



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería
Ingeniería en Automatización

Máquinas Eléctricas II

LIBRO DE PRÁCTICAS

Que como parte de los requisitos para obtener el título de

**Ingeniera en Automatización con especialidad en
Instrumentación y Control de Procesos**

Presenta:

Angeles Edith Luna Romero

Dirigido por:

M. en I. Jesús Macías Arzate

SINODALES

M. en I. Jesús Macías Arzate
Presidente

Dr. Gabriel Ríos Moreno
Secretario

Dr. Mario Trejo Perea
Vocal

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza
Propietario

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Director de la Facultad de Ingeniería

Firma

Firma

Firma

Firma

M. en C. Manuel Toledano Ayala
Coordinador de la carrera de Automatización

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Junio de 2009
México

No. ADJ. G52104

CLASIFI. IS 621.31042

L9611

2009

U.A.Q. ING



Universidad Autónoma de Querétaro



Facultad de Ingeniería

Ingeniería en Automatización

Laboratorio de Máquinas Eléctricas II

Presenta:

Angeles Edith Luna Romero

Dirigido por:

M. en I. Jesús Macías Arzate

Santiago de Querétaro, Qro., Junio de 2009

C. U., a 15 de Junio de 2009

M. en C. Manuel Toledano Ayala
Coordinador de la carrera de Automatización
Presente:

Por este conducto comunico a usted que he revisado el trabajo de manual de prácticas de laboratorio de la materia de **Máquinas Eléctricas II**, que presenta la pasante **Angeles Edith Luna Romero**, con expediente número **124410**, de la carrera de **Automatización** con línea terminal en **Instrumentación y Control de Procesos**, habiéndolo encontrado satisfactorio, por lo cual doy mi

VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE


M. en I. Jesús Macías Arzate

PRESIDENTE

C. U., a 15 de Junio de 2009

M. en C. Manuel Toledano Ayala

Coordinador de la carrera de Automatización

Presente:

Por este conducto comunico a usted que he revisado el trabajo de manual de prácticas de laboratorio de la materia de **Máquinas Eléctricas II**, que presenta la pasante **Angeles Edith Luna Romero**, con expediente número **124410**, de la carrera de **Automatización** con línea terminal en **Instrumentación y Control de Procesos**, habiéndolo encontrado satisfactorio, por lo cual doy mi

VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE



Dr. José Gabriel Ríos Moreno

SECRETARIO

C. U., a 15 de Junio de 2009

M. en C. Manuel Toledano Ayala

Coordinador de la carrera de Automatización

Presente:

Por este conducto comunico a usted que he revisado el trabajo de manual de prácticas de laboratorio de la materia de **Máquinas Eléctricas II**, que presenta la pasante **Angeles Edith Luna Romero**, con expediente número **124410**, de la carrera de **Automatización** con línea terminal en **Instrumentación y Control de Procesos**, habiéndolo encontrado satisfactorio, por lo cual doy mi

VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE



Dr. Mario Trejo Perea

VOCAL

C. U., a 15 de Junio de 2009

M. en C. Manuel Toledano Ayala

Coordinador de la carrera de Automatización

Presente:

Por este conducto comunico a usted que he revisado el trabajo de manual de prácticas de laboratorio de la materia de **Máquinas Eléctricas II**, que presenta la pasante **Angeles Edith Luna Romero**, con expediente número **124410**, de la carrera de **Automatización** con línea terminal en **Instrumentación y Control de Procesos**, habiéndolo encontrado satisfactorio, por lo cual doy mi

VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE



Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza

PROPIETARIO



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Dirección

ACUERDO 266-1/09

C. U. 15 de junio de 2009



C. ÁNGELES EDITH LUNA ROMERO
Pasante de Ingeniería en Automatización
(Instrumentación y Control de Procesos)
Presente.

Con relación a su oficio enviado al H. Consejo Académico de la Facultad en el que **solicita la aprobación del trabajo de libro de prácticas** para la materia de "Maquinas Eléctricas II", bajo la dirección del Ing. Jesús Macías Azate

Me permito informarle que en la sesión ordinaria del 15 de junio del año en curso, este cuerpo colegiado **acordó aprobar el Trabajo de Libro de Prácticas** con base a la revisión del área correspondiente, por lo anterior podrá continuar con sus trámites de titulación.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

Atentamente
"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"


DR. GILBERTO HERRERA RUIZ
Director

c.c.p. Archivo

*GHR/DHM.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Dirección

ACUERDO 300/09



C. U. 15 de junio de 2009

C. ÁNGELES EDITH LUNA ROMERO
Egresado de Ingeniería en Automatización
(Instrumentación y Control de Procesos)

Con relación a su solicitud de autorización de **prórroga** para concluir con sus trámites de titulación.

Me permito informarle que en la sesión ordinaria del H. Consejo Académico de fecha 15 de junio del año en curso, y con base a los avances que presenta en su opción de titulación, el H. Consejo Académico acordó concederle por única ocasión una prórroga hasta el **17 de Agosto de 2009**, de no cumplir con la titulación en el plazo señalado deberá actualizarse.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo

Atentamente
"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"

DR. GILBERTO HERRERA RUIZ
Director



DIRECCIÓN

c.c.p. Archivo

*GHR/DHM



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Dirección

ACUERDO 266/09



C. U. 15 de junio de 2009

C. ÁNGELES EDITH LUNA ROMERO
Pasante de Ingeniería en Automatización
(Instrumentación y Control de Procesos)
Presente

Con relación a su oficio enviado al H. Consejo Académico de la Facultad en el que solicita titularse bajo la opción de elaboración de texto, libro de prácticas o guía del maestro, me permito informarle que en la sesión ordinaria del 15 de junio del año en curso, **este cuerpo colegiado acordó aceptar la opción de titulación** por lo que deberá trabajar en el **Libro de Prácticas de la materia de "Maquinas eléctricas II"** del plan de estudios de Ingeniería Civil, bajo la dirección de Ing. Jesús Macías Arzate.

Índice

INTRODUCCIÓN

PRÁCTICA 1. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN TRANSFORMADOR

MARCO TEÓRICO

- 1.1. EL TRANSFORMADOR
- 1.2. PORQUÉ SON IMPORTANTES LOS TRANSFORMADORES EN LA VIDA MODERNA
- 1.3. TIPOS Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES

PRÁCTICA 2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA OHMICA

MARCO TEÓRICO

- 2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA
- 2.2. RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS

PRÁCTICA 3. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN UN TRANSFORMADOR.

MARCO TEÓRICO

- 3.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
- 3.2. PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE AISLAMIENTO
- 3.3. PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN Y PRUEBA DE ÍNDICE DE ABSORCIÓN

PRÁCTICA 4. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

MARCO TEÓRICO

- 4.1. EL TRANSFORMADOR IDEAL
- 4.2. POTENCIA EN EL TRANSFORMADOR IDEAL



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Dirección

- 4.3. TRANSFORMACIÓN DE IMPEDANCIA A TRAVÉS DE UN TRANSFORMADOR
- 4.4. ANÁLISIS DE CIRCUITOS QUE CONTIENEN TRANSFORMADORES IDEALES

PRÁCTICA 5. PRUEBA DE POLARIDAD

MARCO TEÓRICO

- 5.1. POLARIDAD EN UN TRANSFORMADOR
- 5.2. POLARIDAD ADITIVA
- 5.3. POLARIDAD SUSTRACTIVA
- 5.4. CÓMO DETERMINAR LA POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR

PRÁCTICA 6. PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

MARCO TEÓRICO

- 6.1. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LAS COMPONENTES EN EL MODELO DE TRANSFORMADOR

PRÁCTICA 7. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

MARCO TEÓRICO

- 7.1. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

PRÁCTICA 8. EL USO DE UN TRANSFORMADOR CONVENCIONAL COMO

AUTOTRANSFORMADOR

MARCO TEÓRICO

- 8.1. EL AUTOTRANSFORMADOR
- 8.2. RELACIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN UN TRANSFORMADOR
- 8.3. VENTAJA EN EL VALOR NOMINAL DE LA POTENCIA APARENTE EN LOS AUTOTRANSFORMADORES
- 8.4. IMPEDANCIA INTERNA DE UN AUTOTRANSFORMADOR

PRÁCTICA 9. CONEXIONES TRIFÁSICAS DE TRANSFORMADORES

MARCO TEÓRICO

- 9.1. PRINCIPALES CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES
 - 9.2. CONCEPTO DE POLARIDAD
 - 9.3. POLARIDAD EN EL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO
 - 9.4. CONEXIÓN TRIFÁSICA DE TRANSFORMADORES
 - 9.5. CONEXIÓN DELTA-DELTA
 - 9.6. CONEXIÓN DELTA ABIERTA-DELTA ABIERTA
 - 9.7. CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA
 - 9.8. CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA
 - 9.9. TRANSFORMADORES DE UNA SOLA BOQUILLA
 - 9.10. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS
 - 9.11. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES EN PARALELO
- DIAGRAMAS DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

PRÁCTICA 10. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

- 10.1. EL MOTOR
- 10.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Dirección



**PRÁCTICA 11. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE POTENCIA DE UN MOTOR
MARCO TEÓRICO**

- 11.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN
- 11.2. PRUEBA DE ESTANDARIZACIÓN DE VACÍO ACOPLADO
- 11.3. PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO A FRECUENCIA REDUCIDA
- 11.4. PRUEBA DE CORRIENTE CONTINUA
- 11.5. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE
- 11.6. DATOS DE PLACA DE UN MOTOR ELÉCTRICO

**PRÁCTICA 12. ARRANQUE Y FRENADO DINÁMICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN
MARCO TEÓRICO**

- 12.1. ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN
- 12.2. CIRCUITOS DE ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Facultad, en el sentido que antes del Examen profesional deberá cumplir con los requisitos de nuestra legislación y deberá imprimir el presente oficio en todos los ejemplares de su guía de maestro.

Atentamente
"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"

P/A

DR. GILBERTO HERRERA RUIZ

Director
C.C.D. Archivo
*GHR/DHM



DIRECCIÓN

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por la vida y la gran oportunidad que me dio de iniciar y concluir mis estudios de licenciatura, ya que este es el inicio de mi vida profesional.

A mis padres Alfredo Luna Gutiérrez y Angeles Romero Torres

Con amor y respeto, por hacer posible que el día de hoy esté concluyendo mis estudios de licenciatura, por compartir conmigo sus conocimientos y su entusiasmo a la vida, por alentarme en todo momento a ser siempre una mejor persona, por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional pues han estado conmigo en todo momento, compartiendo alegrías, tristezas, triunfos y fracasos, y porque es lo mejor que me han podido heredar: la oportunidad de poder prepararme para un mejor futuro.

A mis hermanas

Que han estado conmigo apoyándome y alentándome a cada momento, porque han confiado en mi y han estado ahí cada vez que necesitaba de ellas.

A mis sobrinos

Que con su peculiar alegría e inocencia me han hecho pasar momentos muy felices y me han enseñado a disfrutar de la vida.

A Alberto

Que con paciencia, amor y entusiasmo me ha apoyado en todo momento y siempre ha confiado en mi, por los buenos y malos momentos que pasamos en las aulas de estudio y en nuestra Universidad.

Sin olvidar

Con el sincero aprecio y respeto que tengo por mi profesor y asesor el **M. en I. Jesús Macías Arzate** quien ha confiado en mi y me ha apoyado para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
PRÁCTICA 1. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN TRANSFORMADOR.....	2
MARCO TEÓRICO	
1.1. EL TRANSFORMADOR.....	4
1.2. PORQUÉ SON IMPORTANTES LOS TRANSFORMADORES EN LA VIDA MODERNA.....	5
1.3. TIPOS Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES.....	6
PRÁCTICA 2. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA OHMICA.....	8
MARCO TEÓRICO	
2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA.....	10
2.2. RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.....	10
PRÁCTICA 3. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN UN TRANSFORMADOR.....	11
MARCO TEÓRICO	
3.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....	14
3.2. PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE AISLAMIENTO.....	15
3.3. PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN Y PRUEBA DE ÍNDICE DE ABSORCIÓN.....	16
PRÁCTICA 4. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.....	17
MARCO TEÓRICO	
4.1. EL TRANSFORMADOR IDEAL.....	19
4.2. POTENCIA EN EL TRANSFORMADOR IDEAL.....	21
4.3. TRANSFORMACIÓN DE IMPEDANCIA A TRAVÉS DE UN TRANSFORMADOR.....	22
4.4. ANÁLISIS DE CIRCUITOS QUE CONTIENEN TRANSFORMADORES IDEALES.....	23
PRÁCTICA 5. PRUEBA DE POLARIDAD.....	25
MARCO TEÓRICO	
5.1. POLARIDAD EN UN TRANSFORMADOR.....	27
5.2. POLARIDAD ADITIVA.....	27
5.3. POLARIDAD SUSTRATIVA.....	27
5.4. CÓMO DETERMINAR LA POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR.....	28
PRÁCTICA 6. PRUEBA DE CORTO CIRCUITO.....	29

MARCO TEÓRICO

6.1. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LAS COMPONENTES EN EL MODELO DE TRANSFORMADOR.....	31
---	----

PRÁCTICA 7. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO.....33

MARCO TEÓRICO

7.1. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO.....	35
--------------------------------------	----

PRÁCTICA 8. EL USO DE UN TRANSFORMADOR CONVENCIONAL COMO AUTOTRANSFORMADOR.....38

MARCO TEÓRICO

8.1. EL AUTOTRANSFORMADOR.....	41
8.2. RELACIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN UN TRANSFORMADOR.....	42
8.3. VENTAJA EN EL VALOR NOMINAL DE LA POTENCIA APARENTE EN LOS AUTOTRANSFORMADORES.....	44
8.4. IMPEDANCIA INTERNA DE UN AUTOTRANSFORMADOR.....	46

PRÁCTICA 9. CONEXIONES TRIFÁSICAS DE TRANSFORMADORES.....47

MARCO TEÓRICO

9.1. PRINCIPALES CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES.....	50
9.2. CONCEPTO DE POLARIDAD.....	50
9.3. POLARIDAD EN EL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.....	50
9.4. CONEXIÓN TRIFÁSICA DE TRANSFORMADORES.....	51
9.5. CONEXIÓN DELTA-DELTA.....	51
9.6. CONEXIÓN DELTA ABIERTA-DELTA ABIERTA.....	51
9.7. CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA.....	52
9.8. CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA.....	52
9.9. TRANSFORMADORES DE UNA SOLA BOQUILLA.....	52
9.10. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....	53
9.11. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES EN PARALELO.....	53
DIAGRAMAS DE CONEXIÓN DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....	54

PRÁCTICA 10. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....55

MARCO TEÓRICO

10.1. EL MOTOR.....	56
10.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	57

PRÁCTICA 11. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE POTENCIA DE UN MOTOR.....59

MARCO TEÓRICO

11.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN.....	61
11.2. PRUEBA DE ESTANDARIZACIÓN DE VACÍO ACOPLADO.....	61
11.3. PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO A FRECUENCIA REDUCIDA.....	62
11.4. PRUEBA DE CORRIENTE CONTINUA.....	63
11.5. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.....	64
11.6. DATOS DE PLACA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.....	67

PRÁCTICA 12. ARRANQUE Y FRENADO DINÁMICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....68

MARCO TEÓRICO

12.1. ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	70
12.2. CIRCUITOS DE ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	72

LIBRO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo es una recopilación de esfuerzos y experiencias acumuladas a través de los años que se ha impartido la materia de Máquinas eléctricas de corriente alterna, esta nueva versión sustituye a la primera edición, diseñada para el plan de estudios de Instrumentación y Control.

Con el nuevo plan para el ingeniero en Automatización, se pretende darle una herramienta de práctica en laboratorio, de manera que tenga una habilidad y conocimiento donde relacione la teoría con la práctica. Este manual de prácticas, es la justificación del equipo adquirido reciente por la Facultad de Ingeniería, en apoyo a los estudiantes de Ingeniería en Automatización.

Actualmente, con el apoyo de los alumnos se ha estado auto-equipando el laboratorio, de manera que se integren en las actividades académicas y junto con el maestro adquieran experiencia y una vivencia de lo real.

Con esto se le ha podido dar un concepto más formal al laboratorio y de esta forma las prácticas adquieren una respuesta a toda una teoría en aula.

Considerando muy importante, los laboratorios en áreas de ingeniería porque es aquí en donde se desarrollan las habilidades de los alumnos y adquieren un aprendizaje significativo, por lo que es necesario darles la atención y los recursos necesarios para mantenerlos actualizados y con ellos estar a la par con el campo profesional.

Espero que esta herramienta contribuya en el proceso enseñanza- aprendizaje de los alumnos y que comprendan que es necesario mantener siempre el interés por aprender.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN TRANSFORMADOR

Número de Práctica

1

Duración (Horas)

2

OBJETIVO *(Resultado del aprendizaje)*

Identificar cada una de las partes de un transformador monofásico y trifásico, y describir la función de cada una de ellas.

MARCO TEÓRICO

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía eléctrica mediante la acción de campos magnéticos sin variar la frecuencia.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Transformador monofásico 500 VA.
- 1 Transformador trifásico. 75 KVA.
- 1 Juego de llaves de estrias.

METODOLOGÍA

1. Destapar un transformador con ayuda de herramienta, observar y tomar nota de las partes revisadas.
2. Anotar los datos de placa del transformador analizado.
3. Una vez terminado el trabajo, tapar y dejar todo en su lugar.

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

1. Datos de la placa.
2. Partes del transformador (analizado).
3. Tomar las dimensiones y peso del mismo.
4. Observar el color del aceite.
5. Hacer más observaciones y anotarlas.
6. Anotar las partes del transformador.

Cuestionario

1. ¿Cuál fue la posición del cambiador de derivaciones?
2. Mencionar la conexión del transformador.
3. ¿Cómo se llama el equipo que sirve para probar aceites?
4. Anotar el valor de la corriente de excitación del transformador analizado.

5. Mencionar las principales partes del transformador.
6. ¿En qué consiste el sistema de aislamiento?
7. ¿De qué materiales puede ser el sistema de aislamiento?
8. ¿Cuáles son las propiedades del aceite de un transformador?
9. ¿Cuál es la función de los radiadores?
10. ¿Cuáles son los tipos de aceites dieléctricos?

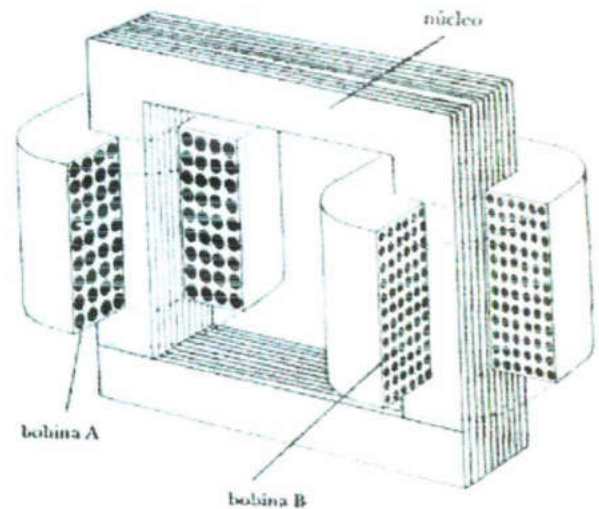
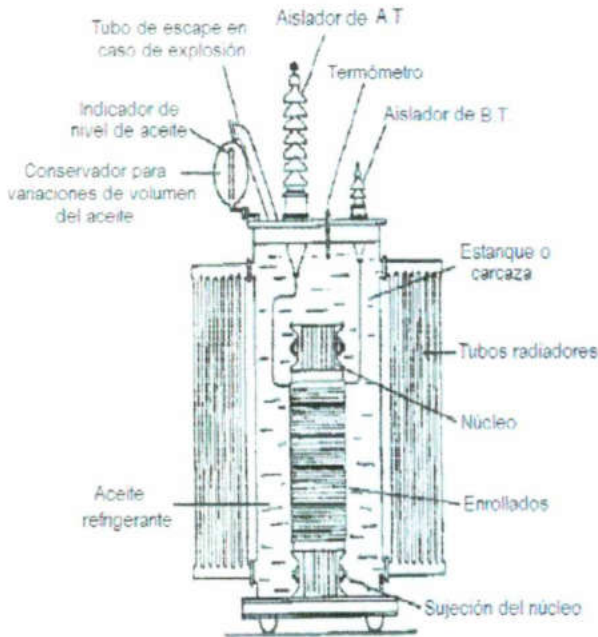
Conclusiones

Marco Teórico

IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN TRANSFORMADOR

1.1. EL TRANSFORMADOR.

Hace algo más de un siglo que se inventó este dispositivo que ha hecho posible la distribución de energía eléctrica a todos los hogares, industrias, etc. Si no fuera por el transformador tendría que acortarse la distancia que separa a los generadores de electricidad de los consumidores.



