

Cuaderno del Instructor

Módulo 3: “Nociones Básicas de Sistemas
Eléctricos de Equipos Fijos”
PFMEI-2-01/v.1-[PE01-M03/v.1]

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Director de Proyectos
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material es propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero. Está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS, QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE. © Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; FreeportMcMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.



Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educativas:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.



Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento	7
Módulo III: Nociones Básicas de Sistemas Eléctricos de Equipos Fijos	8
1. Nociones básicas de sistemas trifásicos.....	9
1.1 Principales características de sistemas trifásicos.....	9
1.2 Principales características de conexión Delta / Estrella	12
Actividad N° 12.....	19
2. Introducción a los principales equipos electromagnéticos	22
2.1 Nociones básicas y principio de funcionamiento de transformadores	22
2.2 Nociones básicas y principio de funcionamientos de motores de inducción.....	55
Actividad N° 13.....	98
2.3 Nociones básicas y principio de funcionamiento de generadores	105
Actividad N° 14.....	108

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de Mantenedor Eléctrico – Instrumentista Base General de nivel 2.

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor, podrá, además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos:

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento “Instrumento de evaluación de proceso”.

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10. La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo III: Nociones Básicas de Sistemas Eléctricos de Equipos Fijos

1. Nociones básicas de sistemas trifásicos

1.1 Principales características de sistemas trifásicos

El objetivo principal de un sistema multifásico es el de producir una fuente más eficiente de energía eléctrica.

En un sistema monofásico, hay importantes períodos de baja generación de voltaje ya que la bobina al girar, en ocasiones viaja en paralelo al campo magnético.

Estos períodos requieren energía del motor-primario, proveniente del embobinado de éste.

Al agregar bobinas adicionales dentro de un alternador, y girándolos dentro del campo magnético, se puede lograr una salida de energía eléctrica mayor por cada rotación, por ejemplo, una segunda bobina instalada en el alternador de un motor monofásico proporcionará un sistema bifásico.

Proporciona la generación de voltaje más eficaz para un mínimo aumento de la complejidad de construcción

Ventajas: Sistema Trifásico

1. Se puede lograr una mayor salida de energía eléctrica.
 - $1\emptyset \sim 64\%$
 - $2\emptyset \sim 90\%$
 - $3\emptyset \sim 96\%$
2. La energía eléctrica entregada es más constante.
3. Dos voltajes están disponibles – fase a neutro y fase a fase.
4. Los motores trifásicos son más pequeños que los motores monofásicos para la misma salida de potencia.
5. Para un sistema de distribución eléctrica, la cantidad de material de cobre necesario para los tres conductores es menor que la necesaria para un sistema equivalente monofásico, activo y neutro.

Generación de una Forma de Onda 3Ø

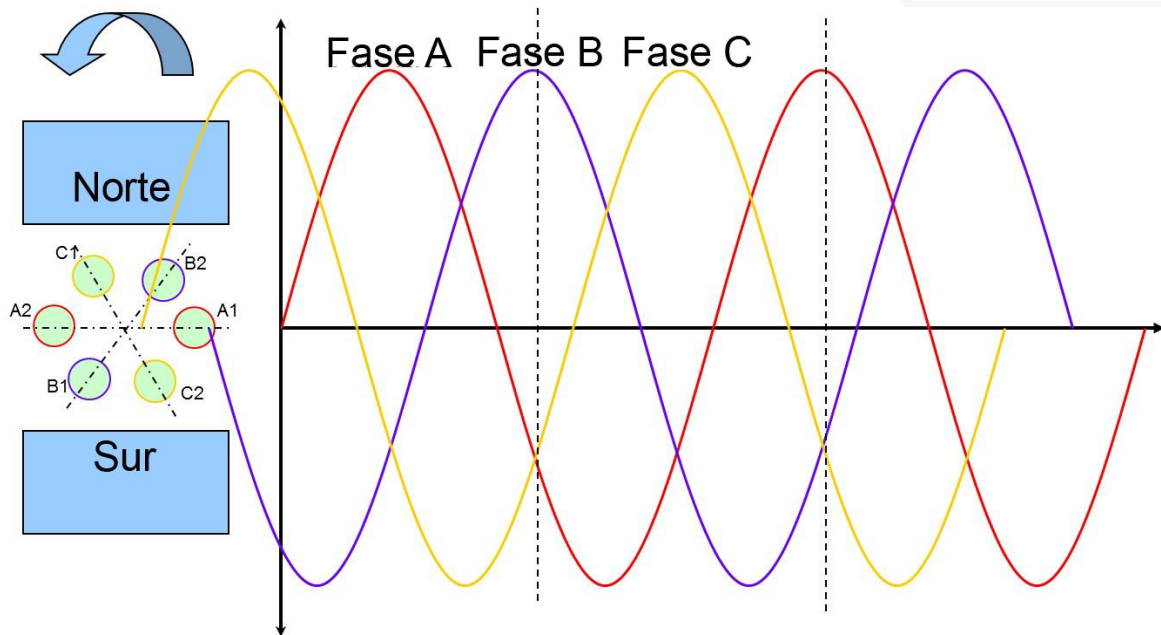


Figura 1

Secuencia de Fase (o rotación de fase)

La secuencia de fase es determinada por el orden en el que los voltajes inducidos en cada bobina alcanzan sus valores positivos máximos, normalmente A-B-C.

Al revertir la dirección de rotación del alternador, la secuencia de fase se puede revertir para producir una secuencia de fase de A-C-B.

Para propósitos de la generación, una secuencia de fase de A-B-C es esencial para asegurar que todos los alternadores estén produciendo formas de onda que estén EN FASE unos con otro.

Sin embargo, para cargas trifásicas tales como los motores, se puede seleccionar la secuencia de conexión para producir la dirección de rotación deseada.

Sistemas Trifásicos: Sistemas Balanceados

Sistema Balanceado:

- Cada carga debe tener la misma impedancia y el mismo factor de potencia (para cada fase).
- Un sistema balanceado no necesita un neutro.
- Se puede usar configuración estrella o delta.

Sistemas balanceados típicos:

- Motor embobinado 3Ø.
- Transformadores 3Ø.
- Soldadoras 3Ø.
- Sistemas de agua caliente 3Ø.
- Algunas cargas de calefacción 3Ø.

Sistemas Trifásicos: Sistemas Desbalanceados

Sistemas desbalanceados:

- Al menos una carga tiene un valor de impedancia diferente, un factor de potencia diferente o ambos.
- Un sistema desbalanceado produce una corriente fuera de balance en el punto estrella, por lo tanto, un conductor neutro es esencial (una carga desbalanceada no se debe conectar en Delta).

Sistemas desbalanceados típicos:

- Cualquier otra carga.
- Cualquier carga 3Ø con cargas monofásicas asociadas a ella.

1.2 Principales características de conexión Delta / Estrella

Conexiones Trifásicas: ESTRELLA

Formada al conectar juntos los tres extremos similares de las bobinas en el mismo punto. Este punto de conexión se llama PUNTO DE ESTRELLA.

- Punto de Estrella: La unión que permanece en potencial cero y a veces se conecta a un conductor neutro.
- Voltaje de la Línea (VL): el voltaje medido de Fase a Fase.
- Voltaje de Fase (VF): el voltaje medido entre toda fase y el punto de estrella (neutro).
- Corriente de la Línea (IL): la corriente que fluye en cualquier conductor de alimentación principal.
- Corriente de Fase (IF): la corriente que fluye en el bobinado de cada fase.

Características de un Sistema Conectado en ESTRELLA

El sistema conectado en estrella es el sistema preferido para la distribución de energía eléctrica debido a su versatilidad, (capacidad de conectar cualquier tipo de carga, voltaje 1Ø bajo para uso doméstico, voltaje 3Ø más alto para uso comercial/industrial).

Los sistemas conectados en estrella son en su mayoría sistemas trifásicos de CUATRO CABLES (tres fases más un neutro)

La suma de factores de cualquiera de los dos de los voltajes de la fase cancelan el voltaje restante en el punto de estrella, por lo tanto el punto de estrella permanece en potencial cero y puede ser conectado a tierra.

Fórmula de Conexión en ESTRELLA

Sistema conectado en Estrella

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$$

$$I_L = I_F$$

V_L SE ADELANTA A V_F en 30°

Conexiones Trifásicas: DELTA

Formado al unir el principio de cada bobina con el final de la siguiente.

Una conexión Delta no crea una unión donde se pueda conectar un neutro.

Características de un Sistema conectado en DELTA

El sistema conectado en Delta es capaz de entregar mayor potencia que el sistema conectado en estrella. Sin embargo, NO es versátil (sólo puede manejar tipos específicos de cargas, sólo un voltaje disponible).

Los sistemas conectados en Delta no son comunes, pero dan como resultado un “Sistema trifásico de TRES CABLES” (tres fases, sin neutro)

Debido a la suma de factores alrededor de las bobinas cerradas, el voltaje resultante que actúa en el circuito en Delta es cero, por lo tanto, esto no produce ninguna corriente circulante interna en la máquina.

Fórmula de Conexión en DELTA

Sistema conectado en Delta

$$V_L = V_F$$

$$I_L = \sqrt{3}I_F$$

I_L SE ADELANTA A I_F por 30°

Sistemas Trifásicos de Cuatro Cables

Un sistema trifásico de cuatro cables consta de tres conductores ACTIVOS más un conector NEUTRO (nota: el conductor a tierra normalmente no transporta corriente, por lo tanto se excluye).

Este tipo de sistemas debe ser un sistema conectado en ESTRELLA, debido a la existencia del conductor neutro y se conecta más a menudo a cargas desbalanceadas.

Las cargas desbalanceadas producen una corriente fuera de balance en el punto de estrella (las fases tienen un flujo de corriente desigual en ellas, así, no pueden tomar toda la corriente que les suministran las otras fases).

El propósito principal del conductor NEUTRO es el de transportar esta corriente fuera de balance lejos del punto de estrella.

Determinación de la Corriente Neutra

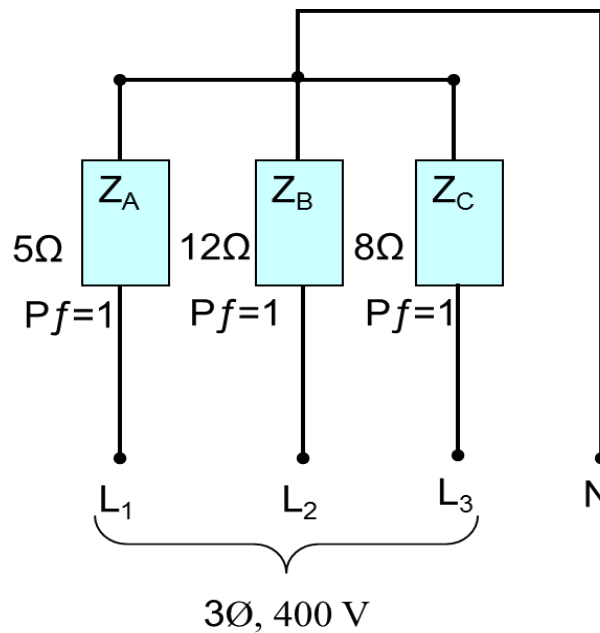


Figura 2

Proceso:

Paso 1: Calcule la corriente que fluye en cada fase con el uso de la Ley de Ohm.

Paso 2: Convierta el factor de potencia para cada carga en un ángulo de fase.

Paso 3: Dibuje un diagrama fasorial en escala (en base a V_A como el fasor de referencia) de las Corrientes en su ángulo de fase apropiado a su voltaje de fase respectivas.

Paso 4: Use la suma de fasores para encontrar la corriente resultante (I_{ABC})

Paso 5: Dibuje esta corriente de 180° fuera de fase y etiqueta I_N .

Paso 6: Mida y etiquete el ángulo de fase (ϕ_N) en comparación con la referencia.

Funciones de un Conductor Neutro:

- Transportar la corriente FUERA DE BALANCE lejos del punto de estrella.
- Mantener los voltajes de fase con valor equivalente.
- Permitir la conexión de cargas monofásicas.
- Para transportar corrientes armónicas producidas en circuitos con ciertos tipos de cargas.

Configuración Estrella Triángulo

Consta de una alimentación conectada en Estrella impulsando una carga conectada en Triángulo

Resumen

La carga conectada en Triángulo consume una ALTA corriente de fase que se traduce en una ALTA corriente de línea que tiene un impacto directo en la corriente de fase de la alimentación conectada en estrella (ejemplo, transformador o alternador)

Nota: la configuración Estrella a Estrella significa que los voltajes y corrientes son iguales para la alimentación y para la carga.

Configuración Triángulo Estrella

Consta de una alimentación conectada en Triángulo que impulsa una carga conectada en Estrella

Resumen

La carga conectada en Estrella consume una BAJA corriente de fase que se traduce en la MISMA corriente de línea que se traduce en una MENOR corriente de fase de la alimentación conectada en Estrella (ejemplo, transformador o alternador)

Nota: la configuración Estrella Estrella significa que los voltajes y corrientes son iguales para la alimentación y para la carga.

Dispositivos en Estrella y Triángulo Interconectados

Relaciones

- Estrella a Triángulo produce un sistema que requiere ALTAS demandas de corrientes desde el sistema de alimentación ($I_{F(carga)} \times \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times \sqrt{3}$).
- Sin embargo, la alimentación conectada en Estrella permiten la conexión de cargas desbalanceadas y monofásicas.
- Triángulo a Estrella produce un sistema que requiere BAJAS demandas de corrientes desde el sistema de alimentación.
- Sin embargo, la alimentación conectada en Estrella se ve muy restringida en los tipos de cargas que se pueden conectar.

Ley de Ohm para trifásicos

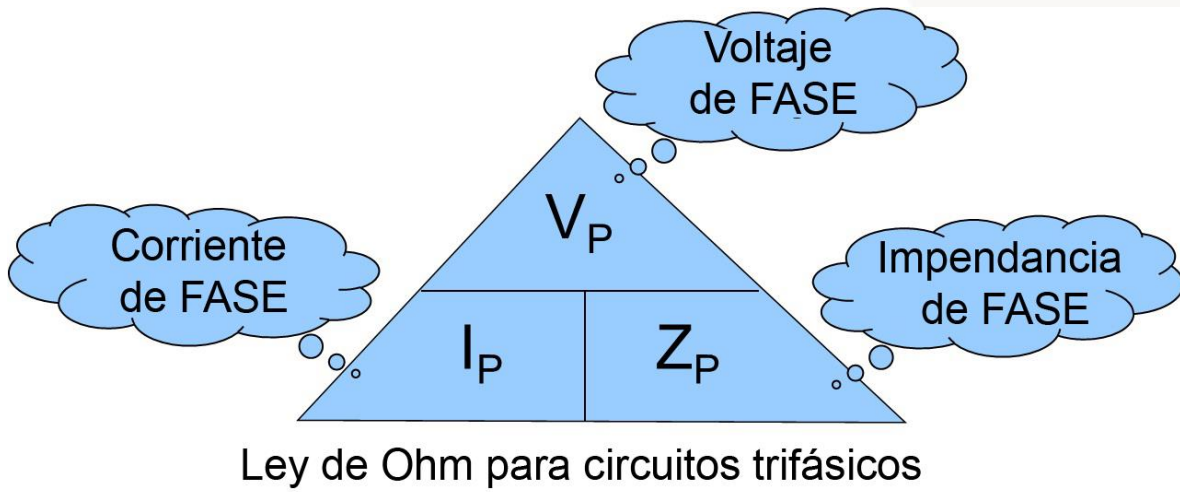
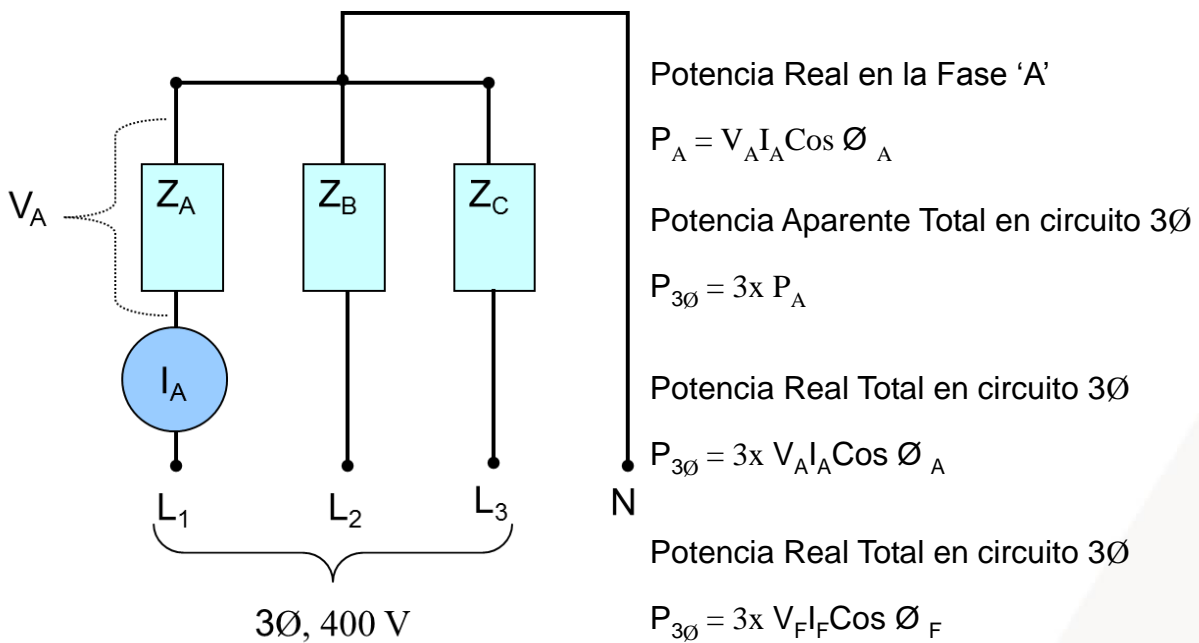


Figura 3

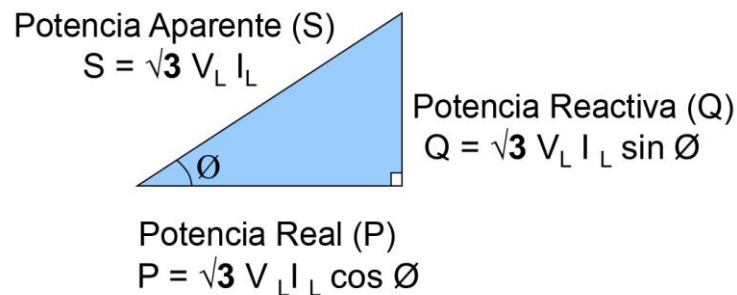
Energía Trifásica



Potencia real total
en un circuito 3Ø

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

Triángulo de Energía Trifásica



Energía Trifásica y Medición de la Potencia

Propósito de la Medición de la Potencia

- Aumentar los Ingresos.
- Monitoreo y facturación del uso de energía del cliente.
- Requerimientos de planificación y diseño.
- Monitoreo de la carga total necesaria para un área determinada para asegurar que haya suministro suficiente.
- Especificaciones del factor de potencia.
- Asegurar que la infraestructura existente sea utilizada a su máxima capacidad.

Tipos de Instrumentos de Medición

Medidor de Energía

Mide la potencia real (energía eléctrica consumida) a través del tiempo (medidor de kWh).

Tipo disco de Inducción o Electrónico



Figura 4 y 5

Indicador de Máxima Demanda

Mide la potencia aparente más alta que ocurre dentro de un período establecido – con el propósito de determinar el nivel tarifario.



Figura 6

Medidor del Factor de Potencia

Mide la relación de fase entre la corriente y el voltaje de alimentación – con el propósito de determinar el nivel tarifario.

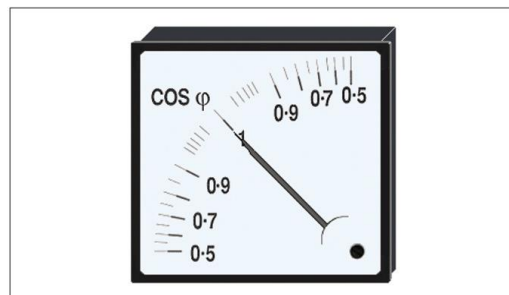


Figura 7: Medidor de factor de potencias

Actividad N° 12

Introducción a la actividad

La siguiente actividad sobre “Nociones básicas de sistemas trifásicos”, requiere su realización a través de un Kit didáctico y se divide en dos secciones: Principales características de sistemas trifásicos y principales características de conexión delta / estrella.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	✓
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	✓
Formulación de preguntas.	✓

- **Principales características de sistemas trifásicos y principales características de conexión delta / estrella.**

Objetivos de aprendizaje

- Configurar circuitos trifásicos resistivos balanceados conectados en delta o estrella.
- Realizar mediciones de potencia en sistemas trifásicos resistivos balanceados.

Descripción de la actividad

Los participantes guiados por el instructor de manera individual, en pares o en grupos, podrán abordar temas relacionados a la polaridad de los bobinados, conexiones estrella, triángulo, triángulo abierto y zig-zag, relaciones entre tensiones y corrientes, diferencia de fase entre primario y secundario, entre otros.

El objetivo de la actividad es familiarizar al participante en la configuración de los circuitos trifásicos y mediciones de potencia en estos.

Materiales y recursos

- KITS: didáctico referencial transformador.
- Herramientas de taller.

Se sugiere que la institución de formación encargada del curso adquiera el Kit Didáctico. El instructor deberá considerar los objetivos de aprendizaje para dar cumplimiento a lo esperado y deberá además decidir cómo abordará la actividad práctica. Este Kit se consigue a través de proveedores nacionales.

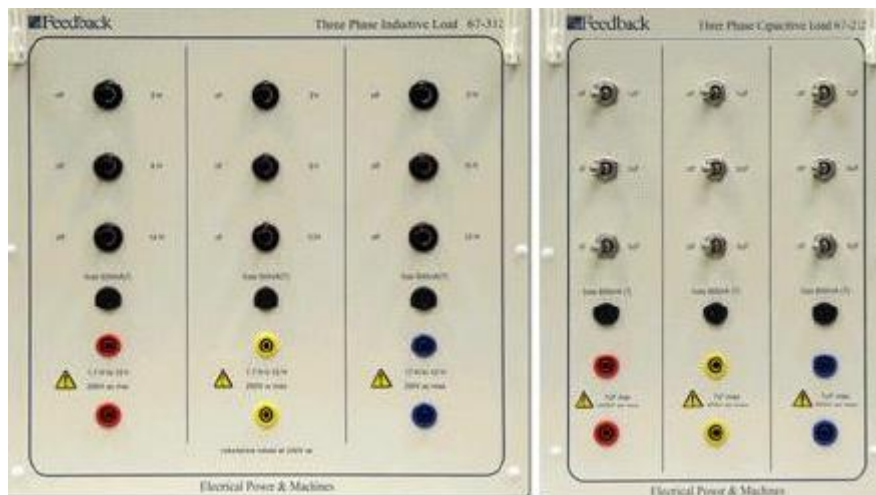


Figura 8

Desarrollo

El instructor deberá considerar los objetivos de aprendizaje para dar cumplimiento a lo esperado y deberá además decidir cómo abordará la actividad práctica de acuerdo a las instrucciones de los Kits.

Cierre

El instructor podrá destacar las ventajas: Sistema Trifásico explicando que:

- Se puede lograr una mayor salida de energía eléctrica.
- La energía eléctrica entregada es más constante.
- Dos voltajes están disponibles – fase a neutro y fase a fase.
- Los motores trifásicos son más pequeños que los motores monofásicos para la misma salida de potencia.
- Para un sistema de distribución eléctrica, la cantidad de material de cobre necesario para los tres conductores es menor que la necesaria para un sistema equivalente monofásico, activo y neutro.

2. Introducción a los principales equipos electromagnéticos

2.1 Nociones básicas y principio de funcionamiento de transformadores

Construcción y funcionamiento de los transformadores

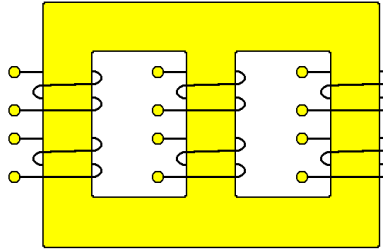


Figura 9: Transformador trifásico tipo núcleo

Cuando se aplica un voltaje alterno al devanado primario de un transformador, causará que una corriente fluya en el devanado primario. Esta corriente hará que se induzca un flujo magnético en el núcleo que aumentará y disminuirá a medida que la corriente cambia. Esto es, el flujo estará alternando. Este flujo alterno induce una EMF en el devanado primario y secundario porque ambos son cortados por el flujo alterno.

La ecuación de potencia de un transformador

Un transformador no produce energía, simplemente pasa energía desde el primario al secundario. Si se desprecian las pequeñas pérdidas internas de un transformador de potencia, se puede considerar que la potencia entregada por el secundario será igual a la potencia tomada desde el suministro en el primario.

Por lo tanto, podemos suponer que: Potencia del Primario W_1 = Potencia del Secundario W_2

Debido a que el factor de potencia de la carga no es conocida por el fabricante, los transformadores son clasificados en VA y no en Watts.

Por lo tanto, en la ecuación de $V_1 A_1 = V_2 A_2$

Dividiendo ambos lados de la ecuación por $A_1 V_2$

$$\frac{V_1 A_1}{A_1 V_2} = \frac{V_2 A_2}{A_1 V_2} \quad \text{por lo tanto:} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Indicación de la importancia de la información de la placa identificadora

Lea la nota adjunta sobre los datos de la placa identificadora:

- Transformador MEI
- Voltaje Primario: 240 V
- Corriente Primario: 8,33 A
- Voltaje Secundario: 120 V - 120 V - 12 V
- Corriente Secundario: 8,33 A
- Potencia Nominal: 1000 VA
- McClintock Electrical Industries
- Brisbane.

La placa identificadora anterior es de un transformador monofásico de 1000 VA. Los siguientes diagramas muestran los datos de la placa identificadora del transformador de potencia trifásico GEC.

