 VAC.

2. Los terminales del rotor y estator del motor bobinado, conéctelos en los bornes indicados por las marquillas "ROTOR" y "ESTATOR" respectivamente. Tener en cuenta las polaridades mas y menos (del rotor) como las fases R, S y T (del estator), que sean correspondientes a las del tablero.

3. Asegúrese que el reóstato se encuentre en la posición de máxima resistencia intercalada en el circuito del rotor del motor de inducción.

4. Conecte el motor de corriente directa en compound de acuerdo al plano de trabajo, asegurándose que el reóstato de excitación se encuentre en mínima.

5. Los terminales del motor dc con su conexión compound hecha previamente, conéctelos al tablero, en los bornes indicados por la marquilla "ARMADURA MDC".

NOTA: El motor dc actuará como primotor y debe ser arrancado a tensión reducida debido a que la corriente de arranque es muy elevada. Para su alimentación puede hacerlo con una fuente de voltaje dc regulable ó usando la fuente rectificación que se encuentra en el tablero más una fuente de voltaje ac regulable.

6. Si no utiliza la fuente de rectificación, simplemente conecte la fuente de voltaje regulable dc al tablero, en los bornes indicados por la marquilla "ALIMENTACIÓN 120V DC A TENSION REDUCIDA".

7. Si utiliza la fuente de rectificación para alimentar al motor dc proceda así: haga un puente entre los bornes B1 con B3 y B2 con B4. Luego conecte la fuente de voltaje regulable ac al tablero, en los bornes indicados por la marquilla “ALIMENTACIÓN 120 VAC A TENSIÓN REDUCIDA”

NOTA: Asegúrese de que el variador de tensión dc se encuentre en la posición de cero voltios y que el selector que se encuentra en el tablero este en la posición OFF.

- Cierre los contactos de C1 a través del pulsador de arranque localizado en la marquilla “MOTOR DC”
- Arranque el motor dc aumentando lentamente la tensión del variac, hasta que alcance los 120 V DC.
- Cierre los contactos de C2 a través de su respectivo pulsador de arranque localizado en la marquilla “MOTOR DE IDUCC. R. B”
- Empezando desde el punto de resistencia máxima, excite el motor rotor bobinado a través del reóstato hasta el punto N (Punto en que se encuentran cortocircuitados los anillos deslizantes de la máquina de inducción).
- A partir del punto N avance un contacto y Observe si la máquina se está comportando como generador, midiendo tensión de corriente alterna en los terminales del estator, u observando su voltímetro correspondiente.
- Ajuste el reóstato para obtener un voltaje no mayor de 120 V.

- Conecte la carga de 200W a los bornes indicados por la marquilla “SALIDA GENERADOR R.B.” y luego variándola hasta 800W. En todos los casos mida corriente de excitación y tensión de salida a la máquina síncrona, para ambos casos.
- Quite la carga del generador.
- Lleve el reóstato a la posición de máxima resistencia.
- Abra los contactos de C2 a través de su pulsador de parada ubicado en la marquilla “MOTOR DE INDUCC. R. B”
- Apague la máquina dc (primotor), con su respectivo pulsador de parada.
- Retire todas las conexiones realizadas con respecto al tablero.

Motor de inducción rotor bobinado como motor síncrono:

- Energice el banco a través del enchufe trifásico con su respectiva tierra, para alimentar el circuito de control y de potencia a 220 VAC.
- Los terminales del rotor y estator del motor bobinado, conéctelos en los bornes indicados por las marquillas “ROTOR” y “ESTATOR” respectivamente. Tener en cuenta las polaridades mas y menos (del rotor) como las fases R, S y T (del estator), que sean correspondientes a las del tablero.
- Conecte el motor de corriente directa en shunt, Seguidamente, los terminales del motor dc con su conexión shunt hecha previamente, conéctelos al tablero, en los bornes indicados por la marquilla “ARMADURA MDC”.

- Asegúrese que el reóstato se encuentre en la posición de máxima resistencia intercalada en el circuito del rotor del motor de inducción.
- Cierre los contactos de C3, girando el selector en la posición ON.
- Energice el motor a través del contactor C2, haciendo uso de su respectivo pulsador de arranque ubicado en la marquilla "MOTOR DE INDUCC. R.B", inmediatamente gire lentamente el reóstato de arranque y sincronización hacia la derecha, deténgase en el punto medio (punto N), en este momento el motor está trabajando como motor de inducción.
- Gire el reóstato, otro punto hacia la derecha, en este punto el motor está trabajando como motor sincrónico, al igual que en los puntos siguientes del reóstato.
- Gire el reóstato a la siguiente posición y tome los datos de corriente de línea y de excitación.
- Gire el reóstato a la siguiente posición y tome los mismos datos, esto debe hacerlo en forma rápida ya que la corriente de excitación es muy alta en ese punto, posteriormente disminuya la corriente de excitación hasta el punto de mayor resistencia en el reóstato.
- Verifique que los contactos de C1 se encuentran cerrado, esto es, comprobando la tensión generada por la máquina dc entre los bornes B3 y B4.
- Conecte carga a la salida del generador DC. Para ello conecte la carga en los bornes indicados por la marquilla "ALIMENTACIÓN 120 VDC A TENSIÓN REDUCIDA" esto es bornes B3-B4 respectivamente. Asegúrese que el

amperímetro dc se encuentre polarizado correctamente, en caso contrario use el conmutador bipolar que se encuentra en el tablero para invertir las fases.

- Tomar datos necesarios (I, V).
- Desconecte la carga lentamente y apague el generador dc con su respectivo pulsado de parada ubicado en la marquilla “MOTOR DE INDUCC. R.B “
- Abra los contactos de C3, girando el selector a la posición OFF. Seguidamente abra los contactos de C1, con su respectivo pulsador de parada ubicado en la marquilla “MOTOR DC”.
- Deje el reóstato en su posición inicial (posición de máxima resistencia).
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con respecto al banco.

NOTA: Tenga presente que el motor de rotor devanado que se está trabajando como motor síncrono, por ningún motivo debe salirse de sincronismo, si esto sucede desenergícelo.

CUESTIONARIO

- Explique en que difiere un motor síncrono de un motor de inducción en cuanto a excitación, factor de potencia y velocidad se refiere.
- Explique el término “condensador síncrono”.

- ¿Qué función desempeña un condensador sincrónico en una instalación eléctrica?
- Haga un análisis completo de las curvas obtenidas y saque sus propias conclusiones.

EXPERIENCIA N° 4

6.1.4. El motor de inducción jaula de ardilla como generador

OBJETIVOS

- Comprobar que un motor eléctrico de inducción Jaula de Ardilla puede trabajar como generador.
- Obtener la curva característica de un generador de inducción a través del voltaje terminal y la corriente de línea de este, utilizando carga resistiva y carga inductiva.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) Horas.

