



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ARAGÓN**

Implementación del Módulo Didáctico de Protecciones para Motores de Inducción

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Electrico-Electronica

P R E S E N T A

Ammizadall Antonio Muñoz Hernández

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. Rodrigo Ocón Valdez

Nezahualcóyotl, Edo. De México, 11 de Septiembre del 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis. "Implementación del Módulo Didáctico de Protecciones para Motores de Inducción"

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	maquinaselecgrupo4.blogspot.com Internet	132 palabras — 1%
2	www.coursehero.com Internet	115 palabras — < 1%
3	docplayer.es Internet	105 palabras — < 1%
4	polaridad.es Internet	58 palabras — < 1%
5	tesis.ipn.mx Internet	47 palabras — < 1%
6	industriasgsl.com Internet	44 palabras — < 1%
7	www.gob.mx Internet	31 palabras — < 1%
8	bibdigital.epn.edu.ec Internet	25 palabras — < 1%
9	iee.azc.uam.mx Internet	22 palabras — < 1%

Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. ANTECEDENTES.....	5
III. OBJETIVO GENERAL.....	6
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
V. CONTENIDO DEL REPORTE.....	8
CAPÍTULO I. PRINCIPIOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN	10
1.1 INTRODUCCIÓN.....	10
1.2. CONSTRUCCIÓN BÁSICA.....	11
1.3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE SUS PARTES.....	13
1.3.1. Elementos internos.	13
1.3.2. Elementos externos.....	15
1.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	17
1.5. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	18
1.6. CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR.....	20
1.6.1. Circuito equivalente del rotor.	21
1.6.2. Circuito equivalente final.	23
1.7. CLASIFICACIÓN Y TIPOS.....	24
1.7.1. Clasificación.....	24
1.7.2. Tipos.	29
1.8. CORRIENTE DE ARRANQUE DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.	29
1.8.1. Arranque directo.....	30
1.8.2. Arranques con tensión reducida.....	30
1.8.3. Arranque por inducción de resistencias en serie con el rotor.	31
1.9 PROTECCIONES ELÉCTRICAS.....	31
1.9.1. Tipos de fallos en el motor de inducción.....	32
1.9.2. Tipos de fallos en el motor de inducción.....	33
CAPÍTULO II. PROTECCIONES DE MOTORES	35
2.1. INTRODUCCIÓN.....	35
2.2. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE.	36
2.2.1 Dispositivos básicos de protección.	37

2.2.2. Fusible.....	38
2.2.3. Relevadores de sobrecorriente.	40
2.2.4. Interruptor magnético.....	43
2.2.5. Relés térmicos de biláminas.....	46
2.2.6. Guardamotor magnético.	48
2.3. PROTECCIÓN DE SOBRETENSIÓN.....	51
2.3.1. Dispositivos básicos de protección.	52
2.4. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.....	54
2.4.1. Tipos de coordinación.....	56
2.4.2. Selección para los dispositivos de protección.	57
2.4.3. Estudio de coordinación de protecciones.....	58
2.5. NORMATIVA NACIONAL NOM-001-SEDE-2012 SOBRE PROTECCIONES DE MOTORES.....	60
2.5.1. Protección contra sobrecarga.	61
2.5.2. Selección del dispositivo de protección contra sobrecarga.....	63
2.5.3. Protección térmica.....	65
2.5.4. Protección del alimentador de motores contra cortocircuito y fallas a tierra.	67
CAPÍTULO III. PROTECCIÓN CON RELEVADORES DIGITALES.....	69
3.1. INTRODUCCIÓN.....	69
3.2. COMPOSICIÓN DE LOS RELEVADORES DIGITALES	70
3.3. ANALISIS DE DATOS Y OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN MEDIANTE RELEVADORES DIGITALES.	72
3.4. CONFIGURACIÓN Y PERSONALIZACIÓN DE RELEVADORES DIGITALES.....	73
CAPÍTULO IV. PRÁCTICAS DE APLICACIÓN CON EL MÓDULO DE LABORATORIO	76
4.1. INTRODUCCIÓN.....	76
4.2 PRÁCTICA 1. MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	77
4.2.1. OBJETIVO.....	77
4.2.2 MATERIAL.....	77
4.2.3. DESARROLLO.....	78
4.3 PRÁCTICA 2. PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE.....	86
4.3.1. OBJETIVO.....	86
4.3.2 MATERIAL.....	87
4.3.3 DESARROLLO.	87

4.4 PRÁCTICA 3. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA.....	91
4.4.1 OBJETIVO.....	91
4.4.2 MATERIAL.....	92
4.4.3. DESARROLLO.	92
4.5 PRÁCTICA 4. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE Y SOBRETENSIÓN.....	99
4.5.1 OBJETIVO.....	99
4.5.2 MATERIAL.....	99
4.5.3 DESARROLLO.	100
VI. CONCLUSIONES.....	108
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	108

I. INTRODUCCIÓN

La protección de motores de inducción es un pilar fundamental en el campo de la ingeniería eléctrica, ya que garantiza el funcionamiento seguro y eficiente de estos dispositivos omnipresentes en diversas aplicaciones industriales y comerciales. Este trabajo de tesis explora los diferentes aspectos relacionados con la protección de motores de inducción, centrándose en la detección y prevención de condiciones anormales de funcionamiento que puedan amenazar su integridad y rendimiento.

A lo largo de este trabajo se analizan las diferentes técnicas y dispositivos utilizados para la protección de motores de inducción, desde relés de sobrecarga hasta sistemas avanzados de monitorización. Además, se destaca la importancia de la investigación y el desarrollo en la mejora continua de los sistemas de protección de motores de inducción y se discuten los retos y oportunidades a los que se enfrentan los ingenieros de este campo en un entorno tecnológico en constante evolución.

En resumen, este trabajo de tesis pretende ofrecer una visión general de la protección de motores de inducción, desde sus fundamentos teóricos hasta su aplicación práctica en la industria. Se espera que este estudio contribuya al avance y desarrollo de sistemas de protección más eficientes y fiables en el futuro.