- TRANSFORMADOR GEC ONAN
- Para AS 2374 1982
- Devanado H.V. L.V.
- Potencia Nominal ONAN 7,5 MVA 7,5 MVA
- Voltaje SIN CARGA 66 kV 22 kV
- Nivel de Aislación 1,1 235 C.A. 140 1,1 150 C.A. 50
- Símbolo de Conexión - Dyn11
- Voltaje de Impedancia a 75° C a 7,5 MVA base
- Posición de la toma de corriente 1: 6,78%
- Posición de la toma de corriente 9: 8,92%
- Posición de la toma de corriente 25: 8,65%
- Aumento de la temperatura de aceite superior: 60°C.
- Aumento de la temperatura de devanado (en res): 65°C.



Figura 10

Describe el funcionamiento de un transformador bajo condiciones de carga / sin carga

Resumen del funcionamiento de un transformador

El funcionamiento se resume a continuación:

Sin Carga:

- Aplica un voltaje sinusoidal al primario.
- La corriente magnetizante fluye en el primario.
- Establecer el flujo magnético común.
- EMF de respaldo inducido en el primario.
- Voltaje secundario inducido.

Con Carga:

- Voltaje secundario aplicado a la carga.
- La corriente de carga secundaria fluye.
- La corriente de carga secundaria se establece desmagnetizando el flujo (Ley de Lenz).
- Flujo del núcleo se debilita.
- EMF de respaldo primario reducido por la reducción del flujo del núcleo.
- aumento de la corriente de carga primaria para restaurar el flujo del núcleo al nivel normal en carga nueva.

Por lo tanto, todo aumento en la corriente secundaria será acompañado por un aumento proporcional de la corriente primaria.

Parámetros de los transformadores

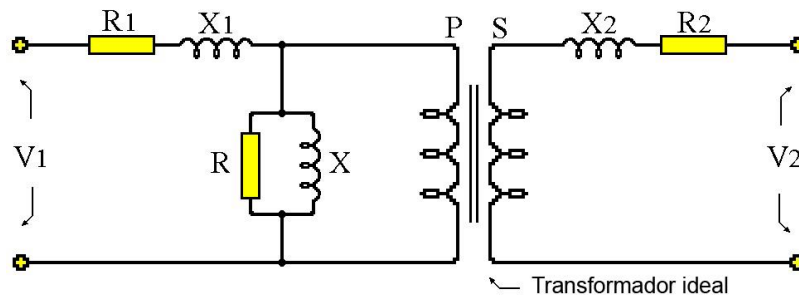


Figura 11: Circuito equivalente de un transformador

El circuito equivalente de un transformador

Se puede entender las acciones de un transformador más fácilmente al considerarlo como un transformador ideal. Un transformador ideal no tiene pérdidas, fugas magnéticas y tiene un núcleo magnético que no requiere corriente magnetizante. Las pérdidas que ocurren en un transformador real pueden ser entonces tenidas en cuenta por medio de impedancias insertadas entre el voltaje de alimentación y los devanados primarios y entre el devanado secundario y la carga.

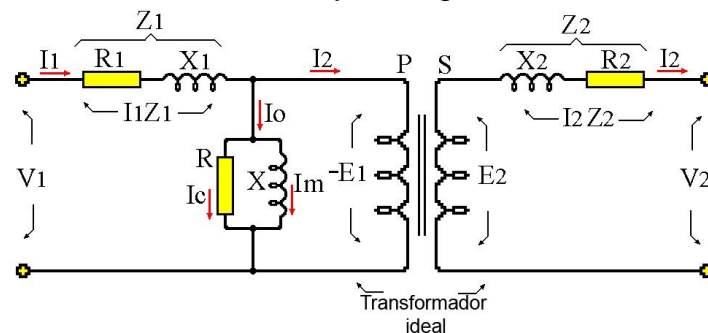


Figura 12: Transformador ideal

En el diagrama de arriba, "P" y "S" representan los devanados primarios y secundarios del transformador ideal. R_1 y R_2 son resistencias que son iguales a la resistencia de los devanados primario y secundario del transformador real. Del mismo modo, las reactancias inductivas X_1 y X_2 representan las reactancias de los devanados debido al flujo de fuga en el transformador real.

La reactancia inductiva "X" es tal que toma una corriente igual a la corriente magnetizante " I_m " del transformador real. La resistencia "R", en paralelo con "X", ha sido dimensionada para que consuma una corriente igual a la corriente de pérdida del núcleo " I_c ", de este modo teniendo en cuenta tanto las pérdidas de corriente por histéresis y parásitas.

Pérdidas del Transformador

Considere un transformador monofásico con un índice de transformación de 1:1. Cuando se aplica un voltaje a los devanados primarios, las siguientes condiciones se aplicarán.

Flujo Magnetizante

El voltaje aplicado V_1 causará el flujo de corriente magnetizante en el primario. Esta corriente magnetizante I_m , que retarda el voltaje aplicado por 90° , causará que un flujo alterno Φ circule en el núcleo magnético. El flujo alterno Φ induce voltajes en los devanados primario y secundario. Sin ninguna carga conectada al devanado secundario, el voltaje inducido primario E_1 será casi igual al voltaje aplicado.

Con un índice de transformación de 1:1, el voltaje inducido secundario E_2 será igual al voltaje inducido primario E_1 .

Pérdidas del Núcleo

El flujo alterno también inducirá un voltaje en el núcleo causando pérdidas de corriente parásita y mientras el núcleo está laminado para reducir estos efectos, aún habrá una pequeña corriente que suministre estas pérdidas. El continuo cambio del flujo del núcleo causará el calentamiento del núcleo debido las pérdidas por histéresis. El núcleo es fabricado a partir de acero para transformadores para reducir estas pérdidas pero aún habrá una pequeña corriente que las suministre. Estas dos pérdidas juntas componen las pérdidas en el núcleo y son representadas por la corriente de pérdida del núcleo I_c , que estará en fase con el voltaje aplicado. La corriente de pérdida en el núcleo y la corriente magnetizante se combinan para entregar la corriente sin carga I_0 . Las pérdidas del núcleo a veces se llaman pérdidas constantes, porque su valor no cambia desde sin carga hasta carga completa.

El efecto de la carga en el devanado secundario

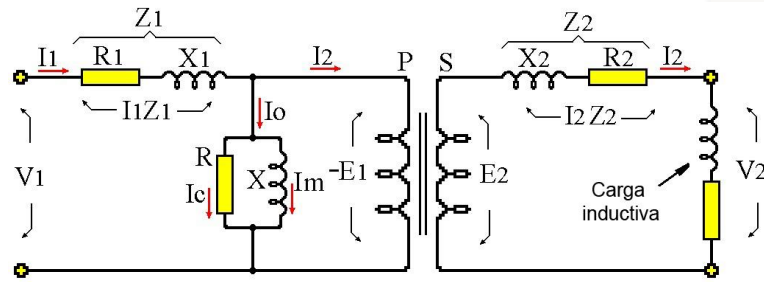


Figura 13: Transformador con una carga inductiva conectada

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.250** muestra el circuito equivalente de un transformador 1:1 con una carga inductiva conectada. La carga es tal que la corriente retrasará el voltaje del terminal secundario V_2 por cerca de 45° .

Cuando la corriente de carga fluye por la resistencia de los devanados primario y secundario habrá pérdidas de calor debido a las pérdidas de potencia I^2R . Las pérdidas I^2R , también llamadas pérdidas del cobre, son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga. Si la corriente de carga se duplica, las pérdidas I^2R aumentarán por un factor de 4. (2^2)

Determinación de los valores del circuito equivalente

Existe una cantidad de pruebas estándar que se pueden aplicar a un transformador. Estas son:

- la prueba de resistencia c.c.
- la prueba de circuito abierto.
- La prueba de cortocircuito.

Las pruebas de resistencia C.C.

La prueba de resistencia CC proporciona los valores de resistencia CC de los devanados primario y secundario. Se aplica un voltaje CC al devanado primario y secundario a cada uno y las resistencias se determinan por el método de voltímetro-amperímetro.

Prueba de circuito abierto

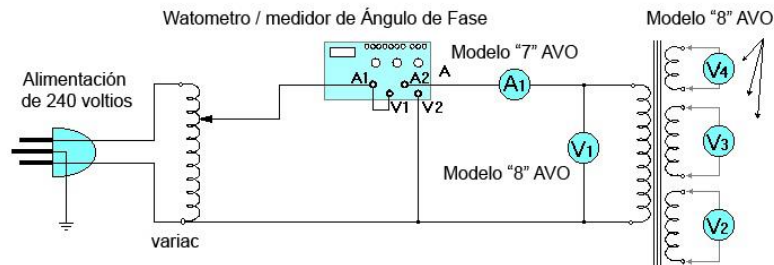


Figura 14: Prueba de circuito abierto

La prueba de circuito abierto también se conoce como prueba de pérdida en el núcleo. En esta prueba, se aplica frecuencia y tensión nominal al devanado primario con el circuito abierto secundario. Por medio de la instrumentación adecuada, se obtiene la siguiente información:

- La corriente en el primario sin carga.
- El factor de potencia en el primario sin carga.
- Las pérdidas de núcleo.
- El voltaje en el secundario sin carga.

Prueba de cortocircuito

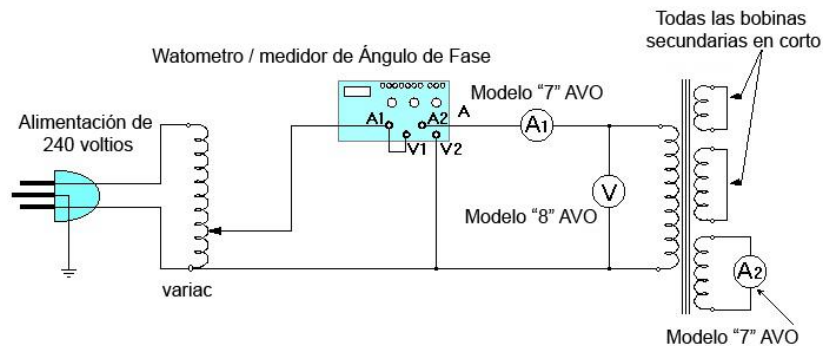


Figura 15: Prueba de cortocircuito

La prueba de cortocircuito también se conoce como prueba de pérdidas en el devanado. En esta prueba, se aplica un cortocircuito al devanado secundario y un muy pequeño voltaje, a frecuencia nominal, se aplica al devanado primario. El voltaje pequeño aplicado al primario se aumenta lentamente hasta que la corriente nominal fluya en el devanado secundario en cortocircuito. Por medio de instrumentación adecuada, se obtiene la siguiente información:

- La corriente de carga completa en el primario.
- Las pérdidas de cobre de carga completa.
- La tensión de impedancia.

Eficiencia diaria

Un transformador que alimenta una carga de iluminación se conectaría a un suministro las 24 horas del día, aún así durante la mayor parte del tiempo, sería en una carga parcial o incluso sin carga. Para tales condiciones se calcula la eficiencia diaria, la que se calcula en base a la energía.

Refrigeración del transformador

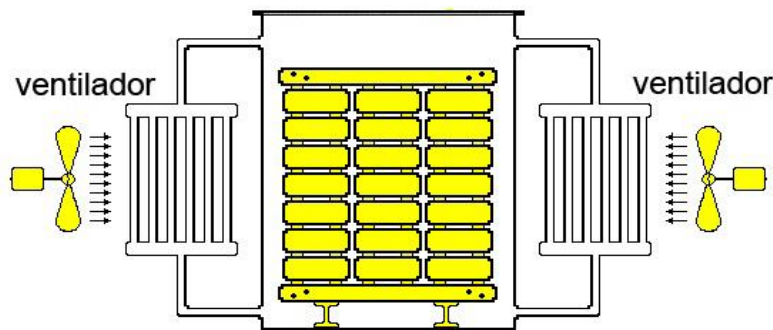


Figura 16: Refrigeración

Disipación de calor del transformador

La máxima salida de un transformador está limitada por la tasa a la que puede disipar el calor producido por sus pérdidas (pérdidas en el hierro o en el cobre). El calor se produce en los devanados así como también el núcleo de hierro. El calor producido en los devanados es proporcional al cuadrado de la corriente de carga. Por lo tanto si la corriente de carga se duplica, el calor producido en los devanados aumentará en un factor de cuatro. Las pérdidas en el hierro se refieren al calor producido en el núcleo debido a las pérdidas de corriente por histéresis y parásita. Las pérdidas de hierro son constantes desde sin carga hasta carga completa. El sobrecalentamiento no solo afecta de manera negativa los materiales de aislación, sino que también el material magnético y conductor.

El deterioro de los materiales de aislación tales como el algodón, seda, papel, mica, etc., bajo altas temperaturas es gradual y puede ser detectado por la apariencia seca o

carbonizada del material de aislación. En las etapas iniciales, esto da como resultado una pérdida de la resistencia mecánica en vez de una pérdida de la resistencia dieléctrica. Sin embargo, luego de una carbonización muy severa, la resistencia dieléctrica puede verse reducida dramáticamente. Es muy probable que ocurra una avería por la acción de la falla mecánica de la aislación debido a las tensiones mecánicas de cortocircuito o vibración.

Métodos de enfriado natural o forzado

En los transformadores muy pequeños, el área de la superficie es grande en comparación con el volumen. El enfriado mediante irradiación y convección natural se considera normalmente suficiente para mantener la temperatura de funcionamiento por debajo del máximo que la aislación pueda soportar sin acortar excesivamente la vida útil del transformador.

A medida que la clasificación y el tamaño físico de un transformador aumentan, el volumen aumenta al cubo, mientras el área de la superficie sólo aumenta al cuadrado de las dimensiones lineales. Esto significa que a medida que la clasificación aumenta, ya sea algún área de enfriado debe ser proporcionada además de lo dado por las superficies planas del estanque o algún medio artificial debe ser suministrado para disipar el calor de manera más rápida. En algunos transformadores ambos métodos se adoptan, y además, los devanados y núcleo son suministrados con ductos de ventilación adecuados para permitir que el calor generado en las partes internas pase más fácilmente a las superficies.

Transformadores del tipo Seco

Los transformadores secos se usan en los pisos superiores de los edificios de oficinas donde el riesgo de incendios es una preocupación en particular. El núcleo y devanados de un transformador seco son inmersos en aire o un gas con circulación natural o forzada. Los transformadores secos encerrados tienen el núcleo y devanados albergados en una carcasa que se ventila a la atmósfera. Los transformadores secos sellados tienen el núcleo y devanados en una carcasa sellada llena de aire o gas como aislante y medio de enfriado. En áreas muy contaminadas con polvo metálico o atmósfera salina, el núcleo y devanados están sellados en un estanque con nitrógeno seco a una leve presión positiva cuando está frío. Los transformadores secos virtualmente no necesitan mantenimiento. A fin de restringir su tamaño y peso, estos transformadores funcionan a mayores temperaturas que los transformadores inmersos en líquido y usan materiales aislantes que son adecuados para las mayores temperaturas.

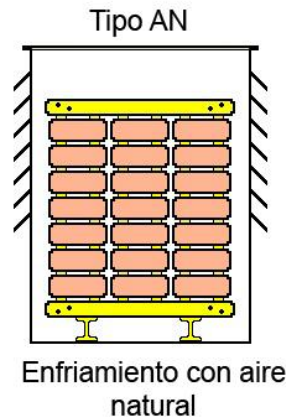


Figura 17: Transformador seco

El dibujo anterior muestra el trazado básico de construcción de un transformador seco. El símbolo AN significa que el medio de refrigeración en contacto con los devanados es el aire y el método de enfriamiento del aire es por circulación natural alrededor de las aletas de disipación exterior.

Transformadores Abb resibloc

Existen grandes demandas para la tecnología de transformadores de hoy en día para aumentar la protección ambiental. Eléctricamente, los transformadores rellenos de aceite ofrecen una buena solución, pero dentro de los transformadores de distribución de rango 11 kV/13 kV, su aplicación a menudo se restringe por el riesgo de fugas, o por las regulaciones contra incendios. En la mayoría de los casos, se han tomado medidas costosas para cumplir con estos requisitos.

La búsqueda de transformadores con un riesgo de incendio reducido llevó al uso de refrigerantes en base a PCB (askareles). Sin embargo, debido a los peligros del cáncer a causa de los materiales a base de PCB, su uso ha sido prohibido. La poca capacidad de los transformadores secos convencionales para satisfacer de manera exitosa la necesidad de transformadores de corriente intensa y sin riesgo de incendios ha llevado al desarrollo de los transformadores de resina moldeada Resibloc.

Los devanados de los transformadores Resibloc están encapsulados en resina epóxica reforzada con fibra moldeada, esto ofrece una alternativa extremadamente robusta y comprobada en el rango de los transformadores de medio voltaje.



Figura 18: Transformador Asea Brown Boveri Resibloc

La imagen anterior muestra un transformador trifásico seco que ha sido retirado de su carcasa. Estos transformadores están disponibles en un rango de tamaños que va desde 100kVA a 15MVA en tensiones de hasta 36 kV

Debido al contenido de 80% de fibra de vidrio y la favorable combinación de reforzamiento transversal y radial con fibra de vidrio introducida durante el proceso de devanado, se ha logrado un bloque de devanado excepcionalmente sólido, con alta resistencia mecánica en las direcciones axiales y radiales. Además, esto da como resultado en devanados con capacidades de resistir cortocircuitos y extrema estabilidad contra choques térmicos en los dos niveles de temperatura alto y bajo. Los riesgos de grietas debido a los diferentes coeficientes de expansión térmica entre los conductores y los sólidos materiales de aislación de resina, o por variaciones de temperatura dentro del núcleo mismo es evitado de manera eficaz para la vida útil completa del transformador.

Los transformadores de clasificación alta, por ejemplo de tamaños hasta 10 MVA, pueden ser fabricados como unidades autorefrigerantes, (AN) ya que se pueden ubicar múltiples canales de refrigeración de manera directa en los devanados de alta tensión. La tecnología de devanado con hilo de fibra de vidrio hace posible construir los devanados más grandes en una pieza, debido a la excepcionalmente alta resistencia mecánica que se logra gracias a este tipo de aislación sólida.

A través de la encapsulación con materiales de aislación de resina que son ambientalmente limpios, se protegen de manera eficaz los devanados en contra de los efectos químicos y mecánicos, insensibles ante la humedad y prácticamente no

necesitan mantenimiento. Las superficies externas suaves del devanado evitan que se acumule la suciedad y el polvo.

Los transformadores Resibloc sólo se fabrican con materiales no inflamables, auto-extinguible o difíciles de inflamar.

Refrigeración del transformador por aceite

El medio refrigerante de los transformadores grandes es el aceite de transformadores.

El aceite tiene dos funciones:

- Aislar los devanados.
- Enfriar el transformador.

El aceite enfría el transformador al transferir el calor a la superficie exterior del estanque del transformador, desde el cual se disipa mediante la irradiación y conducción.

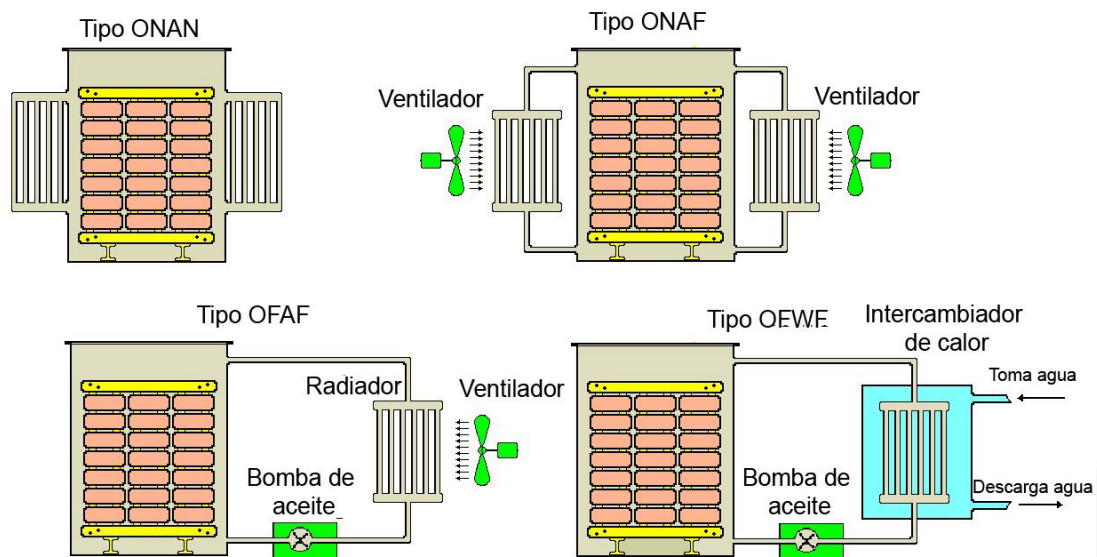


Figura 19: Refrigeración por aceite

Los diagramas anteriores muestran los cuatro métodos comunes de refrigeración por aceite para los transformadores. Las letras de designación del tipo tienen un código especial que se explica en la tabla de abajo.

Letras de designación

Primera Letra	Segunda Letra	Tercera Letra	Cuarta Letra
Indica el medio de refrigeración que está en contacto con los devanados		Indica el medio de refrigeración que está en contacto con el sistema de refrigeración externo	
Medio de Refrigeración	Circulación	Medio de Refrigeración	Circulación

Los métodos generales empleados son la refrigeración natural y forzada. Los símbolos de letras tienen el siguiente significado:

Significado de los símbolos

Símbolo	Medio de Refrigeración	Símbolo	Tipo de Circulación
O	Aceite Mineral o un líquido aislante equivalente	N	Natural
L	Líquido aislante sintético No inflamable	F	Forzada (Aceite no dirigido)
G	Gas	D	Aceite directo forzado
W	Agua		
A	Aire		

Propiedades del aceite del transformador

El aceite de los transformadores es un aceite mineral altamente refinado y purificado que se destila a partir del petróleo crudo. Para que sea un buen aislante debe tener alta resistividad y alta resistencia dieléctrica. Para una transferencia eficiente del calor debe tener baja viscosidad para que pueda circular fácilmente. El aceite debe ser químicamente estable, resistente a la oxidación y compatible con otras aislaciones usadas en el transformador.

La mayoría de los transformadores usan refrigeración por aceite. La única desventaja importante es que la protección se debe suministrar en contra del riesgo de incendio causado por una ruptura accidental del estanque del transformador. Para los grandes transformadores llenados con aceite, se puede instalar equipamiento contra incendios, corta fuegos y drenajes cubiertos con piedras o bóvedas contra fuego.

Mientras que el aceite de los transformadores tiene, en general, excelentes propiedades, tiene la desventaja de presentar una tendencia a absorber humedad. Se deberá dar énfasis a la importancia de sellar una carcasa de transformados de manera firme en contra de esta tendencia porque la adición de ocho partes por millón reduce las propiedades aislantes del aceite a un valor generalmente reconocido como por debajo del estándar.

Otra propiedad que se debe examinar con cuidado en el aceite es el la acumulación de lodo, que en términos simples es la descomposición del aceite con el uso continuo. Está causado principalmente por la exposición al oxígeno durante el calentamiento y da como resultado la formación de depósitos pesados de materia oscura y pesada que eventualmente obstruirá los ductos de refrigeración del transformador.



Figura 20: Transformador ONAN

Refrigeración por líquido sintético

Un medio de refrigeración de los transformadores para interiores, donde el peligro de incendio es superior, es un dieléctrico de líquido no inflamable fabricado a partir de hidrocarburos clorados. Estos líquidos se conocen como askareles y algunos son comercializados bajo la marca comercial Askerel, Pyranol, Pyrochlor y Permitol.

Lo líquidos sintéticos son mucho más caros que el aceite mineral puro. Tienen un peso específico superior al agua. Tienen un poder solvente superior para los materiales orgánicos que el de aceite mineral puro por lo que algunos tipos de materiales de aislación utilizados en la construcción de transformadores de aceite mineral, no pueden usarse en transformadores de aceite sintético. Además, las diferencias en las propiedades eléctricas requieren diferencias en las holguras usadas en los

transformadores de aceite sintético en comparación con los transformadores de aceite mineral.

Para aprovechar completamente las propiedades de los líquidos sintéticos, el transformador deberá estar específicamente diseñado para este uso. Debido a que el aceite sintético es demasiado costoso y denso, se usa un diseño compacto para mantener el volumen del líquido a un mínimo.

Equipamiento auxiliar del transformador



Figura 21

El conservador

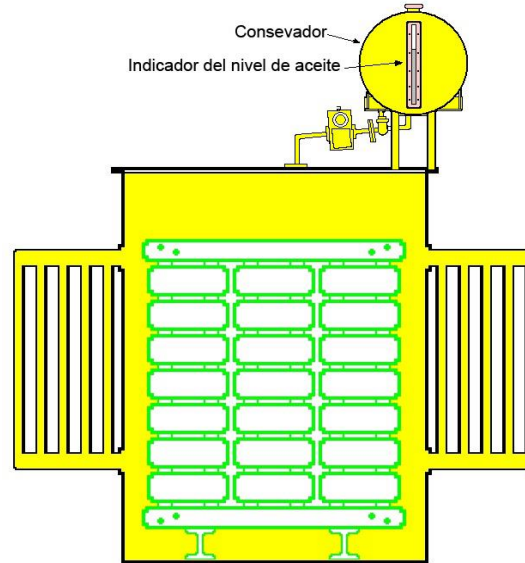


Figura 22: El conservador

Cuando un transformador suministra una corriente de carga, habrá un aumento de la temperatura en los devanados. Junto con todo aumento de la temperatura, habrá una expansión del aceite de aislación en el estanque. Cuando el transformador vuelve a una carga leve habrá una caída en la temperatura y una posterior contracción en el aceite. Los transformadores grandes normalmente tienen ventilación libre y para permitir la expansión y contracción del aceite.

Para minimizar la cantidad de área de superficie que el aceite expone a la atmósfera, se toma una tubería desde la parte superior del estanque a un tambor montado horizontalmente por sobre el nivel de la parte superior del estanque. Este tambor se conoce como conservador.