MATERIALES NECESARIOS

- Grupo motor - generador de inducción de corriente alterna.
- Un (1) Reóstato de campo 1000Ω , 0.6 Amp.
- Un (1) voltímetro DC de 0 - 300 V_{dc}
- Un (1) amperímetro DC de 0 - 15 Amp.
- Un (1) voltímetro AC de 0 - 300 V_{ac}
- Un (1) amperímetro AC de 0 - 25 Amp.
- Una (1) carga resistiva de 0 - 900 Wtt.
- Una (1) carga inductiva de 0.5 y 0.8 HP
- Cables y terminales necesarios

INFORMACION PRELIMINAR

Generación de energía eléctrica a través de un motor de inducción jaula de ardilla: **Si logramos que un motor primario externo maneje un motor de inducción a una velocidad mayor que la síncrona, se invertirá el sentido de su momento de torsión inducido y actuará como generador. Mientras aumenta el**

momento que el motor primario aplica sobre el eje, la cantidad de potencia que produce el generador de inducción también aumenta.

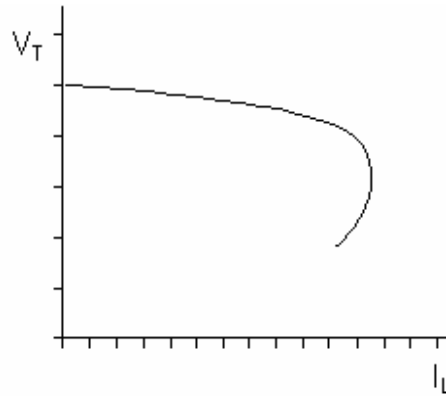
Hay un momento de torsión inducido máximo posible, cuando funciona como generador. Este momento de torsión se conoce como momento de torsión resistente máximo del generador. Si un motor primario aplica un momento de torsión mayor que el momento de torsión resistente al eje de un motor de inducción, este girará a una velocidad excesiva.

Un generador de inducción no puede producir potencia reactiva debido a que carece de un circuito de campo separado, por lo cual se le debe conectar todo el tiempo una fuente externa de potencia reactiva para mantener el campo magnético de su estator

Obtención de la curva de voltaje en terminales del generador en función de la corriente de carga: Es posible que una máquina de inducción funcione como generador aislado, independientemente de cualquier sistema de potencia, mientras halla condensadores disponibles para proporcionar la potencia reactiva requerida por el generador y por cualquier carga conectada.

El mas serio problema que se tiene con un generador de inducción es que su voltaje varia significativamente con los cambios de carga, especialmente carga reactiva. En la figura13 se observa que en caso de conectar una carga inductiva, el voltaje se cae muy rápidamente. Eso sucede porque los condensadores fijos deben suministrar toda la potencia reactiva que necesitan ambos, la carga y el generador. Cualquier potencia reactiva que se desvié hacia la carga, hace regresar al generador a lo largo de su curva de magnetización, causando una mayor caída de voltaje de este.

Figura 13. Característica terminal voltaje-corriente, de un generador de inducción, para carga con factor de potencia constante, en atraso



Cálculos de los condensadores de excitación: **El generador de inducción no puede producir por sí mismo la corriente de excitación para establecer su campo magnético. Dicha corriente de excitación se puede obtener de la red a la cual está conectada la máquina o por medio de bancos de capacitores conectados en paralelo a la salida del generador de inducción para mejorar el factor de potencia.**

Los capacitores y el bobinado del estator del generador de inducción forman un circuito de resonancia donde la potencia reactiva oscila solo entre los capacitores y la máquina de inducción. En esta forma la red no se carga con corriente reactiva y las pérdidas por transmisión se pueden reducir.

Estos condensadores deben estar dimensionados de forma que puedan suministrar al estator la corriente de excitación que necesita la máquina.

La capacitancia requerida por un generador de inducción se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Q}{3 \cdot U^2 \cdot 2p \cdot f}$$

Donde:

U = Tensión de línea.

f = Frecuencia de la red.

Q = Potencia reactiva que se va a compensar.

$$Q = P[\text{Tg}(\phi_1) - \text{Tg}(\phi_2)]$$

P = Potencia activa.

ϕ_1 = Angulo del factor de potencia del generador de inducción.

ϕ_2 = Angulo del factor de potencia al cual se va a corregir.

Por medio de los capacitores podemos obtener un voltaje de salida más alto y estable del generador de inducción.

PROCEDIMIENTO

Generación de energía eléctrica a través de un motor de inducción jaula de ardilla:

- Verificar si los motores están acoplados.

- Tomar los datos de placas de los motores I_n , V_n , R_{pm} , Conexión.
- Conocer y familiarizarse con los componentes del banco. Ver diagrama ubicado en el banco.
- Energizar el tablero a una red trifásica de 220 VAC con su respectiva tierra, a través del enchufe que se encuentra en este.
- Conecte el motor dc en shunt. Seguidamente lleve dicha conexión a los bornes indicados por la marquilla “ARMADURA MDC”.
- Si no utiliza la fuente de rectificación, simplemente conecte la fuente voltaje regulable dc al tablero, en los bornes indicados por la marquilla “ALIMENTACIÓN 220V DC A TENSIÓN REDUCIDA”, esto es bornes B7 y B8.

Si utiliza la fuente de rectificación para alimentar al motor dc proceda así: haga un puente entre los bornes B5 con B7 y B6 con B8. Luego conecte la fuente de voltaje regulable AC al tablero, en los bornes indicados por la marquilla “ALIMENTACIÓN 220 VAC A TENSIÓN REDUCIDA”.

NOTA: Asegúrese de que el variador de tensión dc se encuentre en la posición de cero voltios.

- Conecte los terminales del estator del motor de inducción a los bornes indicados por la marquilla “ESTATOR”. Por otro lado, para que el generador de inducción pueda generar es necesario Asegurarse que los condensadores

estén conectados a las tres fases del motor de inducción a través del breaker Br5.

- Cierre los contactos de C3 con su pulsador localizado en la marquilla “MOTOR DC” y llevarlo a la tensión nominal con la fuente de voltaje regulable.
- Observar en el voltímetro de la mesa de trabajo si efectivamente se está generando. Verifique la tensión de salida indicada por el voltímetro AC del generador de inducción. Regule la velocidad de la máquina hasta que el voltaje generado sea el de placa.
- Medir la velocidad del primotor cuando se está generando el voltaje nominal. proceder a conectar el generador de inducción (contactos de C3) con el pulsador de arranque localizado en la marquilla “MOTOR INDUCC J.A”.
- Conecte cargas resistivas de 0, 300, 600 y 900 W en los terminales de los bornes indicado por la marquilla “SALIDA TRIFÁSICA 220 VAC”. y tome los datos de corriente y tensión
- Conecte cargas inductivas (motor de 0.5 HP y 0.8 HP), tome los datos de corriente y tensión.
- Saque de línea al generador de inducción, abriendo los contactos de C3 con su respectivo pulsador de parada ubicado en la marquilla “MOTOR INDUCC J.A”.
- Detenga el motor DC con su respectivo pulsador de parada.
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con respecto al banco.
- Dibuje la curva V_T Vs I_c .

CUESTIONARIO.