Se denomina transformador a un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna de forma tal que su producto permanezca constante (ya que la potencia que se entrega a la entrada de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, tiene que ser igual a la que se obtiene a la salida).

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce. Este conjunto de vueltas se denominan: Bobina primaria o "primario" a aquella que recibe el voltaje de entrada y Bobina secundaria o "Secundario" a aquella que entrega el voltaje transformado.

La representación esquemática del transformador es la siguiente:

- La Bobina primaria recibe un voltaje alterno que hará circular, por ella, una corriente alterna.
- Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro
- Como el bobinado secundario está arrollado sobre el mismo núcleo de hierro, el flujo magnético circulará a través de las espiras de éste.
- Al haber un flujo magnético que atraviesa las espiras del "Secundario", se generará por el alambre del secundario un voltaje. Habría una corriente si hay una carga (el secundario está conectado a una resistencia por ejemplo)

La razón de la transformación del voltaje entre el bobinado "Primario" y el "Secundario" depende del número de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de voltaje.

La relación entre la fuerza electromotriz *inductora* (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz *inducida* (E_s), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s).

1.2. POR QUÉ SON IMPORTANTES LOS TRANSFORMADORES EN LA VIDA MODERNA.

El primer sistema de distribución de potencia en los Estados Unidos fue un sistema de corriente continua a 120 V inventado por Thomas Alba Edison para suministrar potencia a bombillas incandescentes. La primera central de potencia de Edison entró en operación en la ciudad de Nueva York en septiembre de 1882. Por desgracia, este sistema de potencia generó y transmitió potencia a tan bajos voltajes que se requerían muy altas corrientes para suministrar cantidades significativas de potencia. Estas altas corrientes ocasionaban enormes caídas de voltaje y pérdidas de potencia en las líneas de transmisión, restringiendo bastante el área de servicio de las estaciones de generación. En la década de 1880 las centrales generadoras se localizaban a muy pocas cuadras entre sí para evitar este problema. El hecho de no poder transmitir potencias a sitios lejanos a bajos voltajes significó que las estaciones generadoras fueran de baja capacidad, locales y, por tanto, relativamente ineficientes.

La invención del transformador y el desarrollo simultáneo de las fuentes de potencia alterna eliminaron para siempre las restricciones referentes al rango y el nivel de los sistemas de potencia. Un transformador cambia, idealmente, un nivel de voltaje alterno a otro nivel de voltaje sin afectar la potencia que está suministrándose. Si un transformador eleva el nivel de voltaje de un circuito, debe disminuir la corriente para mantener igual la potencia que sale de él. De esta manera, la potencia eléctrica alterna puede ser generada en determinado sitio, se eleva su voltaje para transmitirla a largas distancias con muy bajas

pérdidas y luego se reduce para dejarlo nuevamente en el nivel de utilización final. Puesto que las pérdidas de transmisión en las líneas de un sistema de potencia son proporcionales al cuadrado de la corriente, elevando con transformadores el voltaje de transmisión en un factor de 10 con lo cual se reduce la corriente con el mismo factor, las pérdidas de transmisión se reducen en un factor de 100. Sin el transformador, simplemente, no sería posible utilizar la potencia eléctrica en muchas de las formas en que se utiliza hoy.

En un sistema moderno de potencia, se genera potencia eléctrica a voltajes de 12 a 25 kV. Los transformadores elevan el voltaje hasta niveles comprendidos entre 110 kV y cerca de 1000 kV para transmisión a grandes distancias con pocas pérdidas y, nuevamente, los transformadores bajan el voltaje a entre kV 12 y 34.5 kV para distribución local, y para permitir que la potencia eléctrica sea utilizada con seguridad en los hogares, oficinas y fábricas a voltajes tan bajos como 120 V.

1.3. TIPOS Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES.

El propósito principal de un transformador es convertir la potencia alterna de un nivel de voltaje en potencia alterna de la misma frecuencia pero en otro nivel de voltaje. Los transformadores también se utilizan para otros propósitos (ejemplo, para mostrar voltajes, mostrar corrientes y transformar impedancias), pero este capítulo está dedicado en principio al transformador de potencia.

Los transformadores de potencia se construyen de dos maneras. Un tipo de transformador consta de una pieza de acero rectangular, laminada, con los devanados enrollados sobre dos de los lados del rectángulo. Este tipo de construcción, conocido como transformador *tipo núcleo*, se ilustra en la figura 2-2. El otro consta de un núcleo laminado de tres columnas, cuyas bobinas están enrolladas en la columna central. Este tipo de construcción se conoce como transformador *tipo acorazado* y se ilustra en la figura 2-3. En todo caso, el núcleo se construye con delgadas láminas aisladas eléctricamente unas de otras para minimizar las corrientes parásitas.

En un transformador, las bobinas del primario y del secundario están físicamente enrolladas una sobre la otra; la bobina de menor voltaje está situada en la parte interna (más cerca del núcleo). Esta disposición cumple dos objetivos:

Simplifica el problema del aislamiento del devanado de alta tensión desde el núcleo.

Resulta menor flujo disperso que en caso de disponer los dos devanados en el núcleo, separados.

Los transformadores de potencia reciben variedad de nombres, dependiendo de su utilización en los sistemas de potencia. Un transformador conectado a la salida de un generador utilizado para elevar el voltaje hasta niveles de transmisión a veces se denomina *transformador de unidad*. El transformador situado en el otro extremo de la línea de transmisión, que reduce el voltaje de los niveles de

transmisión a los niveles de distribución (desde 2.3 a 34.5kV), se denomina *transformador de subestación*. Por último, el transformador que reduce el voltaje de distribución al voltaje final a que se utiliza la potencia (110,208, 220 V, etc.) es llamado *transformador de distribución*. Todos estos dispositivos son, en esencia, el mismo; la única diferencia entre ellos es la utilización que se les da.

Además de los varios tipos de transformadores de potencia, existen dos tipos de transformadores para propósitos especiales utilizados con máquinas eléctricas y sistemas de potencia. El primero de estos transformadores especiales es un dispositivo diseñado para mostrar un voltaje alto, y producir un voltaje secundario bajo, directamente proporcional a aquél. Tal transformador se llama *transformador de potencial*. Un transformador de potencia también produce un voltaje secundario directamente proporcional a su voltaje primario. La diferencia entre el transformador de potencial y el transformador de potencia es que el primero está diseñado para manejar únicamente una corriente muy pequeña. El segundo es un dispositivo diseñado para proveer una corriente secundaria mucho menor pero directamente proporcional a su corriente primaria. Este dispositivo se denomina *transformador de corriente*.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA OHMICA

Número de Práctica

2

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Conocer el valor de la resistencia óhmica de los devanados en un transformador para determinar:

- Pérdidas por el efecto de Joule.
- Elevación de temperatura en el cobre.

MARCO TEÓRICO

Tiene fundamentalmente importancia para tres propósitos:

- Para el cálculo de las I^2R de los devanados.
- Para el cálculo de la temperatura promedio de los devanados al final de la prueba de elevación de temperatura.
- Como antecedente para determinar una posible falla.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Fuente de CD de 0–24 V, 5 A.
- 1 Transformador monofásico de 500 VA, 440/110 V.
- 1 Amperímetro de CD.
- 1 Voltímetro de CD.
- 1 Termómetro digital.

METODOLOGÍA

Para esta prueba es necesario considerar:

- Que el transformador no haya sido excitado durante 4 a 8 horas (de acuerdo al tamaño del transformador), antes de la prueba.
- Es recomendable medir la resistencia OHMICA en frío antes que ninguna otra prueba, para garantizar que no ha habido causas de precalentamiento en los embobinados y así el valor medido corresponderá a la temperatura ambiente.
- Que este situado en un área donde la fluctuación de temperatura sea mínima.

Para la medición de la resistencia OHMICA se recomiendan dos métodos:

- Método de la caída de potencial (Ley de OHM).
 - Este método consiste en hacer circular por el devanado una corriente directa cuyo valor se mide, igualmente la caída de tensión en los extremos de la Bobina.
 - Es necesario tener en cuenta que bajo condiciones de CD en estado estable no existe reactancia del devanado la única limitante al paso de la corriente es la resistencia óhmica cuyo valor es muy pequeño, de modo que la corriente circulante no exceda del 15% de la nominal, de manera que se evite en lo posible el calentamiento del devanado.
 - Hacer la conexión de acuerdo a la figura 1.

2) Con ayuda del puente de Kelvin:

Para nuestra practica utilizaremos el primer método:

- Este método consiste en hacer circular por el devanado una corriente directa cuyo valor se mide, igualmente la caída de tensión en los extremos de la Bobina.
- Es necesario tener en cuenta que bajo condiciones de CD en estado estable no existe reactancia del devanado la única limitante al paso de la corriente es la resistencia óhmica cuyo valor es muy pequeño, de modo que la corriente circulante no exceda del 15% de la nominal, de manera que se evite en lo posible el calentamiento del devanado.
- Hacer la conexión de acuerdo a la figura 1.

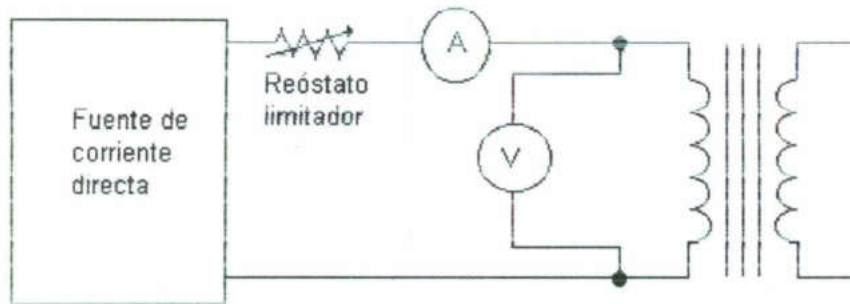


Figura 1

- Anotar los valores obtenidos en la tabla 1

Tabla 1
RESISTENCIA OHMICA

ALTA TENSIÓN		BAJA TENSIÓN	
TERMINALES	RESISTENCIA (Ω)	TERMINALES	RESISTENCIA (Ω)
TEMPERATURA AMBIENTE:			

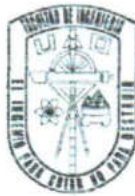
EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

Cuestionario

- ¿Existen diferencias en los valores entre uno y otro devanado? Explicar.
- Investigar la prueba por medio del puente de Kelvin.
- ¿Cómo fueron conectadas las terminales de alta y baja tensión para realizar la prueba?
- ¿Por qué es recomendable medir la resistencia óhmica en frío?
- ¿En qué condiciones se debe encontrar el transformador antes de realizar la prueba de resistencia óhmica?
- Menciona los métodos utilizados en la práctica, para la medición de la resistencia óhmica.
- ¿En qué consiste el método de la caída de potencial?
- ¿En qué consisten las pérdidas por el efecto Joule?

Conclusiones



Marco Teórico

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA OHMICA

2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE OHMICA.

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, son fuente de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de voltaje, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc.; ésta prueba nos detecta esos puntos.

En general, ésta se utiliza en todo circuito eléctrico en el que existen puntos de contacto a presión deslizables, tales circuitos se encuentran en interruptores, restauradores, dedos de contacto de reguladores, o de cambiadores de derivaciones y cuchillas seccionadoras.

2.2. RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.

Esta prueba tiene la finalidad de verificar la Resistencia Ohmica de los Devanados.

Con su aplicación se detectan los falsos contactos y espiras en corto circuito al compararse con los datos anteriores en caso de no tenerlos considerarlos como iniciales.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN UN TRANSFORMADOR

Número de Práctica

3

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Sirve no solo para verificar la calidad del aislamiento en transformadores, también permite verificar el grado de humedad y en ocasiones defectos severos en el aislamiento.

MARCO TEÓRICO

El significado de la resistencia de aislamiento generalmente requiere de cierta interpretación y depende del diseño, sequedad y limpieza de los aislamientos que envuelven al transformador.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Fuente de CD de 0-24 V, 5 A.
- 1 Transformador monofásico de 500 VA, 440/110 V.
- 1 Amperímetro de CD.
- 1 Voltímetro de CD.
- 1 Termómetro digital.

METODOLOGÍA

1.- El procedimiento de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento esta descrito en la norma IEEE C 57.12.90 y describe que:

- a) La temperatura de los devanados y del líquido aislante deben estar cercanos a 20°C.
- b) Los devanados deben estar inmersos en el líquido aislante.
- c) Las boquillas del transformador deben estar en su lugar.

La prueba de aislamiento es válida para transformadores tipo seco y en aceite.

La prueba de resistencia de aislamiento de un transformador, es como sigue:

1. Conectar la terminal de una LINEA del MEGGER a la baja tensión y la terminal TIERRA a la conexión a tierra del transformador como se ilustra en la figura f.

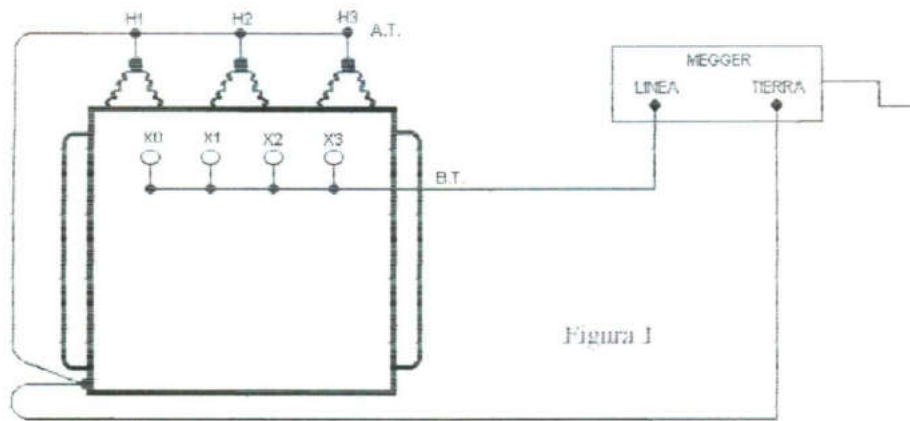


Figura 1

Una vez hecho lo anterior, active el MEGGER y tome la lectura anotándola en la tabla (tabla 1) de "baja tensión a tierra".

- Desconectar el conductor de ALTA TENSIÓN de tierra del transformador. Cambie la TERMINAL LINEA del MEGGER a la alta tensión en corto circuito, figura 2. Anotar la lectura en la tabla 1, Alta Tensión a Tierra.

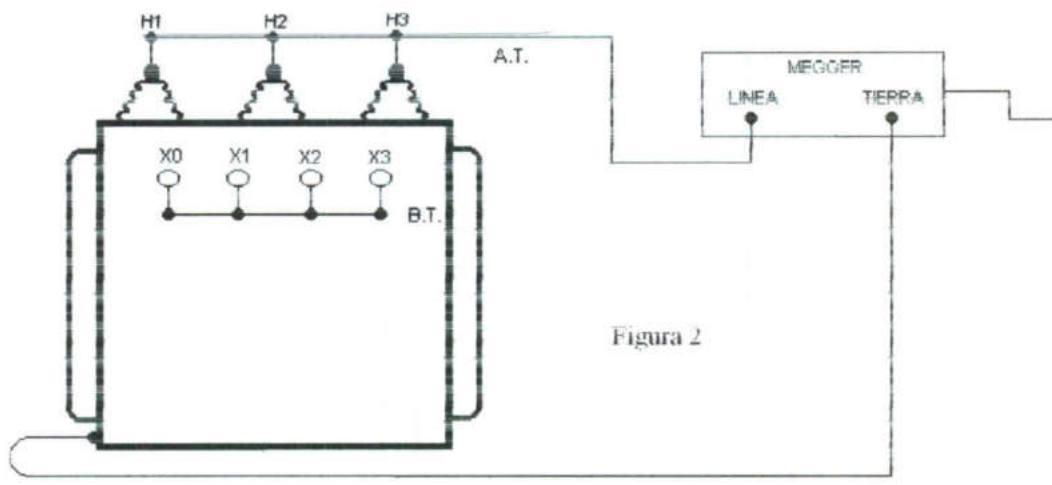


Figura 2

- Conéctese la terminal TIERRA del MEGGER a la baja tensión del transformador como lo muestra la figura 3. La lectura tomada en este caso, anotarla en la tabla 1, Alta Tensión a Baja Tensión.

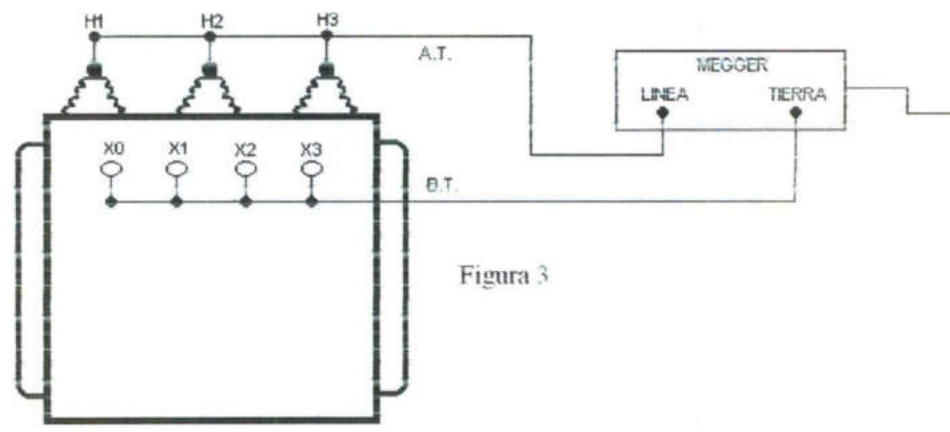


Figura 3

Esta prueba se considera satisfactoria si cumple con la condición de que el aislamiento no sea mayor a 1 MG por KV de tensión eléctrica del transformador.

TABLA 1

PRUEBA DE AISLAMIENTO	LECTURA (MG)
Baja tensión a tierra	
Alta tensión a tierra	
Alta tensión a baja tensión	

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

Cuestionario

1. ¿Cuál consideras que es el mejor método y por qué?
2. ¿Existen diferencias en los valores entre uno y otro devanado? Explicar.
3. Hacer un comentario de esta prueba.
4. ¿Para qué sirve la prueba de resistencia de aislamiento?
5. ¿De qué depende la prueba de resistencia de aislamiento?
6. ¿Qué describe la norma de IEEE C 57.12.90 con respecto al procedimiento de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento?
7. ¿En qué tipo de transformadores se puede realizar la prueba de aislamiento?

Conclusiones



Marco Teórico

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN UN TRANSFORMADOR

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La prueba de resistencia de aislamiento en transformadores sirve no solo para verificar la calidad del aislamiento en transformadores, también permite verificar el grado de humedad y en ocasiones defectos severos en el aislamiento.

La resistencia de aislamiento se mide por medio de un aparato conocido como "MEGGER". El megger consiste de una fuente de alimentación en corriente directa y un sistema de medición. La fuente es un pequeño generador que se puede accionar en forma manual o eléctricamente. El voltaje en terminales de un megger varía de acuerdo al fabricante y a si se trata de accionamiento manual o eléctrico, pero en general se pueden encontrar en forma comercial megger de 250 volts, 1000 volts y 2500 volts. La escala del instrumento está graduada para leer resistencias de aislamiento en el rango de 0 a 10,000 megohms.

La resistencia de aislamiento de un transformador se mide entre los devanados conectados todos entre sí, contra el tanque conectado a tierra y entre cada devanado y el tanque, con el resto de los devanados conectados a tierra.

Para un transformador de dos devanados se deben tomar las siguientes medidas:

Entre el devanado de alta Tensión y el tanque con el devanado de baja Tensión conectado a tierra.

Entre los devanados de alta Tensión y baja Tensión conectado entre sí, contra el tanque.

Estas mediciones se pueden expresar en forma sintetizada como:

Alta Tensión Vs. Tanque + baja Tensión a tierra.

Baja Tensión Vs. Tanque + alta Tensión a tierra.

Alta Tensión + baja Tensión Vs. Tanque a tierra.

Cuando se trata de transformadores con tres devanados las mediciones que se deben efectuar son las siguientes:

Alta Tensión (primario) Vs. Tanque con los devanados de baja Tensión (secundario) y medio voltaje (terciario) a tierra.

Medio voltaje (terciario) Vs. Tanque con los devanados de alta Tensión y baja Tensión a tierra.

Baja Tensión (secundario) Vs. Tanque, con los devanados de alta Tensión y medio voltaje a tierra.