El transformador es llenado con aceite a través del conservador, hasta que el nivel de aceite es alrededor de la mitad del conservador. El tamaño del conservador está diseñado para permitir la expansión y contracción del aceite con las variaciones en la temperatura sobre un rango específico.

El conservador no sólo asegura que el sistema de refrigeración por aceite esté siempre lleno, sino que debido a la forma del conservador, reduce la posibilidad de oxidación del

aceite. En el conservador, sólo una pequeña área de superficie del aceite está en contacto con el aire y la temperatura de la superficie es mucho menor que la temperatura promedio del aceite porque su tubería de interconexión de diámetro pequeño la aísla de las corrientes de convección o flujo de aceite forzado en el sistema de refrigeración principal.

El Respiradero

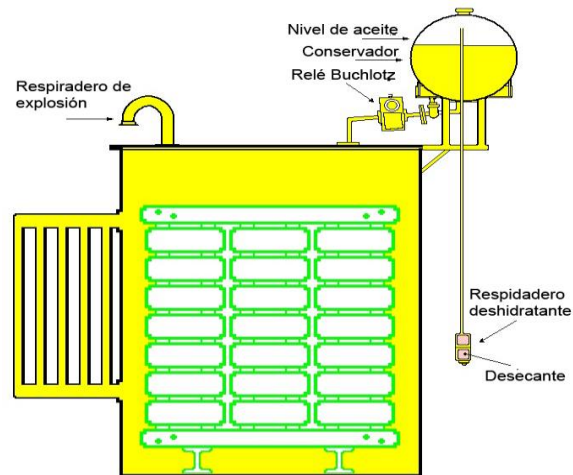


Figura 23: Respiradero

Para permitir que el transformador "respire", el conservador debe ser ventilado hacia la atmósfera. Cuando hay un gran cambio del volumen del aire en el conservador o cuando la atmósfera está húmeda, se debe ventilar el conservador a través de un respiradero deshidratante relleno con un desecante adecuado.

El material desecante normalmente es gel de sílice. Los cristales de gel de sílice en el respiradero por lo general son de color naranja pero se vuelven verdes cuando están saturados. Esto permite que se realice una rápida verificación sobre la condición del respiradero. Cuando están saturados deben remplazarse.

El panel de explosión

El panel de explosión normalmente consta de una tubería de diámetro grande con una apertura sobresaliente que mira hacia abajo, a través del cual se aperna un diafragma de vidrio delgado o metal delgado. El diafragma está diseñado para romperse si, durante una falla, se acumula presión interna a un nivel alto inaceptable. Cada vez que la presión se alivia de esta manera, se descarga una cantidad considerable de aceite. Los paneles de explosión no se usan en transformadores de diseño reciente.

Dispositivo de alivio de presión (qualitrol)



Figura 24: Dispositivo de alivio de la presión

Debido a su funcionamiento rápido, el dispositivo de alivio de presión Qualitrol ha remplazado el panel de explosión en los años recientes. Si ocurre una falla grave o cortocircuito dentro del transformador, se forma un arco que vaporiza de manera instantánea el líquido causando una acumulación muy rápida de presión de gas. Si no se reduce esta presión a un nivel seguro dentro de varias milésimas de segundo, el estanque del transformador puede romperse y rociar aceite caliente en una gran área.

Éste es un peligro serio al personal y también puede causar un peligro grave de incendio. El daño causado por dicho incidente significaría la pérdida de suministro durante un período importante.

El diseño del dispositivo de alivio de presión Qualitrol es tal que la detección y alivio de la presión peligrosa se logra dentro de dos milisegundos.



Figura 25: Reseteando el pasador de indicación

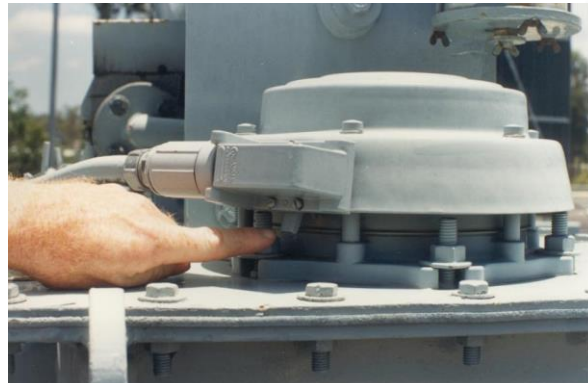


Figura 26: Reseteando el sistema de disparo

Cuando Qualitrol detecta una acumulación seria de presión, un interruptor incorporado inicia una señal de disparo a los interruptores de circuito y aísla el transformador del sistema. Al mismo tiempo un pasador mecánico con código de colores en la cubierta es eyectado una distancia corta para dar una indicación visual de que el dispositivo se ha accionado. El pasador con código de colores y el interruptor de reseteo deben ser restablecidos manualmente. Esto se muestra en las fotos de arriba.

Relé de Buchholtz

En los transformadores rellenos con aceite, una falla siempre está acompañada de una liberación de gas, y bajo ciertas condiciones, la liberación puede ser violenta. El aceite se vaporiza en las cercanías de la ruptura, tales como una unión rota o una falla de la tierra. Las intensas corrientes de cortocircuito cerca de una falla, aumenta rápidamente la temperatura del aceite a un punto de evaporación. Esto crea un exceso de aceite debido al aumento de la presión en el estanque del transformador, forzando el aceite a través de la tubería de conexión dentro del conservador. Las fallas incipientes muy a menudo sólo pueden detectarse por la liberación de gas ya que otros tipos de protección no responden o no son lo suficientemente sensibles.

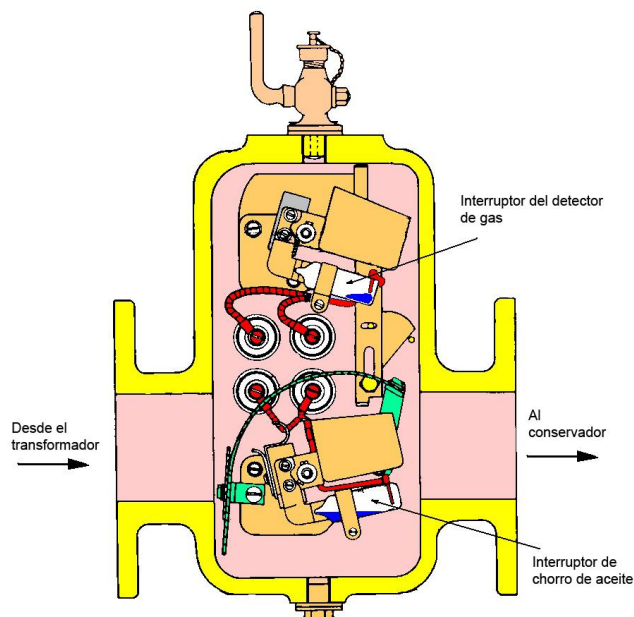


Figura 27: Relé de Buchholtz

El dispositivo usado para brindar protección contra excesos de gas y aceite se conoce como relé de Buchholz. Consta de una carcasa fundida conectada en la tubería entre el estanque del transformador y el conservador. La carcasa contiene dos cubetas de aluminio articuladas, cada cubeta tiene un contrapeso que es un peso de acero dúctil niquelado. Cada ensamble lleva un interruptor de mercurio, que en el caso del elemento

superior (gas), completa un circuito de alarma, o como en el caso del elemento inferior (exceso de aceite), controla el circuito disparador del interruptor de circuito.

En ambos ensambles de elemento para el exceso de aceite o gas, los pesos respectivos de la cubeta y el contrapeso están distribuidos de tal manera que el contrapeso predomina, así inclinando el ensamble a la posición de "interruptor abierto". Esta condición existe con el transformador llenado de aceite listo para reparación y también cuando está completamente vacío, antes de la puesta en servicio.

Cuando ocurre una falla leve o incipiente en el transformador, pequeñas burbujas de gas serán liberadas, y estas, al intentar escapar desde el estanque al conservador, serán atrapadas en la carcasa del relé. A medida que este gas se acumula, el nivel de aceite en el relé descenderá, dejando la cubeta superior llena de aceite. El peso extra del aceite inclina la cubeta, cerrando el interruptor de mercurio y completando el circuito de alarma.

Con una falla interna grave, la generación de gas es rápida y el repentino aumento de la presión causa un exceso de aceite desde el estanque al conservador. El aceite, en su paso a través de la carcasa del relé, golpea el deflector unido al ensamble de cubeta inferior haciendo que se incline, cerrando el interruptor de mercurio y completando el circuito de disparo del interruptor de circuito.

Si el transformador sufre la pérdida de aceite, causando que el nivel de aceite caiga por debajo del relé, las cubetas quedarán llenas de aceite y se completarán primero el circuito de alarma y luego el circuito de disparo.

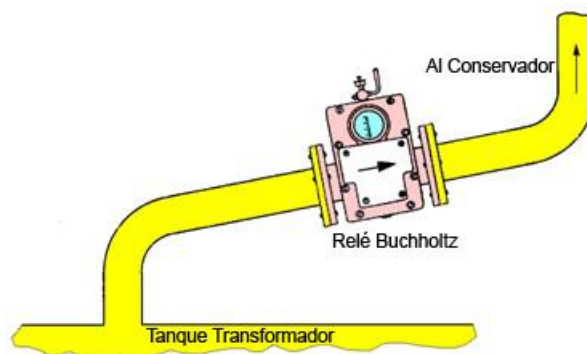
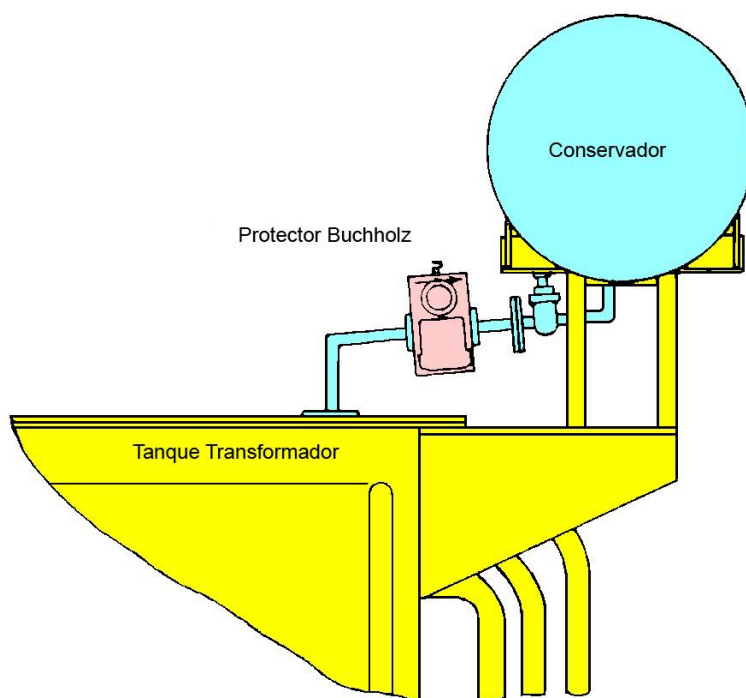


Figura 28: Ventana de inspección del relé Buchholtz

Una ventana de inspección se incluye en cada lado de la carcasa del relé a través del cual se puede leer el nivel del aceite. La observación de la tasa de acumulación de gas

y su color permite una estimación del tipo y gravedad de la falla. Por ejemplo, si el gas es blanco o amarillo, la aislación se ha quemado, mientras que un color negro o gris indica un aceite disociado. Esto es, aceite en el que los efectos del calor han descompuesto una determinada fracción de las moléculas del aceite. Se proporciona un grifo en la parte de arriba de la carcasa del relé para que el gas sea liberado y para la toma de muestras en un análisis.



Arreglo recomendado para el montaje del protector Buchholz

Figura 29: Arreglo del montaje recomendado

Cuando se monte un relé de Buchholtz, se debe tener cuidado de asegurar que el paso libre de burbujas de gas y exceso de aceite no esté restringido en las tuberías entre el estanque y el conservador. También se deberá tener cuidado para asegurar que el grifo en la parte superior del relé esté por debajo de la parte de abajo del conservador.

Indicadores de temperatura

La temperatura de funcionamiento de un transformador es el factor más importante para determinar su vida útil. Si un transformador funciona continuamente a una temperatura mayor a la temperatura nominal, se reducirá drásticamente su vida útil. Por lo tanto, es importante monitorear continuamente la temperatura de operación.

Las instalaciones de monitoreo y protección de la temperatura se recomiendan para todos los transformadores de corriente con clasificación por sobre los 10 MVA en tensiones de 11 kV hacia arriba.

Los requerimientos básicos del equipamiento de temperatura de un transformador de corriente son:

- Para dar una indicación continua de temperatura de devanado y del aceite.
- Iniciar una alarma cuando cualquiera de las temperaturas exceda un límite razonable.
- Para accionar el interruptor de circuito cuando cualquiera de las temperaturas de acerque a un nivel peligroso.
- Para controlar los ventiladores de refrigeración y las bombas de circulación de aceite.

Dar una indicación del tiempo que la temperatura de devanado ha estado dentro ciertas bandas.

Se necesita una indicación del tiempo que la temperatura de funcionamiento ha sido un valor alto para permitir una evaluación de la vida útil de la aislación y para determinar la carga práctica máxima.

Por motivos obvios, la medición de la temperatura de devanado de los transformadores de energía de alta tensión no se puede hacer mediante métodos directos con el uso de termistores, termopares o bulbos de termómetros dentro de los devanados. Incluso si el bulbo sensor fuera aislado para la alta tensión, la pobre conductividad térmica de la aislación necesaria entre los devanados de cobre y el elemento sensor causaría un retardo térmico inaceptable.

La temperatura del devanado o "punto caliente" es simulada por un devanado del serpentín del calentador en un elemento sensor que se coloca en la parte más caliente del aceite de la parte superior del transformador. Una corriente, proporcional a la corriente de carga, es alimentada al serpentín del calentador desde un transformador de corriente ubicado en el buje del terminal secundario.

Un tipo de sensor de temperatura de devanado ha sido fabricado por "English Electric" y utiliza un silistor (resistencia sensible a la temperatura) conectado a un miliamperímetro y amplificadores de interruptor de transistor que inician los circuitos de disparo, alarma y refrigeración. El silistor es el núcleo de la unidad sensora que tienen pérdidas de calor insignificantes y es una réplica térmica precisa.

El equipamiento se compone de tres unidades separadas. Estas son la unidad de réplica térmica ubicada en la parte de abajo de un tubo en el aceite de la parte superior del transformador, y el relé y el indicador local normalmente colocado en el costado del transformador o en el gabinete de control.

El silistor (que se muestra en el diagrama de la otra página) está encapsulado en el centro de un bloque cilíndrico de resina epóxica en el que la bobina del calentador principal es devanada. Para eliminar el largo retraso en extremo inferior de la característica de temperatura de tiempo, un segundo calentador en serie con el calentador principal pero a una menor resistencia, es devanado en un tubo de fibra de vidrio alrededor del silistor. El ensamble completo se sella en un tubo de papel aislante que forma una carcasa para la unidad.

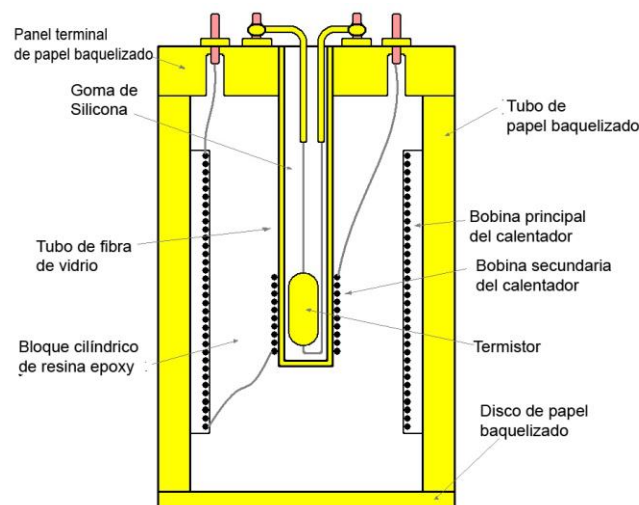


Figura 30: sección transversal de la unidad de réplica térmica

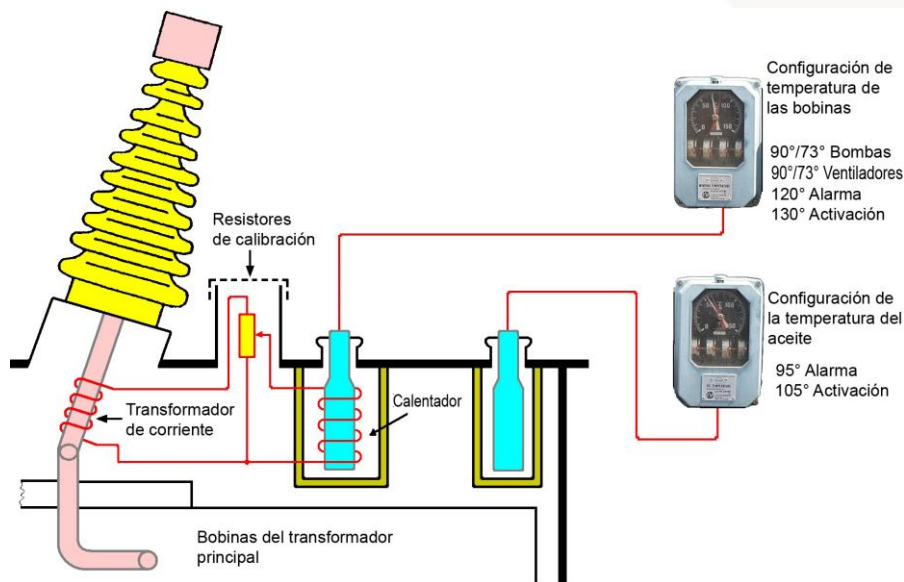


Figura 31: unidad de réplica capilar en un transformador de potencia

El dibujo anterior muestra los indicadores de temperatura de devanado y del aceite de un transformador de potencia.

El indicador de temperatura del aceite usa un bulbo de termómetro montado en un contenedor, como elemento sensor. Está conectado por una unidad capilar a un tubo bourdon o unidad receptora de fuelle ubicada en la carcasa del indicador. El receptor está acoplado mediante uniones mecánicas en la aguja del indicador e interruptores de control. Las paredes del contenedor son delgadas para que la temperatura del aceite dentro del contenedor sea un reflejo preciso del aceite en el estanque principal del transformador.



Figura 32: Indicadores de la temperatura de devanado y del aceite
En un transformador de potencia de 25 MVA 33 kV / 11 kV

Configuraciones de temperatura

Los transformadores de potencia usan una cantidad de métodos de refrigeración para mantener la temperatura dentro de los límites aceptables. En el dibujo anterior, se puede ver que cada indicador de temperatura tiene cuatro diales de control del punto de ajuste. Cada uno de estos cuatro diales controla un interruptor. Los interruptores están arreglados para encender o apagar los ventiladores y bombas de aceite en las temperaturas predeterminadas. Además se usan los interruptores para controlar las alarmas e interruptores de circuito si la temperatura alcanza un nivel críticamente alto.

Dispositivo de Refrigeración	ON	OFF
Bomba de Aceite	75°C	65°C
Ventiladores	80°C	70°C

	Temperatura del Aceite	Temperatura del Devanado
Señal de Alarma	85°C	95°C
Señal de disparo	-	105°C

Las configuraciones de arriba entregan una indicación de las temperaturas aproximadas usadas por Energex. Estos valores son sólo aproximados y pueden variar de manera considerable de acuerdo a las condiciones locales y recomendaciones del fabricante.

Transformadores de instrumentos

No es seguro conectar instrumentos y equipos asociados a circuitos de alta tensión y corriente, por lo que se usan transformadores para instrumentos para reducir estas tensiones y corrientes a valores más convenientes. Los dos tipos de transformadores para instrumentos usados son los transformadores de corriente y voltaje

Transformadores de Voltaje (TP o TV)

Los transformadores de potencial o de voltaje funcionan con el mismo principio que el transformador de potencia, cuando el índice de voltaje primario y secundario es proporcional al índice de vueltas de los devanados primario y secundario.

Esto es:
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Los transformadores de potencial están diseñados para que tengan un voltaje de salida estándar cuando se aplica el voltaje nominal completo al devanado primario. El voltaje secundario del transformador de potencial se conecta a carga adecuada tales como voltímetros, vatímetros y relés de protección. Debido a que la carga es pequeña, las clasificaciones VA de los transformadores de potencial también son pequeños. Un terminal del devanado secundario a veces es puesto a tierra como una medida de seguridad adicional en el caso de una avería de la aislación entre los devanados primario y secundario.

Las características físicas de los transformadores de potencial son similares a aquellas de los transformadores de potencia excepto que el primario debe ser aislado para un voltaje mucho mayor y a veces está inmerso en aceite para una mayor protección.

Las pérdidas son una consecuencia menor en el diseño de un TV, la importancia se da en la precisión del índice de voltaje y la eliminación de errores del ángulo de fase. Se desea un ángulo de fase de 0° ó 180° , particularmente cuando un TV debe alimentar dichos instrumentos como Wattmetros, que tienen más de una bobina en funcionamiento.

Como guía general, un transformador de potencial normalmente funciona a densidades de flujo bajas en núcleos de hierro de áreas transversales relativamente grandes. Los conductores de cobre tienen unas pocas vueltas y son grandes en su sección transversal.

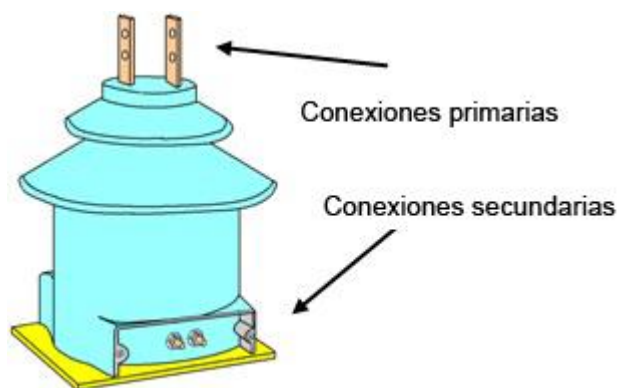


Figura 13: Transformador de voltaje



Figura 34: Símbolo estándar para (PT)

Un transformador de voltaje típico de 3,3 kV (TV) se muestra. Mientras que el símbolo estándar para un PT se muestra en la Figura .

Transformadores de corriente

En un transformador de potencia común, la densidad del flujo en el núcleo es alta, la corriente en el primario depende en gran parte de la corriente en el secundario, y el índice de voltaje es la principal consideración. Sin embargo, para el transformador de corriente se aplica lo contrario. La densidad del flujo del núcleo es muy baja, la corriente en el secundario depende de la corriente en el primario, y el índice de corriente es la principal consideración.

El devanado primario de un transformador de corriente se conecta en serie con la carga y consta de una o unas pocas vueltas de un conductor de gran espesor. Debido a que la impedancia del devanado primario es tan baja, la corriente primaria I_1 no se ve afectada por la carga secundaria, pero depende de la carga externa conectada en el circuito primario. El circuito secundario consta de las bobinas de corriente del amperímetro, Wattmetro y relés de protección. Cuando el circuito secundario se cierra, la corriente secundaria produce un flujo, que se opone al flujo primario, limitando la densidad del flujo del núcleo a un valor bajo.

El índice de corriente es igual a la inversa del índice de vueltas y por lo tanto hay mucho más vueltas en el devanado secundario. Si el devanado secundario se vuelve circuito abierto, no habrá ningún flujo secundario que se oponga al flujo primario, y entonces las densidades del flujo del núcleo aumentan. Debido al gran índice de vueltas secundarias y primarias, un flujo de núcleo excesivo, el voltaje inducido aumenta enormemente, produciendo un peligro de seguridad y la posibilidad de avería de la aislación. El flujo mayor del núcleo puede causar además pérdidas de calor excesivas y saturación del núcleo. En consecuencia el devanado secundario de un transformador de corriente nunca debe volverse circuito abierto bajo ninguna circunstancia y una conexión de cortocircuito adecuada normalmente se suministra para su conexión a través de los terminales secundarios cuando los instrumentos deben ser desconectados.



Figura 35: Símbolo de un transformador de corriente

Los transformadores de corriente están hechos en una cantidad de formas, dependiendo de los requerimientos e índices de corriente. Algunos tipos tienen devanados primarios de más de una vuelta, mientras que otros son variaciones del tipo primario de una vuelta. Un tipo de primario de una vuelta tiene un conductor recto y corto que pasa a través de un agujero en el núcleo de hierro. Este transformador de corriente se conoce a menudo como el tipo toroide y se muestra en la Figura y 37.

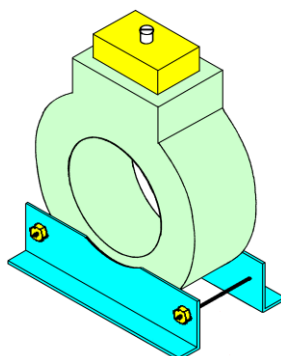


Figura 36: Tipo toroide

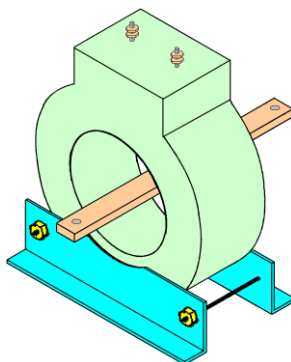


Figura 37: Tipo toroide

Otro tipo de transformador de corriente tiene una apertura en el núcleo de hierro y el transformador es colocado en la barra conductora o cable.

Métodos de conexión de transformadores trifásicos

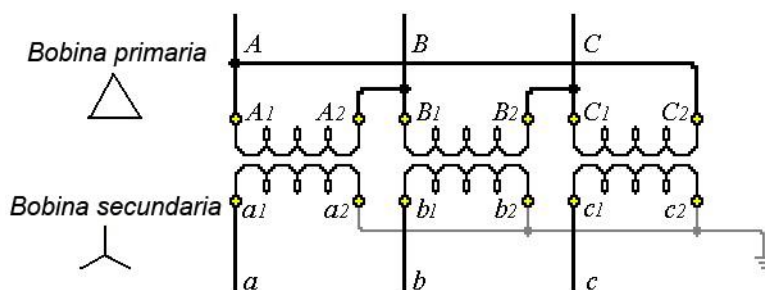


Figura 38: Diagrama de conexión para un transformador de distribución delta/estrella.