II. ANTECEDENTES

Los motores de inducción son un tipo de motor eléctrico que se utiliza ampliamente en una variedad de aplicaciones industriales y domésticas. Desde su invención en 1885 por el ingeniero eléctrico estadounidense Nikola Tesla, los motores de inducción han sido objeto de una constante mejora y desarrollo. Una de las principales preocupaciones en el uso de motores de inducción es protegerlos de daños y fallos. Esto se debe a que los motores de inducción son

componentes críticos en muchas instalaciones y su fallo puede tener consecuencias graves, como paralizar la producción o causar daños a la propiedad. Para proteger los motores de inducción, se han desarrollado una serie de medidas y dispositivos de protección. Algunos ejemplos incluyen:

Dispositivos de protección térmica: Estos dispositivos protegen al motor de sobrecalentamiento, que puede ser causado por una carga excesiva o por un fallo en el sistema de refrigeración.

Dispositivos de protección contra sobrecorriente: Estos dispositivos protegen al motor de corrientes excesivas, que pueden ser causadas por cortocircuitos o fallos en el sistema eléctrico.

Dispositivos de protección contra sobretensión: Estos dispositivos protegen al motor de sobretensiones, que pueden ser causadas por fallos en el sistema eléctrico o por el impacto de rayos.

Dispositivos de protección contra subvoltaje: Estos dispositivos protegen al motor de sobrevoltajes, que pueden ser causados por fallos en el suministro de energía o por el uso excesivo de los motores.

En resumen, la protección de los motores de inducción es importante para garantizar su buen funcionamiento y prolongar su vida útil. Esto se puede lograr a través del uso de dispositivos de protección y mantenimiento adecuado.

III. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general es brindar un trabajo actualizado sobre la protección de motores de inducción tanto teórico como práctico con prácticas de laboratorio que se presentan a lo largo de este documento, esto conlleva a que se garantice el correcto funcionamiento del motor y prolongar su vida útil. Para lograr esto, se utilizan diversos tipos de protección, como la protección contra sobrecorriente, la protección contra sobrevoltaje y la protección contra sobrecalentamiento. Estas protecciones ayudan a prevenir daños al motor causados por

condiciones anormales, como una corriente excesiva, un voltaje elevado, una temperatura excesiva o a un bajo voltaje. Además, también pueden ayudar a minimizar el tiempo de inactividad del motor en caso de fallo, lo que puede tener un impacto significativo en la eficiencia y productividad de un sistema.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el ámbito de la protección para motores de inducción, es crucial garantizar una protección adecuada sin comprometer el rendimiento del motor ni sobrecargar el circuito de protección. Una protección insuficiente puede ocasionar daños al motor debido a sobretensiones o corrientes de falla, mientras que una protección excesiva puede dificultar su arranque y funcionamiento normal.

Para abordar eficazmente este desafío, es necesario comenzar por describir detalladamente el motor de inducción en cuestión, incluyendo su tamaño, potencia y voltaje, así como su aplicación específica. Además, es fundamental identificar el tipo de protección actualmente implementado y cualquier problema o fallo observado en su funcionamiento.

Asimismo, es crucial definir los requisitos de protección deseados, tales como tiempos de disparo y valores de corriente de falla tolerables. Esta información proporcionará la base para plantear un problema específico y buscar una solución adecuada para proteger de manera óptima el motor de inducción.

Además, dentro del contexto de la formación académica en ingeniería eléctrica y electrónica, se propone una formación práctica exclusiva para los estudiantes, permitiéndoles interactuar físicamente con los motores eléctricos y adquirir una formación técnica integral sobre las variables de funcionamiento, arranque, control y protección.

V. CONTENIDO DEL REPORTE

En este trabajo tiene como finalidad poder brindar la información necesaria para poder tener un buen sistema de protección sobre las fallas más comunes, explicar el funcionamiento de cada elemento de protección e incluir nuevos métodos de protección más automáticos, de los cuales se dividen en cada tema, presentará una descripción sobre lo más relevante de cada tema que se tratará a lo largo de este documento.

Capítulo 1: Definiremos al motor de inducción como un tipo de motor eléctrico que utiliza el fenómeno de la inducción electromagnética para producir movimiento. Se describe la construcción básica que, de manera general se incluyen tres partes fundamentales que es el estator, rotor y carcasa. Se explica el principio de funcionamiento y de operación concluyendo que el motor funciona mediante el fenómeno de la inductancia, el cual produce un campo magnético que interactúa con el campo magnético del estator.

Se hace mención sobre la clasificación y tipos de un motor de inducción, así como la definición de la corriente de arranque de la cual suele ser mucho mayor que la corriente normal de funcionamiento del motor, ya que se necesita una mayor cantidad de energía para poner el motor en movimiento. Como tema final se da pauta a la introducción de los dispositivos de protección que se utilizan para proteger al motor de diferentes anomalías que se presentan en el sistema eléctrico y que son esenciales para la seguridad y el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

Capítulo 2: Se hace énfasis en los dispositivos de protección de los cuáles nos ayudará a prevenir fallas como sobrecorriente y sobrevoltaje; se describirán los elementos de protección básicos para cada anomalía como son fusibles, disyuntores, interruptores termomagnéticos, relés entre otros dispositivos que se mencionan a lo largo de este capítulo. Todos los elementos antes nombrados son puntos importantes para la coordinación de protecciones que se manejan como

uno de los puntos más importantes, para que los elementos de protección puedan trabajar de manera adecuada y asegurar una protección eficaz cuando se presente una falla.

Se presenta también en este apartado, la norma oficial mexicana NOM-SEDE-2012 y se detallan puntos importantes tanto para la protección del motor cómo los elementos que se deben considerar ante ciertas fallas que se presentan, esto con el único objetivo de que cualquier conexión que se realice deberá estar en los lineamientos de la norma antes mencionado.

Capítulo 3: Se describe a los relevadores digitales como una de las protecciones que ayudan a garantizar que el motor de inducción funcione de manera segura y eficiente, protegiéndolo de daños que puedan afectar al motor a largo plazo, a lo largo de este capítulo se describe sus componentes que lo integran y como es importante para una coordinación de protección digital. Se menciona también sobre las fallas que puede proteger y datos técnicos del relevador digital.