Alta Tensión y medio voltaje juntos Vs. Tanque, con el devanado de baja Tensión a tierra.

Alta Tensión + medio voltaje + baja Tensión Vs. Tanque.

3.2. PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

El procedimiento de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento de un transformador está descrito en la norma IEEE C57.12.90 y contiene básicamente los siguientes puntos claves :

La temperatura de los devanados y del líquido aislante deben estar cercanos a 20° C.

Todos los devanados deben estar inmersos en el mismo líquido aislante.

Todos los devanados deben de estar cortocircuitados.

Todas las boquillas del transformador deben estar en su lugar.

Todas las terminales que no se consideran en la prueba así como la carcasa y el tanque deberán conectarse a tierra mientras se aplique el voltaje de prueba.

Deben seguirse las indicaciones de cada instrumento de medición dependiendo del que se trate teniéndose como mínimas las siguientes:

Megger analógico. Primeramente se debe seleccionar el voltaje de prueba de acuerdo a la tabla 1 que son las recomendaciones del fabricante ya que no se cuenta con normas publicadas que contengan una especificación más detallada:

Tabla 3.1. Voltaje de prueba para diferentes voltajes de referencia.

Voltaje nominal de referencia (V)	Voltaje de prueba (V)
Menos de 115	250
115	250 o 500
230	500
460	500 o 1000

Como una regla general, el voltaje de prueba debe ser aplicado hasta que se registre una lectura que no cambie en un margen de 15 segundos o la lectura final que observa en el transcurso de 60 segundos. En circuitos capacitivos se deberá ejercer la tensión de prueba por un minuto o más si es necesario completar la carga de la muestra. La norma IEEE 43-1974 marca que es imposible de especificar el valor de la resistencia de aislamiento que debe ser medida para la cual un devanado fallará eléctricamente, pero en motores las lecturas mínimas generalmente figuran en 2 MW para tensiones nominales de hasta 460 V. La figura 1 muestra el diagrama elemental de conexiones del Megger analógico, donde el devanado bajo prueba puede ser cualquiera de los ya mencionados antes. Una vez terminadas las conexiones se debe girar

la palanca a una velocidad tal que la aguja del instrumento se estabilice y se encienda el led de color verde y tomar la lectura. Si el led de color rojo se enciende significa que el valor medido se deberá multiplicar por 10.

El voltaje aplicado para la medición de la resistencia de aislamiento a tierra deberá ser incrementado en un tiempo no mayor a 15 segundos y después de ser retenido en su valor de prueba durante un minuto y se deberá reducir gradualmente en no más de 5 segundos a un valor de un cuarto o menos del valor máximo que se haya registrado.

Las pruebas de resistencia de aislamiento deberán realizarse con los circuitos de igual voltaje conectados entre sí y los circuitos de diferente voltaje deberán ser probados por separado.

3.3. PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN Y PRUEBA DE ÍNDICE DE ABSORCIÓN .

La prueba debe ser interrumpida inmediatamente si la lectura de la corriente comienza a incrementarse sin estabilizarse.

Podrían presentarse descargas parciales durante las pruebas de resistencia de aislamiento que puedan causar al transformador bajo prueba y también arrojar resultados erróneos en los valores de las lecturas de medición, para este caso se deberá hacer una pausa y continuar posteriormente con la prueba.

Después de que la prueba haya sido completada se deberán aterrizar por un periodo de tiempo suficiente para liberar cualquier carga que haya quedado atrapada.

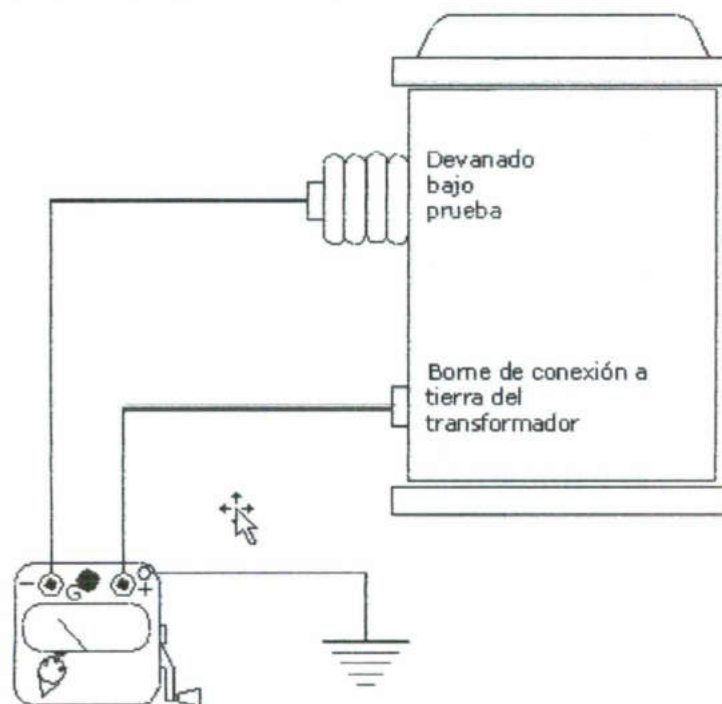
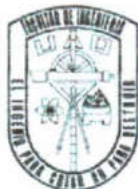


Figura 3.1.

Conexiones del Megger analógico para la medición de la resistencia de aislamiento de un transformador.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Número de Práctica

4

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Determinar la relación de transformación para conocer el estado físico del mismo, usando cualquier método conocido e interpretar los resultados.

MARCO TEÓRICO

Es determinar el número de vueltas entre el devanado primario y el secundario, esta prueba debe hacerse para todas las derivaciones.

La variación de la tensión que se obtenga no debe exceder de 10% y la tolerancia de transformación debe ser $\pm 0,5\%$.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Transformador monofásico de 500 VA, 440/110V.
- 2 Voltímetros de C. A. Escala de 1:100V.
- 1 Variac.

METODOLOGÍA

Para determinar la relación de transformación existen cuatro métodos:

- 1) Método de los voltímetros (es el que usaremos).
- 2) Método del transformador patrón.
- 3) Método del potenciómetro de resistencia.
- 4) Por medio del TTR.

Método de los voltímetros:

Consiste en aplicar a uno de los devanados del transformador una tensión alterna, incluyendo un voltímetro para medir la alta tensión (VH), y otro para medir la baja tensión (VX).

$$\alpha = \frac{VH}{VX}$$

- De donde:
- $\alpha \rightarrow$ Relación de transformación.
 - VH \rightarrow Voltaje en el primario (H_1 , H_2 , H_3 y H_4).
 - VX \rightarrow Voltaje en el secundario (X_0 , X_1).

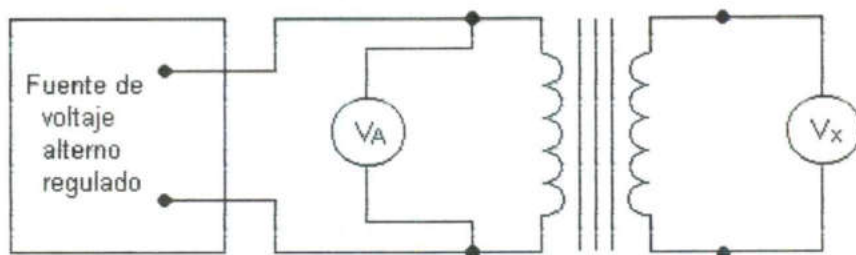
Nota: Por razones de confiabilidad se recomienda tomar ocho pares de lecturas así:

- 1) Lectura a voltaje nominal.
- 2) Lectura al 90% de voltaje nominal.
- 3) Lectura al 80% de voltaje nominal.
- 4) Lectura al 70% de voltaje nominal.

La relación se calcula para cada par de lecturas si los resultados no difieren más del 1%. la prueba es aceptable y se toma como relación de transformación el promedio de todos los resultados.

Si la diferencia es mayor del 1% es necesario repetir la prueba con otros aparatos.

- 1) Construir el circuito eléctrico de acuerdo a la figura 1.



Transformador en prueba

Figura 1

- 2) Anotar los valores de voltaje de los voltímetros y anotar los resultados en la tabla 1.

Relación de transformación		
Método de prueba: Dos voltímetros		
<i>Alta tensión</i>	<i>Baja tensión</i>	<i>Relación</i>
Relación promedio:		

Tabla 1

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

Investigar en qué consiste:

- a) El Método del TTR (Probador de relación de transformación)

Cuestionario

- ¿Qué es la relación de transformación?
- ¿Cómo se determina la relación de transformación?
- ¿Para qué sirve la relación de transformación?
- ¿Cuáles son los métodos para determinar la relación de transformación?
- ¿Qué se necesita para determinar la relación de transformación?

Conclusiones



Marco Teórico

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

4.1 EL TRANSFORMADOR IDEAL.

Un *transformador ideal* es un dispositivo sin pérdidas, con un devanado de entrada y un devanado de salida. Las relaciones entre el voltaje de entrada y el voltaje de salida, y entre la corriente de entrada y la corriente de salida, están dadas por dos sencillas ecuaciones. La figura 2.1 muestra un transformador ideal.

El transformador mostrado en la figura 4.1 tiene N_p vueltas de alambre en el primario y N_s vueltas de alambre en el secundario. La relación entre el voltaje $v_p(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $v_s(t)$ producido en el lado secundario es

$$\frac{v_p(t)}{v_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (4-1)$$

donde a está definida como *relación de vueltas* del transformador:

$$a = \frac{N_p}{N_s} \quad (4-2)$$

La relación entre la corriente $i_p(t)$ que fluye en el lado primario del transformador y la corriente $i_s(t)$ que sale del transformador por el secundario es

$$N_p i_p(t) = N_s i_s(t) \quad (4-3a)$$

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{a} \quad (4-3b)$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son

$$\frac{V_p}{V_s} = a \quad (4-4)$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad (4-5)$$

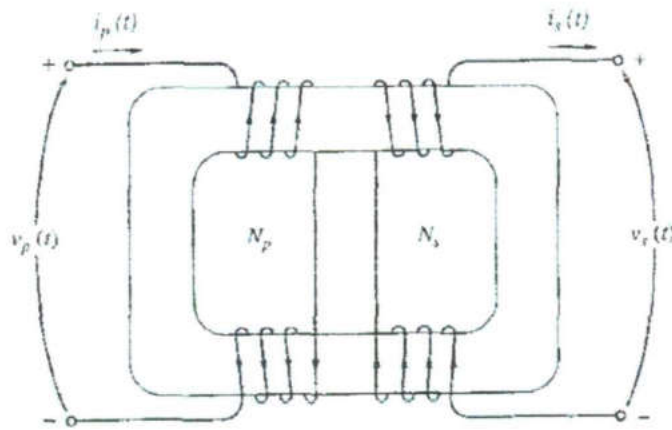
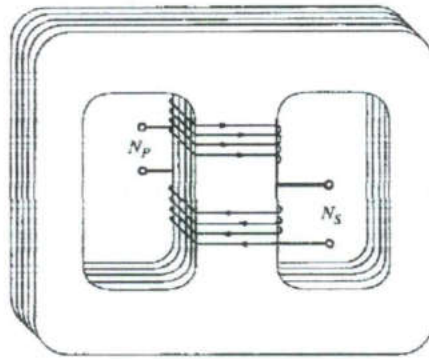


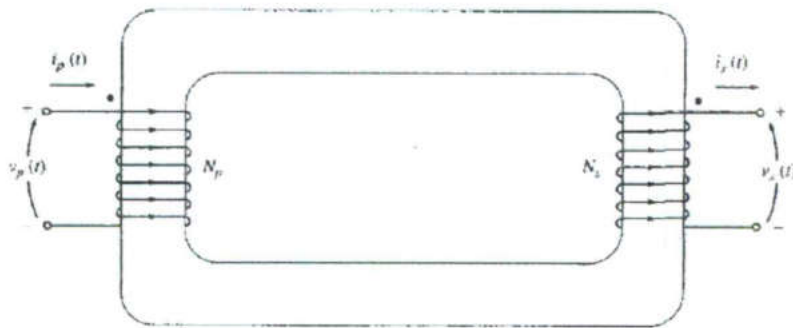
Figura 4.2.
 Construcción del transformador tipo núcleo.



a)

Figura 4.3.
 Construcción del transformador tipo acorazado.

Nótese que el ángulo de fase de V_p es el mismo ángulo de I_s y el ángulo de fase de I_p es el mismo ángulo de fase de I_s . La relación de vueltas del transformador ideal afecta las *magnitudes* de los voltajes y corrientes, pero no sus *ángulos*.



a)

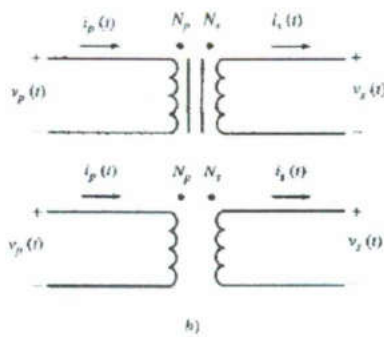


Figura 4.1.

a) Diagrama de un transformador ideal, b) Símbolos esquemáticos de un transformador.

Las ecuaciones (4-1) a (4-5) describen las relaciones entre las magnitudes y los ángulos de los voltajes y corrientes en los lados primario y secundario del transformador, pero dejan sin responder un interrogante: Puesto que el voltaje del circuito primario es positivo en un lado específico de la bobina, ¿cuál será la polaridad del voltaje del circuito secundario? En los transformadores reales, sería posible identificar la polaridad del lado secundario únicamente abriendo el transformador y examinando sus devanados. Para obviar esta necesidad, los transformadores utilizan la *convención de puntos*. Los puntos que aparecen en un extremo de cada devanado, en la figura 4.1, indican la polaridad del voltaje y la corriente en el lado secundario del transformador. La relación es la siguiente:

1. Si el *voltaje* primario es positivo en el extremo de la bobina marcado con punto, respecto al extremo que no tiene marca, el voltaje secundario será positivo también en el extremo marcado con punto. Las polaridades del voltaje son las mismas con respecto a los puntos en cada lado del núcleo.
2. Si la *corriente* primaria del transformador fluye *hacia dentro* del devanado primario por el extremo marcado con punto, la corriente secundaria fluirá *hacia fuera* del devanado secundario por el extremo marcado con punto.

4.2. POTENCIA EN EL TRANSFORMADOR IDEAL.

La potencia suministrada al transformador por el circuito primario está dada por la ecuación

$$P_{in} = V_P I_P \cos \theta_P \quad (4-6)$$

donde θ_P es el ángulo entre el voltaje y la corriente primarios. La potencia suministrada por el circuito secundario del transformador a sus cargas está dada por la ecuación

$$P_{out} = V_S I_S \cos \theta_S \quad (4-7)$$

Donde θ_S es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundarios. Puesto que los ángulos del voltaje y la corriente no se afectan en un transformador ideal, $\theta_P - \theta_S = 0$. Los devanados primario y secundario de un

transformador ideal tienen el mismo factor de potencia.

¿Cómo es la potencia que fluye en el devanado primario del transformador ideal, comparada con la potencia que sale del otro lado? Es posible saberlo, mediante la simple aplicación de las ecuaciones de voltaje y de corriente [ecuaciones (4-4) y (4-5)]. La potencia de salida del transformador es

$$P_{\text{out}} = V_S I_S \cos \theta \quad (4-8)$$

Aplicando la ecuación de relación de vueltas, $V_S = V_P/a$ y $I_S = aI_P$; entonces

$$P_{\text{out}} = \frac{V_P}{a} (aI_P) \cos \theta$$
$$\boxed{P_{\text{out}} = V_P I_P \cos \theta = P_{\text{in}}} \quad (4-9)$$

De esta manera, la potencia de salida de un transformador ideal es igual a su potencia de entrada.

La misma relación se aplica a las potencias reactiva Q y aparente S :

$$\boxed{Q_{\text{in}} = V_P I_P \sin \theta = V_S I_S \sin \theta = Q_{\text{out}}} \quad (4-10)$$

$$\boxed{S_{\text{in}} = V_P I_P = V_S I_S = S_{\text{out}}} \quad (4-11)$$

4.3. TRANSFORMACIÓN DE IMPEDANCIA A TRAVÉS DE UN TRANSFORMADOR.

La impedancia de un dispositivo o un elemento se define como la relación entre el fasor de voltaje a través de él, y el fasor de corriente que fluye por él:

$$Z_L = \frac{V_L}{I_L} \quad (4-12)$$

Una de las propiedades interesantes del transformador es que, como cambia los niveles de voltaje y corriente, cambia la proporción entre el voltaje y la corriente y por consiguiente la impedancia aparente de un elemento. Para entender esta idea, remítase a la figura 4.4. Si la corriente secundaria es I , y el voltaje secundario V_s , la impedancia de la carga está dada por

$$Z_L = \frac{V_S}{I_S} \quad (4-13)$$

La impedancia aparente del circuito primario del transformador es

$$Z'_L = \frac{V_P}{I_P} \quad (4-14)$$

Puesto que el voltaje primario puede ser expresado como

$$V_P = aV_S$$

y la corriente primaria puede ser expresada como

$$I_P = \frac{I_S}{a}$$

la impedancia aparente del primario es

$$Z'_L = \frac{V_P}{I_P} = \frac{aV_S}{I_S/a} = a^2 \frac{V_S}{I_S} \quad (4-15)$$

$$\boxed{Z'_L = a^2 Z_L}$$

Con un transformador, es posible acoplar la magnitud de la impedancia de carga a la impedancia de la fuente escogiendo simplemente la relación de vueltas adecuada.

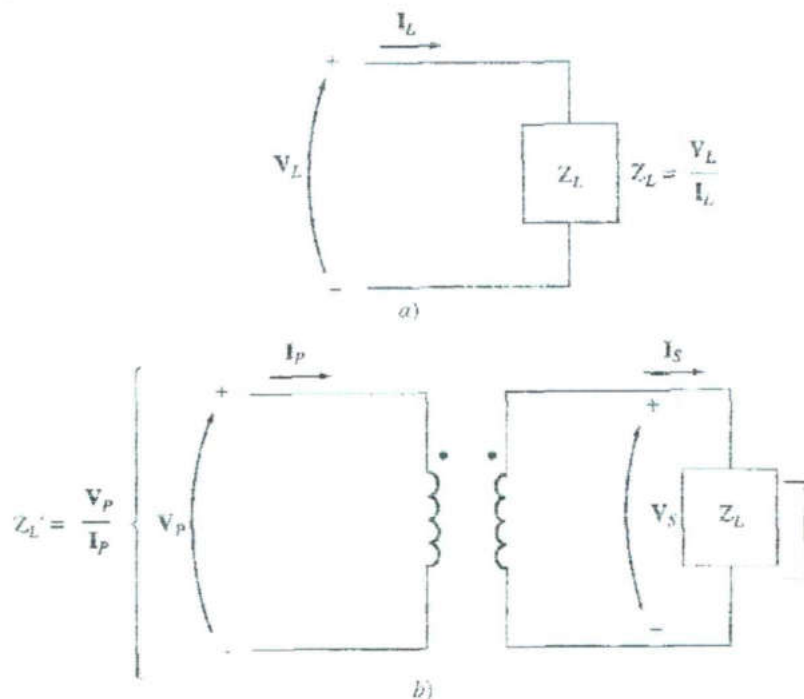


Figura 4.4.

a) Definición de impedancia. b) Impedancia escalizada por un transformador.

4.4. ANÁLISIS DE CIRCUITOS QUE CONTIENEN TRANSFORMADORES IDEALES.

Si un circuito contiene un transformador ideal, la forma más fácil de analizar sus voltajes y corrientes es reemplazar la porción del circuito ubicada a un lado del transformador por su equivalente con las mismas características en terminales. Una vez sustituido el circuito por su equivalente en uno de los lados, el nuevo

circuito (sin el transformador presente) puede ser resuelto para sus voltajes y corrientes. En la porción del circuito que no se reemplazó, los resultados obtenidos serán los valores correctos de voltaje y corriente del circuito original. Luego, la relación de vueltas puede utilizarse para determinar los voltajes y corrientes del otro lado del transformador. El proceso de reemplazar un lado del transformador por su equivalente en el otro lado se conoce como referir el primero de los lados del transformador al segundo de ellos.

¿Cómo está conformado el circuito equivalente? Su forma es exactamente la misma que la del circuito original. Los valores de voltajes en el lado que se está reemplazando están dados por la ecuación (4-4) y los valores de las impedancias, por la ecuación (4-15). Las polaridades de las fuentes de voltaje en el circuito equivalente invertirán sus direcciones en el circuito original si los puntos de uno de los lados de los devanados del transformador se invierten con respecto a los puntos de los devanados del otro lado del transformador.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

PRUEBA DE POLARIDAD

Número de Práctica

5

Duración (Horas)

2

OBJETIVO *(Resultado del aprendizaje)*

Que el alumno comprenda la importancia de determinar la polaridad en un transformador y que su aplicación se utilizará en otras prácticas.