Conexión de transformadores monofásicos

Si un transformador tiene polaridad sustractiva, el voltaje de salida tomado por el devanado secundario estará en fase con el voltaje de alimentación primaria.

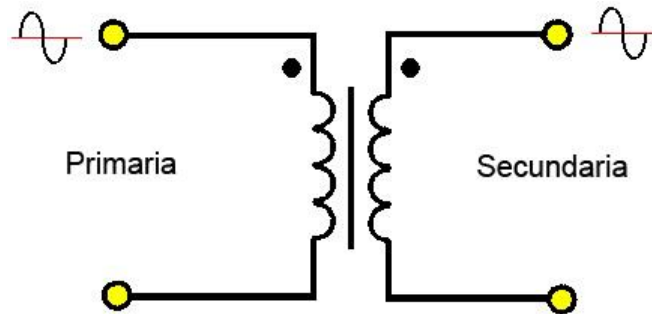


Figura 39: polaridad sustractiva

El transformador mostrado anteriormente en la figura 1, tiene polaridad sustractiva. En este caso, se puede ver que el voltaje de salida estará en fase con el voltaje de alimentación primaria.

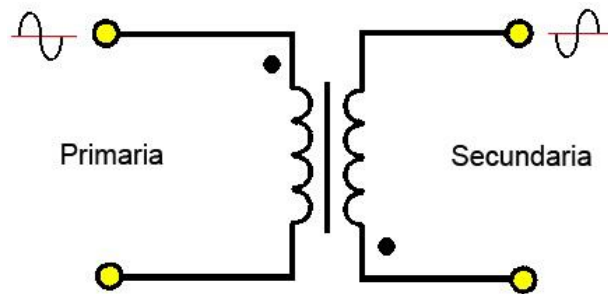


Figura 40: polaridad sustractiva

Se puede ver en la figura 2 que si un transformador se conecta con polaridad aditiva, el voltaje de salida estará 180° fuera de fase con el voltaje de alimentación primaria.

Por lo tanto, con un transformador monofásico de dos devanados, sólo hay dos opciones de polaridad: 0° (en fase) ó 180° fuera de fase.

La conexión trifásica

Existen cuatro conexiones posibles con transformadores trifásicos de dos devanados. Éstas son:

- a) Estrella – estrella.
- b) Delta – estrella.
- c) Estrella – Delta.
- d) Delta – Delta.

Se puede obtener una alimentación trifásica de los transformadores mediante tres métodos.

- a) Usando tres transformadores monofásicos.
- b) Usando un transformador de núcleo de tres ramas
- c) Usando dos transformadores monofásicos en la configuración delta abierta.

El índice de transformación de los voltajes de línea depende de la conexión usada.

Conexión estrella-estrella

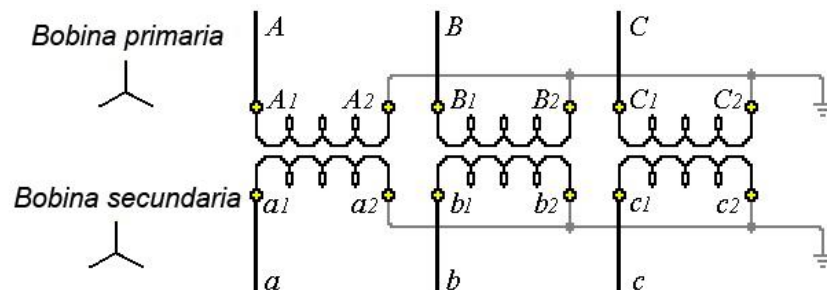


Figura 41: conexión estrella-estrella que usa tres transformadores monofásicos

Para realizar la conexión estrella, se conectan juntos tres extremos correspondientes de los devanados. Esto es, se conectan los tres extremos iniciales o los tres extremos finales a la estrella o punto neutro. Los otros tres extremos correspondientes son tomados a terminales separados.

El sistema Estrella-Estrella es el más económico para transformadores de alta tensión y pequeña salida. Una ventaja es que la aislación sólo debe soportar $1/\sqrt{3}$ del voltaje de la línea. Esto junto con el menor número de vueltas por fase, da como resultado menos espacio de devanado que es ocupado por la aislación.

Cuando se usa tres transformadores separados en esta configuración existe la desventaja que si un transformador está defectuoso, causa que todo el transformador esté inoperativo. Por este motivo, cuando se usan tres transformadores monofásicos en una situación crítica, se mantiene un cuarto transformador monofásico como de reserva.

Con la conexión Estrella-Estrella, el índice de voltajes de línea es la misma que el índice de vueltas.

$$\text{Voltaje de Línea} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{Voltaje de Fase} = \frac{V_1}{\sqrt{3}} \quad \& \quad \frac{V_2}{\sqrt{3}}$$

Conexión delta estrella

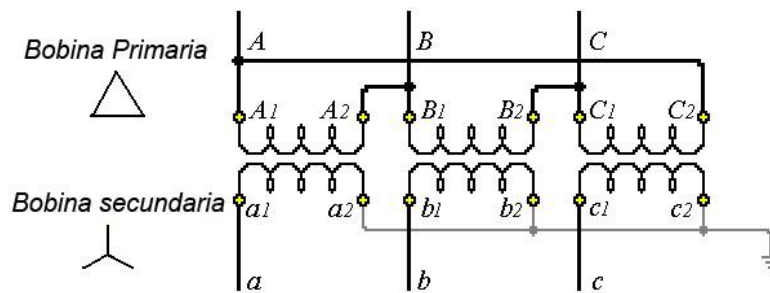


Figura 42: La conexión Delta/Estrella con el uso de tres transformadores monofásicos

El sistema Delta Estrella es útil para incrementar la alimentación una línea de alta tensión o para disminuir y alimentar una carga de cuatro cables. Las cargas tales como motores e iluminación balanceada o desbalanceada.

En este sistema:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{3} V_1 N_2}{N_1}$$

La conexión estrella delta

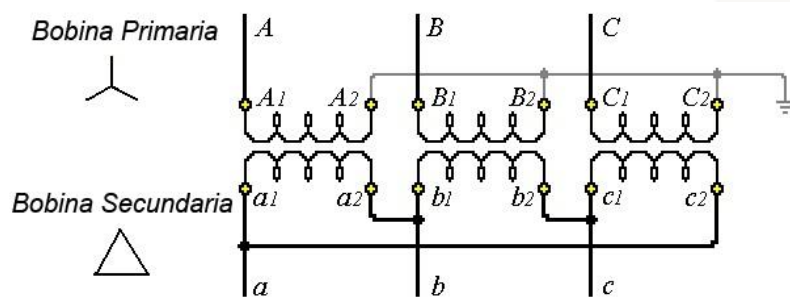


Figura 43: La conexión Estrella/Delta con el uso de tres transformadores monofásicos

El sistema Estrella Delta entrega las más deseadas conexiones para transformadores reductores, combinando la ventaja de un devanado de alto voltaje estrella y un devanado de bajo voltaje delta.

La principal aplicación de este método es el de suministrar cargas balanceadas tales como motores trifásicos.

Como con la conexión estrella-estrella, cuando se usa tres transformadores separados en esta configuración existe la desventaja que si un transformador está defectuoso, hace que todo el banco de transformadores sea inoperativo.

Con la conexión Estrella-Delta, el índice de los voltajes de línea no es la misma que el índice de vueltas.

En este sistema:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$$

$$V_2 = \frac{V_1 N_2}{\sqrt{3}N_1}$$

El sistema Estrella-Delta hace posible bajar el índice de transformación por el factor de $\sqrt{3}$.

Se debe notar que los voltajes de línea secundarios no están en oposición de fase a los voltajes de línea primaria correspondientes pero están desplazados por 30° E. En este caso, el voltaje de línea secundaria adelanta al voltaje de línea primaria en 30° E.

Un transformador conectado en Estrella-Delta no puede ser conectado en paralelo con un transformador Estrella-Estrella o un transformador Delta-Delta incluso cuando los voltajes y frecuencias están numéricamente correctos.

La conexión delta delta

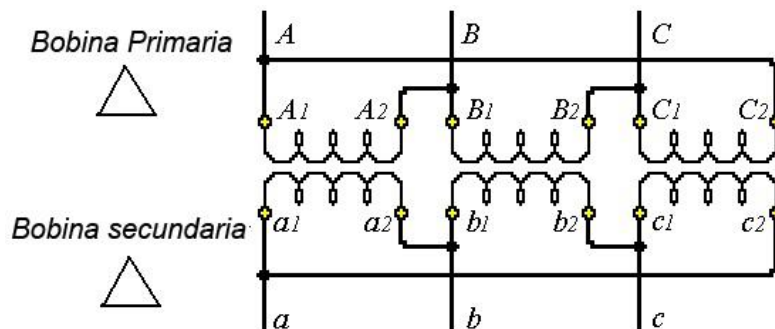


Figura 44: La conexión Delta/Delta con el uso de tres transformadores monofásicos

El sistema Delta-Delta es el más económico para transformadores de baja tensión y gran salida. Otra ventaja es que si un devanado de fase falla (circuito abierto), los otros dos seguirán alimentando una corriente trifásica hasta el 57,7% de la carga completa.

El índice de los voltajes de línea en un método delta-delta de conexión es la misma el índice de vueltas.

En este sistema: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

2.2 Nociones básicas y principio de funcionamientos de motores de inducción

Motores síncronos

Como el nombre lo indica, los motores síncronos son motores en los que el rotor gira en pasos o en sincronismo con el campo magnético de rotación producido por el devanado del estator. Esto significa que el campo magnético y el rotor de un motor síncrono de cuatro polos de 50 Hz gira a las 1500 RPM.

$$\eta_s = \frac{120f}{p} \text{ RPM}$$

La velocidad de rotación se determina por la frecuencia del suministro y los polos del estator. Debido a que la frecuencia es fija, la velocidad del motor se mantiene constante, independiente de la carga o el voltaje de la alimentación trifásica. En un motor de inducción, el rotor gira a una velocidad ligeramente menor que el campo rotatorio. Esto es necesario para que las barras del rotor tengan una corriente inducida en ellas por el campo giratorio. Ya que el deslizamiento se define como la diferencia en velocidad entre las RPM reales del rotor y las del campo magnético, entonces un motor síncrono no tiene deslizamiento.

Los motores síncronos no se usan mucho porque corren a una velocidad constante, pero debido a que poseen otras propiedades eléctricas únicas de ser capaces de mejorar el factor de potencia del sistema eléctrico de una planta o fábrica. La mayoría de los motores síncronos tiene una clasificación de entre 150 kW (200 hp) y 15 MW (20 000 hp) y giran a velocidades que varían desde 120 a 1500 RPM. Por consiguiente, estas máquinas se usan principalmente en la industria pesada. En el otro extremo del espectro de potencia, encontramos pequeños motores síncronos monofásicos usados en dispositivos de control y relojes eléctricos que son construidos de manera diferente a los más grandes.

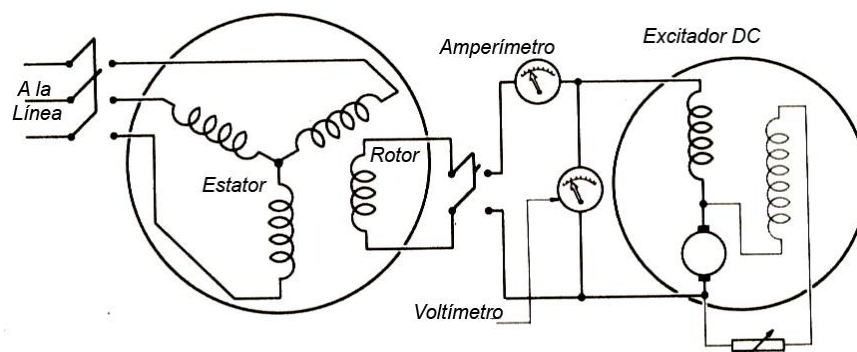


Figura 45

El diagrama muestra el principio de construcción básico asociado con un motor síncrono grande. El devanado del estator es idéntico al de un motor de inducción trifásico. El rotor es excitado con CC y tiene el mismo número de polos que el devanado del estator.

Construcción

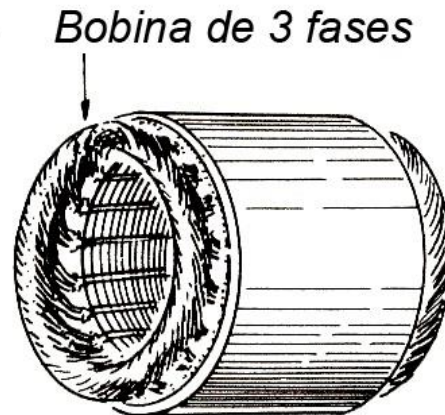
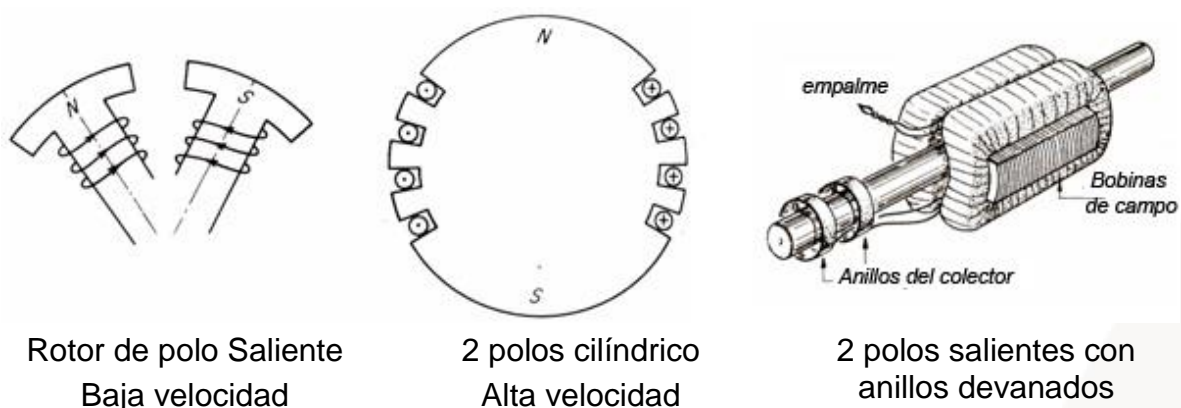


Figura 46

La construcción del estator del motor síncrono es la misma a la del estator del motor de inducción trifásico y el generador síncrono trifásico (alternadores).

El rotor del alternador y motor síncrono son similares. Son construidos en lo que se conoce como formato saliente o cilíndrico que tiene devanados CC. El método de construcción de polo saliente se usa en motores de baja velocidad mientras que el formato cilíndrico es para operación a alta velocidad porque puede manejar las fuerzas centrífugas que existen a altas velocidades.

Figura 47



Los diagramas anteriores muestran las vistas traseras de una máquina de polo saliente y una cilíndrica además de un rotor de 2 polos salientes con anillos deslizantes y devanados.

Muchos motores síncronos a menudo tienen excitación sin escobillas que elimina la necesidad de anillos deslizantes y escobillas así reduciendo los requisitos de mantenimiento. Cuentan con un excitador trifásico, y un rectificador montado en el extremo del eje del motor. La salida de CC del rectificador es alimentada directamente en los devanados de polo saliente. La corriente de salida del excitador puede ser variado al controlar la pequeña corriente de excitación que fluye en el devanado del campo estático.

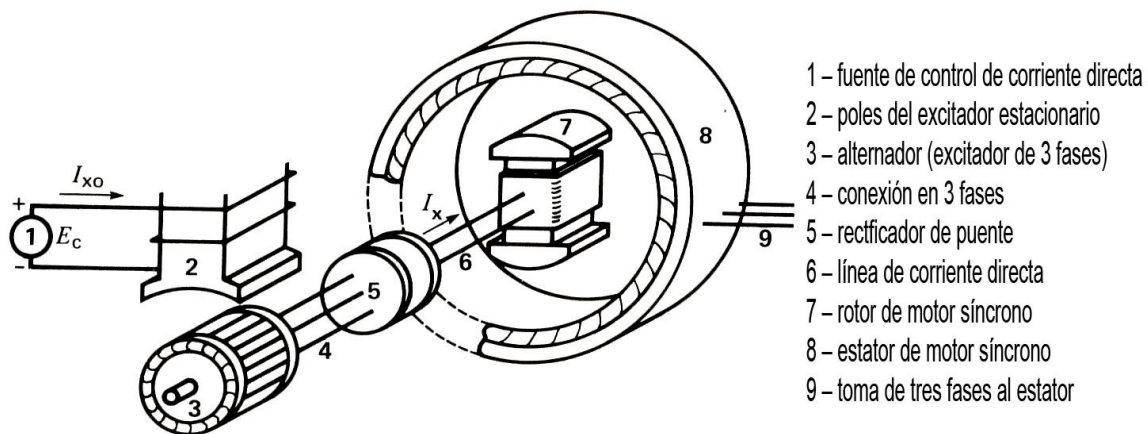


Figura 48

Partida de motores síncronos



Figura 49

Si el rotor del motor es energizado con CC y está estacionario y se conecta la alimentación trifásica al estator, un campo magnético gira a velocidad síncrona en el estator. A medida que el campo pasa el campo del rotor, habrá una fuerza de repulsión con los polos norte en el rotor y estator alineados y una fuerza de atracción cuando haya un relación de polos norte/sur. Cuando se arranca desde la detención con el reverso de la polaridad del flujo del estator ocurriendo más rápidamente que el movimiento del rotor, no hay torque de arranque si ambos devanados están energizados ya que la fuerza de atracción de los campos magnéticos se cancela rápidamente por la fuerza de repulsión. Por lo tanto, un motor síncrono no puede arrancar por sí mismo.

Existen cuatro métodos generales para arrancar motores síncronos, estas son:

1. Un motor de CC acoplado al eje del motor síncrono. Este método se usa cuando el motor síncrono se usa para accionar generadores CC. Uno de los generadores se conecta como un motor y se usa para arrancar el motor hasta la velocidad de operación. Cuando la alineación del campo y las RPM están correctas, se aplica la CC a los devanados del rotor causando que el rotor se fije con el campo del estator. El rotor ahora correrá a la velocidad síncrona del devanado del estator.
2. Con el uso de un generador excitador de campo como motor de CC. Este método es similar al método anterior salvo por el generador excitador de CC que se usa como el motor para mover el rotor hasta la velocidad de operación.
3. Con el uso de un pequeño motor de inducción de al menos un par de polos menos que el motor síncrono montado en su eje. En este caso el motor de CC se reemplaza con un motor de CA pero el proceso de arranque es el mismo.
4. Con el uso de un devanado amortiguador como un motor de inducción jaula de ardilla. Con este método el rotor está equipado con un devanado jaula de ardilla así como también con devanado CC. Las ranuras son perforadas a lo largo de la circunferencia de los polos salientes. Llevan un devanado jaula de ardilla similar al de un motor de inducción trifásico. Este devanado amortiguador funciona como un motor de inducción para arrancar el motor síncrono. Cuando el estator se conecta a la alimentación trifásica, el motor se acelera hasta que alcanza una velocidad levemente menor a la velocidad síncrona. La excitación CC se apaga durante este período. Mientras el rotor acelera, el flujo de rotación creado por los barridos del estator a través de los polos salientes de movimiento lento. Debido a que las bobinas del rotor CC poseen un número de vueltas relativamente grande, se induce un alto voltaje en el devanado del rotor cuando gira a bajas velocidades. El voltaje disminuye a medida que el rotor acelera y eventualmente se vuelve insignificante cuando el rotor se acerca a la velocidad síncrona. Para limitar el voltaje y mejorar el torque de arranque, el devanado CC es de cortocircuito o conectado a una resistencia auxiliar durante el período de arranque. Si la capacidad del suministro es limitada, el motor se arranca al aplicar un voltaje reducido a los devanados del estator. Esto es similar al caso de los motores de inducción donde usamos autotransformadores o reactores en serie para limitar la corriente de arranque. En algunas instalaciones, el motor puede ser puesto a velocidad mediante una transmisión de frecuencia variable.

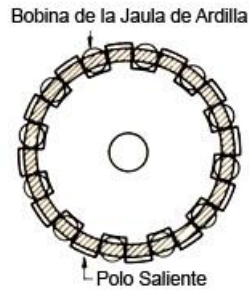


Figura 50

El rotor

El diseño del rotor, como con los motores síncronos, está determinado por la velocidad de funcionamiento de la máquina.

Los motores primarios de baja velocidad tales como turbinas accionadas por agua usadas en la generación hidroeléctrica, usan un rotor de polo saliente de baja velocidad. Existe un gran número de polos montados en este tipo de alternador para contrarrestar las menores velocidades asociadas con estos tipos de motores primarios.

Los rotores cilíndricos o Alta Velocidad se usan para aplicaciones a alta velocidad de turbinas accionadas por vapor encontradas en estaciones de energía a carbón, nucleares o a gas. Estos tipos de motores primarios funcionan en el rango de las 1500 a 3000 RPM.

La frecuencia de salida es determinada por:-

$$f = \frac{np}{120} \text{ Hz}$$

Como se puede ver en la fórmula anterior, los polos de la máquina y las RPM del motor primario determinan los Hz de salida. Como el número de polos en una máquina es fijo, las RPM del motor primario se vuelven el único factor de control asociado a la frecuencia. La frecuencia de salida de una máquina es importante ya que controla el valor de reactancia en nuestros circuitos de CA. Recuerde que todas las bobinas tienen reactancia inductiva que junto con la resistencia de la bobina determinan la corriente que fluye a través de ésta.

$$X_L = 2\pi f L \longrightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \longrightarrow I = \frac{V}{Z}$$

Si las RPM del motor primario son incorrectas los Hz de salida pueden ser altos o bajos. Esto cambia el valor de X_L en cargas inductivas conectadas al alternador. Si el valor de X_L es incorrecto, podrían fluir corrientes excesivas en la carga que causarían daños.

Todas las máquinas tienen algún tipo de controlador que controla automáticamente las RPM del motor primario. Esto a su vez determina la frecuencia de salida del suministro de CA.

Ya que un par de polos (máquina de 2 polos) es la mínima cantidad que se puede devanar, el límite de la máxima velocidad para un generador de 50Hz sería de 3000rpm. La mayoría de los generadores accionados por turbinas a vapor funcionan a esta velocidad porque es a la que son más eficientes. Las turbinas hidráulicas tienen condiciones de funcionamiento completamente diferentes, lo que da como resultado en que la velocidad de diseño varía desde un máximo posible de 750 RPM hasta tan bajo como 75 RPM. Por consiguiente, un alternador hidroeléctrico puede ser devanado con tantos como 40 pares de polos.

Regulador/excitador

La excitación CC en alternadores grandes proviene de un generador CC conectado al eje del alternador. Como se muestra abajo, al controlar las corrientes del campo del excitador piloto controlamos la corriente del campo del excitador principal que controla el nivel del flujo de la bobina del excitador del alternador.

Recuerde, en un generador CC $V_g = K n \phi$, entonces I_{FIELD} es proporcional a V_g (n = RPM y ϕ = flujo del campo). Debido a que n es fija, el único método para variar la corriente de excitación es al variar el flujo del campo a los generadores.

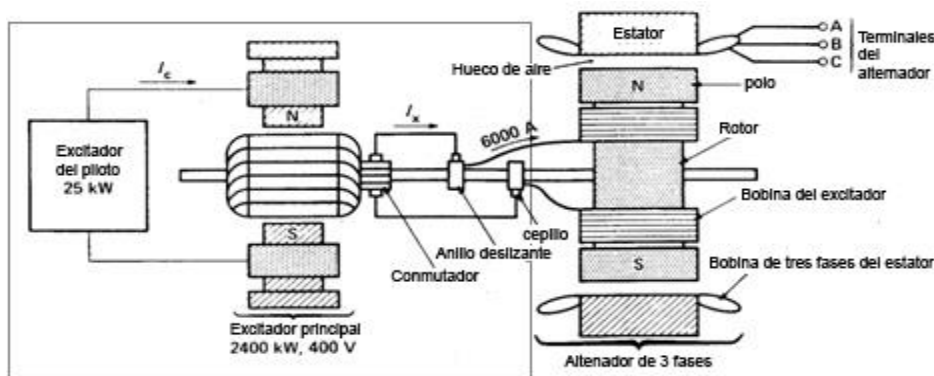


Figura 51

La excitación de la corriente del campo controlada por un regulador de voltaje automático asegura la operación estable con una respuesta rápida a las variaciones del voltaje. La variación del circuito del campo excitador principal varía la salida de voltaje CA de un único alternador o varía el factor de potencia en el cual un alternador, funcionando en paralelo, suministra su cuota de corriente a la carga.

Los últimos desarrollos en el sistema de excitación en unidades de gran capacidad es el de utilizar excitadores CA en lugar de máquinas CC normales para el excitador piloto y a veces el excitador principal. La salida de un excitador CA, que normalmente es de varios cientos de ciclos por segundo, se rectifica y usa para la excitación del campo excitador principal o el rotor del generador de CA. El uso de excitadores CA reduce el mantenimiento de las escobillas al eliminar algunas o todas las escobillas y además permite un control de la excitación más fina, particularmente cuando el sistema de excitación está asociado con reguladores de voltaje automáticos.

Como con el motor síncrono, los sistemas de excitación sin escobillas también se pueden emplear en un alternador.