Preguntas sobre Generación de energía eléctrica a través de un motor de inducción JAULA DE ARDILLA:

- ¿Por qué el voltímetro de corriente alterna no marcó señal de voltaje sin los condensadores conectados?
- Qué corriente marca el amperímetro AC sin los condensadores conectados y por qué da este valor?
- ¿Bajo que condiciones de deslizamiento funciona la maquina asíncrona como generador?
- Por que un generador de inducción siempre suministra una corriente capacitiva a las barras?
- ¿Qué sucede con la señal de salida al conectar cargas. Qué pasa con la velocidad, explique.
- ¿Explique que papel hacen los condensadores en el banco del generador de inducción?

Preguntas sobre Obtención de la curva de voltaje en terminales del generador en función de la corriente de carga:

- ¿Qué sucede con la señal de salida al conectar cargas resistivas?

- ¿Qué sucede con el generador cuando la carga instalada se lleva a la potencia nominal del generador, explique?

EXPERIENCIA N° 5

6.2. MÁQUINA SINCRONA

6.2.1. verificación de la resistencia de los devanados de un alternador sincrónico y comportamiento del alternador sincrónico en circuito abierto”.

OBJETIVOS

- Obtener experimentalmente la resistencia eléctrica en los devanados de un alternador sincrónico.
- Obtener en forma experimental partiendo del comportamiento del alternador sincrónico en circuito abierto, la curva de saturación del mismo.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) Horas

MATERIALES NECESARIOS

- Grupo Motor – Alternador No. 1
- 1 Amperímetro CD (0– 3 Acd)
- 1 Voltímetro CD (0 - 20 Vcd)
- 1 Voltímetro CA (0– 300 Vca)
- Cables y Terminales necesarios

INFORMACIÓN PRELIMINAR

Cuando se varía la carga en un alternador, el voltaje en los terminales puede decrecer o incrementarse dependiendo del comportamiento de la carga, existen tres (3) factores de los cuales depende esta variación como son:

- Resistencia Efectiva del Devanado del Alternador.
- Reactancia del Devanado del Alternador.
- Reacción en la Armadura del Alternador.

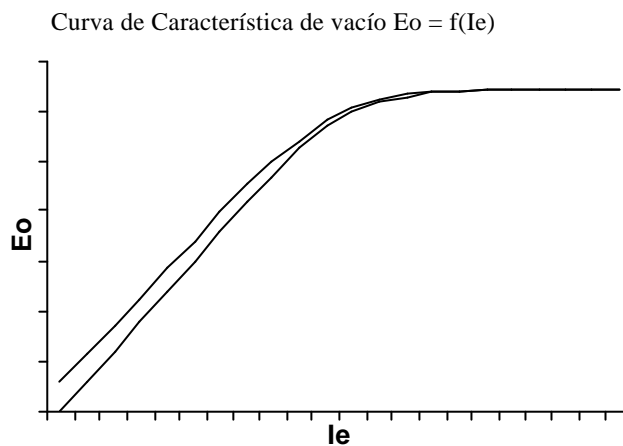
El primero de estos factores, el cuál es el objeto de análisis en esta práctica, siempre origina una caída de tensión; la caída por resistencia efectiva hace parte de la caída de tensión total producida por la impedancia síncrona, la cuál es la suma vectorial de la caída de tensión de la resistencia efectiva del alternador y la caída en la resistencia síncrona.

Debido a lo anterior, el voltaje generado (E_g) por un alternador sincrónico, debe ser lo suficientemente alto para vencer estas caídas de tensión. De la prueba de vacío puede determinar entre otros:

- Pérdidas por fricción y aerodinámicas.
- Pérdidas en el núcleo.
- Puntos sobre la curva de saturación del circuito abierto.
- Potencia absorbida por la excitatriz.

La prueba de circuito abierto requiere la determinación de la entrada de potencia mecánica a la máquina mientras se le mueve a la velocidad síncrona. Esto se logra midiendo la potencia de entrada del primer motor y luego sustrayendo la pérdida en el mismo. La curva de un alternador síncrono se muestra en la figura 14.

Figura 14. Curva característica en vacío de un generador síncrono.

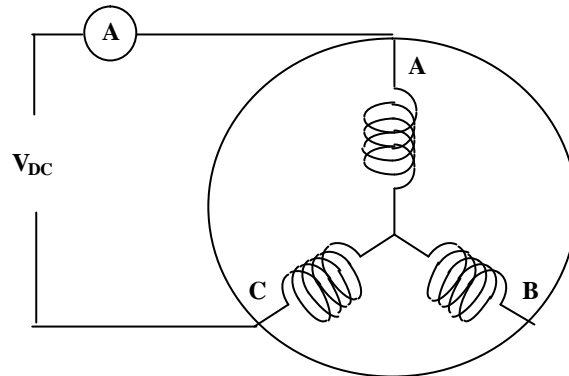


PROCEDIMIENTO

Verificación de la resistencia de los devanados de un alternador síncrono:

- Conecte de acuerdo a la figura 15, una fuente de alimentación de 20V DC regulados a dos de los terminales de alimentación (utilice un reóstato de 44Ω en serie de una de las fases), verificando que la corriente no vaya a superar los 2A, tome lectura de corriente y voltaje en el devanado que haya hecho la conexión (A-C).

Figura 15. Verificación de la resistencia de los devanados



- Repetir el procedimiento anterior para la conexión (C-B) y (B-A)

Prueba en circuito abierto

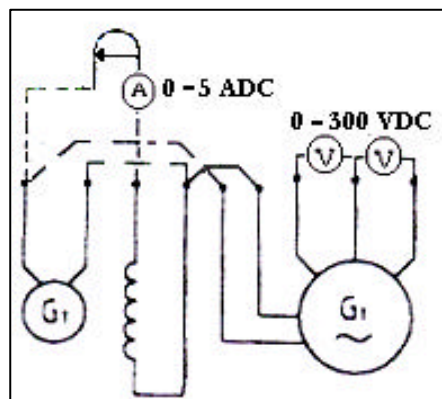
PROCEDIMIENTO

- Energice el banco a través de los bornes indicado por la marquilla "ALIMENTACIÓN 220VAC". Ubicado en la parte lateral de dicho banco.
- Utilice el grupo motor – generado # 1 para esta prueba.
- Conecte el primotor (motor DC # 1) en compound de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo. Verificar que el conmutador tripolar, este en

la posición 2 (abierto) y que el reóstato de excitación de M1 este en la mínima resistencia (posición 100%).

- Conecte el alternador G1 de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo intercalando un amperímetro DC de escala reducida (0 – 5A) y un voltímetro DC (0– 300 VDC) en dos de las fases del generador (puede utilizar el disponible en el banco para ello seleccione dos fases con el selector de voltaje). Ver figura 16.
- Asegúrese que el reóstato de excitación de G1 se encuentre en su valor de máxima resistencia (posición 0%).

Figura 16. Prueba en circuito abierto.