MARCO TEÓRICO

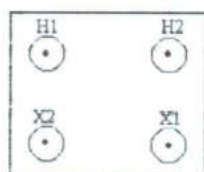
Las bobinas secundarias de los transformadores monofásicos se enrollan en el mismo sentido de la bobina primaria o en el sentido opuesto, según el criterio del fabricante. Debido a esto, podría ser que la intensidad de corriente en la bobina primaria y la de la bobina secundaria circulen en un mismo sentido, o en sentido opuesto.

EQUIPO Y MATERIALES

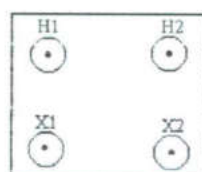
- 1 Transformador monofásico 500 VA, 220/110 V.
- 1 Voltímetro de corriente alterna.
- 1 Variac.

METODOLOGÍA

Regla de aplicación: cuando el observador se coloca frente a dos terminales de B. T. Si H1 queda a su izquierda y X1 a su derecha se dice que el transformador tiene **POLARIDAD ADITIVA** y si H1 y X1 quedan a su izquierda se dice que tiene **POLARIDAD SUSTRACTIVA**.



POLARIDAD ADITIVA



POLARIDAD SUSTRACTIVA

Figura 1

Para verificar la polaridad de los transformadores se recomiendan tres métodos:

1. Método del transformador patrón
2. Método de dos voltímetros (es el que usaremos)
3. Método de descarga productiva

MÉTODO DE DOS VOLTÍMETROS:

Consiste en aplicar al devanado de alta temperatura un voltaje alterno de valor nominal o menor. Colocar dos voltímetros y puentear de acuerdo a la figura 2.

Si $V_X > V_H$ la polaridad es aditiva, si $V_X < V_H$ la polaridad es sustractiva.

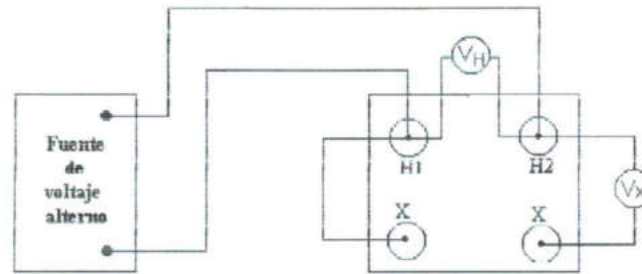


Figura 2

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

Resultados obtenidos

Lectura V_H = _____ Volts.

Lectura V_X = _____ Volts.

Cuestionario

1. ¿Cómo resultó la polaridad en el primer caso?
2. Invierta las terminales. (Con indicación del maestro)
Anotar el resultado.
3. ¿Pasó algo con la polaridad?
4. ¿En qué aplicación se usaría esta práctica?
5. ¿Cuáles son los tipos de polaridad?
6. ¿Cómo se determina cada una de ellas?
7. ¿Menciona los métodos para verificar la polaridad de un transformador?

Conclusiones



Marco Teórico

PRUEBA DE POLARIDAD

5.1. POLARIDAD EN UN TRANSFORMADOR.

Las bobinas secundarias de los transformadores monofásicos se arrollan en el mismo sentido de la bobina primaria o en el sentido opuesto, según el criterio del fabricante.

Debido a esto, podría ser que la intensidad de corriente en la bobina primaria y la de la bobina secundaria circulen en un mismo sentido, o en sentido opuesto.

5.2. POLARIDAD ADITIVA.

La polaridad positiva se da cuando en un transformador el bobinado secundario está arrollado en el mismo sentido que el bobinado primario.

Esto hace que los flujos de los dos bobinados giren en el mismo sentido y se sumen.

Los terminales "H1" y "X1" están cruzados. Figura 5.1.

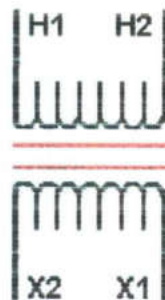


Figura 5.1.
Polaridad aditiva

5.3. POLARIDAD SUSTRACTIVA.

La polaridad sustractiva se da cuando en un transformador el bobinado secundario está arrollado en sentido opuesto al bobinado primario.

Esto hace que los flujos de los dos bobinados giren en sentidos opuestos y se resten.

Los terminales "H1" y "X1" están en línea. Figura 5.2.

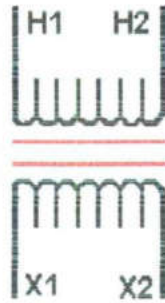


Figura 5.2.
Polaridad sustractiva

5.4. CÓMO DETERMINAR LA POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR.

Para determinar la polaridad del transformador, se coloca un puente entre los terminales del lado izquierdo del transformador y se coloca un voltímetro entre los terminales del lado derecho del mismo, luego se alimenta del bobinado primario con un valor de voltaje (V_x). Ver el diagrama.

Si la lectura del voltímetro es mayor que V_x el transformador es aditivo o si es menor el transformador es sustractivo.

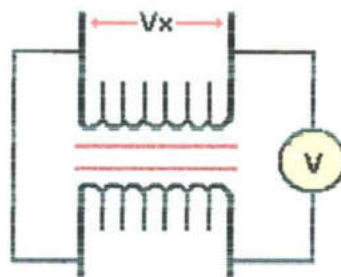


Figura 5.3.
Polaridad de un transformador



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

Número de Práctica

6

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Determinar las pérdidas en el cobre de los devanados, así como los parámetros del circuito equivalente.

MARCO TEÓRICO

Esta prueba se realiza estableciendo un cortocircuito a través de un devanado y excitando el otro al voltaje nominal. El voltaje aplicado se ajusta hasta alcanzar la corriente nominal del devanado.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Wattmetro monofásico.
- 1 Amperímetro.
- 1 Voltímetro
- 1 Variac.
- 1 Transformador monofásico 220/110 V, 500VA.

METODOLOGÍA

- 1) Para la prueba de corto circuito. Construir el circuito eléctrico de la figura 1. Tomando en cuenta las corrientes nominales de cada devanado, ponga en corto circuito un devanado.
- 2) Variar el voltaje desde un valor cero volts, hasta llegar a la corriente nominal del devanado donde se encuentran los aparatos.
- 3) Anotar los valores obtenidos por el Wattmetro, voltímetro y amperímetro.

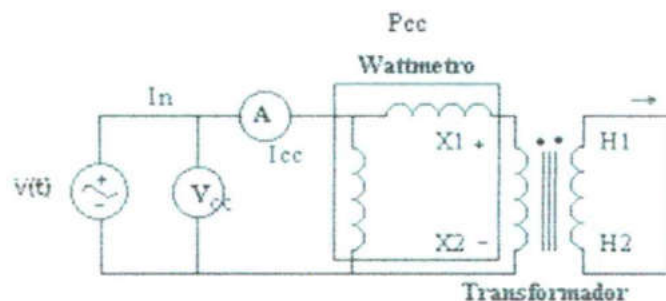


Figura 1

En esta prueba se trata de ver que el transformador soporte el 100% de carga y que las corrientes de plena carga en cada fase del transformador sean iguales. La medición se recomienda hacerla en el lado de baja tensión, por lo tanto los parámetros estarán referidos al secundario, como se indica a continuación.

Estando en corto circuito las terminales de alta tensión se deberá aplicar un voltaje suficientemente bajo por el lado de baja, para que circule la corriente nominal (I_n) de plena carga del transformador.

1.- Lecturas obtenidas en la prueba de cortocircuito.

TABLA 1

I_{cc} (A)	V_{cc} (V)	P_{cc} (W)

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

REPORTAR

Determinación de los parámetros.

1. La lectura del wattmetro indica la pérdida en el cobre de los devanados
2. Si V_{cc} , I_{cc} y P_{cc} son las lecturas del voltímetro, amperímetro y wattmetro entonces.

$$R_{e_2} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} \quad Z_{e_2} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \quad X_{e_2} = \sqrt{Z_{e_2}^2 - R_{e_2}^2} \quad F_p = \frac{P_{cc}}{I_{cc}V_{cc}}$$

3. Comprobar las pérdidas en el cobre con la fórmula:

$$P_{Cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \quad \text{ó} \quad P_{Cu} = I_2^2 R_{e_2} \quad \text{con la lectura obtenida con el wattmetro.}$$

Cuestionario

1. ¿Por que se prefiere poner en corto circuito el lado de A.T.?
2. ¿Por que se realiza la prueba de corto circuito con la corriente Nominal?
3. Explicar por que la pérdida en el cobre varia con la carga
4. ¿En qué consiste la prueba de corto circuito?
5. ¿Cómo se determina la corriente nominal?
6. ¿Qué son las pérdidas en el cobre?
7. ¿Cómo se determinan las pérdidas en el cobre?

Conclusiones



6.1. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LAS COMPONENTES EN EL MODELO DE TRANSFORMADOR.

Es posible determinar experimentalmente los valores de las resistencias e inductancias del modelo del transformador. Una aproximación adecuada para estos valores se puede lograr con solo dos ensayos: la prueba de circuito abierto y la prueba de cortocircuito.

En la *prueba de cortocircuito* los terminales del secundario del transformador se cortocircuitan y los del primario se conectan a una fuente adecuada de voltaje, como se muestra en la figura 6.1. El voltaje de entrada se ajusta hasta que la corriente de los devanados cortocircuitados sea igual a su valor nominal (asegúrese de mantener el voltaje primario en un nivel seguro. No es buena idea quemar los devanados del transformador mientras se intenta probarlo). De nuevo, se miden el voltaje, la corriente y la potencia de entrada.

Puesto que el voltaje de entrada es tan pequeño durante la prueba, la corriente que fluye por la rama de excitación es despreciable. Si la corriente de excitación se ignora, toda la caída de voltaje en el transformador puede ser atribuida a los elementos del circuito en serie. La magnitud de las impedancias en serie, referidas al lado primario del transformador, es

$$|Z_{SE}| = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \quad (6-1)$$

El factor de potencia es

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}} \quad (6-2)$$

y está en atraso. El ángulo de la corriente es negativo y el ángulo θ de la impedancia total es positivo:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}} \quad (6-3)$$

Entonces,

$$Z_{SE} = \frac{V_{SC} \angle 0^\circ}{I_{SC} \angle -\theta^\circ} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle \theta^\circ \quad (6-4)$$

La impedancia en serie, Z_{SE} , es igual a

$$\begin{aligned} Z_{SE} &= R_{cq} + jX_{cq} \\ &= (R_p + a^2 R_s) + j(X_p + a^2 X_s) \end{aligned} \quad (6-5)$$

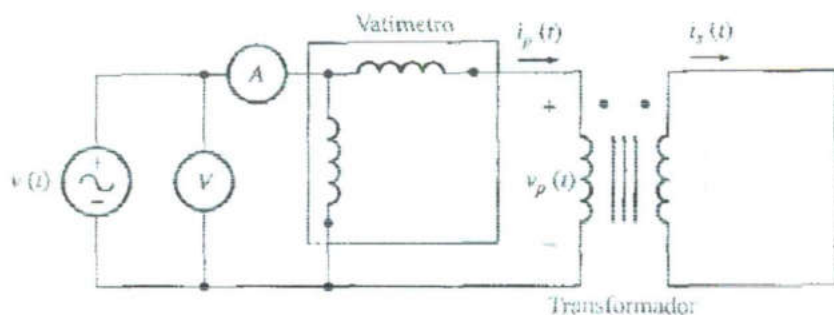


Figura 6.1.
Conexión para la prueba de cortocircuito.

Es posible determinar la impedancia total referida al lado primario utilizando esta técnica, pero no hay un camino fácil para dividir las impedancias serie en sus componentes primario y secundario. Por fortuna, esta separación no es necesaria para la solución de los problemas normales.

Estas pruebas también pueden ser realizadas en el lado *secundario* del transformador, si conviene hacerlo así debido a los niveles de voltaje u otras razones. Si las pruebas se hacen en el lado secundario, los resultados darán las impedancias del circuito equivalente, referidas al secundario del transformador y no al primario.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

Número de Práctica

7

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Determinar las pérdidas en el núcleo, así como los parámetros de la rama de excitación.

MARCO TEÓRICO

Esta prueba supone dejar abierto un devanado del transformador mientras el otro se excita aplicando el voltaje nominal. Aunque no importa cuál sea el lado que se excite, es más seguro realizar la prueba en el lado de B.T.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Wattmetro monofásico
- 1 Amperímetro C. A.
- 1 Voltímetro C. A.
- 1 Variac
- 1 Transformador monofásico 500 VA, 220/110 V

METODOLOGÍA

1. Para la prueba de circuito abierto por este caso seleccionamos el devanado que represente una mayor corriente de excitación y que se puedan registrar lecturas reales Fig. 1.
2. Variar el voltaje desde un valor cero volts, hasta llegar al voltaje nominal del devanado donde se encuentran los aparatos.
3. Anotar en la tabla 1 los valores obtenidos por el wattmetro, voltímetro y amperímetro

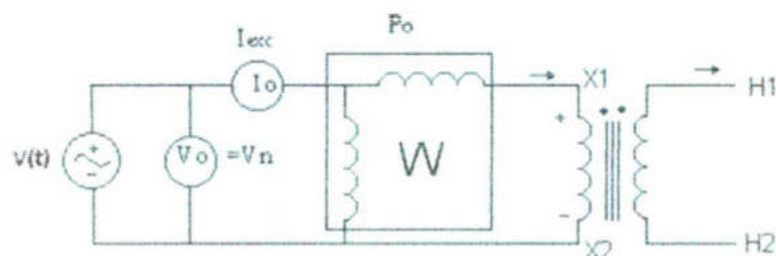


Figura 1

Tabla 1

Lectura $V_0 = V_n$ (V)	Lectura I_0 (A)	Lectura P_0 (W)

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

1. Anotar el valor de las pérdidas en el núcleo W
2. Calcular el factor de potencia con las lecturas obtenidas.

$$S_0 = V_0 I_0$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{P_0}{S_0}$$

$$F_p = \text{-----}$$

3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.

A. La resistencia de la pérdida en el núcleo y la reactancia de magnetización vistas desde el lado de B.T. son:

$$R_c = \frac{V_0}{I_0} = \frac{V_0^2}{P_0}$$

Cuestionario

1. ¿Por qué se hace la prueba de circuito abierto en el lado B.T.?
2. ¿Por qué se hace la prueba de circuito abierto al voltaje nominal?
3. ¿En qué consiste la prueba de circuito abierto?
4. ¿Para qué sirve la prueba de circuito abierto?
5. ¿Para qué sirve calcular la admitancia?

Conclusiones

Marco Teórico

PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

7.1. PRUEBAS DE CIRCUITO ABIERTO.

Es posible determinar experimentalmente los valores de las resistencias e inductancias del modelo del transformador. Una aproximación adecuada para estos valores se puede lograr con sólo dos ensayos: la prueba de circuito abierto y la prueba de cortocircuito.

En la *prueba de circuito abierto*, se deja abierto el devanado secundario del transformador y el devanado primario se conecta al voltaje pleno nominal. En las condiciones descritas, toda la corriente de entrada debe fluir a través de la rama de excitación del transformador. Las componentes en serie R_p y X_p son tan pequeñas, comparadas con R_c y X_m , para ocasionar una caída significativa del voltaje que, esencialmente, todo el voltaje de entrada cae a través de la rama de excitación.

La figura 7.2 muestra las conexiones para la prueba de circuito abierto. Se aplica el voltaje pleno al primario del transformador y se miden el voltaje, la corriente y la potencia de entrada al transformador. Con esta información es posible determinar el factor de potencia, la *magnitud* y el *ángulo* de la impedancia de excitación.

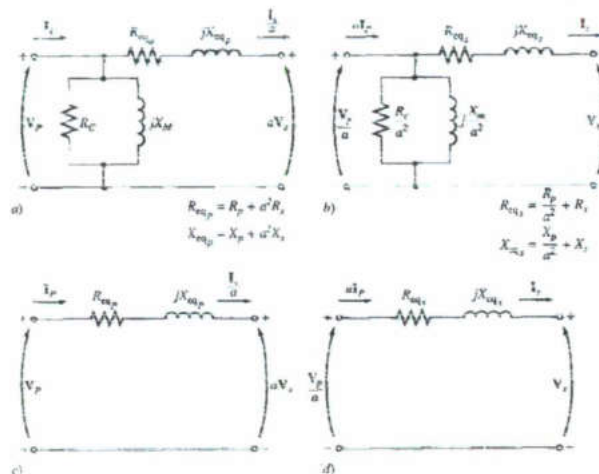


Figura 7.1.

Modelos aproximados de un transformador, a) Referido al lado primario; b) referido al lado secundario; c) sin la rama de excitación, referido al lado primario; d) sin la rama de excitación, referido al lado secundario.

La forma más fácil para calcular los valores de R_c y X_M consiste en estimar primero la admitancia de la rama de excitación. La conductancia de la resistencia de pérdidas en el núcleo está dada por

$$G_C = \frac{1}{R_C} \quad (7-1)$$

y la susceptancia de la inductancia de magnetización es

$$B_M = \frac{1}{X_M} \quad (7-2)$$

Puesto que estos dos elementos están en paralelo, sus admitancias se suman y la admitancia total de la excitación es

$$Y_E = G_C - jB_M \quad (7-3)$$

$$= \frac{1}{R_C} - j\frac{1}{X_M} \quad (7-4)$$

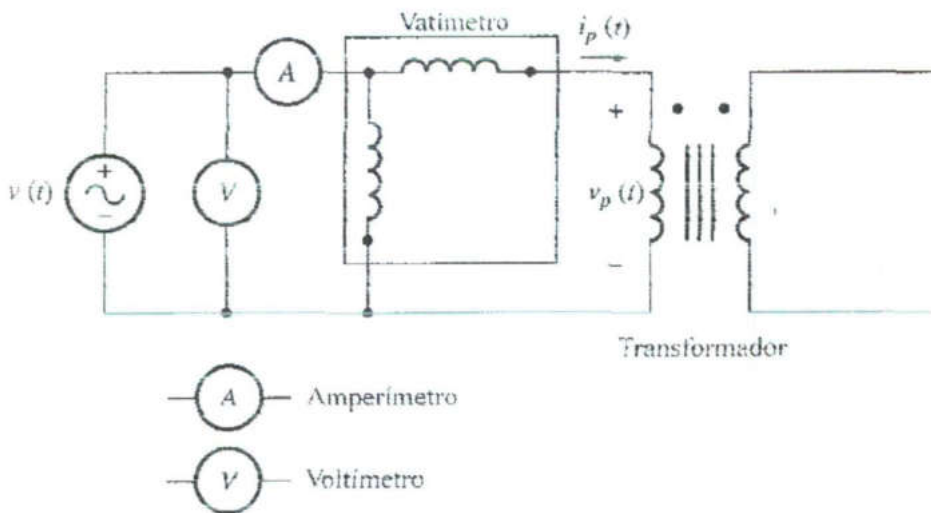


Figura 7.2
Conexión para la prueba de circuito abierto del transformador.

La *magnitud* de la admitancia de excitación (referida al circuito primario) puede calcularse con base en los valores de voltaje y corriente de la prueba de circuito abierto:

$$|Y_E| = \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \quad (7-5)$$

El *ángulo* de la admitancia puede encontrarse a partir del factor de potencia. El factor de potencia del

circuito abierto (PF) está dado por

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}} \quad (7-6)$$

y el ángulo θ del factor de potencia es

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_{OC}}{V_{OC} I_{OC}} \quad (7-7)$$

El factor de potencia está siempre en atraso para un transformador real, de modo que el ángulo de la corriente siempre atrasa al voltaje en θ grados. Por tanto, la admitancia Y_E es

$$\begin{aligned} Y_E &= \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \angle -\theta \\ &= \frac{I_{OC}}{V_{OC}} \angle -\cos^{-1} \text{PF} \end{aligned} \quad (6-8)$$

Comparando las ecuaciones (7-4) y (7-8), es posible determinar los valores de R_C y X_M directamente de los datos de la prueba de circuito abierto.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

EL USO DE UN TRANSFORMADOR CONVENCIONAL COMO AUTOTRANSFORMADOR

Número de Práctica

8

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Conectar un transformador convencional como auto-transformador y comprobar que se puede manejar más potencia en esta conexión que como transformador.