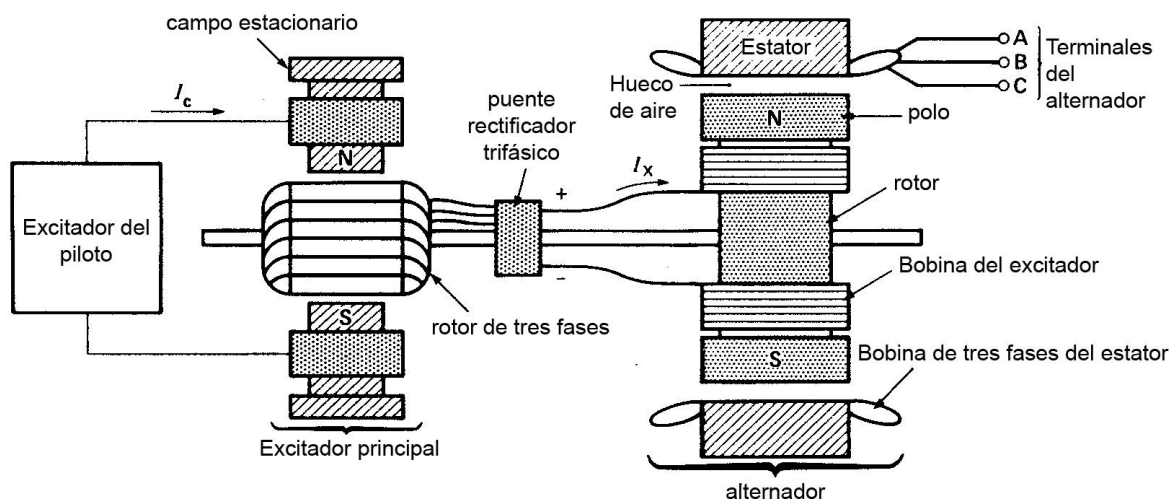


Figura 52

En la figura anterior, se alimenta un devanado de alternador trifásico por el excitador piloto que es excitado y controlado por una fuente externa (AVR). La salida de esto se rectifica y alimenta en el rotor del alternador principal así eliminando la necesidad de escobillas.

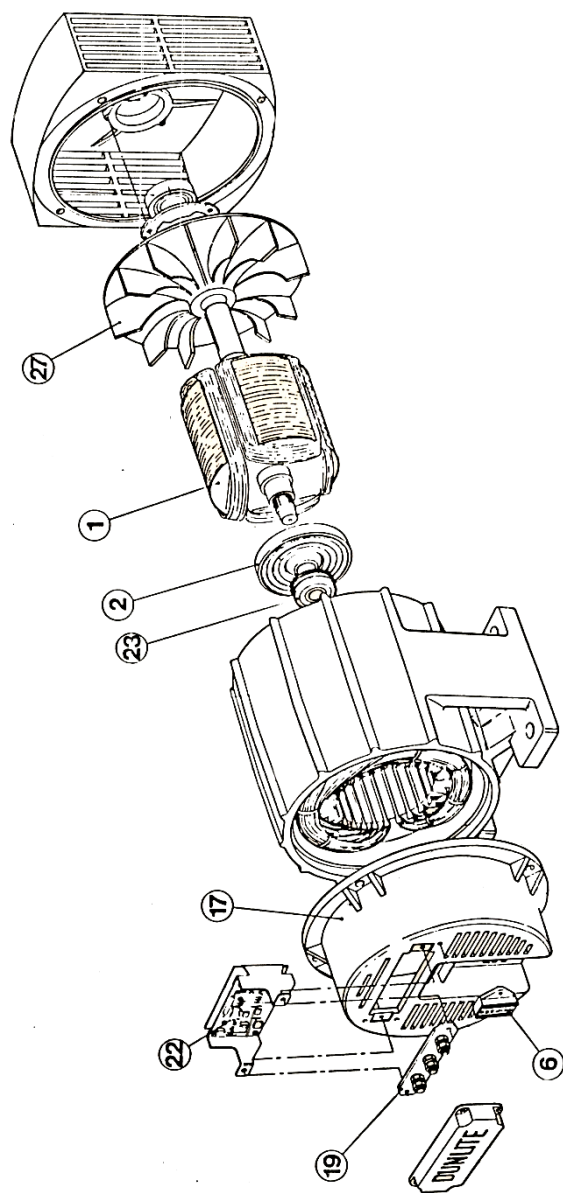


Figura 53

Partes básicas:

1. Rotor.
2. anillos deslizantes (conexión giratoria al rotor).
6. escobillas de carbono.
17. Tapa y soporte rodamiento lado eje (soporte de rodamiento).
19. Punto de conexión trifásico.
22. Control de regulación AVR.
23. Rodamientos del lado eje.

27. Ventilador de refrigeración del rotor.

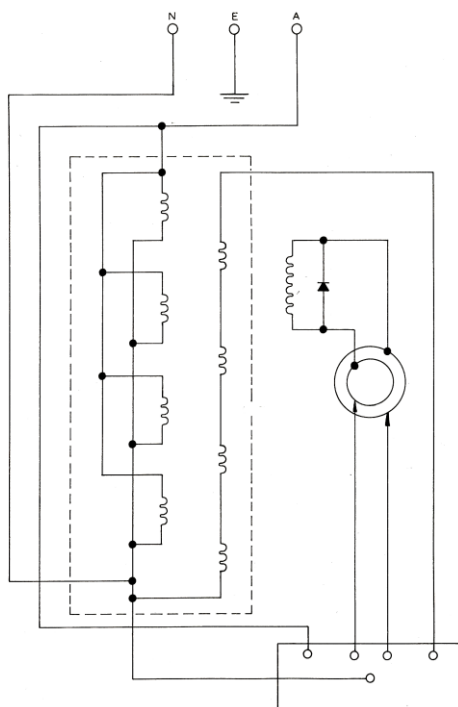


Figura 54

El diagrama de cableado anterior es para un alternador portátil monofásico. Su trazado eléctrico y principio de operación es idéntico al del alternador portátil trifásico.

Motores trifásicos

Un motor trifásico funciona al producir un campo magnético que gira en el Estator (los bobinados de cobre ubicados cerca del cuerpo exterior), este campo corta las Barras del Rotor, induciendo un voltaje que a su vez causa un flujo de corriente que circula. Esta corriente produce un campo magnético de polaridad opuesta en el campo principal, y por lo tanto existe una interacción con el campo magnético rotatorio principal. Esto causa que el Rotor gire.

El motor de inducción es como un transformador rotatorio con el primario siendo el estator, el secundario el rotor. Un motor de inducción de barras o jaula de ardillas tiene un secundario más corto (Barras de Rotor) la única diferencia entre un transformador y un motor de inducción es que cuando el rotor cambia de velocidad la tasa de cambio del flujo varía en el motor, mientras que permanece constante en un transformador. El motor no es tan eficiente como el transformador debido a los espacios de aire entre el rotor y el estator.

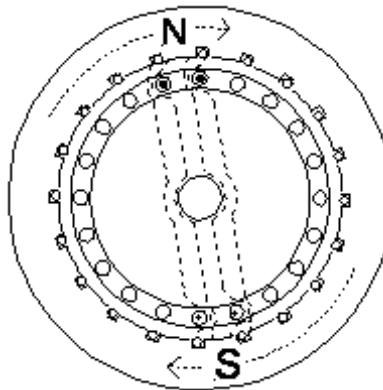


Figura 55: Construcción del motor

En la parte de atrás está el estator y el marco con aletas de refrigeración, a la derecha está la parte trasera del motor a través del cual se ingresa el aire para el enfriado por el impulsor del ventilador. El rotor del motor de barras o jaula de ardilla está ubicado en el primer plano.

Examine los componentes de los motores de rotor bobinado y de jaula de ardilla. Examine los rotores, y observe cómo se construye el rotor de jaula de ardilla. Tiene barras sólidas fundidas en un centro de hierro laminado.

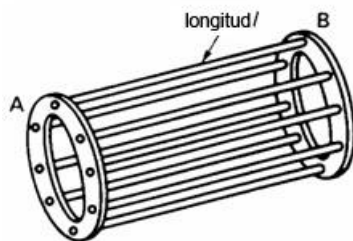


Figura 56: Jaula de ardilla

Devanados del Estator

El diseño de los motores de inducción ha evolucionado con la construcción de máquinas modernas con los llamados devanados imbricados distribuidos en ranuras alrededor del estator. Un devanado imbricado consta de un conjunto de grupos de fases distribuidos equitativamente alrededor de la circunferencia del estator. El número de grupos es dado por la ecuación: Grupos = polos x fases.

Así, un estator de 4 polos y 3 fases debe tener $4 \times 3 = 12$ grupos de fases. Debido a que un grupo debe tener al menos una bobina, se da que el número mínimo de bobinas es igual al número de grupos. Un estator de 4 polos y 3 fases debe por lo tanto tener al menos 12 bobinas. Además, en un devanado imbricado, el estator tiene tantas ranuras como bobinas. Por consiguiente, un estator de 4 polos y 3 fases debe tener al menos 12 ranuras. Sin embargo, los diseñadores de motores usan 2, 3, o más bobinas por grupo en vez de sólo uno.

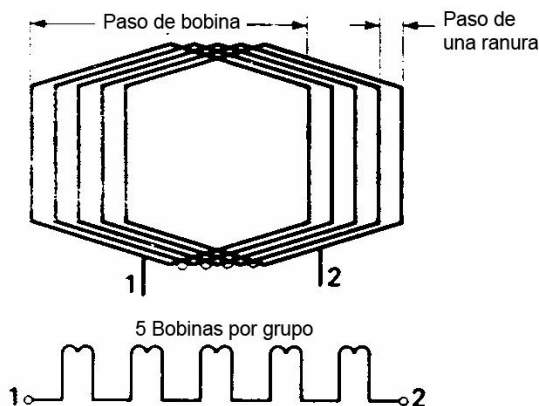


Figura 57: Bobinas

Por ejemplo, un estator de 4 polos y 3 fases que tenga 5 bobinas por grupo deben tener un total de $(4 \times 3 \times 5) = 60$ bobinas, alojadas en 60 ranuras. Las bobinas en cada grupo están conectadas en serie y escalonadas a intervalos de una ranura. 5 bobinas por grupo.

Las 5 bobinas están conectadas en serie para crear un grupo de fase.

Tal distribución del devanado es sin duda más costosa de construir que devanado concentrado que tenga sólo 1 bobina por grupo.

Sin embargo, mejora el torque de arranque y reduce el ruido bajo condiciones de funcionamiento normales. Las bobinas son idénticas y pueden tener una o más vueltas. El ancho de cada bobina se conoce como paso de la bobina. El ancho de cada polo se conoce como paso del polo. Es igual a la circunferencia interna del estator dividido por el número de polos. Por ejemplo, un estator de 12 polos que tenga una circunferencia de 600 mm tiene un paso de polo de $600 \div 12$ ó 50 mm. En la práctica, el paso de la bobina es entre el 80% y 100% del paso del polo.

El paso de la bobina normalmente es menor que el paso del polo para ahorrar cobre y mejorar la distribución del flujo en el entrehierro. El ancho más corto de la bobina da como resultado un costo y peso menor, mientras que la distribución del flujo más sinusoidal mejora el torque durante el arranque, y a menudo da como resultado una máquina más silenciosa. En el caso de máquinas de dos polos, el paso más corto también hace que las bobinas sean más fáciles de insertar en las ranuras.

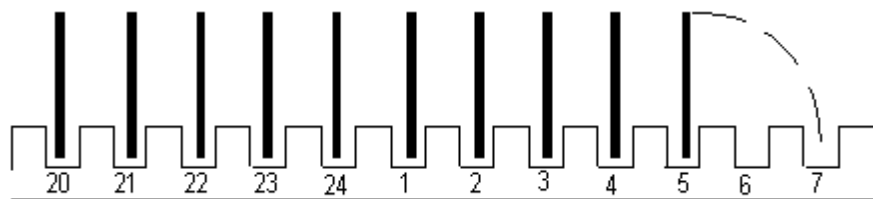


Figura 58: estator de 24 ranuras

Para tener una imagen general de un devanado imbricado, consideremos un estator de 24 ranuras que yace plano como se muestra arriba. Las 24 bobinas se sostienen hacia arriba con el lado de una bobina puesta en cada ranura. Si los devanados se acuestan de modo que todos los costados de las bobinas caigan dentro de las ranuras, obtenemos la apariencia clásica de un devanado imbricado trifásico.

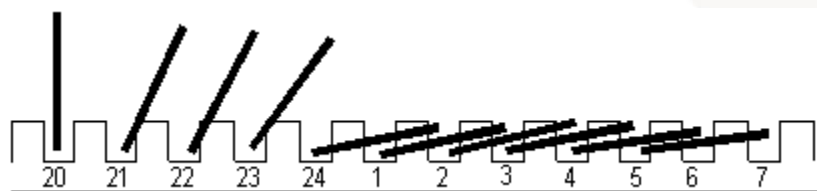


Figura 59: devanado imbricado trifásico

Las bobinas se conectan juntas para crear 3 devanados idénticos, uno para cada fase. Cada devanado consta de un número de grupos igual al número de polos. Finalmente, los grupos de cada fase se distribuyen de manera simétrica alrededor de la circunferencia del estator. Por ejemplo: el estator de un motor de inducción de 3 fases y 10 polos posee 120 ranuras. Si se usa un devanado imbricado, se calcula: 1. El número total de bobinas; 2 el número de bobinas por fase; y 3 el número de bobinas por grupo.

Solución:

1. Un estator de 120 ranuras requiere de 120 bobinas.
2. Bobinas por fase = $120 \div 3 = 40$.
3. El número de grupos por fase = número de polos = 10.
4. Bobinas por grupo = $40 \div 10 = 4$.

El siguiente ejemplo muestra en mayor detalle cómo se interconectan las bobinas en un devanado típico de un estator de 3 fases.

Campo magnético rotativo

El campo se establece mediante la combinación de tres campos magnéticos individuales creados por las tres fases de suministro.

El Campo Rotativo es el flujo resultante producido por los tres voltajes de alimentación y corrientes de línea. La dirección de este flujo resultante varía con las tres fases y gira en una dirección. En otras palabras, la fuerza y la dirección del campo siguen la suma vectorial de los tres voltajes de alimentación.

El diagrama simplificado de abajo muestra cómo el flujo resultante gira con la secuencia de la fase.



Figura 60: Flujo resultante

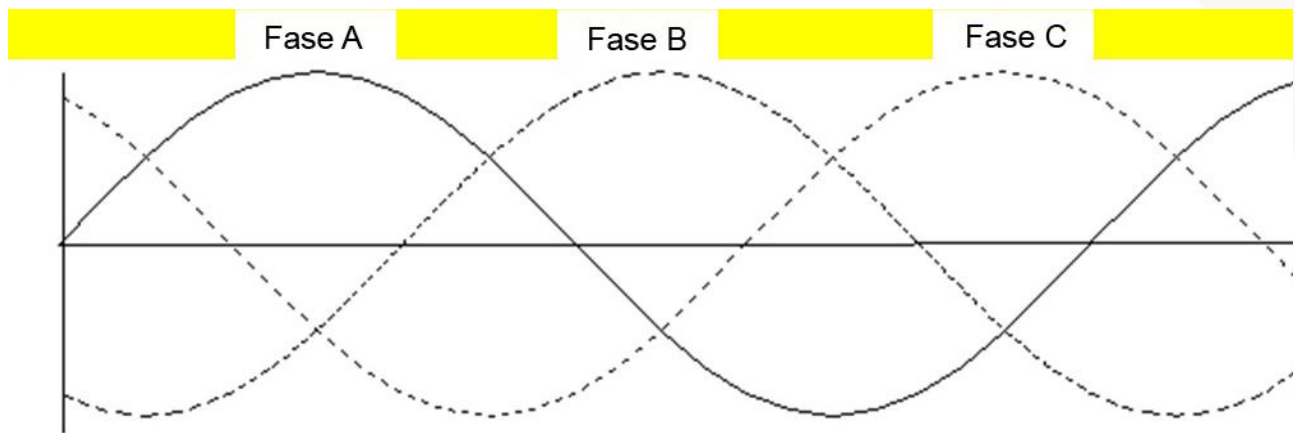


Figura 61: Secuencia de la fase

Torque y condiciones de funcionamiento

El Torque es la fuerza producida por el eje mientras gira. El Torque desarrollado es directamente proporcional a la fuerza del campo del estator, el valor de la corriente magnetizante en el rotor, el tipo de rotor y el factor de potencia del rotor.

$$T \propto I_{\text{ROTOR}} \times \text{PF}_{\text{ROTOR}} \text{ también } T \propto V_{\text{ESTATOR}}^2$$

El Torque producido por el campo del estator varía por el cuadrado del voltaje. Si el voltaje se duplica, el Torque se cuadruplica. Si el voltaje se reduce a la mitad, el torque se divide en cuatro.

El Torque máximo se desarrolla cuando el factor de potencia del rotor es igual a 0,707, este valor se alcanza cuando la reactancia y la resistencia del rotor son iguales.

A medida que el rotor se acerca a la velocidad síncrona la impedancia del rotor se vuelve muy pequeña y la oposición principal a la corriente del rotor es la resistencia. Sin embargo, la corriente eficaz se reduce debido al voltaje inducido del rotor que cae a casi nada, por lo tanto el torque también se reduce, el motor se ralentiza y el proceso trata de repetirse. El voltaje se acumula, el torque se acumula y la velocidad se acumula. Si el rotor pudiera alcanzar la velocidad síncrona no habría voltaje inducido, corriente eficaz del rotor, campo magnético producido por el rotor, torque, rotación.

Algunos términos que deberá recordar son:

Rotor bloqueado: el término rotor bloqueado se usa para referirse a la condición de rotor estático al momento de encender la alimentación. No significa necesariamente que el rotor esté físicamente bloqueado para evitar su movimiento.

Corriente de arranque: el valor de la corriente que fluye en el momento de encender la alimentación.

Torque de arranque: el valor del torque que se produce en el instante de encender la alimentación.

Aceleración: el proceso por el cual pasa un motor desde el instante en que se enciende la alimentación al momento en que alcanza la máxima velocidad, ya sea tenga una carga conectada a su eje o no.

Funcionamiento: la condición donde el motor se desempeña dentro de su rango normal de velocidad. Tenga en cuenta que un motor puede funcionar bajo la condición de sobrecarga severa, pero sólo por un período corto.

Clasificación: el término dado al valor de corriente, torque, velocidad en condiciones de funcionamiento de carga total. Es decir la corriente nominal, carga nominal. Estos valores se encuentran en la placa identificadora del motor o en la referencia técnica para un motor en particular.

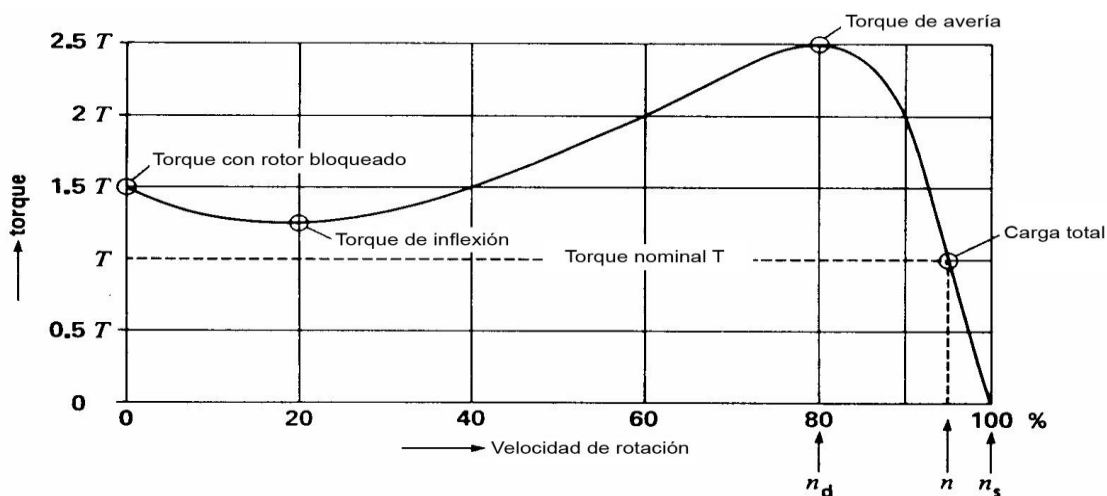


Figura 62

Recordará que la corriente de arranque puede ser 600% a 800% mayor que la corriente normal de funcionamiento con carga completa (corriente nominal). Los dispositivos de interrupción deben ser capaces de manejar estas altas corrientes u otros métodos alternativos se deben emplear para reducir dichas corrientes. Desde el instante de encender el suministro de alimentación al momento en que se alcanza la aceleración completa, los valores de impedancia, frecuencia, corriente y voltaje del rotor inducido cambian continuamente por cada revolución hasta que se alcanza la velocidad nominal completa. Estas condiciones cambiantes reflejan los cambios en la corriente del estator.

Al momento de encender la alimentación (motor bloqueado) el campo del estator gira y corta las barras y devanados del rotor estático. Esto a su vez produce un voltaje inducido del rotor máximo a la máxima frecuencia.

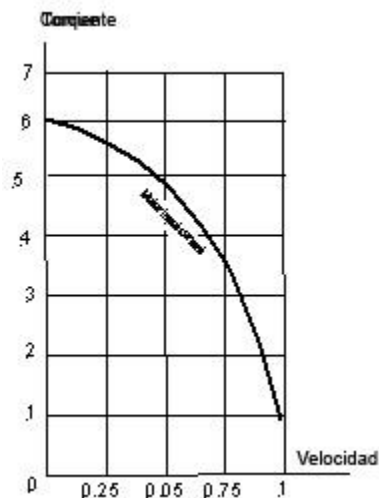


Figura 63

La corriente activa máxima (la corriente que produce el torque activo en el rotor) en el rotor no es necesariamente producido en este instante. La frecuencia del rotor es alta en este momento, como resultado la reactancia del rotor es alta ($X_L = 2\pi fL$) y por lo tanto la impedancia del motor es alta limitando la corriente activa y así limitando el torque producido. Esto además produce un bajo factor de potencia en el rotor, que causa que el voltaje inducido del rotor y la corriente del rotor resultante estén fuera de fase. El torque establecido por las barras en un lado del rotor cancela el torque producido por el otro lado debido al factor de potencia del circuito del rotor. La rotación se produce sólo por unas pocas barras (K y L). La corriente que fluye en estas barras, causando la rotación, es en realidad la corriente activa mencionada en los párrafos anteriores.



A medida que el motor acelera, más torque se produce. Sin embargo, se produce la máxima corriente activa, cuando la reactancia del rotor iguala la resistencia del rotor (máximo, quiebre sobre el torque). Pasado este punto incluso cuando la reactancia es extremadamente baja debido a la menor frecuencia del rotor, la resistencia de las barras del rotor es lo suficientemente alta, en combinación con el valor que disminuye del voltaje inducido del rotor para restringir la corriente a un valor bajo eficaz, produciendo un torque bajo.



El diagrama anterior muestra cómo la corriente del rotor está a plena velocidad cuando las únicas barras que no producen torque activo son las barras A y B. a la velocidad total, el factor de potencia del circuito del rotor es alto ya que el valor de la reactancia del rotor se ha reducido ya que el deslizamiento ha disminuido.

Recuerde que la corriente intensa que fluye en las barras del rotor en detención es reflejada al estator produciendo una alta corriente de balanceo (corriente de arranque).

Cuando un motor es arrancado, suceden dos cosas principales, la corriente del estator es aproximadamente el 700% del valor de la carga completa y en segundo lugar, el torque aplicado es de aproximadamente el 150% de la carga total, pero puede ser mayor dependiendo del tipo de motor. Esto presenta dos problemas. Primero, la corriente de arranque produce una gran caída de voltaje en la alimentación que puede afectar la operación de otro equipamiento, tanto dentro de la propiedad donde el motor está instalado y también a las propiedades externas cercanas. Esto no es lo deseado y está prohibido por las Compañías de Suministro.

Segundo, el torque inicial producido en el arranque puede imponer tensión sobre los componentes mecánicos de la carga que se acciona.

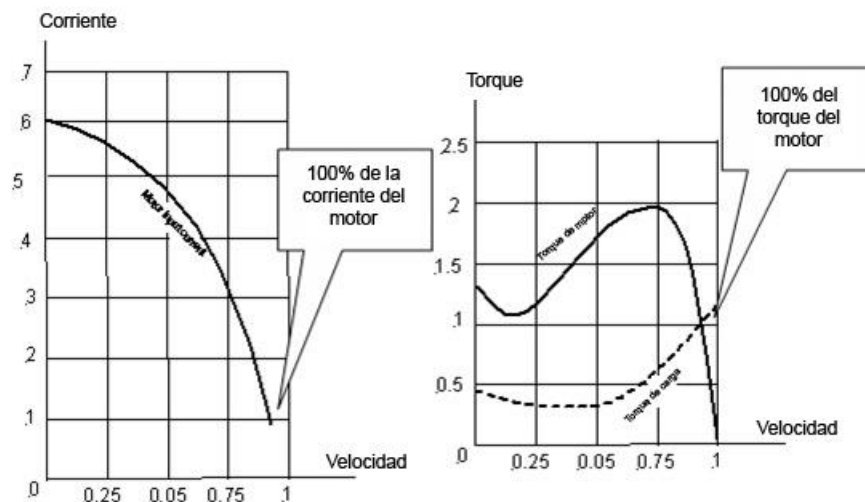


Figura 66

Con todos los motores, la velocidad en la que funciona el motor es el punto donde el torque del motor iguala los requerimientos de torque de carga. Con carga completa, el torque y la corriente del motor están al 100% o el valor nominal. Como se muestra arriba la corriente y el torque están en los valores nominales con la carga completa.

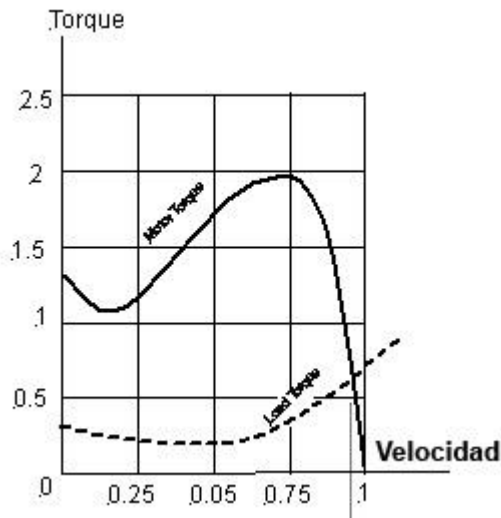


Figura 67

Si los requerimientos del torque de carga se reducen a un valor menor al 100% el motor desarrolla menos torque (suficiente para igualar los requerimientos de carga). Esto da como resultado en mayores RPM con una corriente de línea menor.