Capítulo 4: En esta sección se presenta una iniciativa para el avance del laboratorio de máquinas eléctricas dentro del programa de ingeniería eléctrica de la FES Aragón. La fundamentación de este trabajo se basa en normativas relevantes y en la revisión de la literatura especializada sobre motores de inducción.

La propuesta del proyecto de prácticas consiste en la adquisición de un módulo didáctico diseñado específicamente para la protección de motores de inducción. Este módulo permitirá realizar un análisis exhaustivo de las diferentes técnicas de protección aplicables a estos motores, brindando a los estudiantes una comprensión práctica y profunda de este aspecto esencial en el campo de la ingeniería eléctrica.

CAPÍTULO I. PRINCIPIOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN.

Los motores de inducción son uno de los tipos más comunes de motores eléctricos utilizados en una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas. Estos motores funcionan mediante el principio de la inducción electromagnética, en el cual un campo magnético rotativo en el estator induce corriente en el rotor, generando un torque en el mismo. Un motor de inducción consta de dos partes principales: el estator y el rotor. El estator es la parte fija del motor y conviene los devanados de la bobina de alimentación. El rotor es la parte que gira y puede ser de dos tipos: un rotor de jaula de ardilla o un rotor devanado. El rotor de jaula de ardilla es un rotor con varillas de cobre o aluminio soldadas en forma de jaula, mientras que el rotor devanado es un rotor con devanados de cobre que se conectan a una fuente de corriente externa.

El funcionamiento básico de un motor de inducción se basa en la creación de un campo magnético rotativo en el estator mediante la aplicación de una corriente alterna a los devanados del estator. Este campo magnético rotativo induce corriente en el rotor, generando un torque en el mismo y haciendo que el rotor gire. La velocidad de rotación del rotor está relacionada con la frecuencia de la corriente alterna aplicada al estator. Los motores de inducción son muy fiables y eficientes, ya que no tienen contactos mecánicos en el rotor y su construcción es sencilla y fácil de mantener; las principales ventajas de un motor de inducción son:

- Los tipos trifásicos suelen ser de tamaños pequeños.
- Los tipos de jaula de ardilla son de bajo costo.
- Su funcionamiento se mantiene activo en cualquier condición ambiental.

- Son máquinas con una calidad en carga que oscila entre el 85 y el 97% respectivamente

Sin embargo, el motor de inducción también tiene algunas desventajas, las cuáles son:

- No se cambia la velocidad tan fácilmente.
- Requiere una corriente grande de arranque.
- Posee bajo factor de potencia.
- Necesita alimentación trifásica o mecanismo de arranque para operarse con una sola fase.

Además, estos motores son adecuados para una amplia gama de aplicaciones, desde ventiladores y bombas hasta compresores y sistemas de transmisión. Sin embargo, los motores de inducción tienen un par inicial limitado y requieren un sistema de arranque para ponerlos en marcha.

Existen varios tipos de motores de inducción, cada uno con características y aplicaciones específicas. Los motores de inducción monofásicos son ideales para aplicaciones de baja potencia, mientras que los motores de inducción trifásicos se utilizan en aplicaciones de potencia media y alta. Los motores de inducción de rotor devanado son adecuados para aplicaciones de velocidad variable, mientras que los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla son ideales para aplicaciones de velocidad fija.

1.2. CONSTRUCCIÓN BÁSICA.

Los motores de inducción son dispositivos electromecánicos fundamentales en numerosas aplicaciones industriales y comerciales debido a su simplicidad constructiva y su

eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. La construcción básica de un motor de inducción se compone de tres elementos principales: el estator, el rotor y la carcasa.

1. **El Estator:** El estator es la parte estacionaria del motor de inducción y consiste en un conjunto de bobinas enrolladas alrededor de un núcleo de hierro laminado. Estas bobinas están conectadas a una fuente de alimentación trifásica y generan un campo magnético giratorio cuando se energizan. Este campo magnético giratorio es esencial para inducir corrientes en el rotor y generar el movimiento del motor.

Figura 1.

Estator de un motor de inducción.

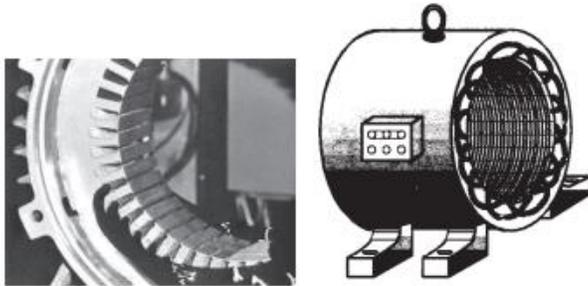


Imagen obtenida de Wildi, T. (2007). Máquinas eléctricas y sistemas de potencia.

2. **El Rotor:** El rotor es la parte móvil del motor de inducción y puede tener diferentes configuraciones, como rotor de jaula de ardilla o rotor devanado. En el caso del rotor de jaula de ardilla (Figura 2), está formado por barras conductoras cortocircuitadas en ambos extremos por anillos conductores. Cuando el campo magnético giratorio del estator interactúa con el rotor, induce corrientes en las barras conductoras, generando así un par de torsión que impulsa el movimiento del rotor.

Figura 2.

Rotor jaula de ardilla.

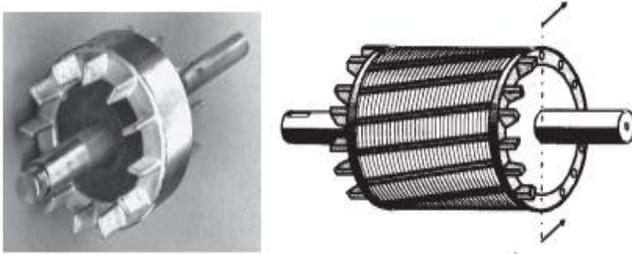


Imagen obtenida de Hiziroglu, H. R. (2003). Máquinas eléctricas y transformadores. Oxford University.

3. La Carcasa: La carcasa del motor de inducción proporciona protección mecánica y soporte estructural para los componentes internos del motor. Por lo general, está fabricada con materiales robustos como hierro fundido o aluminio y está diseñada para resistir las fuerzas y vibraciones generadas durante el funcionamiento del motor.

Estos elementos básicos constituyen la estructura fundamental de un motor de inducción y son la base para su funcionamiento eficiente y confiable en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales. .