- Energice el motor M1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Con el reóstato de excitación del motor M1, lleve el grupo, a las r.p.m. nominales (1800 r.p.m.).
- Tome lecturas de voltaje sin que circule corriente de campo en el alternador.
- Incremente la excitación en el generador a través de reóstato de excitación de G1, y cada 250mA en la corriente de campo, tome las lecturas de corriente de excitación y voltaje de generación hasta los 230 V dc. Teniendo en cuenta que la corriente de excitación no supere los 4 amperios.

Nota: Es necesario mantener la velocidad del sistema constante y no devolver en la toma de corriente

- Una vez tomado el último valor, proceda a repetir el ítem anterior, en forma inversa sin apagar el grupo.
- Proceda a apagar el motor dc con su respectivo pulsador de parada.
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con el banco.

CUESTIONARIO

- Con los datos obtenidos calcule la resistencia de los devanados. Recuerde que la resistencia de CA es mayor que la resistencia óhmica de DC.
- ¿Qué pérdidas se pueden determinar de la prueba de vacío del alternador trifásico?

- Al realizar la prueba de vacío, antes de excitar el alternador, es posible que haya voltaje remanente en el alternador. Explique a que se debe.
- Con los datos tomados proceda a elaborar la curva de saturación (E_o vs I_e) para el generador. Esta se necesitara para las siguientes prácticas.

EXPERIENCIA N° 6

6.2.2. Prueba de corto circuito del alternador sincrónico - determinación de la impedancia sincrónica y porcentaje de regulación.

OBJETIVOS

- Obtener mediante la prueba de cortocircuito, la impedancia síncrona del generador sincrónico trifásico.

- Mediante la prueba de vacío, Resistencia en CD y CA en la armadura por fase y cortocircuito obtener la reactancia síncrona del generador trifásico y su regulación.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) horas

MATERIALES NECESARIOS

- Primotor 1-Generador 2.
- Amperímetro CD (0-5 A).
- Amperímetros CA (0-20 A).
- Cables.

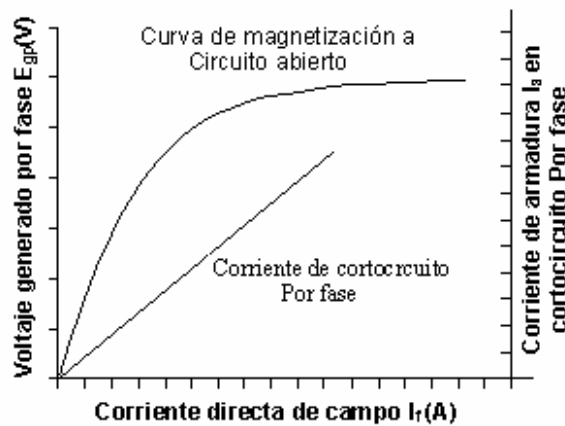
INFORMACION PRELIMNINAR

La característica de cortocircuito representa la corriente de armadura (I_a) como una función de la corriente de cortocircuito de campo (I_f) o de la F.M.M. del campo M_f con los terminales de la armadura en cortocircuito. Como la impedancia interna es una carga bastante retrasada y de bajo factor de potencia, el efecto desmagnetizante es tal que reduce mucho el flujo de campo y el voltaje generado.

Así, se puede usar corrientes de campo bastantes grandes sin producir corrientes de cortocircuitos demasiado altas.

La impedancia síncrona es siempre la relación entre el voltaje de la curva de corto abierto y la corriente de la curva de cortocircuito. Cuando las dos curvas son rectas, la impedancia síncrona es constante, sin embargo, arriba de la joroba de la curva de saturación, disminuye la impedancia síncrona medida que las curvas se aproximan entre sí ver figura 17.

Figura 17. Curva característica de circuito abierto y cortocircuito



Cuando las pruebas se llevan a cabo en un generador síncrono, para determinar su regulación, es costumbre efectuar los cálculos de tal manera que la caída de

voltaje producida por la inductancia (V_L), y la caída de voltaje producida por la reacción de armadura (V_ϕ), se combine en una sola, esta combinación es posible, debido a que el generador en cortocircuito se comporta como una inductancia pura, lo cual trae como consecuencia que la caída de tensión y corriente se desfasen aproximadamente noventa (90) grados entre si. Las impedancias de cortocircuito son bajas.

Debido a la caída de voltaje producida por la inductancia (V_L) y por la reacción de armadura (V_ϕ), estas caídas son combinadas como caída por reactancia sincrónica ($V_L + V_\phi$). Si esta caída se divide por la corriente de carga (I_L), la cual se refiere a la corriente nominal de carga del generador sincrónico, dependiendo de su conexión interna, lo cual se obtendrá la reactancia sincrónica del generador sincrónico (X_s).

$$X_s = \frac{V_L + V_j}{I_L}$$

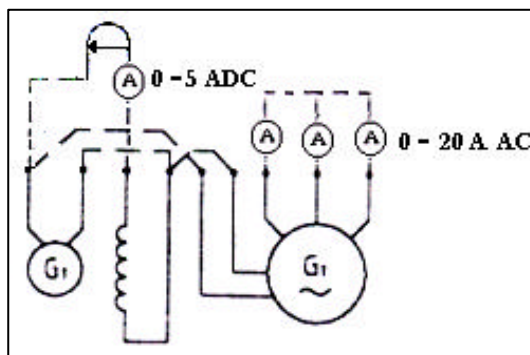
Luego de hallado R_a y X_s , se puede hallar el valor de la impedancia síncrona (Z_s), de acuerdo a la expresión:

$$Z_s = \sqrt{R_a^2 + X_s^2}$$

PROCEDIMIENTO

- Energice el banco a través de los bornes indicado por la marquilla "ALIMENTACIÓN 220 VAC". Ubicado en la parte lateral de dicho banco.
- Utilice el grupo motor – generado # 1 para esta prueba.
- Conecte el primotor (motor DC # 1) en compound de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo. Verificar que el conmutador tripolar, este en la posición 2 (abierto) y que el reóstato de excitación de M1 este en la mínima resistencia (posición 100%).
- Conecte el alternador G1 de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo, intercalando un amperímetro de escala reducida (0 –50), en el circuito de excitación de G1 (excitatriz). Asegúrese que el reóstato de excitación de G1 se encuentre en su valor de máxima resistencia (posición 0%).
- Conecte las fases del generador G1 en cortocircuito intercalando en cada fase amperímetros de CA de (0 – 20 A), para ello use una bornera (ver figura 18).

Figura 18. Prueba de cortocircuito



NOTA: La corriente de cortocircuito puede ser de hasta 10 veces la corriente a plena carga, por tanto se acostumbra a colocar reactores limitadores de corriente en serie con cada fase del estator del generador, que limiten la corriente aproximadamente el doble de la corriente de plena carga. (Para esta prueba use reactores, disponibles en el laboratorio).