Si los requerimientos del torque de carga aumentan a un valor superior al 100% el motor desarrolla el torque necesario (suficiente para igualar los requerimientos de carga). Esto da como resultado menores RPM con una corriente de línea mayor. De hecho, bajo estas condiciones el motor está en SOBRECARGA y están en peligro de dañarse debido a la excesiva acumulación de calor causada por los aumentos de las corrientes del rotor y del estator.

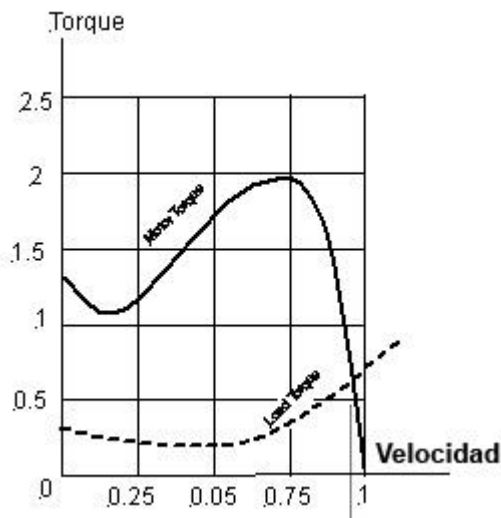


Figura 68

Como se muestra en este diagrama, las condiciones que reducen las RPM del motor por debajo del valor requerido para consumir corriente nominal de línea completa darán como resultado una condición de sobrecarga.

El cambiar la carga mecánica en un motor de inducción afecta lo siguiente:

- La corriente de entrada por fase.
- La potencia de entrada.
- El factor de potencia.

Un motor ligeramente cargado tiene un ángulo de factor de potencia altamente retardador que un motor que funciona a la carga nominal. Por lo tanto, el motor funciona más eficientemente a su carga nominal.

$$\frac{V1}{V2} = \frac{I2}{I1}$$

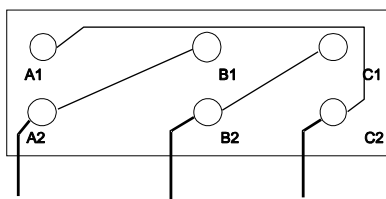
Terminales de Motor

La caja terminal de cualquier motor de inducción tiene tres o seis cables que terminan en una regleta de terminales. Si solo hay tres terminales, entonces una de las tres fases se conecta a una terminal. Las tres terminales tendrían una de los tres conjuntos de bobinas conectadas a ellas. El otro extremo de las bobinas está conectado internamente.

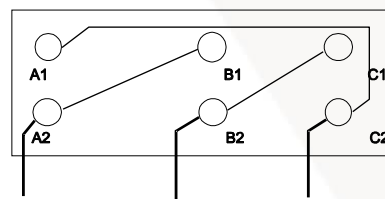
Si hay seis terminales, entonces ambos extremos de los tres sets de bobinas están conectados a las terminales. Las terminales se pueden marcar A1, A2 : B1, B2 : C1, C2 para cada extremo respectivamente, o, algo más común, se marcarían con las letras U1, V1, W1 para un extremo y U2, V2, W2 para el otro.

Las fases de alimentación, ROJO, BLANCO y AZUL se conectarían a un extremo de las bobinas, mientras que los otros extremos se conectarían a una conexión en Estrella o en delta. Si ambos extremos de una bobina se conectasen a la misma fase, el motor no funcionaría.

El siguiente diagrama muestra cómo las terminales deberían conectarse en una conexión en delta y en una conexión en estrella. NOTA: la conexión terminal puede localizarse en diferentes posiciones en diferentes motores.



Estrella



En Delta

Figura 69

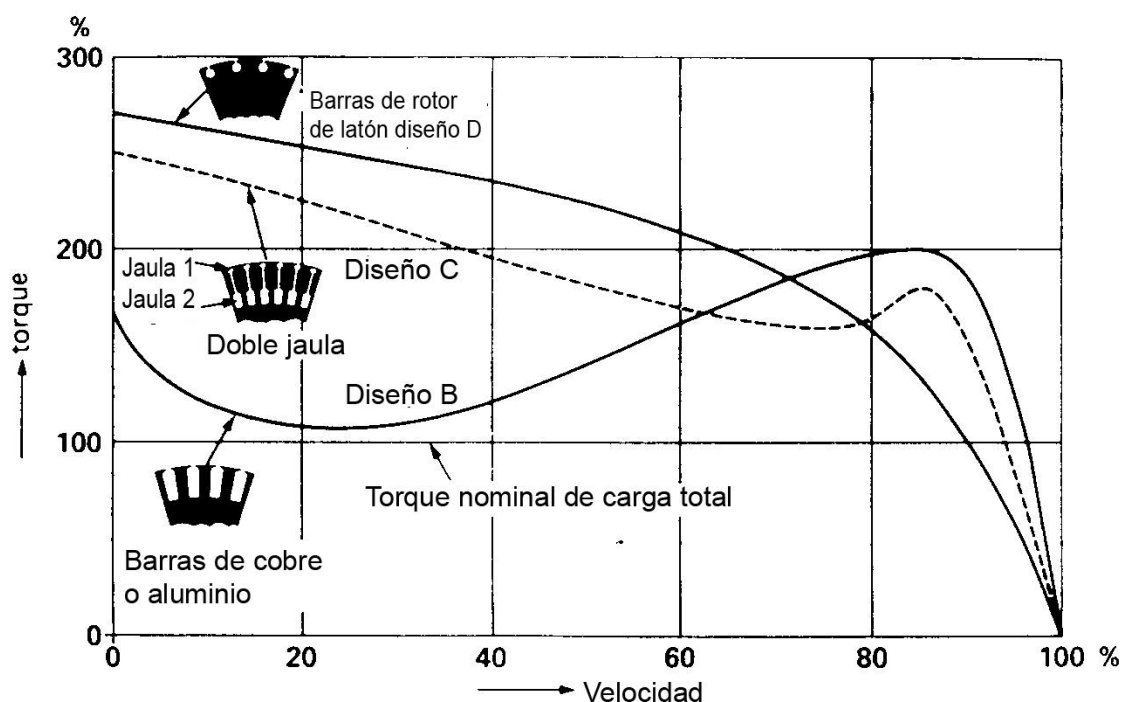


Figura 70

Un rotor de doble jaula tiene en efecto dos juegos de bobinas cortadas por el flujo magnético del estator. Si observa el diagrama anterior, podrá ver la característica de cada tipo de rotor en relación al torque. Si usted selecciona un rotor para brindar mayor torque de arranque, se compensa por una mala regulación de la velocidad (hay una mayor variación de la velocidad entre no carga y carga completa).

Un motor con rotor bobinado tiene bobinas y anillos partidos en lugar de barras sólidas y anillos de cortocircuito. El rotor normalmente tiene tres juegos de bobinas con un extremo de cada bobina internamente conectado y los otros extremos conectados a los tres anillos partidos. Los anillos partidos a su vez están en cortocircuitos al agregar

Resistencia en serie, o se corta su circuito en las escobillas. Las características operativas de motor serán alteradas al variar esta Resistencia.

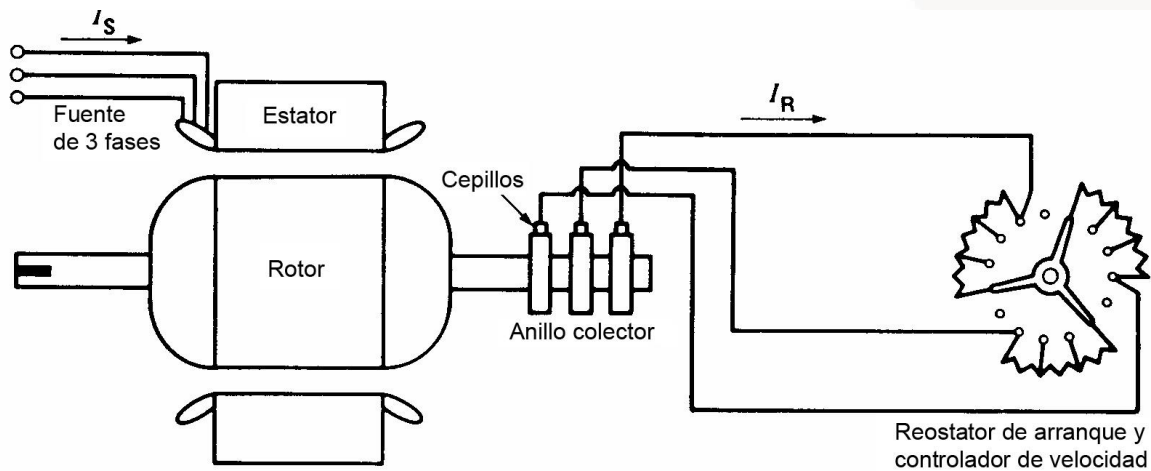
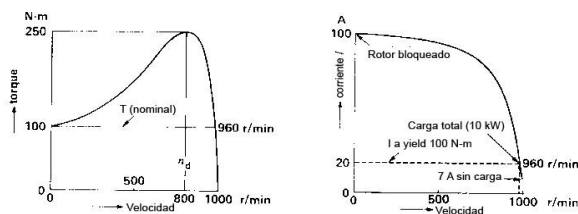
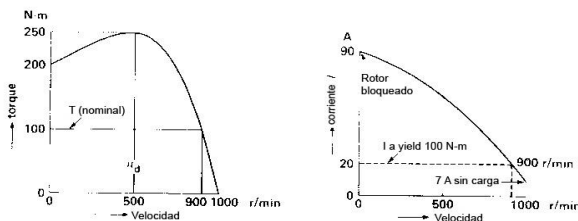


Figura 71

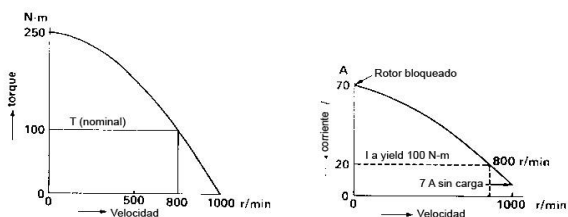
Este tipo de motor se usa en aplicaciones en donde la carga debe iniciarse suavemente o donde se requiere un torque extremadamente alto con un bajo valor de corriente de inserción del estator. Si se modifica la Resistencia del rotor, varía el torque y las Corrientes de encendido. Esto se puede lograr cambiando el índice de la Resistencia del rotor a la reactancia del rotor a medida que el motor opera, lo que cambia el torque y las curvas de corriente para el motor. Al agregar mayor Resistencia de rotor, el factor de energía del rotor se mejora, con más barras de rotor activas a un mayor valor de deslizamiento.



Resistencia normal del rotor



2.5 veces la Resistencia normal del rotor



5 veces la Resistencia normal del rotor

Figura 72

Al estudiar las curvas anteriores, es fácil ver el efecto de agregar Resistencia de rotor a un motor de rotor bobinado.

Eficiencia

Al considerar qué factores afectan el rendimiento de un motor de inducción, debemos primero considerar la eficiencia de la máquina en sí misma.

Las pérdidas asociadas a un motor son:

- Pérdidas de hierro – Histéresis y Corrientes de Foucault.
- Pérdidas de cobre - I^2R (Calor).
-

Además, otras pérdidas además de hierro y cobre pueden darse en motores de inducción, como por ejemplo:

- De fricción – ventilador y rodamientos.
- Reluctancia – huecos de aire entre el estator y el rotor.

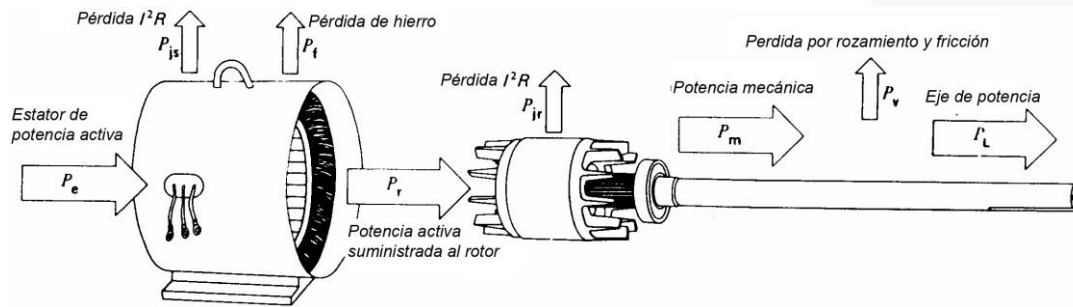


Figura 73

La potencia de entrada a una máquina se usa para proveer las pérdidas de la máquina más la fuerza que se necesita para rotar la carga conectada. Los datos de la placa de nombre de un motor de inducción incluyen las clasificaciones de fuerza sea en Caballos de Fuerza para maquinaria más vieja, o en KiloWatts en máquinas más modernas. Un caballo de fuerza equivale a 746 Watts. La clasificación en la placa de nombre se refiere a la SALIDA DE POTENCIA DEL EJE del motor, no la energía eléctrica de entrada. Sin embargo, cuando se trata de la CORRIENTE DE ENTRADA de un motor de inducción, la corriente siempre es CORRIENTE POR FASE y es el valor de Línea.

Partida estrella/triángulo (arranque de voltaje reducido)

Una partida en estrella/triángulo hace arrancar el motor con sus bobinas conectadas en estrella, y luego reconecta las bobinas del motor en una conexión en triángulo una vez alcanzado el estado estacionario.

Conexión en Estrella Voltaje de fase = 220 voltios

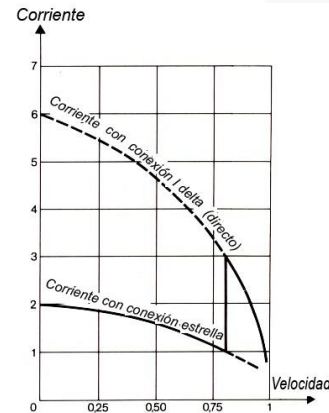
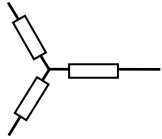


Figura 74

Conexión triángulo Voltaje de fase = 400 voltios

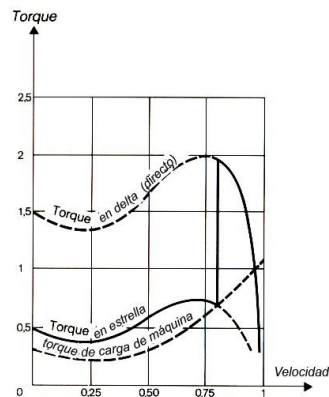
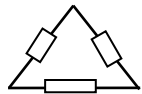


Figura 75

Las curvas mostradas anteriormente muestran como la corriente del motor y el torque son afectados por este método de arranque. Cumple con los requerimientos de arranque de voltaje reducido al reducir tanto la corriente inicial de arranque como el torque y además supera la limitación asociada a un arranque DOL.

Para lograr el cambio en la conexión de las bobinas el motor DEBE tener 6 terminales disponibles (El inicio y final de cada bobina para U "fase A", V "fase B" y W "fase C").

La partida estrella/triángulo se debiera usar cuando se requiere un torque de arranque bajo o una corriente de arranque baja. El torque y la corriente desarrollados (en comparación con DOL) por un motor al arranque variará con cada tipo de motor, pero es de aproximadamente 33% del valor de arranque DOL. Durante el proceso de arranque (conexión en estrella), el torque de carga debe permanecer por debajo del torque del motor desarrollado o el motor se detendrá en la conexión ESTRELLA. Cuando ocurre el cambio, la conexión TRIÁNGULO se hará suministrando un arranque DOL. Por medio de estos requerimientos se puede determinar si un motor que parte por una partida estrella/triángulo es apropiado para arrancar bajo condiciones sin carga o baja carga.

Construcción de un motor de inducción monofásico

Los motores de inducción monofásicos son muy similares a los motores de inducción trifásicos. Se componen de un rotor jaula de ardilla de construcción similar al que se utiliza en un motor trifásico, y un estator. El estator tiene dos bobinas, una bobina auxiliar (de arranque) que produce un campo magnético alternante únicamente para el período de arranque y una bobina (de funcionamiento) que produce un campo magnético durante los períodos de arranque y funcionamiento, la bobina de arranque tiene el mismo número de polos que la de funcionamiento y, al igual que con el motor de inducción de tres fases, el número de polos y la frecuencia de suministro determinan las RPM del campo magnético rotatorio.

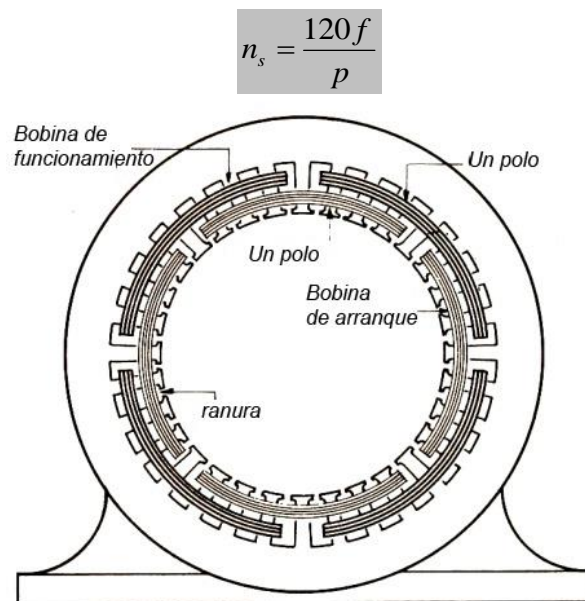


Figura 76

El estator está ubicado en una carcasa exterior de aluminio, acero o hierro que puede ser liso o con aletas para ayudar al enfriamiento. Estas carcasas pueden no ser herméticas para permitir un flujo de aire o estar completamente selladas como en bombas sumergibles.

Funcionamiento

El principio de operación en un motor de inducción monofásico es más complejo que el principio de un motor de inducción trifásico dado que no tenemos las propiedades inherentes asociadas con el desplazamiento de fase de la alimentación. Si conectamos la alimentación a una única bobina en un motor monofásico, no obtendremos ninguna rotación, dado que el campo magnético simplemente se reversa con cada medio ciclo de la alimentación.

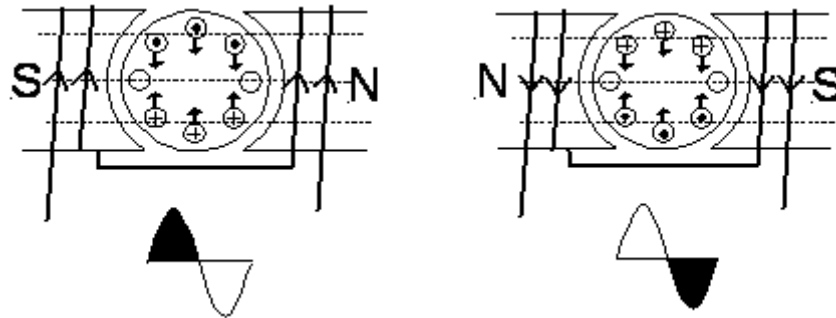


Figura 77

No se genera ningún campo giratorio, sino solamente un campo que cambia la polaridad magnética cada medio ciclo y que es de naturaleza pulsante, no giratorio. En dicho estado, la operación mecánica, es decir, hacer girar con la mano, del eje del motor, permitirá que el rotor se acelere en la dirección de la rotación manual. Esto se debe a que el rotor en rotación produce un campo magnético mayor que el campo principal. El diagrama anterior muestra que, para cada medio ciclo, al torque que instauran las barras del rotor (debido a la inducción) a un lado del rotor se opone el torque generado por la barra de rotor del lado opuesto.

Un motor de inducción monofásico no tiene arranque automático y por ende debe tomarse un enfoque diferente para obtener un campo magnético giratorio. Para ayudar a lograr dicho campo, se debe agregar impedancia al circuito de bobinas de arranque. La impedancia puede tomar la forma de Resistencia, inductancia o capacitancia.

El siguiente ejemplo es usando Resistencia.

Como se dijo, estos motores tienen dos bobinas, llamadas cada una, bobina de arranque y bobina de funcionamiento, la finalidad de la primera crea un campo magnético giratorio durante el período de arranque.

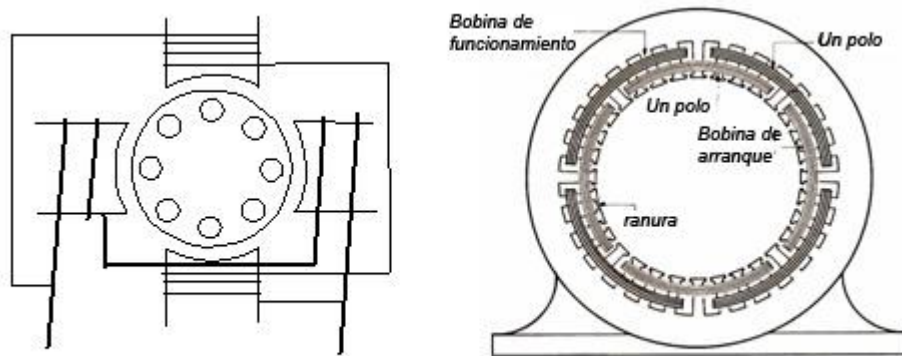


Figura 78

Las bobinas de arranque y funcionamiento están físicamente localizadas. La bobina de arranque está abobinada con unas cuantas vueltas de un alambre Delgado y montada dentro del estator, lo que le da una alta resistencia y una baja inductancia. La bobina de funcionamiento está abobinada con muchas vueltas de un alambre de gran diámetro, y está colocada más adentro en las ranuras, lo que hace que tenga menor Resistencia y mayor inductancia. Usamos esta diferencia en las características de las bobinas para lograr un desplazamiento de fase entre los flujos producidos por cada bobina para obtener un campo magnético giratorio.

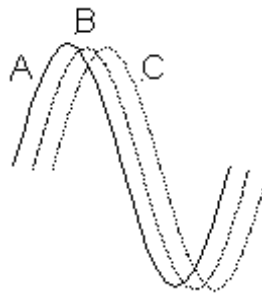


Figura 79

Esto brinda un desplazamiento de las Corrientes de las bobinas, como se muestra en la imagen anterior. La forma de curva A es el voltaje de alimentación, B es la corriente que

pasa a través de la bobina de arranque, y C es la corriente de la bobina de funcionamiento.

EL diagrama a continuación muestra lo que ocurre cuando una alimentación AC se conecta a las bobinas. La bobina de arranque produce un flujo que es seguido por el flujo de la bobina de funcionamiento retrasada por el ángulo de fase de la bobina. Aún no hemos logrado un flujo que se mueva alrededor del estator desde la bobina de arranque hacia la bobina de funcionamiento.

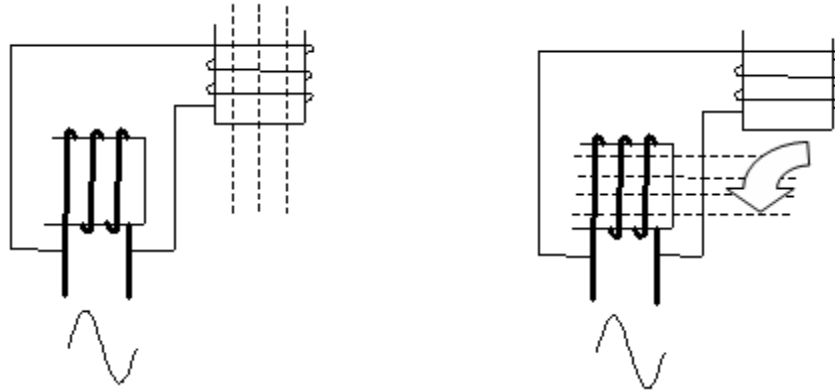


Figura 80

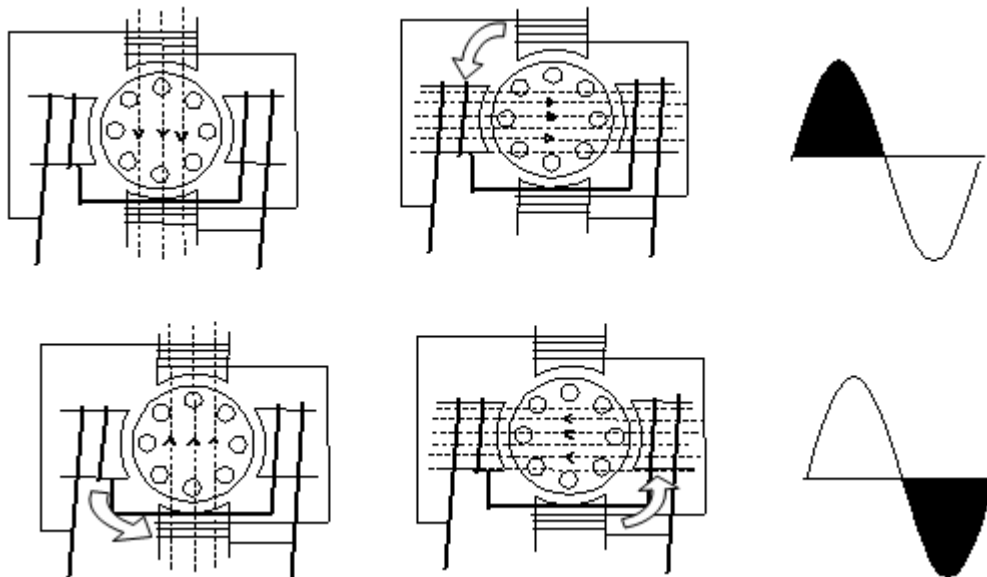


Figura 81

El diagrama a continuación muestra la dirección cambiante del campo magnético en relación a la forma de la curva de alimentación y el desplazamiento creado por las bobinas. Este campo giratorio tiene el mismo efecto que con el motor trifásico, induciendo un voltaje en las barras del motor que hace que la corriente del rotor fluya.