1.3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE SUS PARTES.

Un motor de inducción es un tipo de motor eléctrico que utiliza la inducción electromagnética para generar movimiento. Está compuesto por varias partes, incluyendo el estator, rotor, cojinetes de soporte, ventiladores y conmutadores. La construcción en forma general se divide en dos grupos, los elementos externos e internos.

1.3.1. Elementos internos.

Un motor de inducción tiene varios componentes internos, algunos de los cuales incluyen:

1. Devanado del estator: Como se vio en el apartado anterior, el estator es la parte estacionaria del motor y contiene los devanados de los bobinados de la corriente alterna.

2. Devanado del rotor: El rotor es la parte giratoria del motor y contiene los bobinados del rotor, que están conectados a los imanes permanentes.

Imanes permanentes: Es un componentes esencial para el funcionamiento del motor; estos imanes se encuentran en el rotor del motor y crean un campo magnético que interactúa con el campo eléctrico del estator para generar la rotación del rotor. Existen diferentes tipos de imanes permanentes utilizados en motor de inducción, como los imanes de neodimio, los imanes de ferrita y los imanes de alnico. Los imanes de neodimio son los más comunes debido a su alta relación de energía y su bajo costo.

Los imanes de alnico son más resistentes a la alta temperatura, pero son más costosos y menos comunes. Los imanes permanentes también pueden ser de tipo anillos o tipo segmentos, estos anillos son más fáciles de fabricar y tienen un menor costo, pero sufren de un mayor desgaste. Los segmentos son más resistentes al desgaste, pero son más costosos y difíciles de fabricar.

3. Colector de escobillas: Es un componente que se encuentra en el rotor y está conectado a los terminales del rotor. Su función es la de proporcionar una conexión eléctrica entre el rotor y el circuito exterior del motor. El colector de escobillas generalmente está hecho de un material conductor, como el cobre o el aluminio. Puede tener la forma de un anillo o de varios segmentos, y se encuentra en contacto con las escobillas, que son también componentes conductores.

Las escobillas se deslizan sobre el colector de escobillas mientras el rotor gira, proporcionando una conexión continua entre el rotor y el circuito exterior. Esta conexión permite que la corriente eléctrica fluya a través del rotor, lo que es necesario para el funcionamiento del motor. Es importante mencionar que el colector de escobillas y las escobillas deben ser

mantenidos en buen estado para garantizar un buen funcionamiento del motor, ya que el desgaste de las escobillas o el colector pueden causar fallos en el motor.

4. Escobillas: Las escobillas son los componentes que están en contacto con el colector y conectan el rotor al circuito exterior.

5. Cojinetes: Los cojinetes de un motor de inducción son componentes mecánicos que sostienen el rotor en su posición dentro del estator. Estos cojinetes deben ser resistentes al desgaste y al calor generado por la fricción, ya que el rotor gira a altas velocidades dentro del motor. También deben ser capaces de soportar cargas radiales y axiales, ya que el rotor está sujeto a esfuerzos debido a la fuerza de inercia y a la corriente que fluye a través del rotor. Los cojinetes pueden ser de rodillos cónicos, de bolas o de rodillos cilíndricos.

6. Ventilador: El ventilador se encuentra en la parte delantera del motor y ayuda a enfriarlo.

7. Capacitador: Es un componente eléctrico que se utiliza para corregir el factor de potencia en el motor. El capacitor se conecta en paralelo con el devanado del rotor y almacena energía eléctrica temporalmente para compensar la reactancia inductiva del devanado del rotor, lo que permite que el motor funcione con un factor de potencia más cercano a 1. Esto aumenta la eficiencia del motor y reduce las pérdidas de energía.

1.3.2. Elementos externos.

Los elementos externos de un motor de inducción incluyen:

1. Conector eléctrico: Es donde se conectan los cables de alimentación eléctrica al motor.
2. Protección térmica: Es un dispositivo que se utiliza para proteger el motor contra sobrecalentamiento que puede ser causado por varios factores, como una carga excesiva, una falta de ventilación, una falla mecánica o eléctrica, o una mala lubricación. La protección térmica

se activa cuando la temperatura del motor alcanza un cierto nivel preestablecido, y detiene automáticamente el motor para evitar daños graves.

Hay varios tipos de protección térmica, incluyendo termómetros bimetálicos, termistores, termopares y sensores de temperatura. Estos dispositivos pueden ser incorporados en el motor o instalados externamente. También hay dispositivos de protección térmica que se activan mediante un sistema de termistor y un sistema de relé térmico. Estos dispositivos son muy fiables y se activan automáticamente si la temperatura del motor alcanza un nivel crítico.

3. Dispositivo de arranque: Es un componente eléctrico que se utiliza para iniciar el funcionamiento del motor. Hay varios tipos de dispositivos de arranque, como los contactores o los inversores, pero todos tienen el objetivo de proporcionar una corriente adicional al motor para ayudarlo a arrancar. Estos dispositivos suelen ser controlados por un botón de arranque o un interruptor, y suelen incluir dispositivos de protección para evitar daños en el motor o en el sistema eléctrico.

4. Dispositivo de parada: Un dispositivo de parada de un motor de inducción es un componente eléctrico que se utiliza para detener el funcionamiento del motor. Puede ser un interruptor de parada, un botón de emergencia, o un sistema de control automático. El objetivo principal es asegurar que el motor se pueda detener de manera segura y rápida en caso de una emergencia o una falla en el sistema. Estos dispositivos también suelen incluir una función de verificación para asegurar que el motor se pueda detener de manera segura y rápida en caso de una emergencia o una falla en el sistema. Estos dispositivos también suelen incluir una función de verificación para asegurar que el motor se ha detenido correctamente antes de permitir que vuelva a arrancar.

5. Dispositivo de velocidad: Un dispositivo de velocidad es un componente o sistema que se utiliza para controlar la velocidad del motor. La velocidad de un motor de inducción está

directamente relacionada con la frecuencia de la corriente que se le suministra, por lo que cambiando la frecuencia de la corriente se puede controlar la velocidad del motor. Existen varios dispositivos y sistemas que se pueden utilizar para controlar la velocidad de un motor, como son el variador de velocidad, el inversor, el convertidor estático, entre otros. Estos dispositivos son capaces de variar la frecuencia de la corriente suministrada al motor para cambiar la velocidad de giro del mismo.