- Proceda arrancar el motor M1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Con el reóstato de excitación de M1, moviéndolo a la derecha, lleve el primotor a 1800 r.p.m.
- Comience a incrementar la excitación en el generador a través de su reóstato de G1 y cada 250mA registre la corriente en cada uno de los amperímetros, hasta que halla alcanzado una corriente de campo aproximadamente 3 amperios.
- Disminuya la corriente de campo en el generador y asegure el motor.
- Para cada disposición de los amperímetros, elabore la tabla con: I_f - I_{a1} - I_{a2} - I_{a3} - I promedio. Obtenga el promedio de I_a para cada una de las lecturas de los amperímetros, y elabore las dos curvas respectivas: I_a vs I_f .
- Proceda a apagar el motor dc con su respectivo pulsador de parada.
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con el banco.

CALCULOS

- Hallar la impedancia sincrónica, reactancia sincrónica, regulación.
- Los datos medidos en el laboratorio en donde se efectuó la prueba de la resistencia a CD y CA en la armadura por fase, prueba de circuito abierto y prueba de cortocircuito, han sido efectuadas en un generador con las siguientes características: 2KVA, 220V, 1800rpm, conexión Y, con una corriente nominal de 5.25A y factor de potencia de 0.8.

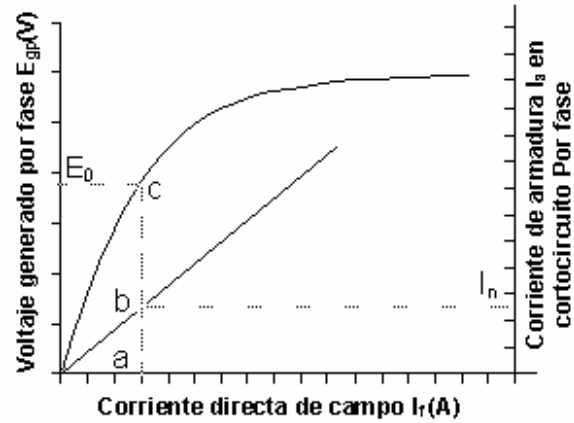
De acuerdo a la prueba de resistencia en corriente directa (R_{cd}), se calcula la resistencia en corriente alterna (R_{ca}), siendo su valor: $R_{ca} = 1.5 * R_{cd}$.

De la grafica de circuito abierto y cortocircuito Figura 19, localizamos la corriente nominal de armadura (punto b); y el punto a, que corresponde la excitación necesaria (I) para producir corriente de cortocircuito. Pero esta misma excitación producirá un voltaje generado a circuito abierto igual E_0 , la cual se halla trasladándose del punto b, hacia el punto de corte con la curva de vacío (punto c).

La correspondiente tensión de fase viene dada por:

$$E_0 = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

Figura 19. Obtención de la impedancia síncrona gráficamente.



En donde:

E_0 : Tensión de fase del generador sincrónico.

V : Tensión en los bornes del generador sincrónico.

Para el cálculo de la impedancia sincrónica (Z_s), se utiliza la siguiente expresión.

$$Z_s = \frac{V}{\sqrt{3} * I_a}$$

Z_s : Impedancia sincrónica por fase

I_a : Corriente por fase en cortocircuito para excitación del 200%

El valor de la reactancia sincrónica, sería:

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2}$$

X_s : reactancia sincrónica del generador.

Teniendo en cuenta el factor de potencia de (0.8) del generador sincrónico.

La F.E.M. por fase en vacío, se encuentra utilizando la siguiente expresión:

$$E_o = \sqrt{(V \cos \phi + I_a R_a)^2 + (V \sin \phi + I_a X_s)^2}$$

Entonces el porcentaje de regulación se obtiene así:

$$\%R = \frac{E_o - V}{V} * 100$$

EXPERIENCIA N° 7

6.2.3. Regulación del alternador síncrono con carga resistiva, inductiva y capacitiva.

OBJETIVOS

- Obtener experimentalmente la regulación de un alternador sincrónico con carga resistiva, inductiva y capacitiva.
- Comparar el comportamiento de un alternador sincrónico con los diferentes tipos de carga.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) horas.

MATERIALES NECESARIOS:

- Grupo Motor – Alternador N°1.
- Banco de resistencia variable (bombillos de 200w en Delta).
- Carga Inductiva.
- Carga Capacitiva.
- 2 Amperímetros C.A. (0-10).
- 3 Voltímetros C.A. (0-300)
- Cables y terminales necesarios.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

El incremento de la carga de un alternador afecta el voltaje en sus terminales de la misma manera que ocurre con un alternador CD; en el caso del alternador esta variación depende del tipo de carga, entre menor sea el factor de potencia capacitivo, mayor, será el aumento de tensión desde vacío a plena carga, en cambio cuanto menor sea el factor de potencia inductivo, tanto mayor será la disminución de tensión de vacío a plena carga.

El aumento de Factor de Potencia de una carga inductiva a un Factor de Potencia unidad, resulta todavía insuficiente para producir una regulación de tensión de cero por ciento (0%), la tensión en los bornes sufre una caída. Para cargas capacitivas, la reacción de inducido es magnetizante y tiende a producir una tensión generada adicional al aplicar una carga, produciendo una regulación negativa. Para cargas inductivas la reacción del inducido es desmagnetizante y sus efectos de reducción de la tensión generada, junto con las caídas de tensión internas resistiva y reactiva en el inducido, produce una rápida disminución de la tensión en los bornes del alternador al aplicar la carga.

La regulación de un alternador sincrónico se calcula así:

$$V_R = \frac{V_N - V_P}{V_P}$$

V_N = Voltaje nominal de vacío.

V_P = Voltaje nominal de plena carga.

PROCEDIMIENTO.

Prueba con carga resistiva:

- Energice el banco a través de los bornes indicado por la marquilla "ALIMENTACIÓN DE 220 VAC". Ubicado en la parte lateral de dicho banco.
- Utilice el grupo motor – generado # 1 para esta prueba.
- Conecte el primotor (motor DC # 1) en compound de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo. Verificar que el conmutador tripolar, este en la posición 2 (abierto) y que el reóstato de excitación de M1 este en la mínima resistencia (posición 100%).
- Conecte el alternador G1 de acuerdo al diagrama disponible en el banco de trabajo, Asegúrese que el reóstato de excitación de G1 se encuentre en su valor de máxima resistencia (posición 0%).
- Conecte el banco de resistencia (Bombillos 200w en Delta) a los terminales de salida indicado por la maquilla " SALIDA BARRAJE 220VAC"
- Proceda a arrancar el motor DC M1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Con el reóstato de excitación de M1, ajuste la corriente de campo del motor de tal manera que el grupo gire a las r.p.m. nominales.
- Regule el reóstato del circuito de excitación del alternador G1 para obtener el voltaje nominal en los terminales.
- Oprima el botón correspondiente del generador G1 para conectarlo al barraje de acople.
- Conecte cargas a la salida del barraje, Comenzando a incrementar cada 600w, registre la corriente y el voltaje en los terminales del generador.

Nota: Para averiguar cual es la caída de voltaje del generador en la situación de máxima carga y compararla cuando el generador se encuentra en vacío, no ajuste el voltaje en los terminales del generador con el incremento de la carga.