MARCO TEÓRICO

Un transformador se caracteriza por tener un solo devanado y que además tiene un acoplamiento eléctrico y magnético. La conexión eléctrica asegura que una parte de la energía se transfiere del primario al secundario por conducción. El acoplamiento magnético garantiza que otra parte de la energía se transfiere por inducción.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Transformador monofásico de 500 VA, 220/110 V.
- 1 Amperímetro de C. A. Escala de 0-5 A.
- 1 Voltímetro de C. A. Escala de 0-600 V
- 3 lámparas incandescentes de 100w

METODOLOGÍA

Un autotransformador lo podemos usar como elevador o reductor según la indicación del maestro.

Hacer la conexión de un transformador convencional y conectarlo como autotransformador.

- 1) Determinar primeramente los valores de la corriente nominales como transformador convencional.
- 2) Construya cualquiera de las figuras 1 o 2 de acuerdo a los valores de tensión del punto anterior.
- 3) Anote los valores de corriente y voltaje de acuerdo a la conexión elegida
- 4) Comprobar las relaciones de corriente y voltaje.
- 5) Comprobar que: $V_1 I_1 = V_2 I_2$

El transformador convencional

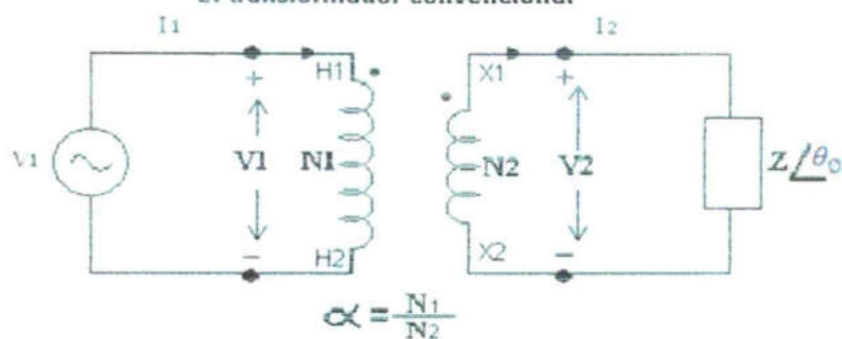
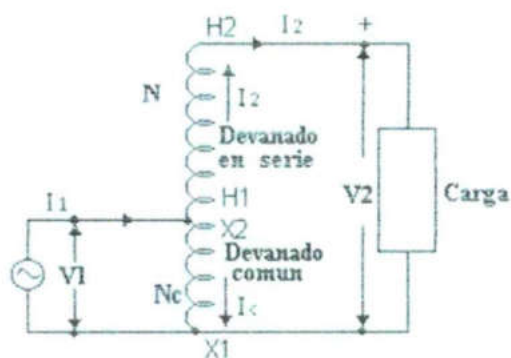


Figura 1



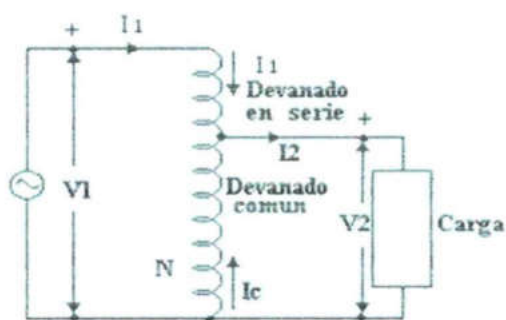
ELEVADOR

Figura 2

$$I_1 = I_c + I_2$$

$$V_2 = V_x + V_H$$

I_1 (Amperes)	I_2 (Amperes)	I_c (Amperes)	V_1 (Volts)	V_x (Volts)	V_H (Volts)	V_2 (Volts)



REDUCTOR

Figura 3

$$I_2 = I_c + I_1$$

$$V_1 = V_H + V_x$$

I_1 (Amperes)	I_2 (Amperes)	I_c (Amperes)	V_1 (Volts)	V_x (Volts)	V_H (Volts)	V_2 (Volts)

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

Questionario

1. ¿En qué favorece utilizar un transformador convencional como autotransformador?
2. ¿Por qué los autotransformadores pueden manejar más potencia que los transformadores convencionales de la misma potencia? Explicar.
3. Menciona las principales características de un transformador.
4. ¿De qué forma se puede implementar un autotransformador?
5. ¿Qué es un autotransformador?

Conclusiones



Marco Teórico

EL USO DE UN TRANSFORMADOR CONVENCIONAL COMO AUTOTRANSFORMADOR

8.1. EL AUTOTRANSFORMADOR.

En algunas ocasiones es deseable cambiar los niveles de voltaje únicamente en una pequeña cantidad. Por ejemplo, puede necesitarse cambiar el voltaje de 110 a 120 V o de 33.2 a 13.8 kV. Estos pequeños incrementos pueden ser necesarios debido a las caídas de voltaje que ocurren en sistemas de potencia alejados de los generadores. En estas circunstancias, es demasiado costoso elaborar un transformador con dos devanados completos independientes dimensionados para casi el mismo voltaje. En su lugar, se utiliza un transformador especial llamado *autotransformador*.

En la figura 8.1 se muestra un diagrama de un autotransformador elevador. En la figura 8.1a, las dos bobinas del transformador se muestran de manera convencional. En la figura 8.2b, el primer devanado se muestra conectado en forma aditiva al segundo. Ahora, la relación entre el voltaje del devanado primario y el voltaje del devanado secundario está dado por la relación de vueltas del transformador. Sin embargo, *en la salida del transformador, el voltaje completo es la suma del voltaje en el primer devanado y el voltaje en el segundo devanado*. El primer devanado se denomina *devanado común* debido a que su voltaje aparece en ambos lados del transformador. El devanado más pequeño se denomina *devanado serie* porque está conectado en serie con el devanado común.

La figura 8.2 muestra el diagrama de un autotransformador reductor. Aquí, el voltaje de entrada es la suma de los voltajes de los devanados serie y común, mientras que el voltaje de salida es justamente el voltaje del devanado común.

Debido a que las bobinas de los autotransformadores están físicamente conectadas, para el autotransformador se utiliza terminología diferente de la de los otros tipos de transformadores. El voltaje del devanado común se llama *voltaje común* V_C , y la corriente en este devanado se llama *corriente común*. El voltaje del devanado serie se llama *voltaje serie* V_{SH} y la corriente en este devanado se llama *corriente serie* I_{SE} . El voltaje y la corriente del lado de bajo voltaje del transformador son llamados V_L e I_L , respectivamente, mientras que las cantidades correspondientes al lado de alto voltaje del transformador son llamados V_H e I_H . El lado primario del autotransformador (el lado por el cual entra la potencia) puede ser el de alto o el de bajo voltaje dependiendo de si el autotransformador actúa como reductor o como elevador. De la

figura 8.2b, los voltajes y las corrientes de las bobinas se relacionan por las ecuaciones

$$\frac{V_C}{V_{SE}} = \frac{N_C}{N_{SE}} \quad (8-1)$$

$$N_C I_C = N_{SE} I_{SE} \quad (8-2)$$

Los voltajes de los devanados se relacionan con los voltajes de los terminales mediante las ecuaciones

$$V_L = V_C \quad (8-3)$$

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (8-4)$$

y las corrientes de los devanados se relacionan con las corrientes de los terminales mediante las ecuaciones

$$I_L = I_C + I_{SE} \quad (8-5)$$

$$I_H = I_{SE} \quad (8-6)$$

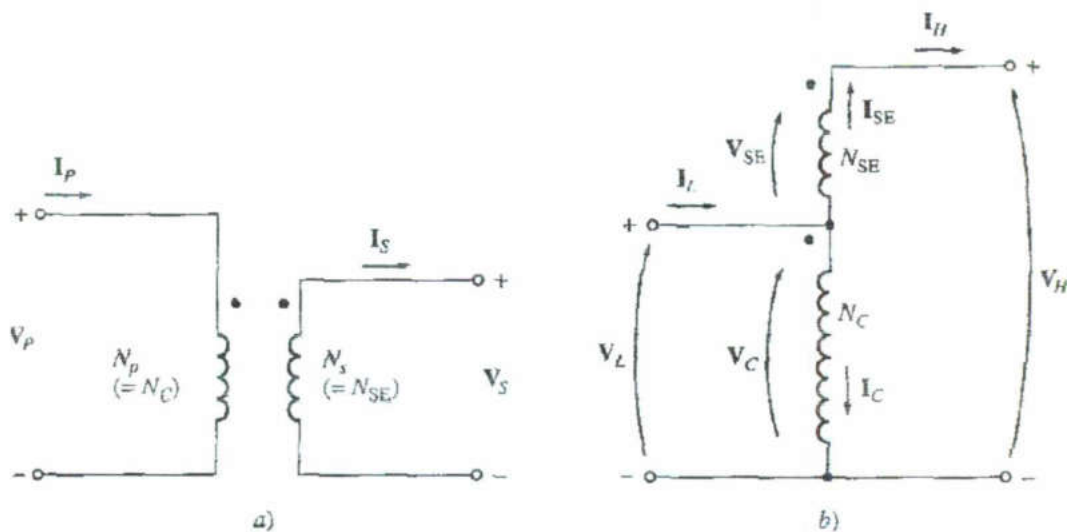


Figura 8.1.

Transformador con sus devanados a) conectados de manera convencional y b) conectados como autotransformador.

8.2. RELACIONES DE VOLTAJES Y CORRIENTES EN UN TRANSFORMADOR.

¿Cuál es la relación de voltajes entre los dos lados de un autotransformador? Es muy fácil determinar las relaciones entre \$V_H\$ y \$V_V\$. El voltaje en el lado de alta tensión del autotransformador está dado por

$$V_H = V_C + V_{SE} \quad (8-7)$$

Pero $V_C / V_{SE} = N_C / N_{SE}$, entonces

$$V_H = V_C + \frac{N_{SE}}{N_C} V_C \quad (8-8)$$

Finalmente, teniendo en cuenta que $V_L = V_C$, se obtiene

$$\begin{aligned} V_H &= V_L + \frac{N_{SE}}{N_C} V_L \\ &= \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} V_L \end{aligned} \quad (8-9)$$

$$\boxed{\frac{V_L}{V_H} = \frac{N_C}{N_{SE} + N_C}} \quad (8-10)$$

Las relaciones de corriente entre los dos lados del autotransformador se pueden encontrar teniendo en cuenta que

$$I_L = I_C + I_{SE} \quad (8-11)$$

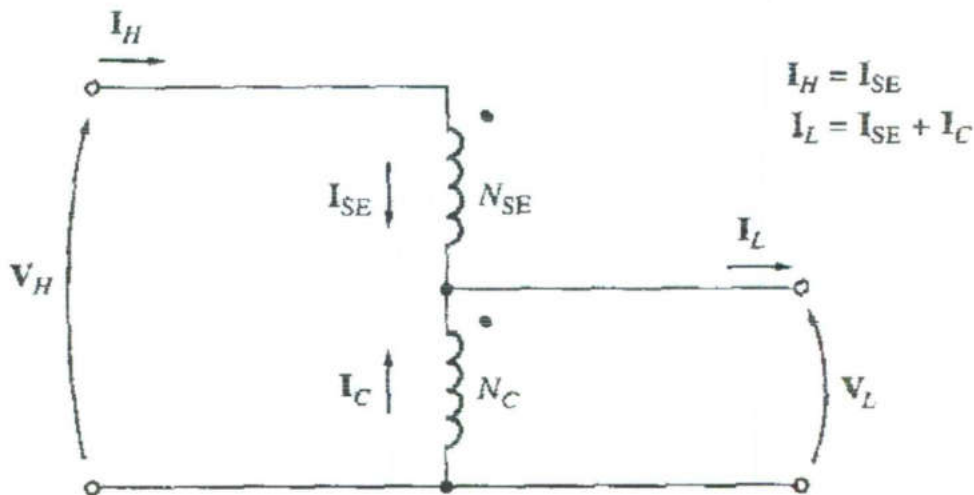


Figura 8.2.
Conexión de un autotransformador reductor,

De la ecuación (2-70), $I_C = (N_{SE}/N_C) I_{SE}$, entonces

$$I_L = \frac{N_{SE}}{N_C} I_{SE} + I_{SE} \quad (8-12)$$

Finalmente, teniendo en cuenta que $I_H = I_{SE}$, se halla que

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{N_{SE}}{N_C} I_H + I_H \\ &= \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} I_H \end{aligned} \quad (8-13)$$

o

$$\frac{I_L}{I_H} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \quad (8-14)$$

8.3. VENTAJA EN EL VALOR NOMINAL DE LA POTENCIA APARENTE EN LOS AUTOTRANSFORMADORES.

Es interesante notar que no toda la potencia que pasa del primario al secundario en un autotransformador pasa a través de los devanados. En consecuencia, si un transformador convencional se reconecta como autotransformador, éste puede manejar mucha más potencia que la nominal definida originalmente.

Para entender esta idea, remítase nuevamente a la figura 8.1b. Nótese que la potencia aparente de entrada al autotransformador está dada por

$$S_{in} = V_L I_L \quad (8-15)$$

y la potencia aparente de salida está dada por

$$S_{out} = V_H I_H \quad (8-16)$$

Es fácil demostrar, utilizando las ecuaciones de voltaje y de corriente [ecuaciones (2-77) y (2-80)], que la potencia aparente de entrada es igual de nuevo a la potencia aparente de salida

$$S_{in} = S_{out} = S_{IO} \quad (8-17)$$

donde S_{IO} está definida como las potencias aparente de entrada y de salida del transformador. Sin embargo, la potencia aparente en los devanados del transformador es

$$S_W = V_C I_C = V_{SE} I_{SE} \quad (8-18)$$

La relación entre la potencia que entra al primario (y que sale del secundario) del transformador y la potencia real en los devanados del transformador puede ser hallada como sigue;

$$\begin{aligned} S_W &= V_C I_C \\ &= V_L (I_L - I_H) \\ &= V_L I_L - V_L I_H \end{aligned}$$

Utilizando la ecuación (8-14), se obtiene

$$\begin{aligned} S_W &= V_L I_L - V_L I_L \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \\ &= V_L I_L \frac{(N_{SE} + N_C) - N_C}{N_{SE} + N_C} \end{aligned} \quad (8-19)$$

$$= S_{IO} \frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C} \quad (8-20)$$

Por tanto, la relación entre la potencia aparente en el primario y en el secundario del autotransformador y la potencia aparente real que atraviesa los devanados es

$$\frac{S_{IO}}{S_W} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_{SE}} \quad (8-21)$$

La ecuación (8-21) describe la *ventaja en el valor nominal de potencia aparente* de un autotransformador sobre un transformador convencional. Aquí, S_{IO} es la potencia aparente que entra al primario y sale por el secundario del transformador mientras que S_W es la potencia aparente real que pasa a través de los devanados del transformador (la restante pasa del primario al secundario sin ser acoplada a través de los devanados del transformador). Nótese que cuanto menor sea el devanado serie, mayor será la ventaja de potencia.

Por ejemplo, un autotransformador de 5000 kVA que conecta un sistema de 110 kV a otro de 138 kVA debería tener una relación de vueltas N_C/N_{SE} de 110:28. Tal autotransformador debería tener devanados dimensionados para

$$\begin{aligned}
 S_W &= S_{IO} \frac{N_{SE}}{N_{SE} + N_C} \\
 &= (5000 \text{ kVA}) \frac{28}{28 + 110} = 1015 \text{ kVA}
 \end{aligned}
 \tag{8-22}$$

El autotransformador debería tener devanados dimensionados a cerca de 1015 kVA, mientras que el transformador convencional necesitaría devanados dimensionados a 5000 kVA para hacer el mismo trabajo. El autotransformador puede ser cinco veces menor que el transformador convencional y también mucho menos costoso. Por esta razón, es muy ventajoso construir autotransformadores con transformadores entre dos voltajes muy cercanos.

La principal desventaja de los autotransformadores es que, a diferencia de los transformadores corrientes, *hay una conexión física directa entre los circuitos primario y secundario*; de este modo se pierde *el aislamiento eléctrico* de los dos lados. Si una aplicación particular no requiere aislamiento eléctrico, el autotransformador es una forma conveniente y *barata de ligar voltajes* aproximadamente iguales.

8.4. IMPEDANCIA INTERNA DE UN AUTOTRANSFORMADOR.

Los autotransformadores tienen una desventaja adicional, comparados con los transformadores convencionales. Es un hecho que la impedancia efectiva por unidad de un autotransformador, comparada con la de un transformador conectado de manera convencional, es menor en un factor igual al inverso de la ventaja en potencia de la conexión como autotransformador.

La impedancia interna reducida de un transformador, comparada con la del transformador convencional de dos devanados, puede causar graves problemas en algunas aplicaciones que requieran limitar la corriente que fluye durante fallas del sistema de potencia (cortocircuitos). El efecto de la menor impedancia interna provista por un autotransformador debe ser tenido en cuenta en aplicaciones prácticas antes de seleccionar el autotransformador.

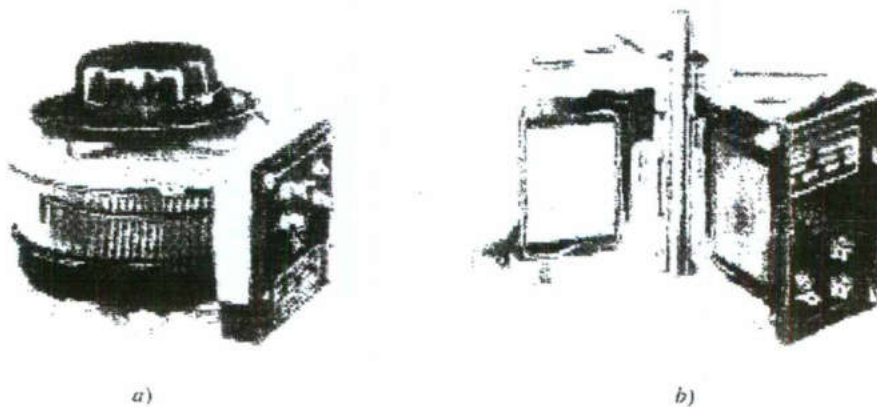


Figura 8.4.

a) Auto transformador de voltaje variable. b) Vista en corte de un autotransformador



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

CONEXIONES TRIFÁSICAS DE TRANSFORMADORES

Número de Práctica

9

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Que el alumno sea capaz de hacer una transformación trifásica a partir de un transformador trifásico y comprobar sus relaciones de voltaje, corriente y potencia, tanto en el primario como en el secundario.

MARCO TEÓRICO

Como la mayor parte de la potencia que se genera y transmite a largas distancias es del tipo trifásico, pueden utilizarse tres transformadores monofásicos exactamente iguales para formar un transformador trifásico. Sin embargo, por razones económicas, un transformador trifásico se diseña para tener sus seis devanados en un núcleo magnético común.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Voltímetro de C. A.
- 1 Amperímetro de C. A.
- 1 Transformador trifásico 1KVA.
- 1 Secuencímetro.
- 1 Analizador de potencias (FLUKE)

METODOLOGÍA

1. Las conexiones más comunes en la transformación trifásica son:
 - a) Delta – Delta.
 - b) Estrella – Estrella.
 - c) Delta – Estrella.
 - d) Estrella – Delta.
2. Efectuar la conexión que indique el maestro.
3. Realizar la conexión de acuerdo a la figura 1. Teniéndose cuidado, de haber identificado las terminales de los transformadores monofásicos.
4. Conectar una carga trifásica al secundario del transformador y medir corrientes y voltajes para comprobar la relación de acuerdo a la conexión elegida.
5. Alimente el transformador y conecte el secuencímetro a X1, X2 y X3, observe la secuencia de fases.