6. Dispositivo de protección contra sobrecarga: Es el componente que protege al motor contra cargas excesivas.

7. Indicadores: Es un sistema que se utiliza para mostrar información sobre temperatura, velocidad, corriente y estado del motor. Estos indicadores ayudan al operador o al sistema de control automático a supervisar el rendimiento y el estado del motor, lo que permite detectar problemas temprano y tomar medidas para corregirlos antes de que causen daños graves.

8. Elementos de montaje: Es el conjunto de piezas que se utilizan para montar el motor en su lugar.

1.4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento de un motor de inducción se basa en la inducción electromagnética, un fenómeno descubierto por Michael Faraday en el siglo XIX. Este principio establece que un campo magnético variable puede inducir una corriente eléctrica en un conductor cercano. En el caso de los motores de inducción, este principio se aplica para generar movimiento del rotor y, por lo tanto, la salida mecánica del motor. Cuando se aplica una corriente alterna trifásica al estator del motor de inducción, se crea un campo magnético giratorio alrededor de las bobinas del estator. Este campo magnético giratorio actúa con el rotor, de dos tipos principales: rotor de jaula de ardilla y rotor bobinado.

Figura 3.
Distribución senoidal del campo magnético rotatorio.

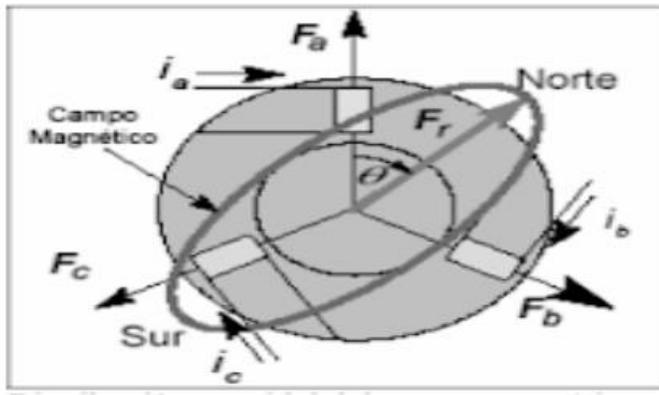


Imagen obtenida de Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y sistemas de potencia*.

En el caso del rotor de jaula de ardilla, el campo magnético giratorio induce corrientes eléctricas en las barras conductoras cortocircuitadas del rotor. Estas corrientes generan un campo magnético del estator, produciendo un par de torsión que impulsa el movimiento del rotor.

Por otro lado, en el caso del rotor bobinado, se utilizan bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro en el rotor. Las corrientes inducidas en estas bobinas generan un campo magnético del estator, lo que también produce un par de torsión que impulsa el movimiento del rotor.

1.5. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.

El principio de operación de los motores de inducción o asíncronos se basa en la inducción electromagnética y el fenómeno de la interacción entre el campo magnético del estator y el rotor. Estos motores funcionan mediante la creación de un campo magnético giratorio en el estator, que a su vez induce corrientes en el rotor, generando así un par de torsión que impulsa el movimiento del motor.

Dado el comportamiento de la corriente eléctrica y la disposición de los devanados y la disposición de los devanados en el motor, cuando la corriente fluye a través de estos devanados, se genera un campo magnético, aunque permanece constante en el tiempo, gira a una velocidad específica, creando así un campo magnético rotativo, matemáticamente se puede expresar:

$$S = \frac{120f}{P}$$

Dónde:

S= Campo magnético rotatorio

f= Frecuencia

P= Números de polos

El rotor, al girar a una velocidad distinta al campo magnético del estator, experimenta un cambio de flujo magnético que atraviesa sus bobinas, lo que induce fuerzas electromotrices (FEM) de rotación en ellas. El devanado del rotor se encuentra en cortocircuito, lo que permite que estas FEM generen corrientes, al interactuar con el campo magnético del estator, producen un par en el eje de máquina. Según la ley de Lenz, este par mecánico tiende a reducir las variaciones en el flujo magnético y se intenta que el rotor gire a la misma velocidad que el campo magnético giratorio para minimizar las variaciones de flujo en las bobinas del rotor debido al movimiento relativo entre el campo giratorio y el rotor.

Es relevante destacar que el rotor girará a una velocidad menor que la del campo giratorio, ya que, si ambas velocidades fueran iguales, no se inducirían corrientes en el rotor. Este concepto nos introduce al término conocido como deslizamiento, el cual representa la relación entre la velocidad del campo magnético giratorio y la velocidad del rotor. Por lo tanto, el deslizamiento se define como:

$$S = \frac{S - S_r}{S}$$

Dónde:

S= Es la velocidad de sincronismo medida en r.p.m

S_r = Es la velocidad de giro del rotor medida en r.p.m

Cuando se conecta la alimentación trifásica y se observa el comportamiento, se genera la siguiente gráfica.

Figura 4.

Representación gráfica del sistema de tensiones trifásico equilibrado.

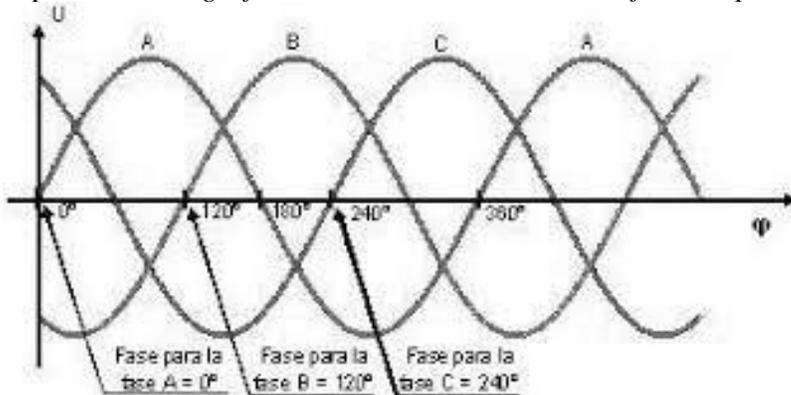


Imagen obtenida de Wildi, T. (2007). Máquinas Eléctricas y sistemas de potencia.