- Luego de registrar los datos disminuya la carga, teniendo en cuenta las r.p.m.
- Saque el generador G1 de línea con su pulsador correspondiente.
- Apague el motor DC N°1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Retire la carga resistiva del barraje de acople de 220 VAC.

Prueba con carga inductiva:

- Coloque el reóstato de excitación de M1 en mínima resistencia y el reóstato de excitación de G1 en máxima resistencia.
- Conecte la carga inductiva (Reactancias en Delta) a la salida del barraje de acople 220 VAC.
- Proceda a arrancar el motor DC M1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Con el reóstato de excitación de M1, ajuste la corriente de campo del motor de tal manera que el grupo gire a las r.p.m. nominales.
- Regule el reóstato del circuito de excitación del alternador G1 para obtener el voltaje nominal en los terminales.

- Oprima el botón correspondiente del generador G1 para conectarlo al barraje de acople 220 VAC. Proceda a registrar la corriente y el voltaje en los terminales del generador

Nota: Tener en cuenta la conexión interna de la carga inductiva de acuerdo al voltaje del alternador.

- Saque el generador G1 de línea con su pulsador correspondiente..
- Apague el motor DC N°1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Retire la carga inductiva del barraje de acople de 220 VAC.

Prueba con carga capacitiva:

- Coloque el reóstato de excitación de M1 en mínima resistencia y el reóstato de excitación de G1 en máxima resistencia.
- Conecte la carga capacitiva (capacitores en Delta) a la salida del barraje de acople de 220V CA.
- Proceda a arrancar el motor DC M1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Con el reóstato de excitación de M1, ajuste la corriente de campo del motor de tal manera que el grupo gire a las r.p.m. nominales.

- Regule el reóstato del circuito de excitación del alternador G1 para obtener el voltaje nominal en los terminales.
- Oprima el botón correspondiente del generador G1 para conectarlo al barraje de acople 220 VAC. Proceda a registrar la corriente y el voltaje en los terminales del generador

Nota: Tener en cuenta la conexión interna de la carga capacitiva, de acuerdo al voltaje del alternador.

- Saque el generador G1 de línea con su pulsador correspondiente.
- Apague el motor DC N°1 con su respectivo pulsador de arranque.
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con el banco.

CALCULOS

Prueba con carga resistiva:

- De acuerdo con los datos tomados (V_{gen} , I_{gen} , Kw), elabore una tabla.
- Para la potencia emplee la siguiente fórmula: $P = \sqrt{3}VI$
- Calcule el valor de regulación.
- Elaborar las curvas V_{gen} Vs I_{gen} .

Prueba con carga inductiva y capacitiva:

- Elabore una tabla para carga inductiva y capacitiva con los datos de V_{gen} , I_{gen} , Kw, F.P.
- Para la potencia emplee la siguiente fórmula: $P = \sqrt{3}VI \cos\phi$
- Calcule la regulación para cada caso.
- Elabore las gráficas V_{gen} Vs I_{gen} , para cada caso.

CUESTIONARIO.

- ¿Cómo es el comportamiento del alternador, cuando trabaja con carga Resistiva, Inductiva, y Capacitiva?
- ¿Por qué, cuando el alternador tiene carga capacitiva, el voltaje en los terminales se incrementa con relación al voltaje nominal?
- ¿Cuales son los factores más incidentes en la variación de voltaje en los terminales del alternador?
- ¿En qué consiste la reacción de armadura en un alternador sincrónico?

EXPERIENCIA Nº 8

6.2.4. Maniobra de paralelaje y acoplamiento de los alternadores síncronos - transferencia de carga.

OBJETIVOS

- Ejecutar la maniobra de paralelaje en forma práctica, verificando paso a paso todos los requisitos necesarios para ejecutar esta operación.
- Obtener experimentalmente la transferencia de carga de dos alternadores en paralelo.

TIEMPO DE DESARROLLO

Tres (3) Horas

MATERIALES NECESARIOS

- Banco del grupo motor - generador (máquinas síncronas)
- Amperímetro de DC
- Banco de resistencia variable.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

Maniobra de paralelaje: Antes de colocar en paralelo o sincronizar dos alternadores es necesario que el voltaje efectivo, la frecuencia y secuencia de fase de la máquina que entra en línea, debe ser igual al voltaje de las barras.

Aunque en forma práctica algunos de estos datos no se verifica estrictamente, ya que en la mayoría de los montajes no se cuenta con la instrumentación requerida para la determinación del factor de potencia, es necesario efectuar una verificación para que se tenga la misma regulación de carga reactiva en montajes nuevos o en alternadores de diferentes tipos, puesto que una gran diferencia en esta regulación, puede originar que uno de los generadores tienda a asumir toda la

carga. Este fenómeno se presenta debido a que la corriente reactiva de excitación es proporcional a la regulación. Por lo tanto en el momento de la sincronización de los alternadores con regulación de potencia reactiva diferente, el de mayor regulación va a tender a asumir mayor cantidad de carga hasta anular completamente al otro alternador o también se puede presentar el caso de llegar a arrastrarlo.

Una vez cumplido los requisitos indicados inicialmente, es necesario que en el instante, en el cual el interruptor de acople o paralelaje se cierre, el voltaje V_{AB} , del alternador que entra, este en fase con el voltaje V_{ab} del alternador que esta en servicio, de igual manera debe ocurrir con las otras dos fases.

Cuando un alternador A, esta en línea y se quiere paralelar con otro alternador B, el cual ya tiene excitación, se puede observar que las lámparas de sincronización (cuando existen) se prenden y se apagan al mismo tiempo. La rapidez de oscilación de las lámparas depende de la diferencia de frecuencia entre los terminales de los dos alternadores.

La frecuencia de esta oscilación se puede disminuir hasta que las lámparas permanezcan apagadas o su variación es lenta, variando lentamente la velocidad de alguna de las dos máquinas motrices; si las lámparas no prenden al mismo tiempo, significa que las máquinas no tienen la misma secuencia de fase. Esto se soluciona intercambiando dos terminales del alternador entrante.

Transferencia de carga

Para efectuar la transferencia de carga de dos alternadores en paralelo, es necesario incrementar la velocidad del motor de uno de los dos alternadores, con

lo cual éste asumirá más carga, mientras disminuye la velocidad del otro, haciendo que este segundo pierda carga. Un aspecto sobre el cual es necesario hacer énfasis, es que la carga entre dos alternadores no puede ser transferida variando el campo de excitación de los alternadores.

Cuando por alguna razón voluntaria o involuntaria, uno de los dos alternadores incrementa su velocidad, esto será acompañado de un flujo de corriente entre los devanados de los dos alternadores; las características de voltaje y amperaje de la carga permanecen constantes, y el flujo de corriente será del que lleva menos velocidad al que lleva más velocidad. Esta corriente que circula entre los dos alternadores previene que salga del sincronismo, porque la energía representada en este flujo de corriente retarda al más rápido y acelera al más lento; esta acción es de corta duración, pero mientras esta sucediendo los rotores de los dos alternadores incrementaran y disminuirán momentáneamente la velocidad con respecto a las posiciones estables de rotación. Este fenómeno se llama Hunting.