LECTURAS OBTENIDAS

TABLA 1

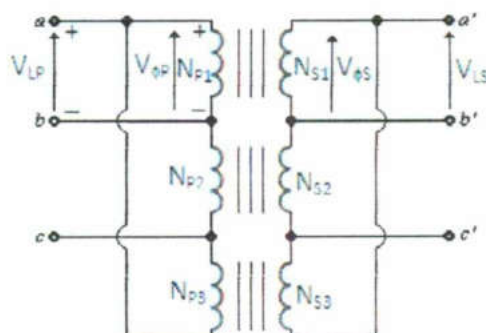
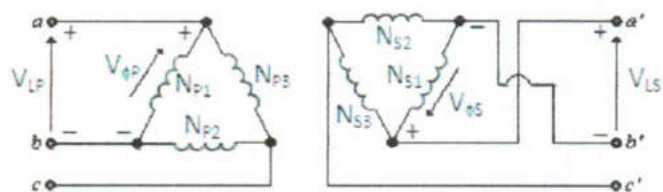
SECUENCIA DE FASE		TERMINALES (DE ACUERDO A LA SECUENCIA)		RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN
ABC	BCA	BAJA TENSIÓN	ALTA TENSIÓN	
V_{AB}				
V_{BC}				
V_{CA}				

CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

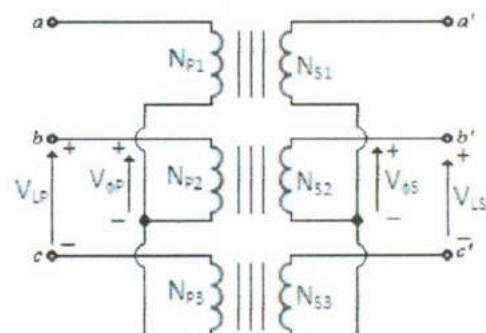
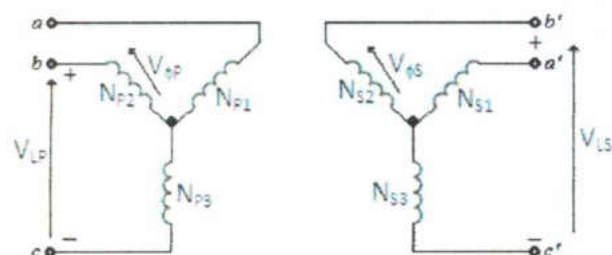
DIAGRAMA ALAMBRADO

DELTA - DELTA ($\Delta - \Delta$)



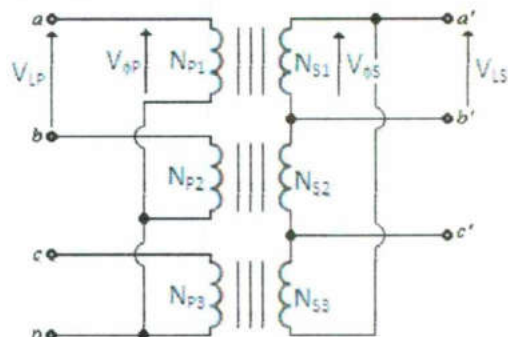
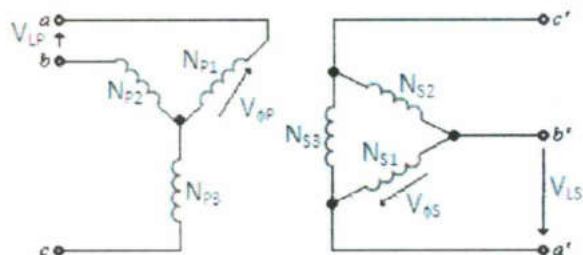
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a$$

ESTRELLA - ESTRELLA (Y - Y)



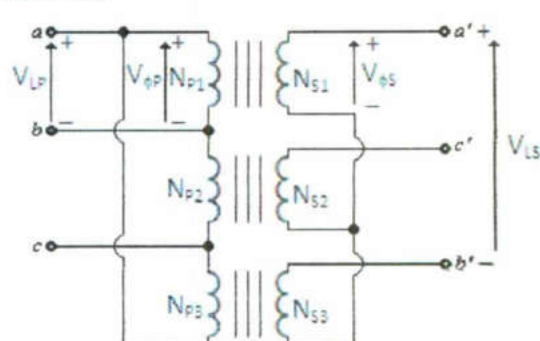
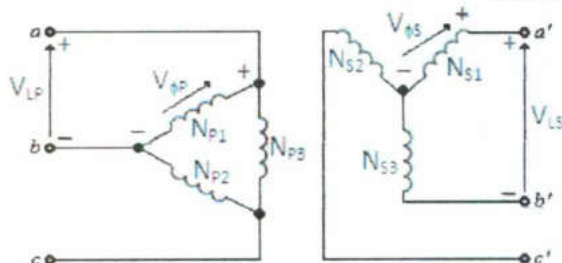
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{\sqrt{3}V_{\phi S}} = a$$

ESTRELLA - DELTA (Y - Δ)



$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \sqrt{3}a$$

DELTA - ESTRELLA ($\Delta - Y$)



$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}}{a}$$

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

1. Dibujar la conexión seleccionada, indicando las marcas de polaridad.
2. Anotar los valores en la tabla 1.

Cuestionario

1. ¿Cómo se puede crear un transformador trifásico a base de monofásicos?
2. ¿Por qué es mejor un transformador trifásico tipo acorazado que otro tipo de núcleo?
3. ¿Cuál es la conexión que más se emplea en los sistemas de distribución eléctrica?
4. ¿Qué significa en una conexión en estrella, neutro aislado?
5. ¿Porque en una transformación trifásica con transformadores monofásicos, deben ser de la misma potencia y relación de voltajes?
6. ¿Cuáles son las conexiones más comunes para transformadores trifásicos?

Conclusiones



Marco Teórico

CONEXIONES TRIFÁSICAS DE TRANSFORMADORES

9.1. PRINCIPALES CONEXIONES DE LOS TRANSFORMADORES.

Dependiendo del propósito de la instalación, un transformador se puede conectar de distintas formas. En el caso de los transformadores monofásicos, hay distintas formas de conectarlos a la fuente de alimentación y a la carga. Dos o más transformadores se pueden conectar en distintas formas para cumplir con distintos requerimientos.

9.2. CONCEPTO DE POLARIDAD.

A diferencia de la corriente directa, no hay polaridad positiva o negativa fija en la corriente alterna, de aquí que los transformadores no pueden tener polaridad fija en sus terminales.

La dirección relativa en la cual los devanados primarios y secundario de un transformador. Se devanan alrededor del núcleo, determina la dirección relativa del voltaje a través de los devanados.

9.3. POLARIDAD EN UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.

a) Polaridad aditiva.

b) Polaridad sustractiva.

Dado que es importante, cuando dos o más transformadores se conectan juntos, conocer la dirección relativa del voltaje de cada transformador, se han establecido ciertas convenciones para designar la llamada POLARIDAD de un transformador.

Si una de las terminales del devanado de alto voltaje se conecta al lado adyacente opuesto del devanado de bajo voltaje (por ejemplo de A a C), el voltaje en las terminales restantes (B y D) es, o la suma o la diferencia de los voltajes primario y secundario, dependiendo de las direcciones relativas de los devanados. Si el voltaje de B a D es la suma, se dice que el transformador tiene polaridad ADITIVA y si es la diferencia, entonces se dice que tiene polaridad SUSTRACTIVA.

Si los devanados de los lados de alto y bajo voltaje están en direcciones opuestas, los voltajes aplicado e inducido tendrán direcciones opuestas y se dice que el transformador tiene "polaridad sustractiva". Las terminales H1 y X1 estarán del lado izquierdo cuando se "ve" al transformador del lado de bajo voltaje

hacia el lado de alto voltaje.

Si los devanados de los lados de alto y bajo voltaje están en la misma dirección, los voltajes aplicado e inducido tendrán la misma dirección y se dice entonces que el transformador tiene "polaridad aditiva", la terminal X1 se encontrará del lado derecho cuando se "ve" al transformador del lado de bajo voltaje hacia el lado de alto voltaje.

Cuando se desea conectar en paralelo los secundarios de dos (o más) transformadores, se conectan en forma similar, las terminales que tiene la misma marca de polaridad.

9.4. CONEXIÓN TRIFÁSICA DE TRANSFORMADORES.

La transformación trifásica se puede realizar por medio de tres transformadores monofásicos en conexión trifásica o por medio de transformadores trifásicos. Los métodos de conexión de los devanados par a la conexión trifásica son los mismos, ya sea que se usen tres devanados en un transformador trifásico, o bien tres transformadores monofásicos por separado, en conexión trifásica. Las conexiones trifásicas más comunes son las denominadas DELTA y ESTRELLA.

9.5. CONEXIÓN DELTA-DELTA.

Esta conexión se usa con frecuencia para alimentar cargas de alumbrado pequeñas y cargas trifásica simultáneamente. Para esto se puede localizar una derivación o Tap en el punto medio del devanado secundario de uno de los transformadores conectándose a tierra y se conecta también al neutro del secundario. De esta manera, las cargas monofásicas se conectan entre los conductores de fase y neutro, por lo tanto, el transformador con al derivación en el punto medio toma dos terceras partes de la carga monofásica y una tercera parte de la carga trifásica. Los otros dos transformadores cada uno toma un tercio de las cargas monofásicas y trifásica.

Para poder cargar al banco trifásico en forma balanceada, se deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. Todo los transformadores deben tener idéntica relación de transformación.
2. Todos los transformadores deben tener el mismo valor de impedancia.
3. Todos los transformadores deben conectar en el mismo tap o derivación.

9.6. CONEXIÓN DELTA ABIERTA-DELTA ABIERTA.

La conexión delta-delta representa en cierto modo la mas flexible de las conexiones trifásicas. Una de las ventajas de esta conexión, es que si uno de los transformadores se daña o se retira de servicio, los otros dos pueden continuar operando en la llamada conexión "delta-abierta" o "V". Con esta conexión se suministra aproximadamente el 58% de la potencia que entrega un banco en conexión delta-delta.

En la conexión delta abierta, las impedancias de los transformadores no necesitan ser iguales

necesariamente, aunque esta situación es preferible cuando es necesario cerrar la delta con un tercer transformador.

La conexión delta abierta, se usa normalmente para condiciones de emergencia, cuando en una conexión delta-delta uno de los transformadores del banco se desconecta por alguna razón. En forma similar a la conexión delta-delta, del punto medio del secundario de uno de los transformadores se puede tomar una derivación para alimentar pequeñas cargas de alumbrado o bien otros tipos de cargas.

9.7. CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA.

Esta conexión se usa con frecuencia para alimentar cargas trifásicas grandes de un sistema trifásico de alimentación conectado en estrella. Tiene la limitante de que para alimentar cargas monofásicas y trifásicas en forma simultánea, no dispone del neutro.

Por otra parte, tiene la ventaja relativa de que la impedancia de los tres transformadores no necesita ser la misma en esta conexión.

Las relaciones entre corrientes y voltajes de fase de línea a línea para la conexión estrella delta, son las mismas que se tienen en la conexión delta-estrella estudiada en el párrafo anterior.

9.8. CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA.

Esta conexión se usa cuando se requiere alimentar grandes cargas monofásicas en forma simultánea, con cargas trifásicas. También se usa sólo si el neutro del primario se puede conectar sólidamente al neutro de la fuente de alimentación ya sea con un neutro común o a través de tierra. Cuando los neutros de ambos lados del banco de transformadores no se unen, el voltaje de línea a neutro tiende a distorsionarse (no es senoidal). La conexión estrella-estrella, se puede usar también sin unir los neutros, a condición de que cada transformador tenga un tercer devanado que se conoce como "devanado terciario". Este devanado terciario está siempre conectado en delta.

Con frecuencia, el devanado terciario se usa para alimentar los servicios de la Subestación.

9.9. TRANSFORMADORES DE UNA SOLA BOQUILLA.

En la conexión estrella-estrella, los transformadores que tienen sólo la boquilla de tal tensión o primaria, esta boquilla se conecta a la línea de alimentación. La conexión especial en la parte externa del tanque del transformador, toma el lugar de la segunda boquilla de alta tensión y se debe conectar entre los tres transformadores y al hilo de neutro o tierra.

Los transformadores de distribución tienen una conexión instalada entre la boquilla de bajo voltaje del neutro y el tanque.

9.10. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.

En términos generales, un banco formado por tres transformadores monofásicos, se puede reemplazar por un transformador trifásico. Estos transformadores trifásicos, como se ha descrito en capítulos anteriores, tienen un núcleo magnético con tres piernas, en donde se alojan los devanados primario y secundario de cada una de las fases. Los devanados se conectan internamente, en forma similar a los bancos de transformadores monofásicos, en cualquiera de las conexiones trifásicas, en cualquiera de las conexiones trifásicas, es decir, estrella-delta, delta abierta, etc.

Para una capacidad dada, un transformador trifásico es siempre de menor tamaño y más barato que un banco formado por tres transformadores monofásicos con la misma capacidad. En algunas ocasiones, aun con lo mencionado antes, se prefiere el uso de bancos de transformadores monofásicos, especialmente cuando por mantenimiento y confiabilidad resulta importante la facilidad para reemplazar a una de las unidades.

9.11. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES EN PARALELO.

Los transformadores se pueden conectar en paralelo por distintas razones, las principales están relacionadas con problemas de confiabilidad y de incremento en la demanda. Cuando se excede o se está a punto de exceder la capacidad de un transformador ya en operación.

Para conectar los transformadores en paralelo y garantizar su correcta operación, se deben cumplir ciertas condiciones como son:

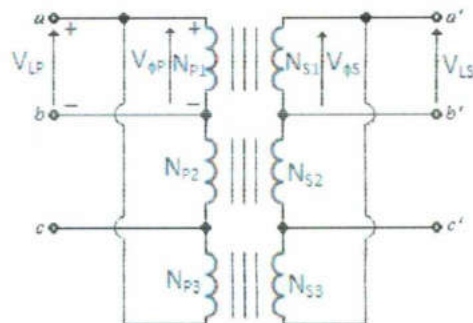
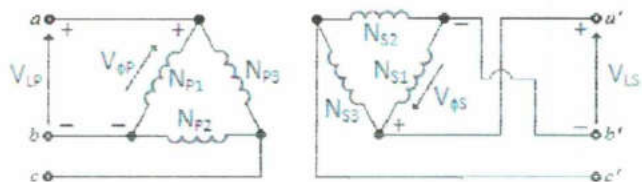
- a) Deben tener los mismos voltajes primarios y secundarios.
- b) Deben tener los mismo valor de impedancia expresado en por ciento o en por unidad.
- c) Se debe verificar que la polaridad de los transformadores sea la misma.

CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO

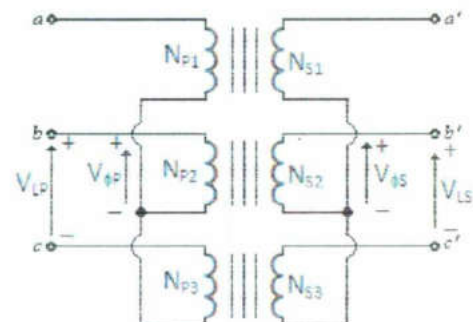
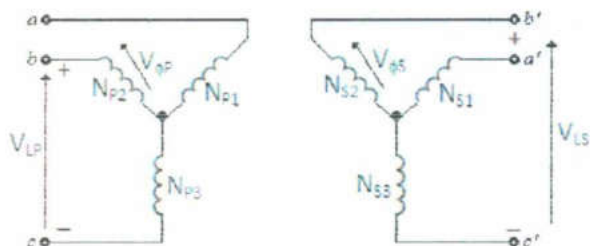
DIAGRAMA ALAMBRADO

DELTA - DELTA ($\Delta - \Delta$)



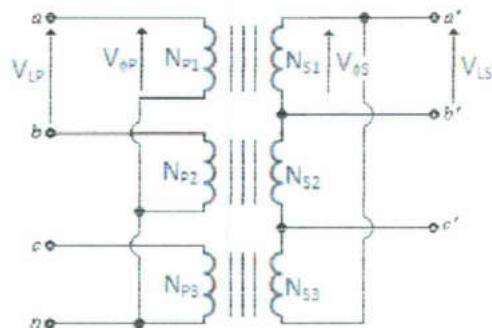
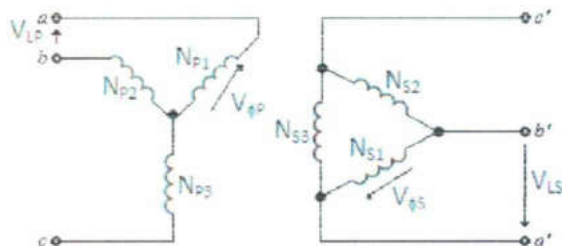
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{OP}}{V_{OS}} = \alpha$$

ESTRELLA - ESTRELLA (Y - Y)



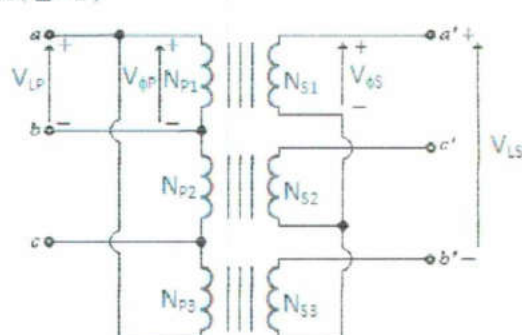
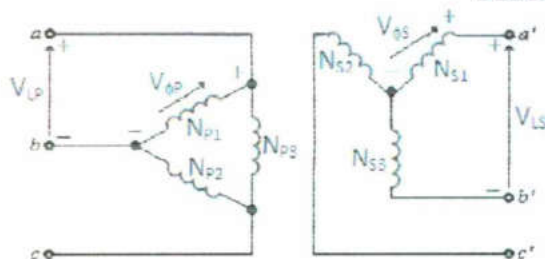
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{OP}}{\sqrt{3}V_{OS}} = \alpha$$

ESTRELLA - DELTA (Y - Δ)



$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \sqrt{3}\alpha$$

DELTA - ESTRELLA ($\Delta - Y$)



$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}}{\alpha}$$



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

Número de Práctica

10

Duración (Horas)

2

OBJETIVO *(Resultado del aprendizaje)*

Conocer físicamente las partes que constituyen un motor de inducción, para que se pueda comprender mejor, su operación y funcionamiento.

MARCO TEÓRICO

Un motor de inducción es un motor con una sola alimentación. Un motor de inducción tiene una eficiencia relativamente alta. Un motor de inducción es un transformador giratorio en el que el devanado secundario recibe energía por inducción mientras gira.

EQUIPO Y MATERIALES

- I Motor de inducción trifásico.
- I Juego de llaves españolas o estrias.
- I Multímetro.

METODOLOGÍA

1. Destapar el motor de inducción con ayuda de herramienta para observar las partes que lo conforman.
2. Observar detalladamente la forma física del motor de inducción así como la función que realizan las partes de que está hecho, por ejemplo: Rotor, estator, devanados, tapas, polea, ventilador, valeros, ranuras, flecha, etc...
3. Una vez revisado e inspeccionado físicamente cada una de las partes del motor.

Armar el motor

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

REPORTAR

Cuestionario

1. ¿Qué es un motor de inducción?
2. ¿Cómo funciona un motor de inducción?

Realizar

3. Un dibujo donde señale cada una de sus partes.
4. Datos de placa.
5. Datos del estator (ranuras, grupos de bobinas, bobinas por fase etc.)

Conclusiones

Marco Teórico

IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

10.1. EL MOTOR.

El motor asíncrono consta de dos partes distintas:

EL ESTATOR

Es la parte fija del motor. Está constituida por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero de calidad especial provistas de ranuras. Los bobinados de sección apropiados están distribuidos en estas últimas y forman un conjunto de devanados que contienen tantos circuitos como fases de la red de alimentación.

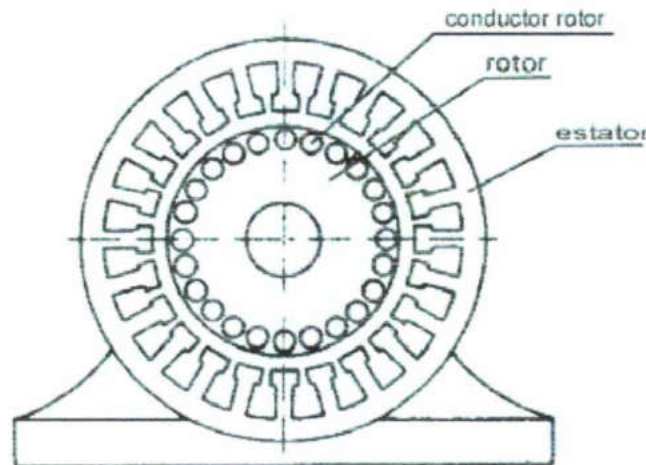


Figura 10.1.

EL ROTOR

Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y constituido por un apilamiento de chapas de acero formando un cilindro solidario con el árbol del motor. entre los tipos más utilizados se distingue:

El motor de jaula de ardilla (rotor en cortocircuito)

- Rotor de jaula simple.

En los agujeros o en las ranuras dispuestas hacia el exterior del cilindro y paralelamente a su eje se colocan

los conductores. Cada extremo de estos conductores se conecta a una corona metálica. El conjunto tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de donde proviene el nombre de este tipo de rotor.