1.6. CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR

El circuito equivalente del motor de inducción es una representación simplificada del comportamiento eléctrico del motor en condiciones de operaciones normales. Este circuito se utiliza para modelar y analizar el rendimiento del motor en diferentes condiciones de carga y voltaje.

En el circuito equivalente del motor de inducción, se consideran tres elementos principales: La resistencia del estator (R_1), la reactancia de dispersión del estator (X_1) y la resistencia del rotor referida al estator (R_2'). Además, se incluye la reactancia de dispersión del rotor referida al estator (X_2') y la resistencia adicional del rotor (R_r) para tener en cuenta la resistencia del rotor en movimiento. E_1 indica el voltaje primario del estator acoplado al secundario E_r (es decir, el rotor) a través de un transformador ideal con una relación de vueltas a_{eff} . El voltaje E_r producido en el rotor ocasiona un flujo de corriente en el rotor R_c que es el componente de pérdidas en el núcleo y jX_m es conocido como la reactancia de magnetización. R_r y jX_r son con respecto a las impedancias del rotor, I_l representa la corriente de fase, I_m significa

corriente de magnetización, el flujo de corriente en el rotor se representa como I_r e I_2 es la intensidad rotórica.

Figura 5.

Circuito equivalente con el rotor y estator conectados por un transformador ideal de relación de vueltas a_{eff} .

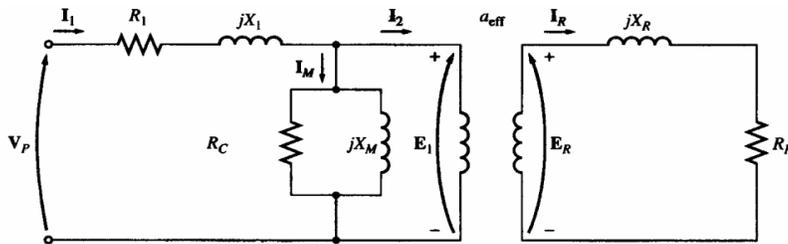


Imagen obtenida de Smolenski, I. (1984). Máquinas eléctricas.

1.6.1. Circuito equivalente del rotor.

En un motor de inducción, el devanado del estator genera un voltaje en el rotor. A medida que el deslizamiento aumenta, también lo hace la frecuencia y la magnitud del voltaje inducido en el rotor. El deslizamiento máximo se produce cuando el rotor está bloqueado, es decir, cuando $s=1$. Cuando el deslizamiento es igual a 1, la magnitud del voltaje inducido en el rotor se denomina E_{R0} . La magnitud del voltaje inducido para cualquier valor de S se representa como:

$$E_R = sE_{R0}$$

Dónde

E_{R0} = Voltaje a rotor bloqueado

s = Deslizamiento

E_R = Voltaje producido por el rotor

En el rotor se induce un voltaje, el cual presenta una resistencia y una reactancia. La resistencia del rotor permanece constante, a excepción del efecto piel, mientras que la reactancia del rotor varía en relación con el deslizamiento. Esta reactancia se determina en función de la

inductancia y la frecuencia del voltaje y la corriente del rotor. Si la inductancia del rotor es L_R , la reactancia del rotor se ve influenciada por el efecto piel.

$$X_r = \omega_r L_R = 2\pi(s f_e L_R) = s X_{R0}$$

Dónde:

X_{R0} = Es la reactancia del rotor cuando $s=1$ (bloqueado)

ω_r = Frecuencia

L_R = Inductancia

Finalmente obtenemos el circuito equivalente del rotor en la figura 9.

Figura 6.

Circuito equivalente del rotor de un motor de inducción.

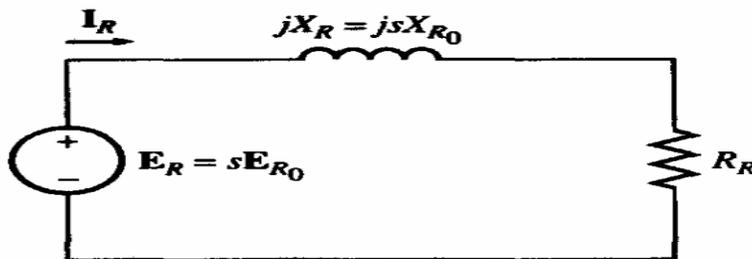


Imagen obtenida de Smolenski, I. (1984). Máquinas eléctricas.

Para poder obtener el circuito equivalente del rotor en el que el voltaje E_{R0} es necesario calcular el flujo de corriente

$$\underline{I}_R = \frac{\underline{E}_R}{R_R + jX_R} + \frac{s\underline{E}_{R0}}{R_R + jsX_{R0}} = \frac{\underline{E}_{R0}}{\frac{R_R}{s} + jX_{R0}}$$

Concluimos que:

$$\underline{I}_R = \frac{\underline{E}_{R0}}{R_R/s + jX_{R0}}$$

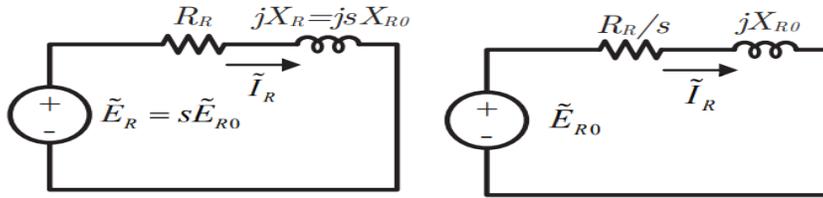
De esta última ecuación, es posible calcular la impedancia equivalente del rotor, desde el punto de vista de que se encuentra alimentada por la fuente de voltaje E_{R0}

$$Z_{Req} = \frac{R_R}{s} + jX_{R0}$$

El circuito equivalente resultante del rotor se muestra a continuación.

Figura 7.

Circuito equivalente obtenido.



(a) Sin efectos de desliza-

(b) Con efectos de desliza-

Nota: Se muestra el circuito equivalente teniendo en cuenta el efecto de deslizamiento (a) y sin el efecto (b). Imagen obtenida de López García, I. (2015). Máquinas de CD y de Inducción.