PROCEDIMIENTO

Maniobra de paralelaje

- Energice el banco a través de los bornes indicado por la marquilla "ALIMENTACIÓN DE 220 VAC". Ubicado en la parte lateral de dicho banco.

- Para esta prueba se utilizaran los dos grupos motor- generador N°1 Y N°2.
- Conecte los dos grupos de acuerdo al diagrama que se encuentra en el banco de trabajo.
- Coloque el conmutador tripolar en la posición 2 y el reóstato de excitación de G1 y G2 en máxima resistencia (posición 0%).
- Ajuste los reóstatos de M1 Y M2 a su mínima resistencia (posición 100%).
- Arranque el motor de corriente continúa, correspondiente al grupo motor - generador N°1, oprimiendo su respectivo pulsador de arranque. Ajuste la velocidad a 1800 r.p.m.
- Incremente la excitación del alternador G1, hasta que el voltaje en los terminales sea el nominal.
- Ahora Arranque el motor de corriente continúa, correspondiente al grupo motor generador N°2, oprimiendo su respectivo pulsador de arranque, ajustando la velocidad a 1800 r.p.m. Seguidamente se incrementa la excitación del generador G2 hasta que el voltaje en los terminales sea el nominal.
- Oprima el pulsador que coloca en línea al generador G1.

NOTA: El generador G2 entra en línea con el barraje de acople hasta que se hallan cumplido las condiciones de paralelaje.

- Ajuste la frecuencia de algunas de las dos máquinas hasta llevarla muy cercana a la de la otra. Esto se consigue variando la velocidad de la máquina motriz.
- Cuando las dos frecuencias sean iguales, oprima el pulsador de acople; observe que el sincronoscopio se activará.
- Si las lámparas están parpadeando mientras que el sincronoscopio gira lentamente, ajuste las r.p.m. de cualquiera de las dos máquinas hasta que las lámparas se apaguen completamente.
- Al tener las lámparas apagadas y la aguja del sincronoscopio en las "12", coloque en línea el generador entrante, oprimiendo el interruptor correspondiente. Observe que las lámparas de sincronización se apagan y el sincronoscopio se detiene. Ya están las dos máquinas en paralelo.
- Realice diferentes maniobras, como aumentar o disminuir la excitación de unos de los alternadores o aumentando o disminuyendo la velocidad de una de las dos máquinas motrices. Observe cuál es comportamiento de los dos generadores.
- Ahora proceda a sacar los alternadores de línea, uno a uno.

Transferencia de carga:

- Una vez estando las máquinas DC (M1 y M2) energizadas, asegúrese de que el conmutador tripolar se encuentre en la posición 2.

- Conecte al barraje de 220 voltios indicado por la marquilla “salida barraje de 220 VAC” el banco de resistencia que actuará como carga (lámparas de 220 voltios con potencia entre 100 y 200 vatios).
- Oprima el pulsador que coloca en línea al generador G1.

NOTA: El generador G2 entra en línea con el barraje de acople hasta que se hallan cumplido las condiciones de paralelaje.

- Ajuste la frecuencia de algunas de las dos máquinas hasta llevarla muy cercana a la de la otra. Esto se consigue variando la velocidad de la máquina motriz.
- Cuando las dos frecuencias sean iguales, oprima el pulsador de acople; observe que el sincronoscopio se activará.
- Si las lámparas están parpadeando mientras que el sincronoscopio gira lentamente, ajuste las r.p.m. de cualquiera de las dos máquinas hasta que las lámparas se apaguen completamente.
- Al tener las lámparas apagadas y la aguja del sincronoscopio en las "12", coloque en línea el generador entrante (G2), Observe que en este momento la carga, la tiene toda la máquina que venia trabajando inicialmente y la máquina entrante no suministra potencia activa, lea los vatímetros.

- Incremente muy lentamente la velocidad del alternador entrante, a la vez que disminuye la velocidad del otro alternador, hasta que observe que en los instrumentos de medidas que ambas máquinas están entregando igual carga.
- Realice diferentes maniobras, como aumentar o disminuir la excitación de unos de los alternadores o aumentando o disminuyendo la velocidad de una de las dos máquinas motrices. Observe cuál es el comportamiento de los dos generadores.
- Una vez realizado y observado el comportamiento de los alternadores, proceda a sacar los alternadores de línea (G1 y G2), uno a uno.
- Apague las máquinas DC (M1 Y M2) con su respectivo pulsador de parada.
- Retire todas las conexiones realizadas previamente con respecto al banco.

CUESTIONARIO

- ¿Qué es un sincronoscopio y cuál es su conexión?
- ¿Que importancia tiene dentro de la operación de paralelaje, el factor de potencia de cada alternador?
- ¿En qué consisten los métodos de lámparas encendidas y lámparas apagadas para sincronizar alternadores?
- ¿Cuál es la diferencia existente para transferir carga entre dos alternadores, y transferir carga entre dos generadores de corriente continúa?

- ¿Qué sucede cuando dos alternadores están en paralelo y se varía la velocidad de uno de los alternadores que están en paralelo bajo condición de carga, y cuando no tienen carga?
- ¿Qué pasa cuando dos alternadores están en paralelo y varía la excitación de cualquiera de ellos?

EXPERIENCIA No. 9

6.2.5. Funcionamiento de un alternador sincrónico, como un motor sincrónico.

OBJETIVOS

- Comprobar en forma experimental el trabajo de un alternador sincrónico, como un motor sincrónico.
- Elaborar las curvas en “V” para diferentes condiciones de carga de un motor sincrónico.

TIEMPO DE DESARROLLO

Cuatro (4) horas

MATERIALES NECESARIOS

- grupo motor – alternador
- Banco de resistencia variable (Bombillos en Delta)
- Amperímetro CD (0 – 5 Amp. DC)
- Amperímetro CA (0 – 10 Amp. AC)
- Voltímetro CD (0– 300 V DC)
- Amperímetro CD (0 – 10 Amp. DC)
- Cables, una bornera y Terminales necesarios

INFORMACIÓN TEÓRICA PRELIMINAR

Según lo visto en la maquinaria CA, un alternador sincrónico es excitado con corriente directa con el fin de crear un flujo magnético, el cual al ser cortado por los diferentes conductores de su devanado van a producir una fuerza electromotriz.

De acuerdo a la teoría del motor sincrónico, la construcción de éste difiere en muy poco a la del alternador sincrónico, por lo tanto es posible y es el objeto de este laboratorio demostrar que un alternador se puede trabajar como motor sincrónico.