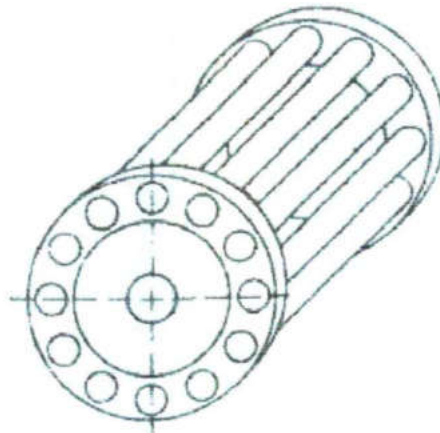
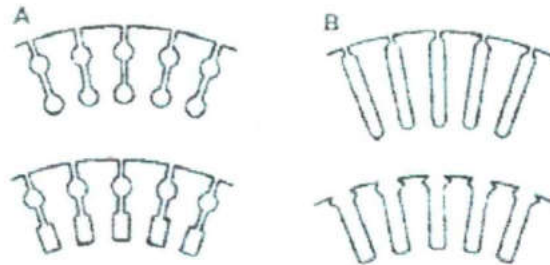


Figura 10.2.

En determinados motores, la jaula de ardilla está enteramente moldeada. Se suele utilizar el aluminio inyectado a presión; las aletas de refrigeración hechas en la misma operación hacen masa con el rotor, estos motores tienen un par de arranque relativamente pequeño y la intensidad absorbida en la puesta en tensión es muy superior a la intensidad nominal.



Rotor de doble jaula y ranura profunda: A, doble jaula; B, ranura profunda.

Figura 10.3.

• Rotor de jaula doble

Este motor contiene dos jaulas concéntricas una exterior bastante resistente y otra interior de menos resistencia

10.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento de los motores asíncronos está basado en la producción de un campo magnético giratorio. La velocidad del campo giratorio viene dado por la formula:

$$n = 60 f p \quad (10-1)$$

n = revoluciones por minuto.

f = frecuencia

p = pares de polos

La velocidad del rotor es inferior a la del campo giratorio y por eso este tipo de motor se llama "asíncrono".

En los motores trifásicos el campo giratorio es producido por tres bobinados fijos geoméricamente decalados 120° y recorridos por corrientes alternas con el mismo desfase eléctrico. La composición de los tres campos alternos producidos forman un campo giratorio de amplitud constante.

La conexión de los tres grupos de bobinas en el estator puede hacerse en "estrella" o en "triángulo", según sea la unión de los extremos de las bobinas.

Las relaciones entre las tensiones de fase y de línea y las intensidades de fase y de línea, tanto en la conexión estrella como en la conexión triángulo son las siguientes.

Fabricante	
Tipo AD 60	
D - Motor	Nr. 2080
Δ 400 V	166 A
90 kW S3	$\cos \varphi$ 0.89
1460 /min	50 Hz
Aislamiento K1.B	IP 44 0.6 t
VDE O530/7.91	

Placa de características de un motor trifásico.

Figura 10.4.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE POTENCIA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

Número de Práctica

11

Duración (Horas)

2

OBJETIVO *(Resultado del aprendizaje)*

Determinar los parámetros de un motor de inducción como el deslizamiento, frecuencia, factor de potencia, velocidad del rotor, potencia real y potencia reactiva.

MARCO TEÓRICO

Es importante conocer el principio de funcionamiento de un motor de inducción y por lo tanto, interpretar los resultados de pruebas realizadas al motor para aprovechar las bondades del mismo y aplicar a los procesos.

EQUIPO Y MATERIALES

1 Motor trifásico 220V
1 Tacómetro
1 Secuencímetro
1 Analizador
1 Termómetro digital
Puntas de conexión

METODOLOGÍA.

1. Conectar un motor trifásico a una red trifásica.
2. Medir velocidad en la flecha del motor, empleando un tacómetro.
3. Conectar el analizador siguiendo las instrucciones, medir los parámetros: KW, KVA, fp, amperes, volts, frecuencia.
4. Con la ayuda de un secuencímetro, comprobar las secuencias de las fases.
5. Medir la temperatura en los puntos de rozamiento.

EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA

Reportar

1. Los datos de placa del motor utilizado para la práctica.
2. Calcular el deslizamiento (especificar, si se trabaja el motor con carga o en vacío)
3. Completar la hoja anexa con las mediciones indicadas (indicar la conexión del motor).

1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL MOTOR A ANALIZAR.

a) Datos de placa

- Marca del motor: _____
- Potencia en Hp: _____
- Voltaje de placa: _____
- Corriente a plena carga: _____
- Tipo de armazón: _____
- Número de fases: _____
- Velocidad de sincronismo: _____
- Velocidad del rotor: _____
- Letra de código a rotor bloqueado: _____
- Diseño: _____
- Tipo de motor: _____
- Equipo que acciona: _____

2. MEDICIONES ELÉCTRICAS.

- Potencia eléctrica: _____
- Factor de potencia: _____
- Velocidad promedio medida (en r. p. m). _____
- Aportaciones de armónicas: _____
- Observaciones: _____

ANOTAR RESULTADOS EN LA TABLA 1

I_L (AMPS)	I_F (AMPS)	VOLTAJE DE LÍNEA (VOLTS)	PARAMETROS DE POTENCIA
			KW
			KVA
			KVA
			F.P.

TABLA 1

3. CÁLCULOS PARA COMPROBAR PARÁMETROS MEDIDOS

a)
$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

b) Potencia demandada
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

c) Eficiencia
$$\eta = \frac{0.746 \times \text{Hp de salida}}{\text{KW demandados}}$$

Cuestionario

1. ¿Cuáles son los parámetros de un motor de inducción?
2. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de un motor de inducción?
3. ¿Con qué se mide la velocidad de la flecha de un motor?
4. ¿Para qué sirve el secuenciómetro?
5. ¿Para qué se mide la temperatura en las puntas de rozamiento?
6. ¿Qué es la eficiencia?

Conclusiones

Marco Teórico

MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE POTENCIA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

11.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA MÁQUINA DE INDUCCIÓN.

Con el propósito de determinar los parámetros eléctricos de la máquina de inducción, se realizaron pruebas estándares, las mismas que se describen en los siguientes párrafos.

11.2. PRUEBA ESTANDARIZADA DE VACÍO ACOPLADO.

Esta prueba se realiza a velocidad sincrónica, el diagrama de conexiones de la máquina de inducción, se presenta en la figura 11.1.

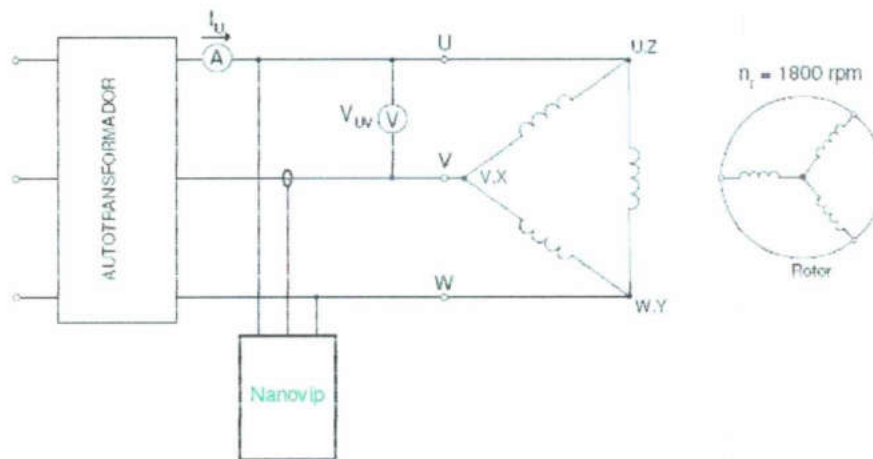


Figura 11.1

Diagrama de conexiones para la prueba de vacío.

El procedimiento realizado, se detalla a continuación:

1. Se conecta el estator de la máquina al autotransformador.
2. Se cortocircuitan los terminales de los devanados del rotor.
3. Se coloca el equipo de medición en el estator, para medir la potencia interna, voltaje y corriente.
4. Se conecta la máquina de corriente continua acoplada mecánicamente a la máquina de inducción como motor -autoexcitado, como se muestra en el diagrama de conexiones de la figura 11.2, donde el voltaje de alimentación: $V_{dc} = 110 \text{ V}$

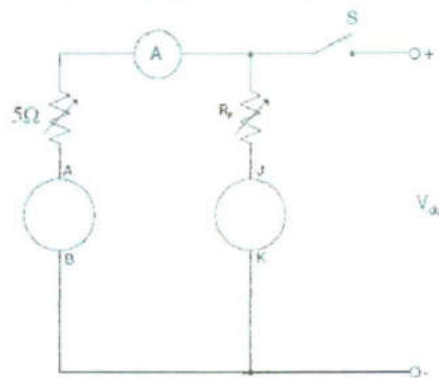


Figura 11.2

Diagrama de conexiones de la máquina de corriente continua.

5. Una vez armado los circuitos de los diagramas A.1 y A.2, antes de energizar a las máquinas con arranques independientes, se debe asegurar el mismo sentido de rotación del rotor de la máquina de corriente continua y de la máquina de inducción.
6. Una vez establecido el mismo sentido de giro de las máquinas, se energiza primero el motor de corriente continua, y se lo lleva a la velocidad sincrónica nominal del motor de inducción.
7. Se arranca el motor de inducción elevando progresivamente su voltaje de alimentación a voltaje nominal, y luego se ajusta la rotación del grupo a velocidad sincrónica nominal de la máquina de inducción, variando la velocidad del motor de corriente continua, mediante el ajuste de RF.
8. Una vez ajustada la velocidad del rotor a velocidad sincrónica nominal, se toma los datos de la prueba en el estator de la máquina de inducción.

Los datos determinados en esta prueba, son:

$$I_{U_{ns}} = 3.84 \text{ [A]}$$

$$V_{U_{Vns}} = 224.67 \text{ [V]}$$

$$W_{ns} = 620.67 \text{ [W]}$$

$$n_r = 1800 \text{ [rpm]}$$

11.3. PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO A FRECUENCIA REDUCIDA.

Una vez realizada la prueba de vacío, se desenergiza a las máquinas y se procede a conectar sólo la máquina de inducción. Esta prueba se realiza a frecuencia reducida, 1 con el rotor de la máquina de inducción bloqueado. El diagrama de conexiones es el mismo de la prueba anterior, y se presenta en la figura 11.3.

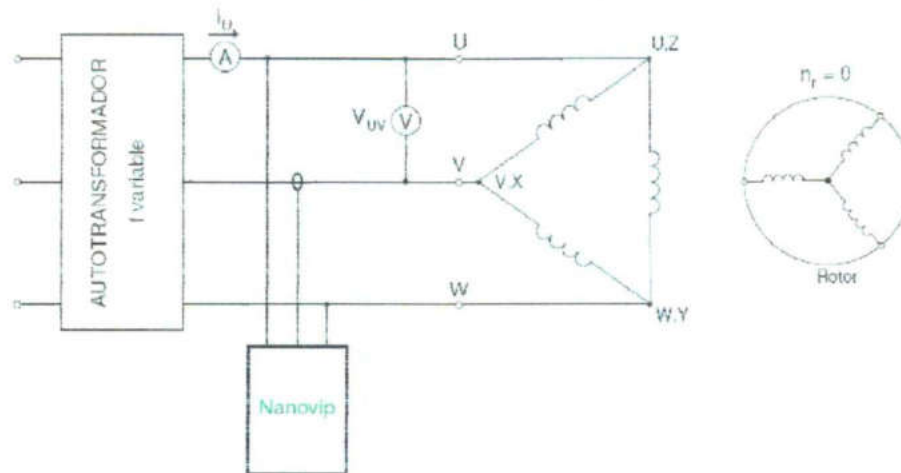


Figura 11.3

Diagrama de conexiones para la prueba de rotor bloqueado.

El procedimiento realizado, se detalla a continuación:

1. Se energiza a la máquina de inducción, y se bloquea mecánicamente el rotor, sujetándolo con las manos.
2. Se procede a elevar paulatinamente el voltaje de alimentación a frecuencia reducida del estator de la máquina, mediante el ajuste del autotransformador, hasta que circule la corriente de línea nominal en el estator de la máquina.
3. Una vez obtenida la corriente nominal con el rotor bloqueado ($s = 1$), se procede a tomar las mediciones en el estator de la máquina.

Los datos obtenidos en esta prueba, son:

$$I_{Urb} = 7.02 \text{ [A]}$$

$$V_{UVrb} = 32.27 \text{ [V]}$$

$$w_{rb} = 298.33 \text{ [W]}$$

$$f_r = 24.3 \text{ [Hz]}$$

$$f_b = 60 \text{ [Hz]}$$

$$P = 4 \text{ polos}$$

11.4. PRUEBA DE CORRIENTE CONTINUA.

Esta prueba se realiza para determinar la resistencia de los devanados del estator y se realiza luego de que la máquina de inducción haya funcionado algún tiempo como motor. Para realizar esta prueba es necesario tener muy en cuenta que la corriente continua máxima que circula por el devanado, tiene que ser menor a la corriente nominal de la máquina. Con tal finalidad, se debe estimar el voltaje a aplicarse, colocando una resistencia de valor conocido en serie con el devanado a examinarse, para limitar la corriente. El diagrama de conexiones se presenta en la figura 11.4.

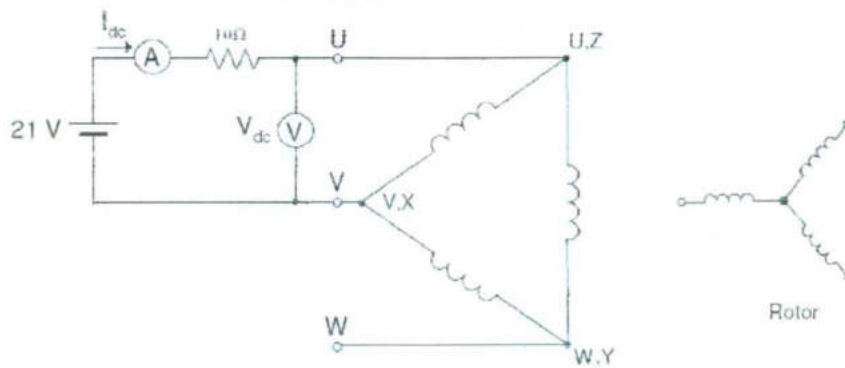


Figura 11.4

Diagrama de conexiones para la prueba de corriente continua.

Los valores medidos en esta prueba, son:

$$I_{dc} = 1.92 \text{ [A]}$$

$$V_{dc} = 2.1 \text{ [V]}$$

11.5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.

En rotor bloqueado, la rama de magnetización puede ser despreciada. El circuito equivalente bajo esta condición, se presenta en la figura 11.5.

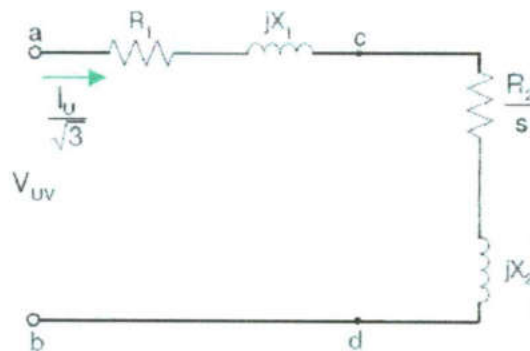


Figura 11.5

Circuito equivalente de la máquina de inducción a rotor bloqueado.

En el circuito de la figura anterior, la impedancia total del circuito Z_{rb} a rotor bloqueado, es:

$$Z_{rb} = R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2) = R_{eq} + jX_{eq}$$

Donde, Z_{rb} puede calcularse como:

$$Z_{rb} = \frac{V_{uv,rb}}{\frac{I_{u,rb}}{\sqrt{3}}}$$

Con:

$$R_{eq} = \frac{W_{rb}}{3 \left(\frac{I_{Urb}}{\sqrt{3}} \right)^2}$$

$$X_{rb} = \sqrt{Z_{rb}^2 - R_{eq}^2}$$

$$X_{eq} = \left(\frac{f_b}{f_r} \right) X_{rb}$$

La reactancia del circuito del estator y rotor para una máquina de rotor bobinado se calcula como:

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2}$$

De la prueba de corriente continua, la resistencia del devanado del estator ajustando su valor por efecto de la corriente alterna, se calcula como:

$$R_1 = 1.05 \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{V_{dc}}{I_{dc}} \right)$$

La resistencia del devanado del rotor, se calcula como:

$$R_2 = R_{eq} - R_1$$

De la prueba de vacío, despreciando las pérdidas resistivas en el entrehierro de la máquina, el circuito equivalente se presenta en la figura 11.6.

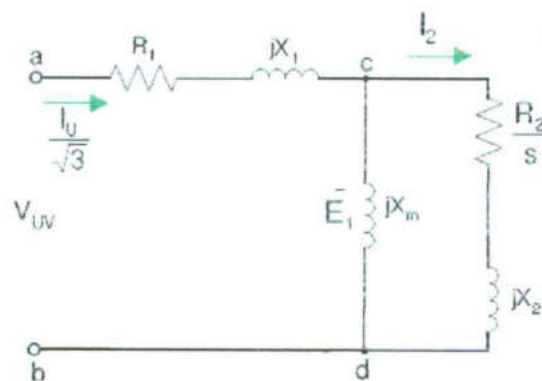


Figura 11.6
Circuito equivalente de la máquina de inducción.

Donde con la intención de calcular la reactancia de magnetización X_m , del circuito de la figura 11.6, podemos determinar el ángulo de fase entre I_U y V_{UV}

$$\theta_{sc} = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{W_{sc}}{3}}{V_{UVsc} \left(\frac{I_{Usc}}{\sqrt{3}} \right)} \right)$$

Tomando como referencia el voltaje de línea VUV, el voltaje fasorial en el entrehierro es:

$$\bar{E}_1 = V_{UVsc} - (R_1 + jX_1) \left(\frac{I_{Usc}}{\sqrt{3}} \right)^2 e^{-j\theta_{sc}}$$

La corriente fasorial en la rama del rotor, es:

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{E}_1}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

El deslizamiento a la velocidad nr de la prueba de vacío, se determina como:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Con una velocidad sincrónica nominal de la máquina, calculada como:

$$n_s = \frac{120f_b}{P}$$

La potencia reactiva en la rama del entrehierro, es:

$$Q_m = V_{UVsc} \left(\frac{I_{Usc}}{\sqrt{3}} \right) \text{sen}\theta_{sc} - \left(\frac{I_{Usc}}{\sqrt{3}} \right)^2 X_1 - \left| \bar{I}_2 \right|^2 X_2$$

La reactancia de magnetización, se calcula como:

$$X_m = \frac{\left| \bar{E}_1 \right|^2}{Q_m}$$

Desarrollado el cálculo anterior, los parámetros encontrados, son:

$$R_1 = 1.7227 [\Omega]$$

$$X_1 = 6.3847 [\Omega]$$

$$R_2 = 4.3311 [\Omega]$$

$$X_2 = 6.3847 [\Omega]$$

$$X_m = 94.9400 [\Omega]$$

El circuito por resolver a la frecuencia de operación "a" en pu, se presenta en la figura 11.7.

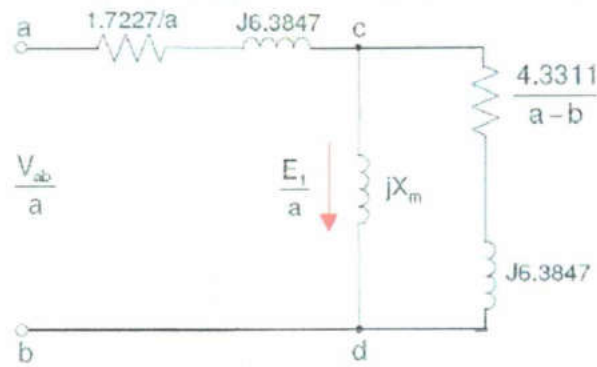


Figura 11.7

Circuito equivalente por resolver de la máquina de inducción.

En el circuito equivalente por resolver: a y b, son respectivamente la frecuencia y la velocidad en pu.