1.6.2. Circuito equivalente final.

Para desarrollar el circuito equivalente final, es fundamental, al igual que en el caso de los transformadores, expresar los parámetros de un lado determinado utilizando la relación de transformación a_{eff} . En el contexto de un motor de inducción, los primeros parámetros del circuito del rotor serán referidos al lado primario, es decir, al estator.

Figura 8.

Circuito equivalente por fase de un motor de inducción referido al estator.

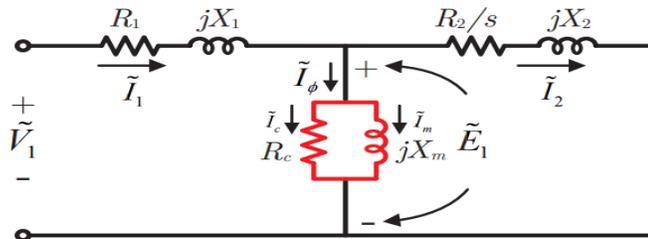


Imagen obtenida de López García, I. (2015). Máquinas de CD y de Inducción.

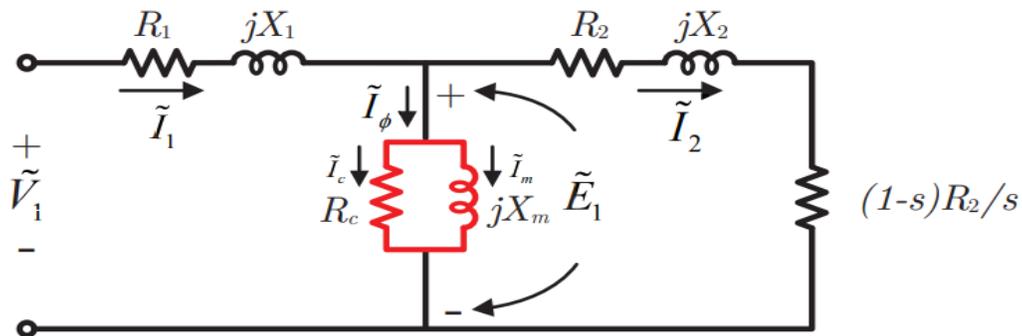
Donde:

$$R_2 = a_{eff}^2 R_R$$

$$X_2 = a_{eff}^2 X_{R0}$$

La resistencia $\frac{R_2}{s}$ puede ser descompuesta en dos partes. Por un lado, está la resistencia real del rotor, R_2 . Por otro lado, está la resistencia adicional, que se calcula como $(1-s)\frac{R_2}{s}$. Esta resistencia adicional es conocida como resistencia dinámica o resistencia de carga. La resistencia de carga varía en función de la velocidad del motor y representa la carga sobre el motor, ya que la potencia generada por éste es proporcional a dicha resistencia. A continuación se presenta el circuito equivalente exacto por fase de un motor de inducción que incluye la resistencia dinámica.

Figura 9.
Circuito equivalente exacto por fase de un motor.



Nota: El circuito equivalente está referido al estator. Imagen obtenida de López García, I. (2015). Máquinas de CD y de Inducción.

1.7. CLASIFICACIÓN Y TIPOS.

1.7.1. Clasificación.

Existen varias formas de clasificar un motor de inducción, algunas de las más comunes son:

1. Por su uso:

Motores industriales: Son utilizados en procesos industriales y pueden manejar cargas de alta intensidad.

Motores de uso doméstico: Son utilizados en aparatos eléctricos cotidianos como lavadoras, secadoras, licuadoras, etc.

2. Por su tamaño:

Motores pequeños: Tienen un tamaño reducido y son utilizados en aparatos de menor tamaño.

Motores grandes: Son utilizados en procesos industriales y pueden tener potencias de hasta varios cientos de caballos de fuerza.

3. Por su tipo de corriente:

Motores trifásicos: Utilizan tres fases de corriente para funcionar.

Motores monofásicos: Utilizan una sola fase de corriente para funcionar.

4. Por su diseño:

Motores de jaula de ardilla: Utilizan un rotor en forma de jaula de ardilla que se mueve dentro del estator.

Motores de rotor devanado: Utilizan un rotor con una serie de devanados que se mueve dentro del estator.

5. Por su forma de arranque:

Motores de arranque directo: Arrancan directamente sin necesidad de un dispositivo externo.

Motores con arranque suave: Utilizan un dispositivo externo para controlar el arranque del motor y evitar sobretensiones.

6. Por su Construcción Mecánica:

Es la parte que protege y cubre al estator y al rotor.

- Abiertos a prueba de goteo
- A prueba de intemperie Tipo I

- A prueba de intemperie Tipo II
- Totalmente cerrados sin ventilación
- Totalmente cerrados con ventilación exterior
- Con intercambiador de calor aire-aire
- Con intercambiador de calor agua-aire
- Con ventilación forzada

7. Por Su Rango De Tensión:

- 220/440 V
- 220 o 440 V
- 2300 V
- 4160 V
- 6600 V
- 132000 V
- 23000 V

8. Por Su Clase De Aislamiento.

Clase Y: Se compone de algodón, seda, papel y materiales orgánicos similares que pueden trabajar a una temperatura de 90° C.

Clase A: Se compone de algodón, seda, papel con impregnación o sumergidos en un líquido dieléctrico como el barniz o esmalte y pueden trabajar a una temperatura de 105° C.

Clase B: Compuestos por materiales como la mica, fibra de vidrio o amianto formado cuerpos con un cemento orgánico. Su temperatura de operación es de 130°C.

Clase F: Los aislamientos de esta clase constan de materiales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etcétera, con sustancias adherentes adecuadas y la temperatura de operación es de 155°C.

Clase H

Clase C

9. Según las características del tisular, intensidad y velocidad (diseño eléctrico): La Asociación Nacional de Fabricantes de Power (NEMA) y el Comité Internacional de Electrónica (IEC) desarrollaron un sistema de identificación mediante el uso de cartas para motores comerciales, de acuerdo con las curvas típicas de pares para cada proyecto como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10.

Curvas características típicas para diferentes diseños de motores.