Cuando la corriente de excitación de un motor sincrónico se reduce, absorbe una corriente de inducido inductivo que es superior a la corriente mínima para factor de potencia unidad, o sea, a excitación normal, de igual manera, cuando el motor está sobre excitado, la corriente necesaria, a excitación normal, para desarrollar el par necesario, correspondiente a una carga determinada. Aplicando una carga

constante al eje de un motor sincrónico y variando la corriente de excitación desde sub-excitación a sobre-excitación, y registrando la corriente de inducido en cada momento, se obtienen las curvas en V , de que se deduce que es un motor sincrónico se puede utilizar para corregir el factor de potencia de un sistema.

Con el desarrollo que ha tenido el motor sincrónico en los últimos tiempos, hoy puede tener aplicaciones tales como accionamiento de dinamos, compresores de amoníaco y de aire, bombas de agua, molinos de caucho, propulsión de buques, etc. Pero en muchas ocasiones aparte de accionar determinada máquina es utilizado para corregir el factor de potencia de una instalación eléctrica.

Normalmente estos motores tienen un torque de arranque muy bajo, por lo cual es necesario emplear métodos auxiliares para llevarlos al sincronismo; uno de estos métodos es adaptar en el extremo de los polos de excitación, una disposición de jaula de ardilla, de tal manera que en el momento del arranque el motor sincrónico arranca como motor de inducción.

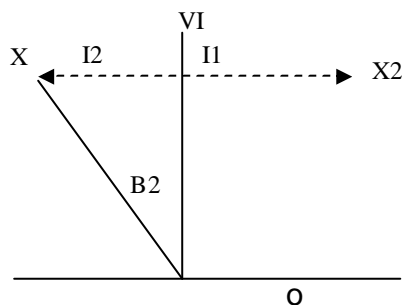
Una de las características importantes del motor sincrónico es su velocidad promedio constante, sin tener en cuenta la carga, esto en el caso de que además de corregir el factor de potencia el motor mueva una carga cualquiera; al tener la velocidad promedio constante, la regulación de esta máquina será por lo tanto cero.

Hay dos factores que determinan la velocidad en un motor síncrono:

- Frecuencia en línea de alimentación.
- El número de polos de la máquina.

Se había comentado que al variar la excitación en este tipo de máquinas, se variaba también el factor de potencia, si se grafica esta variación de excitación tenemos como resultado las llamadas curvas en V, cuya ventaja es poder analizar las condiciones de trabajo para este motor cuando va a trabajar en paralelo con un sistema eléctrico para corregir el factor de potencia del sistema.

Figura 20. Variación del factor de potencia para un motor síncrono



Con la ayuda de las curvas en V, se puede obtener el factor de potencia para cualquier valor de la intensidad de la corriente en la línea de alimentación y para un valor determinado de la potencia absorbida.

Según la Fig 20 el factor de potencia:

Costo = I_1/I_2 siendo I_1 = valor de la corriente cuando el factor de potencia es 1.

I_2 = el valor de la intensidad para cierto valor del factor de potencia.

(V') = tensión por fase, y para todos los valores de F:

$$I_2 = I_1 / \cos F$$

PROCEDIMIENTO

1. Energice el banco a través de los bornes indicado por la marquilla "ALIMENTACIÓN DE 220 VAC". Ubicado en la parte lateral de dicho banco.
2. Desconectar los dos puentes rectificadores (Terminales 3 y 4, 12 y 13) con el fin de que no haya tensión en los bornes de salida para la armadura de los motores DC. O asegúrese de no conectar los terminales de la armadura del motor dc al tablero cuando actúe como generador. Para este caso use una bornera independiente para conectar los terminales de la armadura del generador dc y la carga.
3. Conecte el motor DC como generador auto excitado sin conectarlo a los bornes de la armadura, pero conectando el reóstato de excitación de M1 al campo y aumentándolo hasta el máximo.
4. Conecte la alimentación trifásica a los terminales de las barras "salida de acople paralelo 220V".
5. Coloque el conmutador tripolar en la posición uno, para el arranque del motor síncrono.
6. Conecte el motor síncrono a los terminales del alternador G1 (R1, S₁, T₁).

7. Asegúrese de que el reóstato del circuito de excitación de G1, se encuentre en la máxima resistencia.

8. Conecte un amperímetro de 0-5 CD en el campo del motor síncrono y un amperímetro de 0-10 CA en una cualquiera de las fases del motor síncrono.

9. Conecte la carga variable a los terminales de la armadura del generador y deje la carga en 0.

10. Para arrancar el motor síncrono cierre los contactos de CM_1 cuyo accionamiento se encuentra en la marquilla "MOTOR DC 1" y luego cierre los contactos CG_1 cuyo accionamiento se encuentra en la marquilla "ALTERNADOR G1".

11. Cuando el motor síncrono haya alcanzado su velocidad nominal, lleve rápidamente el conmutador tripolar a la posición 2, para tener lecturas del vatímetro y cosenofímetro

12. Teniendo el motor síncrono en vacío, regule 250 ma en la corriente de excitación en el reóstato de excitación de G1 y tome la lectura de I de línea del motor.

12. Regule el reóstato de excitación de G1 aumentándola cada 250 ma hasta 500 ma y tome lectura de la I de línea de motor.

13. A medida que vaya aumentando la I_{exc} observe el momento en que el F.P. sea 0.8 en retraso, en este momento tome lecturas de I_{exc} e I línea. Repita el mismo procedimiento para F.P. unidad y F.P. 0.8 en adelante. Tenga cuidado en este momento, pues el motor entra en inestabilidad. Desexcite el motor y continúe con el siguiente paso.

14. Regule 220 V en el generador y gradúe 200 vatios en el banco de resistencias, manteniendo la tensión constante, repita los pasos (12, 13 y 14) tomando también los datos para F.P. 0.7 en atraso y adelante. Tenga cuidado con la inestabilidad del motor. Desexcite el motor.

15. Gradúe 400 vatios en el banco de resistencias y repita el paso (15) pero empezando con una I_{exc} de 500 ma (esto con el fin de que I de línea no sea mayor de 5Amp.). Desexcite el motor.

16. Gradúe 600 vatios en el banco de resistencias y siga las instrucciones del paso (15) , pero empezando con una I_{exc} de 560 ma (de esta forma se evita que I línea sea mayor que 5 Amp.) Desexcite el motor.

17. Desexcite el generador de CD, desconecte el banco de resistencias, desenergice los contactos de CG_1 y luego CM_2 . Remueva las conexiones del motor y del generador y conecte los puentes rectificadores, en el caso de que se hayan desconectado.

CÁLCULOS

De acuerdo a los datos tomados elabore la siguiente tabla:
KW de carga – I exct – I línea – F.P.

Grafique las curvas para su condición de marcha en vacío, con carga de 200, 400 y 600 vatios:

I (excitación) & I (línea)

Grafique las líneas para factor de potencia 1 factor de potencia 0.7 y 0.8 en atraso y factor de potencia 0.7 y 0.8 en adelanto.

CUESTIONARIO

¿Qué ocurre con la potencia consumida por el motor síncrono a medida que se va incrementando la corriente de excitación?

¿Por qué cuando el motor síncrono trabaja con factor de potencia 1, es cuando tiene menos consumo de potencia?

¿Para qué sirven las curvas en V?