11.6. DATOS DE PLACA DE UN MOTOR ELÉCTRICO.

a) Para motores trifásicos. Cada motor debe contar con una placa de datos, en idioma español, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Las placas de datos deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrir las placas de datos, la información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser leída aunque desaparezcan la coloración e impresiones de superficie.

b) Para motores monofásicos. Cada motor debe contar con una placa de datos, en idioma español, esta debe ser de poliéster y la pintura no debe cubrir la placa de datos. La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la placa de datos y placas auxiliares, de cualquier motor de corriente alterna monofásico o trifásico, en forma indeleble y en lugar visible. _ Nombre o marca registrada del fabricante _ Modelo _ Designación de armazón. _ Potencia nominal en kW (cp). _ Tensión nominal en volts. _ Corriente nominal a carga plena en amperes. _ Corriente a factor de servicio. _ Frecuencia eléctrica en Hz. _ Monofásico o trifásico. _ Frecuencia de rotación a carga plena en r/min o min⁻¹ _ Diagrama de conexiones. _ Factor de servicio. _ Tipo servicio (continuo o intermitente). _ Posición del Motor. _ Clase de aislamiento. _ Máxima temperatura ambiente. _ Indicar temperatura ambiente a 1000 m.s.n.m. _ Letra de clave para kVA de rotor bloqueado por kW (cp). _ Letra de diseño. _ Marcar en la placa: Eficiencia Premium _ La eficiencia nominal a carga plena en por ciento (2 dígitos enteros y 1 decimal) _ Designación de cojinetes. _ Sistema de lubricación y característica del lubricante. _ Potencia de calefactores en watts. _ Tensión de alimentación de calefactores en volts. _ Características de rodamientos o cojinetes. _ Símbolo NOM-ANCE de autorización para la comercialización en México. _ La leyenda "Hecho en México" o indicación del país de origen. _ Número de serie. _ Peso del motor en Kg. _ Sentido de rotación del eje o flecha. En los motores a prueba de explosión, se debe incluir una placa adicional donde se indique, clase, grupo y división para la cual fue construido avalada por UL o equivalente.



Nombre de la Asignatura

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

Nombre de la Práctica

ARRANQUE Y FRENADO DINÁMICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

Número de Práctica

12

Duración (Horas)

2

OBJETIVO (Resultado del aprendizaje)

Que el alumno conozca la forma de arrancar y parar un motor de inducción, así mismo, frenar rápidamente un motor a partir de un frenado dinámico.

MARCO TEÓRICO

El arranque de los motores puede ser a tensión reducida ó a tensión completa, puede ser con medios electromagnéticos o de estado sólido, en cualquier caso cuando se desconectan de la línea de alimentación siguen girando debido a la inercia de cada motor para detener rápidamente un motor de inducción se le aplica C.D. a los devanados para crear un campo estático y detener rápidamente el motor.

EQUIPO Y MATERIALES

- 1 Tablero de control para motores de C. A.
- Puntas de conexión

METODOLOGÍA.

1. Hacer las conexiones de acuerdo a la figura 1 para el arranque del motor de inducción.

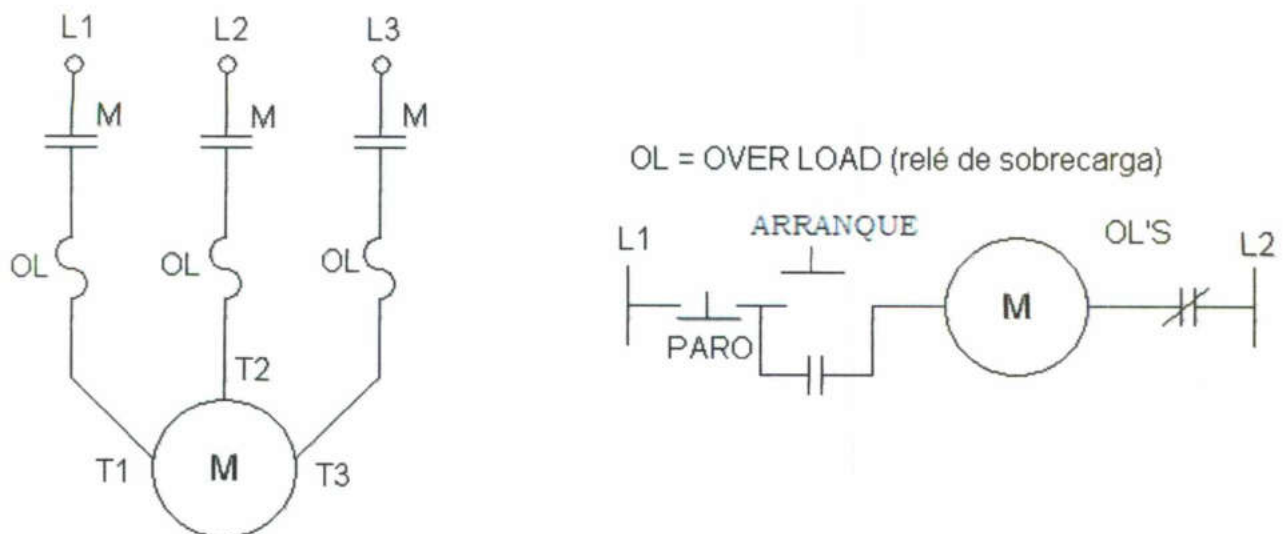


Figura 1

2. El frenado dinámico, consiste en sustituir la alimentación de C. A. por C. D., el voltaje de C. D. se ha de calcular a partir de medir la resistencia de las dos fases del motor y multiplicar por 6 la corriente nominal. Hacer el diagrama de acuerdo a la figura 2.

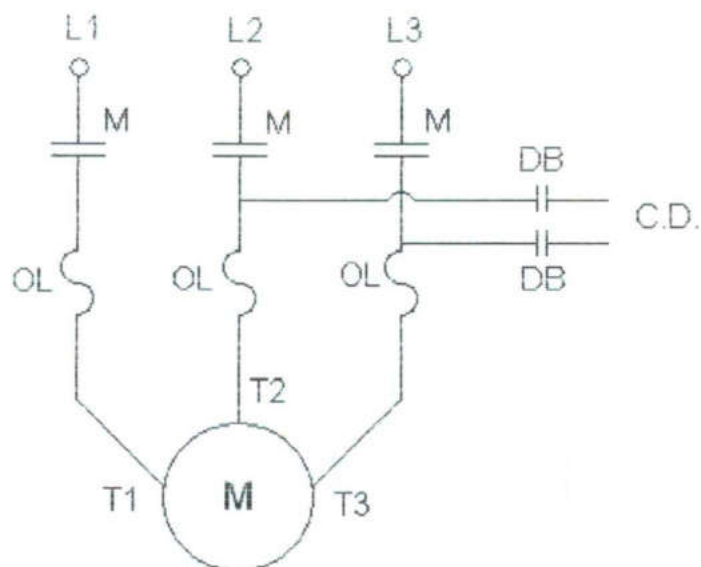


Figura 2

Cuestionario

1. ¿En qué consiste el frenado dinámico?
2. ¿Cuáles son los tipos de arranque de un motor? Explícalos.
3. ¿Para qué sirve crear un campo estático al detener un motor?
4. ¿Qué nos indica el término "sobrecarga" en un motor?
5. ¿Cómo funcionan los elementos de protección de sobrecarga?

Conclusiones



Marco Teórico

ARRANQUE Y FRENADO DINÁMICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

12.1. ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

Los motores de inducción no presentan los problemas de arranque que tienen los motores sincrónicos. En muchos casos, los motores de inducción pueden ser puestos en marcha conectándolos simplemente a la red; a veces, sin embargo, hay buenas razones para no hacerlo así. Por ejemplo, la corriente de arranque requerida puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencia tal que haga inaceptable el *arranque a través de la línea*.

En motores de inducción de rotor devanado, el arranque puede llevarse a cabo con corrientes relativamente pequeñas, insertando resistencia extra en el circuito del rotor durante el arranque. Esta resistencia extra no sólo aumenta el par en el arranque sino que reduce su corriente.

En los motores de inducción de jaula de ardilla, la corriente de arranque puede variar con gran amplitud dependiendo, en principio, de la potencia nominal del motor y de la resistencia efectiva del rotor en las condiciones de arranque. Para estimar la corriente del rotor en condiciones de arranque, todos los motores de jaula de ardilla tienen ahora una *letra código* de arranque (no se debe confundir con la letra de *clase de diseño*) en su placa de características. La letra código limita la cantidad de corriente que el motor puede tomar en condiciones de arranque.

Estos límites se expresan en términos de la potencia aparente de arranque como función de su potencia nominal en caballos de fuerza. La figura 12.1 es una tabla que contiene los kilovoltamperes de arranque por caballo de fuerza para cada letra código.

Para determinar la corriente de arranque de un motor de inducción, lea el voltaje nominal, la potencia nominal y la letra código en su placa de características. Entonces la potencia aparente de arranque para el motor será

$$S_{\text{start}} = (\text{potencia nominal en caballos de fuerza})(\text{factor de letra código}) \quad (12-1)$$

$$I_L = \frac{S_{\text{start}}}{\sqrt{3}V_T} \quad (12-2)$$

Letra código nominal	Rotor bloqueado kVA/hp	Letra código nominal	kAV/hp Rotor bloqueado
A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.00
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.7-8.00	V	22.40 y superiores
K	8.00-9.00		

Figura 12.1.

Tabla de letras código NEMA, que indican los kilovoltamperes de arranque por caballo de fuerza nominal para un motor. Cada letra código se extiende hasta el límite inferior de la siguiente clase superior, pero no lo incluye.

Ejemplo 7-7 ¿Cuál es la corriente de arranque de un motor de inducción trifásico, de 15 hp, 208 V, letra código F?

Solución. De acuerdo con la figura 12.1, los kilovoltamperes máximos por caballo de potencia son 5.6. Entonces, los kilovoltamperes máximos de arranque de este motor son

$$S_{\text{start}} = (15 \text{ hp})(5.6) = 84 \text{ kVA}$$

La corriente de arranque es

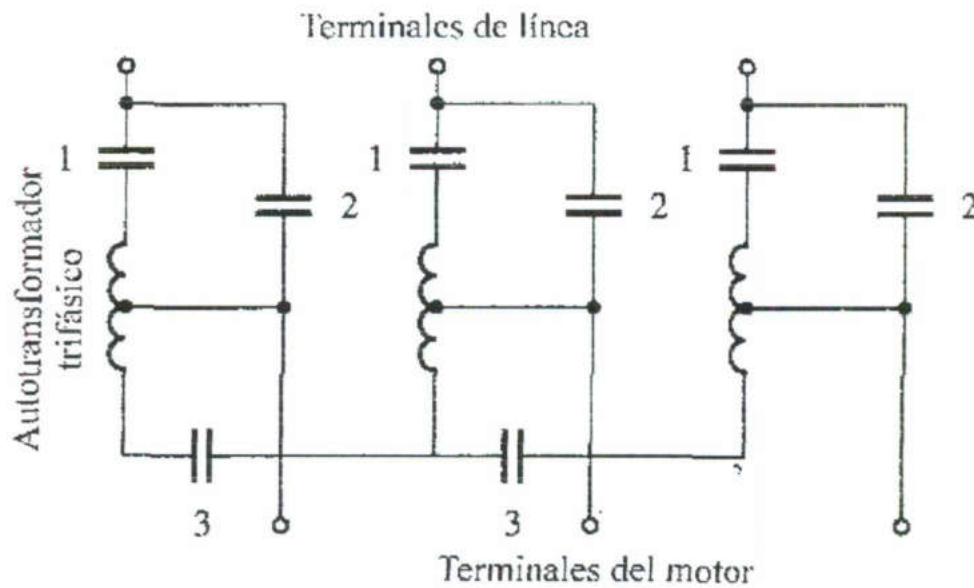
$$\begin{aligned}
 I_L &= \frac{S_{\text{start}}}{\sqrt{3}V_T} \\
 &= \frac{84 \text{ kVA}}{\sqrt{3}(208 \text{ V})} = 233 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{12-3}$$

Si es necesario, se puede reducir la corriente de arranque de un motor de inducción mediante un circuito de arranque. Sin embargo, al realizar esta operación también se reducirá el par de arranque del motor.

Una forma de reducir la corriente de arranque es insertar en la línea de potencia inductancias o resistencias extra durante el arranque. Aunque esta técnica era antes común, hoy en día es muy rara. Una alternativa

consiste en reducir el voltaje en terminales del motor durante el arranque, utilizando auto transformadores para ello. La figura 12.2 muestra un circuito típico de arranque a voltaje reducido por medio de autotransformadores. Durante el arranque, los contactos 1 y 3 están cerrados y suministran un voltaje bajo al motor. Una vez que el motor ha tomado velocidad, se abren esos contactos y se cierran los contactos 2, que permiten la aplicación de voltaje pleno de la línea al motor.

Es importante aclarar que mientras la corriente de arranque se reduce en proporción directa a la disminución del voltaje en los terminales, el par de arranque disminuye con el *cuadrado* del voltaje aplicado. Entonces, sólo puede reducirse cierta cantidad de corriente si el motor va a arrancar con carga en su cjc.



Secuencia de arranque

- a) Cierra 1 y 3
- b) Abre 1 y 3
- c) Cierra 2

Figura 12.2.

Arrancador por autotransformador en un motor de inducción.

12.2. CIRCUITOS DE ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

En la figura 12.3 se muestra un circuito típico de arranque a voltaje pleno o directo a través de la línea en un motor de inducción y, en la figura 12.4 se explica el significado de los símbolos utilizados en aquella. La operación de este circuito es muy simple. Cuando se presiona el botón de arranque, la bobina del relé (*O contactor*) M se energiza y se cierran los contactos normalmente abiertos M_1 , M_2 , y M_3 . Cuando se cierran estos contactos, se aplica potencia al motor de inducción y éste arranca. El contacto M_4 se cierra también cortocircuitando el interruptor de arranque y permitiendo que el operario lo libere sin que se quite

el suministro de potencia al relé M. Cuando se presiona el botón de parada, se desenergiza el relé M, se abren los contactos M, y se detiene el motor.

En motores de este tipo, un circuito arrancador magnético tiene varios elementos de protección incorporados:

1. Protección de cortocircuito
2. Protección de sobrecarga
3. Protección de bajo voltaje

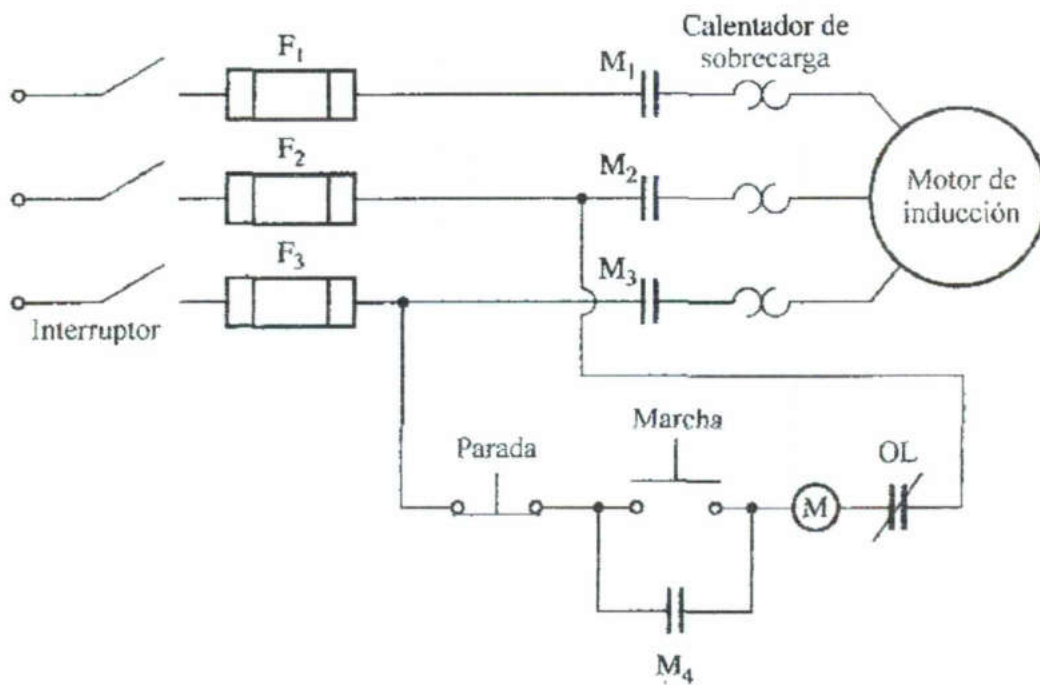


Figura 12.3.

Arrancador típico directo a través de la línea en un motor de inducción.

La *protección de cortocircuito* para el motor está provista por los fusibles F_1 , F_2 , y F_3 . Si se presenta un cortocircuito repentino dentro del motor y causa un flujo de corriente muchas veces mayor que la corriente nominal, los fusibles se funden y desconectan el motor de la fuente de potencia para evitar que se quemara por completo. Sin embargo, dado que los fusibles *no* se deben quemar durante el arranque normal del motor, deben ser diseñados para cumplir los requerimientos de corrientes muchas veces mayores que la corriente de plena carga, antes que abran el circuito. Esto significa que los cortocircuitos a través de una alta resistencia o las cargas excesivas para el motor no serán evitados por los fusibles.

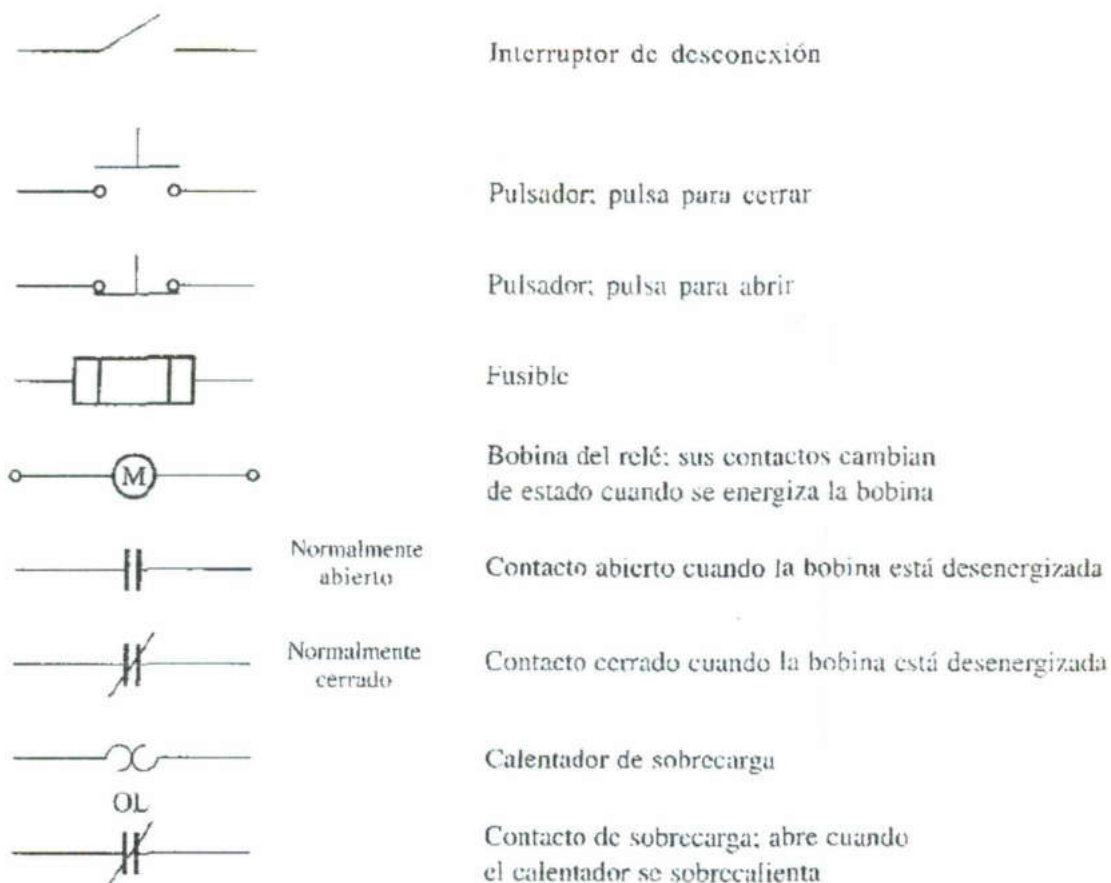


Figura 12.4.

Componentes típicas encontradas en circuitos de control de motores de inducción.

La *protección de sobrecarga* para el motor está provista por los dispositivos marcados OL en la figura. Estos elementos de protección de sobrecarga constan de dos partes, un elemento calefactor por sobrecarga y sus contactos. Bajo condiciones normales, los contactos de sobrecarga están cerrados. Sin embargo, cuando se eleva suficientemente la temperatura del calefactor de sobrecarga, se abren los contactos OL y se desenergiza el relé M que, a su vez, abre los contactos M normalmente abiertos y quita el suministro de potencia al motor.

Cuando se sobrecarga un motor de inducción, con el tiempo se daña debido al calentamiento excesivo causado por sus altas corrientes. Sin embargo, el motor tarda en dañarse y normalmente no sufrirá daños por exponerse durante breves periodos a altas corrientes (como las corrientes de arranque). El daño sólo ocurrirá si se mantiene la alta corriente. Los elementos calefactores de sobrecarga dependen del calor para su operación de modo que no serán afectados por periodos breves de alta corriente durante el arranque y operarán con corrientes altas durante periodos largos, desconectando el motor de la fuente de potencia antes que experimente algún daño.