Este rotor produce un campo magnético que interactúa con el campo principal haciendo que el rotor rote en la dirección del campo magnético.

Nuevamente, debe haber DESLIZAMIENTO para mantener el movimiento. Cuando el motor va ganando velocidad, la bobina de arranque debe ser sacada del circuito. El diseño de la bobina de arranque es tal que está clasificada como de corta duración, lo que quiere decir que se quemará si esta en operación continuada. ¿Cómo sigue girando el motor si una bobina queda aislada?

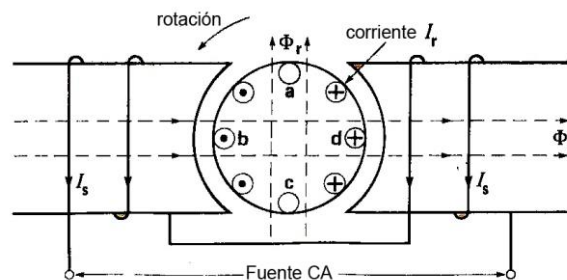


Figura 82

A medida que el rotor gira, las Corrientes en el rotor establecen un campo magnético. Dado que el rotor es altamente inductivo, la corriente del rotor está retrasada con respecto a la corriente del estator en $\cong 90^\circ$. Esto coloca el flujo del estator Φ_s y Φ_r (flujo del rotor) en $\cong 90^\circ$, ver diagrama anterior. Por lo tanto el campo magnético sigue girando debido a la combinación del flujo del estator y el flujo del rotor. El diagrama a continuación muestra el flujo girando debido a la combinación de los flujos del estator y del rotor en relación a la onda senoidal de entrada. La curva a continuación muestra la fuerza del flujo en cada punto en rotación.

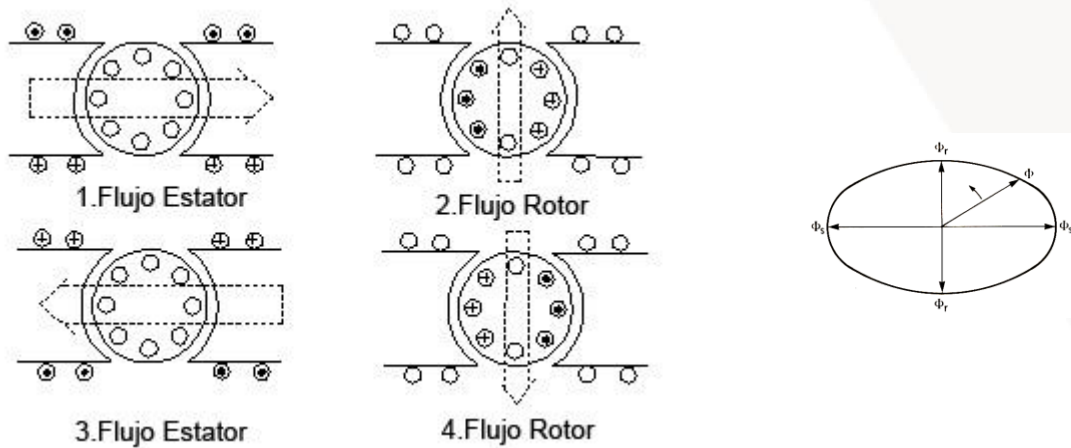


Figura 83

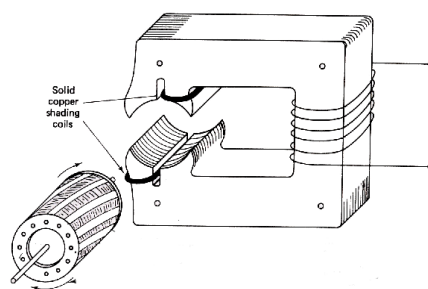


Figura 84

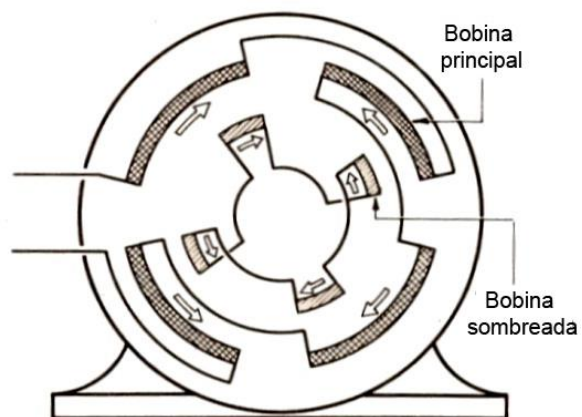


Figura 85

Motor Universal

Un motor universal puede funcionar con CC o CA monofásica a aproximadamente la misma velocidad. Este motor es el más popular en los tamaños de energía de fricción y se usa en aparatos tales como aspiradores, batidores, herramientas eléctricas, máquinas de coser, etc.

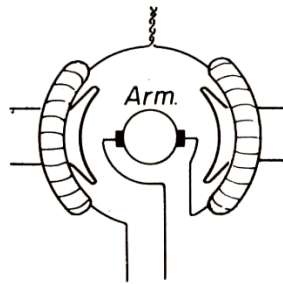


Figura 86

Los motores universales están abobinados en serie y tienen un alto torque de arranque y una característica de velocidad variable. Funcionan a velocidades peligrosamente altas sin una carga y debido a esto normalmente están incorporados al aparato que impulsan. Hay varios tipos de motores universales utilizados hoy en día. El tipo más popular es similar al motor de dos polos en serie y tiene dos polos de campo concentrado. Otro tipo de motor universal tiene un devanado de campo distribuido en ranuras al igual que en el motor de fase partida. Estos motores en general están hechos en tamaños que varían desde 4 a 200 Watts, pero existen en tamaños mayores para aplicaciones especiales.

Construcción de un motor universal

Las partes principales de un motor universal son (1) la carcaza, (2) centro del campo, (3) la armadura y (4) las placas terminales. La carcaza es una coraza de acero, aluminio o hierro fundido enrollado lo suficientemente grande para contener las laminaciones del campo principal. El campo principal está construido de laminaciones que están firmemente apretadas las unas contra las otras y sujetas con remaches o pernos.

La armadura es similar al motor CC pequeño. Consiste esencialmente de un centro laminado que tiene ranuras rectas u oblicuas y un conmutador al que están conectadas las guías del devanado de la armadura. Tanto el centro como el conmutador están apretados contra el eje.

Como en otros motores, las placas terminales están localizadas en los extremos del marco y sujetas por pernos. Las placas alojan los rodamientos, normalmente del tipo de

bola o de manga, en los cuales gira el eje de la armadura. Los sujetadores de las escobillas normalmente están apernados a la placa terminal frontal.

Funcionamiento de un Motor Universal

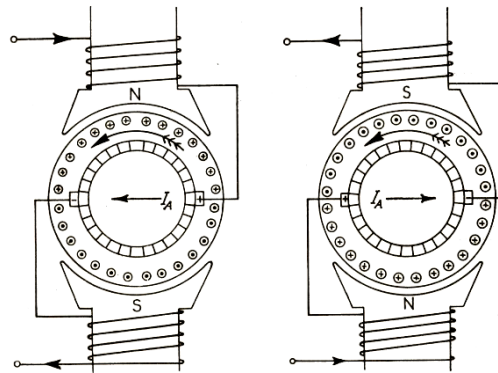


Figura 87

El motor universal está construido de manera que cuando la armadura y las bobinas de campo están conectadas en serie y se aplica voltaje, el flujo magnético que crean los campos, reaccionarán con el flujo creado por la armadura y causarán la rotación. Esto se produce sin importar si la corriente es alterna o continua.

Invertir el motor universal

En un motor universal, la dirección de la rotación se cambia invirtiendo la dirección de la corriente sea a través de las bobinas de la armadura o de campo. El método usual es intercambiar las guías en los sujetadores de cepillo. La siguiente figura muestra el motor conectado para que su rotación sea en sentido de las manecillas del reloj y para rotación en sentido contrario a las manecillas del reloj.

En muchos motores universales, especialmente en aquellos que no han sido diseñados para ser invertidos, el cambio de dirección de rotación puede causar chispas en las escobillas, dado que están hechos para una aplicación específica y están abobinados para funcionar solamente en una dirección. Al invertirse esta dirección hará que las escobillas queden fuera del plano sin chispazos que se requiere.

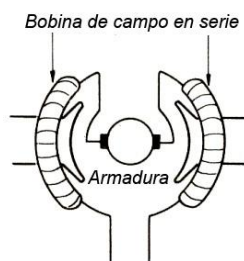


Figura 88

Dispositivo de seguridad en la operación del circuito

Cortocircuitos

Si ha ocurrido un cortocircuito, el interruptor de encendido estará en la posición de activación.

Fusibles

Retire los fusibles y pruébelos con el Ohmmetro. Para probar los fusibles sin retirarlos de sus posiciones, coloque un voltímetro cruzando el fusible. El fusible que cause que el medidor lea voltaje, es el que está quemado.

Si el fusible se quema mientras un motor trifásico está en funcionamiento, el motor seguirá operando en una condición de una fase. Esto implica que solo una parte del devanado está transportando toda la carga. Si el motor sigue operando de esta manera, el devanado se puede sobrecalentar y quemarse. Además, el motor hará mucho ruido y podría no levantar la carga requerida. Para encontrar el problema, detenga el motor y trate de reiniciarlo.

Un motor multi-fase no arrancará con un fusible quemado. Para remediar esta condición, localice y reemplace el fusible defectuoso.

Rodamientos desgastados

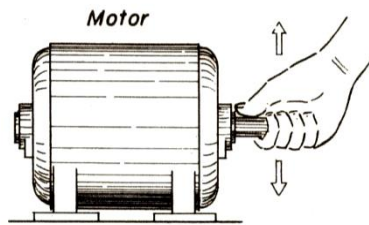


Figura 89

Si un rodamiento está desgastado, el rotor se montará en el estator y causará que el motor opere con ruido. Cuando los rodamientos están tan desgastados que el motor se apoya firmemente en el centro del estator, no es posible la rotación. Para revisar un motor pequeño para detectar esta condición, trate de mover el eje hacia arriba y hacia abajo. Si este tipo de movimiento es posible, es un indicio de que un rodamiento está desgastado. Remueva el rotor e inspecciónelo en busca de puntos lisos desgastados. Éstos indican que el rotor ha estado rozando el estator. El único remedio es reemplazar los rodamientos.

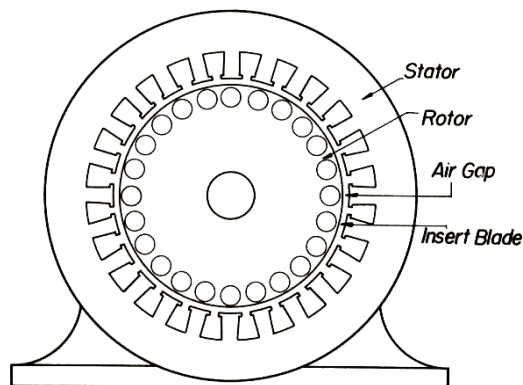


Figura 90

En motores más grandes, la revisión en busca de rodamientos desgastados se hace con una galga de espesor. El espacio entre el rotor y el estator debe ser el mismo en todos los puntos. De no ser así, se debe reemplazar el rodamiento.

Sobrecarga

Para determinar si un motor está sobrecargado, retire la fuente de poder del motor y gire el eje de carga manualmente. Normalmente una parte quebrada o un mecanismo sucio impedirán que el eje se mueva libremente.

Otro método es conectar un amperímetro (de pinzas) en cada alambre de alimentación. Una lectura de corriente más alta que la que está en la placa de identificación puede indicar una sobrecarga.

Fase Abierta (fase única)

Si ocurre una apertura mientras el motor está en funcionamiento, seguirá funcionando pero tendrá menos fuerza. Las condiciones son similares a las de un fusible quemado. Un circuito abierto puede ocurrir en una bobina o en una conexión en grupo y puede impedir el arranque del motor. Esto también podría ser debido a un alambre rotor, conexiones sueltas y equipo de control defectuoso. Si la apertura se localiza dentro de una bobina podría ser necesario un rebobinado.

Bobina o grupo en cortocircuito

Las bobinas cortocircuitadas causarán una operación ruidosa y se calentarán en exceso. Localice la bobina por cualquier medio de inspección visual o con una prueba de balanceo de corriente. Cuando el esmalte que aísla el cable falla, las vueltas individuales se acortan y causan que la bobina se caliente en extremo y se queme. Otras bobinas podrían entonces quemarse, resultando en la falla de todo un grupo. Una bobina acortada se ve y huele quemada. Si un grupo entero se ha quemado, el motor debiera ser rebobinado.

Barras del rotor rotas

Esto produce un funcionamiento Ruidoso e impedirá que el motor alcance la potencia total. Se podrían observar chispas en las barras mientras el motor gira. Si una o más barras del rotor se rompen y no completan la conexión con los anillos terminales, esto podría resultar en un funcionamiento no apropiado del motor. En muchas instancias, el motor no girará. Las barras de rotor quebradas se pueden encontrar colocando tiza en las barras del rotor y luego arrancando el motor. Debido a las chispas en el circuito abierto, la tiza se quemará, indicando dónde está la rotura. Las barras de rotor abiertas también se pueden detectar mediante una inspección visual.

Rodamiento trabado

De no aplicarse el lubricante correcto a los rodamientos, el eje se calentará tanto que se expandirá lo suficiente como para impedir el movimiento en el rodamiento. Esto se llama un rodamiento trabado. En el proceso de expansión, el rodamiento puede soldarse por sí mismo, imposibilitando por ende el movimiento. Para reparar este problema, retire las placas terminales. La placa terminal que no pueda ser retirada con facilidad será la que contenga el rodamiento defectuoso. Retire la placa terminal y la armadura como una unidad. Sujete la armadura en una posición estacionaria y gire la placa terminal hacia delante y hacia atrás. De no ser posible mover la placa terminal, trate de retirar la armadura y el rodamiento como una unidad. El rodamiento podrá entonces removerse golpeándolo con un martillo. Probablemente se tendrá que reducir el eje en un torno y hacerse un nuevo rodamiento. Si todos los rodamientos de bola se están utilizando, reemplácelos con unos nuevos.

Falla en la tierra

Si el embobinado tiene línea a tierra en más de un lugar, ocurrirá un corto circuito que quemará el embobinado y quizás haga explotar un fusible. Use un equipo de medición apropiado para probar si el devanado tiene línea a tierra y repare rebobinando. Al probar las bobinas del estator, asegúrese que estén desconectadas de la alimentación.

Motor de arranque defectuoso

Si los contactos en el motor de arranque no hacen un buen contacto, el motor no arrancará. Dado que hay una variedad de diferentes tipos de motor de arranque, entregamos aquí un procedimiento general para localizar la fuente del problema.

1. Si el motor no arranca cuando los contactos principales se cierran, el problema podría ser:
 - Elemento abierto de sobrecarga o conexión defectuosa.
 - Los contactos principales no están traspasando corriente. No es inusual que uno o más contactos se desgasten lo suficiente como para no traspasar corriente al cerrarse. Esto también ocurre si los contactos se ensucian, están arenosos o quemados.
 - Conexión a terminal quebrada, suelta o sucia.
 - Obstrucción en el imán principal, lo que impide que los contactos se cierren.
 - Circuito abierto en el resistor o autotransformador

- Problemas mecánicos, tales como enclavamientos mecánicos, pivotes gomosos, tensión de resorte insuficiente, etc.
2. Si el contacto no cierra cuando se aprieta el botón de arranque, el problema podría ser:
- Una bobina con circuito abierto. Esto se puede probar conectando un medidor en las terminales de la bobina cuando se aprieta el botón de encendido. Si se aplica voltaje al apretarse el botón, pero la bobina no se energiza, la bobina esta defectuosa.
 - Contactos del botón de arranque sucios o contacto defectuoso.
 - Contacto del botón de parada abiertos o sucios. Si más de una estación está conectada al mismo motor de arranque, cada estación debe ser revisada. Si las estaciones de adelantado/reversa se están usando y están enclavadas, debe revisar todos los contactos.
 - Contactos auto contenidos que no cierran completamente o están sucios o picados.
3. Si se pone en operación un elemento de protección al apretarse el botón de encendido, el problema podría ser:
- Contactos a tierra.
 - Bobina acortada.
 - Contactos en cortocircuitos.
4. Si el contacto funciona ruidosamente, el problema podría ser:
- Anillo roto, lo que causa chirrido.
 - Voltaje demasiado bajo.
5. Si la bobina de contacto esta quemada o acortada, el problema podría ser:
- Voltaje demasiado alto.
 - Corriente excesiva debido a una gran brecha magnética causada por arena, suciedad o problemas mecánicos.
 - Demasiada frecuencia de operación.
 - Voltaje demasiado bajo.

Motores monofásicos

1. Las fallas y las soluciones recomendadas están agrupadas en cuatro clases, a continuación:

- El motor no arranca.
- El motor funciona bajo la velocidad normal.
- El motor se calienta mucho al funcionar.
- El motor funciona ruidosamente.

El motor no arranca. La falla en el arranque de un motor, cuando está conectado a una toma de corriente correcta, puede deberse a:

- Embobinado de funcionamiento abierto.
- Embobinado de arranque abierto.
- Embobinado a tierra.
- Embobinado quemado o en cortocircuito.
- Aparato de sobrecarga de circuito abierto.
- Sobrecarga excesiva.
- Rodamiento desgastado o apretado.

Embobinado de funcionamiento abierto

Un embobinado de funcionamiento abierto se puede probar con un Ohmmetro.

Embobinado de arranque abierto

Existen tres pruebas prácticas para mostrar si un embobinado de arranque tiene un circuito abierto. Un método es conectar el motor a su alimentación. Un circuito abierto en el embobinado causa que el motor produzca un zumbido. La segunda prueba es hacer girar el rotor manualmente.

Esto se puede llevar a cabo enroscando un cable alrededor del eje del rotor y tirar el cable para que el rotor gire. Mientras el rotor está girando de esta manera, se enciende la alimentación. Si el motor sigue funcionando, el problema está en el circuito del embobinado de arranque.

La tercera prueba es usar un Ohmmetro. Si se detecta que el circuito está abierto, el problema podría estar en el interruptor centrífugo o en el embobinado de arranque. El interruptor centrífugo debería examinarse en primer lugar, dado que es la causa más común del problema. Moviendo el eje del rotor hacia la placa terminal delantera puede

cerrar el contacto del interruptor. El rotor puede también tener demasiada holgura, lo que se puede determinar moviendo el eje hacia delante y hacia atrás.

Si dichas pruebas se han llevado a cabo y el circuito permanece abierto, el motor se desmonta y se lleva a cabo una prueba para la operación del interruptor. Si se encuentra que esta defectuoso, el interruptor centrífugo se limpia y ajusta.

Si el interruptor centrífugo está en buen estado, se prueba a continuación el devanado de arranque. Las guías flexibles a la alimentación que están empalmados a los cables de las bobinas se examinan primero y se reemplazan si están defectuosas. Si el devanado de arranque es el defectuoso, la apertura se puede detectar usando un Ohmímetro.

Falla por línea a tierra

Se prueba de igual forma que para un motor trifásico.

Embobinado quemado o en cortocircuito

Un embobinado quemado o que ha hecho cortocircuito normalmente provoca la activación del sistema de protección cuando el motor está conectado a la alimentación. Si el sistema no funciona, el embobinado quedará sometido a un calor excesivo. Un embobinado quemado se reconoce fácilmente por medio de su olor y su apariencia quemada.

La única solución es reemplazar el embobinado quemado.

Aparato de sobre carga de circuito abierto

La mayoría de los motores están equipados con un aparato de sobrecarga que consiste en un elemento bimetálico que se expande cuando se calienta y causa que los contactos asociados se abran. Este aparato está conectado en serie con el motor y sus contactos se abren si el motor está sobrecargado o si por cualquier otra razón fluye demasiada corriente a través del embobinado. Sin embargo, el contacto se debe cerrar después que el motor se haya enfriado un tanto o cuando se retire la sobrecarga.

Sobrecarga Excesiva

Cuando hay demasiada sobrecarga en un motor que no tenga un aparato de sobrecarga, el motor comenzará a zumbir y se detendrá. Una condición de sobrecarga

puede determinarse rápidamente al conectar un amperímetro en el circuito y notar si el amperímetro registra una lectura de corriente más alta que la que está registrada en la placa del motor. Un embobinado en cortocircuito puede causar tal lectura. Se asume sin embargo que las pruebas previas han mostrado que los embobinados no están ni en cortocircuito ni con línea a tierra.

Rodamiento desgastado o apretado

Se prueba de igual forma que para un motor trifásico.

El motor funciona a menor velocidad que la velocidad nominal

Un motor que no es capaz de lograr la velocidad de funcionamiento nominal probablemente tiene una o más de las siguientes fallas:

- Un cortocircuito en el embobinado de funcionamiento.
- El embobinado de arranque sigue en circuito.
- Rodamientos desgastados.
- Barras del rotor rotas.

Corto circuito en el embobinado de arranque

Un corto circuito en el embobinado de arranque causa que el motor funcione a una velocidad menor que aquélla para la que está diseñado, y producirá un ruido como zumbido o gruñido. El polo que contiene en corte normalmente estará excesivamente caliente, puede también humear si se permite que el motor funcione por demasiados minutos. Para localizar el polo en cortocircuito, se utiliza un probador de armaduras interno o el polo puede localizarse meramente tocando en busca de una bobina caliente.

Embobinado de arranque permanece en el circuito

Los síntomas de esta falla son los mismos a los de un embobinado de funcionamiento con un cortocircuito. Para determinar de forma concluyente que el embobinado de arranque permanece en el circuito, desconecte una guía a dicho embobinado y arranque el motor manualmente y conecte la alimentación después que el rotor esté girando. Si el motor funciona apropiadamente, el interruptor centrífugo no desconecta el embobinado de arranque en el momento apropiado. Los puntos de contacto del interruptor centrífugo pueden estar soldados o pegados, puede haber otras partes defectuosas que causen que los puntos de contacto sigan cerrados, o la parte giratoria del interruptor quizás no esté soltando los contactos en la parte estacionaria.

Rodamientos desgastados

Un motor con rodamientos desgastados es Ruidoso al funcionar y pesado en su rotación. La causa es que el rotor se roza contra el estator mientras funciona. Se puede confirmar el diagnóstico de un rodamiento o eje desgastados fijándose si el eje se puede mover hacia arriba y hacia abajo mientras se ensambla el motor.

Barras rotas del rotor

Una indicación de que las barras del rotor están abiertas se detecta cuando el motor funciona con energía reducida y produce un ruido como de gruñido. El rotor debe ser retirado del motor para más pruebas.

El Motor se calienta al funcionar

Un motor se puede calentar en exceso después de funcionar poco tiempo por una de las siguientes razones:

- Embobinado en cortocircuito.
- Embobinado a tierra.
- Corto circuito entre los embobinado de funcionamiento y de arranque.
- Rodamientos desgastados.
- Sobrecarga.

Embobinado en cortocircuito

Si el embobinado de funcionamiento o el de arranque tienen un corto circuito, el polo en cortocircuito se calentará en exceso cuando el motor esté funcionando. Además, el motor funcionará con un ruido de gruñido. El embobinado eventualmente se calentará tanto que todo el motor se dañará si se permite que funcione en esta condición.

Conexión a Tierra

Una conexión a tierra en dos o más lugares es equivalente a un embobinado en cortocircuito y provoca que el motor funcione muy caliente y eventualmente producirá un daño severo. Los puntos a tierra se localizan mediante los métodos previamente explicados.

Corto circuito entre los embobinados de funcionamiento y de arranque

Un corto circuito entre estos dos embobinado permite que una corriente fluya a través de una parte del embobinado de arranque de forma continua mientras el motor esté en funcionamiento, y con el tiempo quemará el embobinado de arranque.

Rodamientos desgastados

Cuando los rodamientos están lo suficientemente desgastados como para permitir que el rotor toque el estator, el motor se sobrecalentará después de operar poco tiempo.

Sobrecarga

La sobrecarga de un motor causa que consuma más de la corriente nominal y por ende produzca un calor excesivo. Se debe colocar un amperímetro en el circuito para determinar si hay sobrecarga. Si el medidor arroja una lectura mayor a la indicada en la placa de identificación del motor, la carga debe reducirse o el motor debe ser reemplazado por otro más grande. Esta prueba supone que el motor esta externamente sobrecargado.

El motor es ruidoso al funcionar

Hay varias razones por las que un motor puede operar con una cantidad excesiva de ruido. Las más comunes son:

- Embobinado con cortocircuito.
- Barra rota del rotor.
- Rodamiento desgastado.
- Interruptor centrífugo desgastado.

- Demasiada holgura.
- Presencia de material extraño en el motor.

Las dos primeras de estas condiciones que acabamos de nombrar producen un zumbido magnético cuando el motor está en funcionamiento.

Actividad N° 13

Introducción a la actividad

La siguiente actividad de “Introducción a los principales equipos electromagnéticos” se divide en 2 secciones: Nociones básicas y principios de funcionamiento de transformadores y nociones básicas y principio de funcionamientos de motores de inducción. El cierre es común a las dos secciones.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	✓
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	✓
Formulación de preguntas.	✓

- **Nociones básicas y principios de funcionamiento de transformadores**

Objetivos de aprendizaje

- Comprender la relación entre número de espiras, voltajes y corrientes.

Descripción de la actividad

El participante deberá comprobar la relación de transformación entre el bobinado “primario” y el “secundario”, a través de una actividad práctica bajo la guía del instructor.

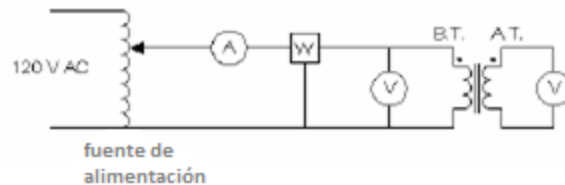
Materiales y recursos:

- Fuente variable alterna.
- Transformador monofásico 120/18 V.
- 1 Reostrato.
- 2 Voltímetros AC.
- 2 Amperímetros AC.

Desarrollo

El instructor indicará que los participantes estarán trabajando con una fuente energizada por lo que deben tomar todas las precauciones necesarias.

Solicitará que monten el circuito de la figura siguiente alimentando el transformador por el lado de baja tensión:



Luego les dirá que antes de encender la fuente de alimentación se deberán asegurar que el cursor se encuentre en cero.

Solicitará que aumenten la tensión de la fuente desde cero hasta 24v en el devanado de baja tensión. Anote los valores en la siguiente tabla.

	0	4	8	12	16	20	24
VBT							
VAT							
IBT							

Para finalizar la actividad el instructor deberá preguntar cual fue a relación de transformación.

- **Nociones básicas y principio de funcionamientos de motores de inducción**

Objetivos de aprendizaje

- Identificar datos de placa de un motor eléctrico.
- Reconocer principales componentes de un motor de inducción.

Descripción de la actividad

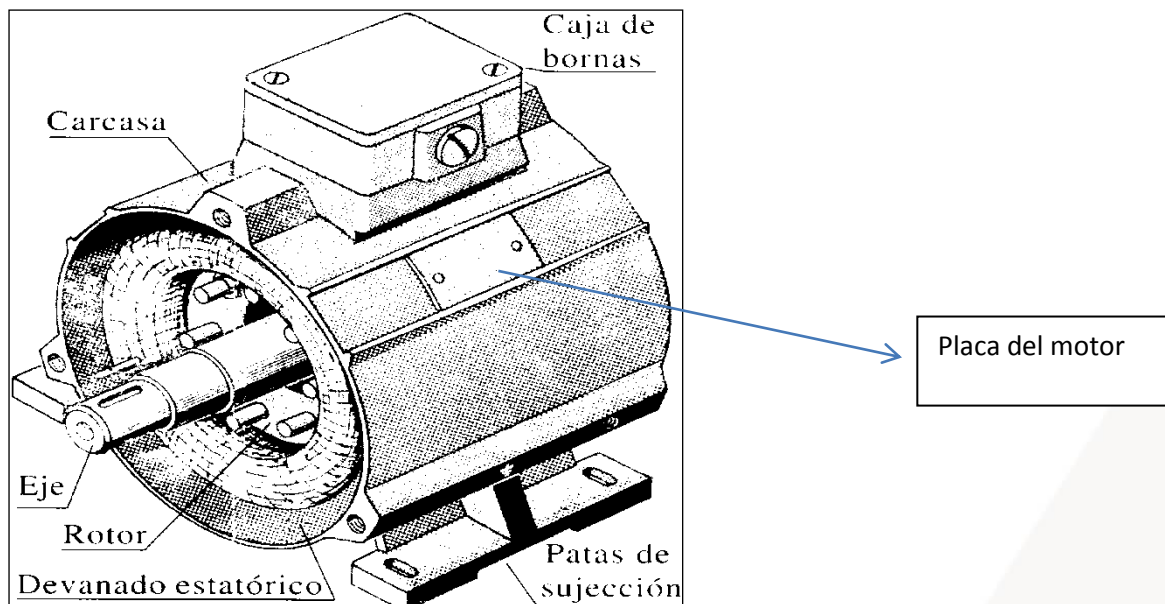
El participante observará la placa que se presenta en el material didáctico y deberá sacar la mayor cantidad de información respecto del motor.

Materiales y Recursos:

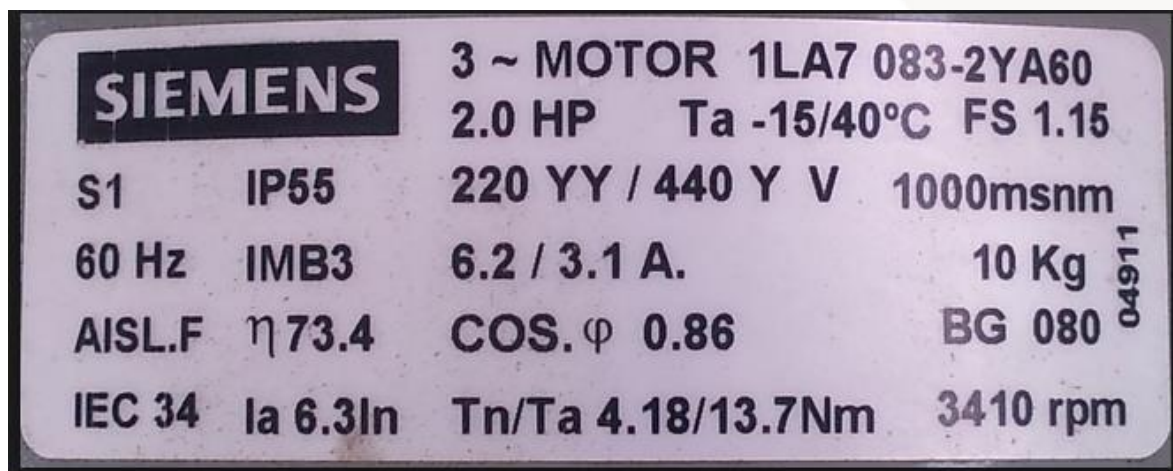
- Armadura.
- Estator.
- Polos.
- Rotor.
- Bobinas.
- Conectores.

Desarrollo

El instructor el recordará a los participantes que la placa del motor se encuentra en todos los motores, como en el ejemplo siguiente:



Luego les solicitará a los participantes que observen la siguiente placa y que desprendan de ella la mayor cantidad de información posible del motor:



Solución:

En la placa es observable: Rendimiento, factor de potencia, tipo de motor, potencia en el eje, tipo de conexiones.

Factor de potencia = 0,86

Tipo de motor= Motor trifásico

Potencia en el eje = 2.0 HP

Rendimiento= 73,4 %

Tipo de conexiones = 220 YY / 440 YV

Cierre

Los principales equipos electromagnéticos utilizados en Minería son los motores eléctricos y los transformadores. Los motores son utilizados en aplicaciones críticas de los procesos tal como chancado, molienda, flotación y correas transportadoras entre otros.

Los transformadores son dispositivos que convierten la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión (primario), en energía alterna de otro nivel de tensión (secundario), basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. En general se distinguen por el elemento que utilizan para su enfriamiento en enfriados por aceite, silicona, o secos, entre otros.

El motor de inducción es como un transformador rotatorio con el primario siendo el estator, el secundario el rotor. La única diferencia entre un transformador y un motor de inducción es que cuando el rotor cambia de velocidad la tasa de cambio del flujo varía en el motor, mientras que permanece constante en un transformador. El motor no es tan eficiente como el transformador debido a los espacios de aire entre el rotor y el estator.

La necesidad del mantenimiento preventivo en estos dispositivos electromagnéticos, tanto en Alta, Media y Baja tensión se multiplica en función de los daños que podría ocasionar su detención por avería. Tratándose de equipos costosos, su revisión debe efectuarse con la periodicidad establecida en su proyecto de instalación, adecuándola en todo momento a las especiales características de su utilización.

2.3 Nociones básicas y principio de funcionamiento de generadores

Un generador es una máquina que tiene como objetivo transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Está constituido por una parte móvil llamada rotor y la parte estática, llamada estator. Un generador en funcionamiento produce una interacción de los dos elementos principales, uno de los dos actúa como inductor generando un flujo magnético, para que el otro lo transforme en electricidad, actuando como inducido. La diferencia entre ellos consiste en que el rotor es el cilindro que se encuentra en movimiento (rotación), mientras que el estator es la carcasa o parte exterior y no se mueve.

Se pueden diferenciar según el tipo de corriente que producen:

- Alternadores: El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Son los responsables de generar electricidad en corriente alterna.
- Dinamos: El elemento inductor es el estator y el inducido el rotor. Generan electricidad en la llamada corriente continua.

El principio que rige el funcionamiento de los generadores es la Ley de Faraday. Señaló una explicación a todas las experiencias, relacionando la fuerza electromotriz inducida con las variaciones de flujo del campo magnético, esto quiere decir que si tiene un campo magnético que genera un flujo magnético, es necesaria una espiral por donde circule una corriente, de manera de conseguir que se genere la fuerza electromotriz.

Este descubrimiento, realizado en el año 1830 por Michael Faraday, permitió posteriormente la creación del disco de Faraday, que consiste en un imán en forma de U, con un disco de cobre en medio, que está girando, describiendo un movimiento en una región del espacio donde existe un campo magnético se ve sometido a una fuerza magnética que provoca una redistribución de carga en su interior, fenómeno que se traduce en la aparición en éste de una diferencia de potencial, que se puede aprovechar para generar corriente continua.

Máquinas eléctricas: motores y generadores

Se denomina máquinas eléctricas a los aparatos que son capaces de transformar energía eléctrica en cualquier otra forma de energía.

Las máquinas eléctricas se pueden dividir en rotativas y estáticas. En este caso vamos revisaremos el grupo de las máquinas rotativas, constituidas por motores y generadores.

Las máquinas eléctricas tienen pérdidas. Las más importantes son:

- Pérdidas mecánicas: Debido al rozamiento entre las piezas móviles.
- Pérdidas eléctricas: Debido al efecto Joule.
- Pérdidas magnéticas: Dependientes de las variaciones que se producen en los campos magnéticos y de frecuencia.

Motor Eléctrico

Es el motor que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Por medio de la repulsión que presenta un objeto metálico eléctricamente ante un imán permanente, es decir, son máquinas eléctricas rotatorias. En general tienen un tamaño reducido que permite introducir motores de gran potencia en máquinas de tamaño diverso. Se considera el motor ideal para la tracción de transportes pesados.

Algunos de motores eléctricos pueden ser reversibles, transformando la energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Clasificación de Motores

Motores de corriente continua: Se clasifican según la forma en que estén conectados.

- Motor Independiente.
- Motor Serie.
- Motor Shunt o derivación.
- Motor Compound o compuesta.
- Motor sin núcleo.
- Motor Paso a Paso.
- Servomotor.
- Motor Eléctrico sin escobillas.

Motores de corriente alterna:

- Motor Universal (puede funcionar con corriente continua como con corriente alterna).
- Motor Síncrono.
- Motor Asíncrono o Monofásico:
 - De bobinado auxiliar.
 - De espira en cortocircuito.
- Motor Asíncrono o Trifásico.
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en cortocircuito o Jaula de Ardilla.

Motores síncronos

Alternadores síncronos

Un voltaje generado ocurre cuando un conductor se mueve en un campo magnético. Esto ocurre en el rotor de un alternador que está conectado al circuito externo por medio de escobillas y anillos de deslizamiento. En la práctica los roles del estator y el rotor pueden cambiarse (el rotor puede ser el componente magnético y el devanado CA puede ser la parte estacionaria de la máquina). Siempre y cuando haya una interacción entre el devanado y el campo, se genera un voltaje. Como lo sugiere el nombre, el rotor RPM está sincronizado con la frecuencia del voltaje de salida de la máquina.

Generación CA trifásica

Si se desplazan tres devanados idénticos en 120° en la armadura y luego se giran por medio de un campo magnético, producirán tres formas de curva idénticas desplazadas por 120° según el diagrama a continuación.

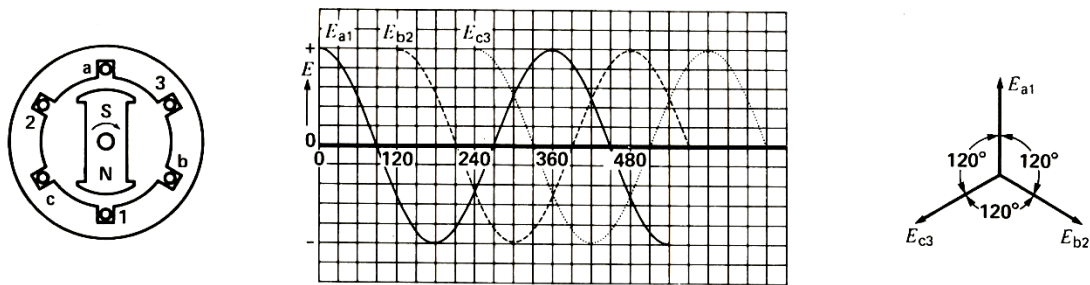


Figura 91

Construcción del Alternador

Sección 11.2 del texto de referencia

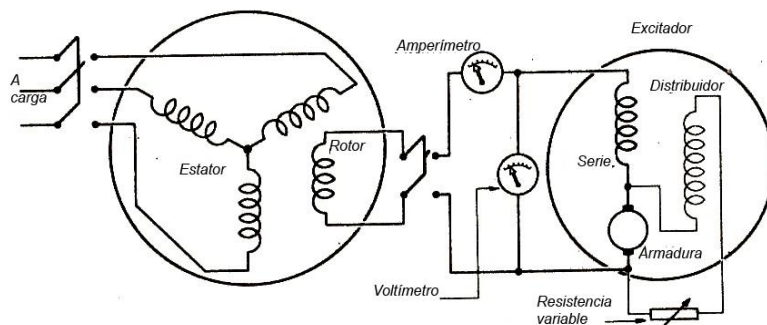


Figura 92

Un alternador síncrono es similar en su construcción a un motor síncrono. Conste en un devanado CA de tres fases y un devanado CC. Sin importar que tenga o no un devanado de jaula de ardilla (amortiguamiento) depende

del tipo de dispositivo motor que impulse al alternador. Al igual que en el caso del generador CC, el alternador puede recibir su fuerza de entrada de un dispositivo motriz como un motor, una turbina de vapor, una rueda de agua, o un motor diesel. Se sacan cuatro conectores del devanado del estator, que normalmente se conectan en estrella.

El diagrama a la izquierda muestra la construcción básica de un alternador con el devanado de su estator (idéntico al del motor de inducción de tres fases) y el rotor CC excitado que tiene tantos polos de campo como el devanado del estator.

Como se puede ver, el método básico de construcción de un motor síncrono de tres fases y de un alternador de tres fases es el mismo. El motor recibe la energía eléctrica desde una fuente de suministro para entregar fuerza mecánica mientras que el alternador recibe fuerza mecánica para convertirse en una fuente de suministro.

Los alternadores vienen en dos formas, de campo giratorio o de armadura giratoria.

Alternadores portátiles de hasta 5kVA.	Campo giratorio o armadura giratoria
Conjuntos portátiles y de apoyo/emergencia.	Campo giratorio
Unidades de estación de potencia	Campo giratorio

Con una máquina de campo CC estacionario magnético (armadura giratoria) el devanado del estator es el campo CC mientras el rotor tiene un devanado de tres fases. La salida CA está conectada a las terminales de salida por medio del anillo de deslizamiento montado sobre el rotor.

Con un método de construcción de devanado estacionario CA (campo giratorio), el estator es el devanado CA y el rotor es el devanado CC. El CC está conectado al devanado por medio del anillo de deslizamiento montado sobre el rotor. Este método de construcción normalmente se utiliza dado que permite una gran corriente de salida vía conexión directa a los devanados removiendo por lo tanto la limitación asociada al uso de anillos de deslizamiento para transportar la corriente de salida.

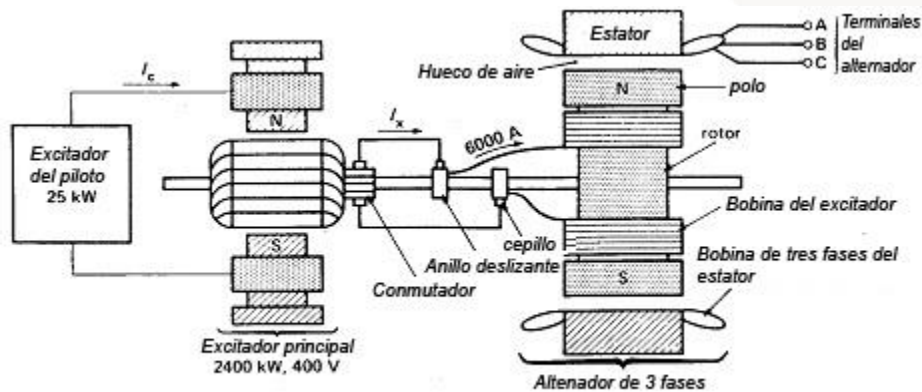


Figura 93

Otras razones para adoptar este tipo de construcción son: -

- (a) Un armado de campo CC giratorio que requiere una entrada de energía eléctrica relativamente pequeña se puede hacer más fuerte que una armadura giratoria con una gran salida de energía eléctrica.
- (b) La armadura estacionaria se puede diseñar para suministrar un amplio espacio para el aislamiento del devanado y los conductores al buscar se pueden aislar por medio de su largo, dado que no se requiere ningún contacto giratorio o deslizante.
- (c) Sólo se requieren dos anillos de deslizamiento y la cantidad de energía eléctrica transmitida por medio de ellos al campo giratorio es sólo cerca del 2% de lo que sería transmitido por medio de los anillos de deslizamiento si se girara la armadura. Además, el voltaje entre anillos de deslizamiento para un campo giratorio entre 250 y 600 voltios, que es relativamente pequeño cuando se compara con el voltaje de armadura o de estator, de 11kV a 17kV.

Actividad N° 14

Introducción a la actividad

La siguiente actividad es parte del capítulo “Introducción a los principales equipos electromagnéticos” y trata sobre nociones básicas y principio de funcionamiento de generadores.

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades.

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	✓
Recurso audiovisual.	
Propuestas de situaciones problemáticas.	✓
Formulación de preguntas.	✓

- **Nociones básicas y principio de funcionamiento de Generadores**

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el funcionamiento de un motor eléctrico configurado como generador.

Descripción de la actividad

En esta actividad los participantes realizarán el desmontaje y montaje de un motor eléctrico, se revisará su correcto funcionamiento y el de sus componentes.

Materiales y recursos

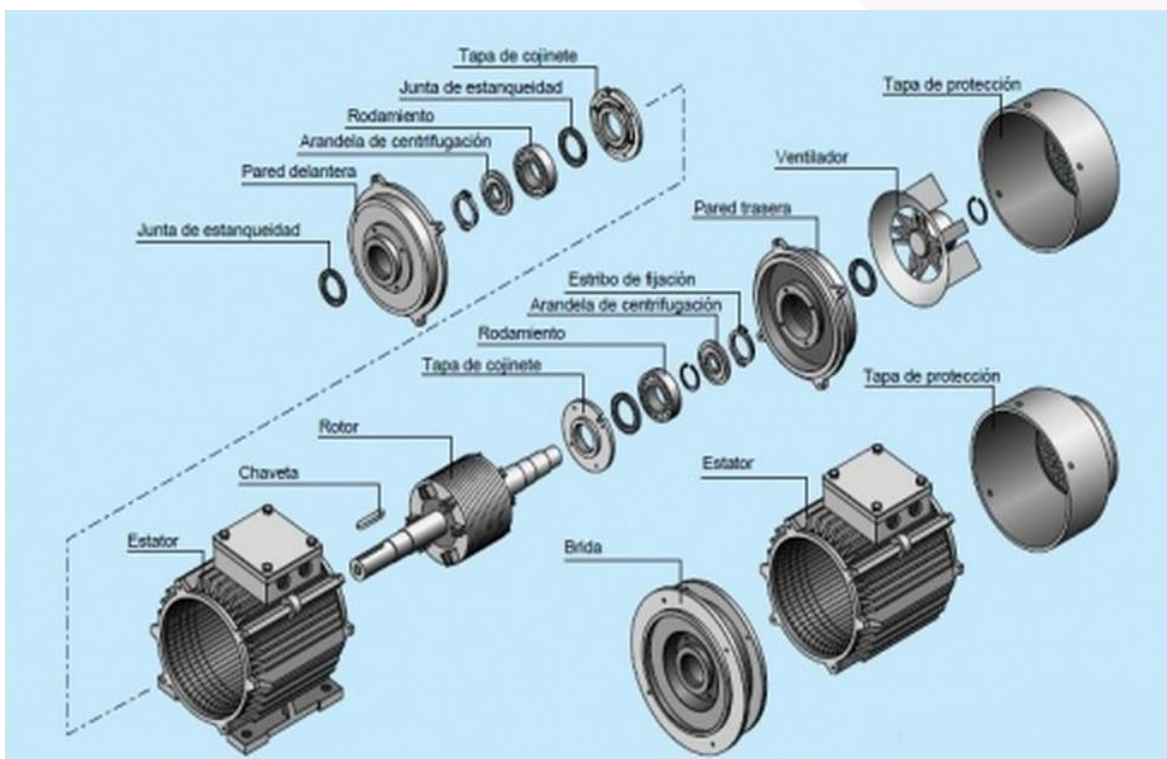
- 1 interruptor termo magnético tripolar (la capacidad de corte debe ser de acuerdo al motor a utilizar).
- Juego de destornilladores.

- Alicates.
- Juego de llaves de punta y corona.
- Macetas de goma
- Extractor de rodamientos.
- Pie de metro.
- 1 trozo de bronce y/o madera.
- Solventes para limpiar.
- Brochas pequeñas.
- Huaípe o paños.
- Grasa o aceite si corresponde para lubricar.
- Multitéster.
- Amperímetro de tenazas.
- Fuente de alimentación trifásica.
- 1 motor trifásico o monofásico.
- Set de cables de conexión.

Desarrollo

El instructor indicará que los participantes en esta actividad desarmarán un motor eléctrico y deberán confeccionar una ficha de mantenimiento, comprobando el estado de los bobinados, realizando mediciones de resistencia para determinar la aislación de los bobinados. Deberán comprobar el estado de los rodamientos y de todos los componentes mecánicos del motor eléctrico.

Para realizar la actividad descrita se sugiere que el instructor primeramente haga un breve repaso de los contenidos y pida a los participantes que reconozcan las partes de un motor eléctrico de inducción tipo jaula ardilla, para esto se podrá basar en la siguiente imagen:



El instructor formará grupos de acuerdo a la disponibilidad de materiales y leerá junto a ellos las instrucciones de la guía **Mantenimiento de motores**. Podrá sacar fotocopias de esta guía y entregarlas a los grupos.

El instructor deberá destacar que el mantenimiento de un motor se basa en el orden y en marcar prolijamente cada elemento para volver armarlo y lograr que este funcione sin problemas.

Cada grupo deberá solicitar los materiales necesarios y luego de recibirlos deberán realizar reconocimiento visual.

A continuación los participantes deberán desarrollar la **guía de trabajo**, una vez terminado la actividad los participante presentarán su trabajo al instructor para la verificación de su correcto funcionamiento.

Al finalizar la actividad el instructor debe solicitar a los grupos que ordenen y limpien su lugar de trabajo la entrega ordenada de los materiales.

Para cerrar la actividad el instructor podrá entregar una retroalimentación y los participantes podrán realizar comentarios de la actividad realizada.

Guía de trabajo

Instrucciones para el participante:

Es importante determinar qué tipo de motor se ocupará. Para esto se debe revisar la placa de características y realizar pruebas de funcionamiento, conectando previamente a la red de alimentación. Después de tomar los datos de funcionamiento y registrarlos, se procederá al despiece y a una revisión de cada componente.

También se deben tomar las precauciones y medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes. Para ello se deberá usar los elementos de seguridad pertinentes.

Deberá solicitar los materiales que usará.

Conecte el motor a la fuente de energía correspondiente y proceda a revisar el funcionamiento. Para ello debes medir con los instrumentos de medida los diferentes parámetros eléctricos y de R.P.M.

Revise el motor y fíjese si presenta alga anomalía (ruidos, roces, etc.).

Luego registre los parámetros involucrados y compárelos con la placa de características.

Desconecte el motor de la fuente y los cables de la placa de conexión.

Comience a marcar las tapas con un plumón, indicando con un punto la tapa y un punto la carcasa; el lado contrario será marcado con dos puntos la tapa del ventilador y dos puntos la tapa del motor.

Proceda a sacar los pernos de sujeción. Utilice la herramienta adecuada. Para esto utilice un pie de metro y tome la medida para elegir la correcta.

Para retirar las tapas utilice macetas de goma para golpearlas sin dañarlas, ejerza presión o realice palancas utilizando metales blandos (bronce en lo posible o madera). Con esto evitará dañar los componentes del motor. También es conveniente utilizar extractor de rodamientos para realizar esta operación.

Lleve un orden en el desarrollo.

Con el motor totalmente desarmado realice una inspección visual de cada componente y registre cualquier detalle o anomalía presentada.

Revise los rodamientos y tome nota de su número. Retire los rodamientos con el extractor correspondiente y observa sus detalles. Cuando corresponda lubríquelos.

Revise los bobinados y realice la medición de aislación, esto se hace con un megóhmetro. Tome los datos y regístrelos.

Posteriormente realice una limpieza general con un solvente que no dañe el esmalte de las bobinas, esto se realizará de acuerdo a lo que se disponga.

Proceda ahora al armado del motor, una vez armado el motor, procede a realizar el apriete de cada perno. Recuerde que se debe realizar en forma cruzada y evitando que las tapas queden torcidas en esta maniobra.

Realice nuevamente el conexionado a la fuente de alimentación. Proceda a las pruebas de funcionamiento y compara las mediciones realizadas anteriormente.

Finalizada la experiencia, cada grupo desconecta y desmonta su motor.

Deje limpio y ordenado tu puesto de trabajo y entregue los materiales, componentes y tu informe del taller.

Cierre

Los motores trifásicos se usan para accionar máquinas-herramientas, bombas, elevadores, ventiladores, sopladores y muchas otras máquinas. Básicamente están contruidos de tres partes esenciales: Estator, rotor y tapas. El estator consiste de un marco o carcasa y un núcleo laminado de acero al silicio, así como un devanado formado por bobinas individuales colocadas en sus ranuras. Básicamente son de dos tipos:

- De jaula de ardilla.
- De rotor devanado.

El de jaula de ardilla es el más usado y recibe este nombre debido a que parece una jaula de ardilla de aluminio fundido. Ambos tipos de rotores contienen un núcleo laminado en contacto sobre el eje. El motor tiene tapas en ambos lados, sobre las cuales se encuentran montados los rodamientos sobre los que rueda el rotor. Estas tapas se fijan a la carcasa en ambos extremos por medio de tornillos de sujeción. Los rodamientos o chumaceras pueden ser de rodillos o de deslizamiento.



Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