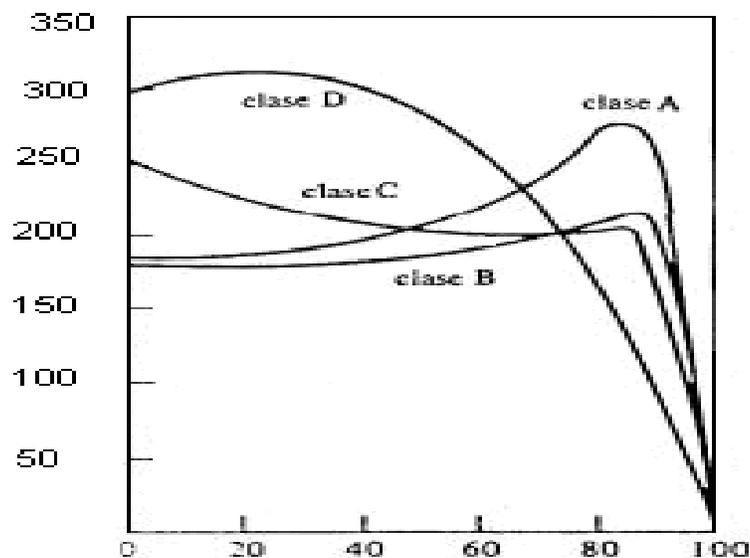


Imagen obtenida de Smolenski, I. (1984). Máquinas eléctricas.

Diseño A: Está diseñado con un par de arranque normal alrededor de un 150% del régimen, con una corriente de arranque que va de 5 a 7 veces la nominal. Las aplicaciones típicas

incluyen bombas centrífugas, ventiladores, grupos electrógenos y equipos que requieren un par de arranque bajo.

Diseño B: Este diseño es muy similar al anterior solo que tiene una menor corriente de arranque (4 a 5 veces la nominal). Sus aplicaciones son múltiples; se emplean para mover cargas que relativamente no requieren un alto par de arranque y no tiene frecuentes paros (bombas centrífugas y máquinas de herramienta general).

Diseño C: La particularidad de este diseño es que tiene relativamente un alto par de arranque (250% del régimen) y baja corriente de arranque que va de 4 a 5 veces la corriente nominal. Entre sus aplicaciones más comunes se tienen: compresores, bombas de émbolo, transportadores de banda y toda clase de cargas de naturaleza estática y con requerimiento de alto par de arranque.

Diseño D: Este diseño desarrolla elevados pares de arranque hasta 300% del nominal, pero con rendimientos bajos. La corriente de arranque es moderada y el deslizamiento es muy grande (entre el 15 y 25%). Se emplea para impulsar grúas, montacargas y en general, en aplicaciones que requieren alto par de arranque.

Diseño E: En este motor el par de arranque es de 130% del nominal, la corriente de arranque es de 2 a 4 veces de la nominal; y el deslizamiento es de 2% por lo cual es bajo. Se utiliza donde se requiere bajo par de arranque y las condiciones de marcha son estables, tal como en el caso de ventiladores y compresores que arrancan en vacío.

Diseño F: Este diseño es muy similar al anterior, solo que tiene la particularidad de requerir menos corriente de arranque y presenta un deslizamiento mayor.

1.7.2. Tipos.

Motor de inducción monofásico: Este tipo de motor utiliza un solo devanado en el estator y un devanado en el rotor. Es utilizado principalmente en aplicaciones de baja potencia, como en ventiladores, bombas y herramientas eléctricas.

Motor de inducción trifásico: Este motor utiliza tres devanados en el estator y un devanado en el rotor. Es utilizado principalmente en aplicaciones de mediana a alta potencia, como en sistemas de bombas, compresores y maquinaria industrial.

Motor de inducción de rotor bobinado: Este motor tiene un devanado en el estator y un devanado en el rotor que está bobinado con conductores. Se utiliza principalmente en aplicaciones de alta velocidad y alta potencia, como en motores de aviación y vehículos eléctricos.

Motor de inducción de rotor de jaula de ardilla: Este motor tiene un devanado en el estator y un rotor que consta de barras de cobre o aluminio que están colocadas en una jaula de ardilla. Es utilizado principalmente en aplicaciones de alta potencia y alta velocidad, como en turbinas eólicas y motores de vehículos eléctricos.

Motor de inducción de anillos de hierro: Este motor tiene un devanado en el estator y un rotor que consta de anillos de hierro sólido. Es utilizado principalmente en aplicaciones de alta potencia y alta velocidad, como en sistemas de generación de energía y maquinaria industrial.

1.8. CORRIENTE DE ARRANQUE DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

La corriente de arranque es un aspecto crucial en el funcionamiento de los motores eléctricos. Se refiere a la corriente eléctrica que fluye a través del motor al iniciarse su operación. Esta corriente inicial puede ser significativamente mayor que la corriente nominal del motor y puede provocar sobrecargas en el sistema eléctrico. Para mitigar este efecto, se utilizan dispositivos de arranque como arrancadores suaves o variadores de frecuencia, que controlan

gradualmente la velocidad y la corriente durante el arranque del motor. Además, es importante considerar el diseño del motor y sus características de arranque al seleccionar el sistema de arranque más adecuado para una aplicación específica. La comprensión de la corriente de arranque es fundamental para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los motores eléctricos en diversas aplicaciones industriales y comerciales.

1.8.1. Arranque directo.

El arranque directo es un método comúnmente utilizado para poner en marcha motores eléctricos de baja potencia. Consiste en aplicar la tensión nominal directamente al motor, lo que permite que éste alcance su velocidad nominal de manera rápida y sencilla. Sin embargo, este método puede generar una corriente de arranque elevada, lo que puede causar sobrecargas en el sistema eléctrico y afectar la vida útil del motor. Para mitigar este problema, se pueden utilizar dispositivos de protección como disyuntores magnéticos o fusibles, que desconectan el motor en caso de sobrecarga. Además, en aplicaciones donde se requiere un control más preciso de la velocidad y la corriente durante el arranque, se pueden emplear otros métodos de arranque como los arrancadores suaves o los variadores de frecuencia. Es importante seleccionar el método de arranque más adecuado según las necesidades específicas de la aplicación y considerar tanto la eficiencia energética como la seguridad del sistema eléctrico.

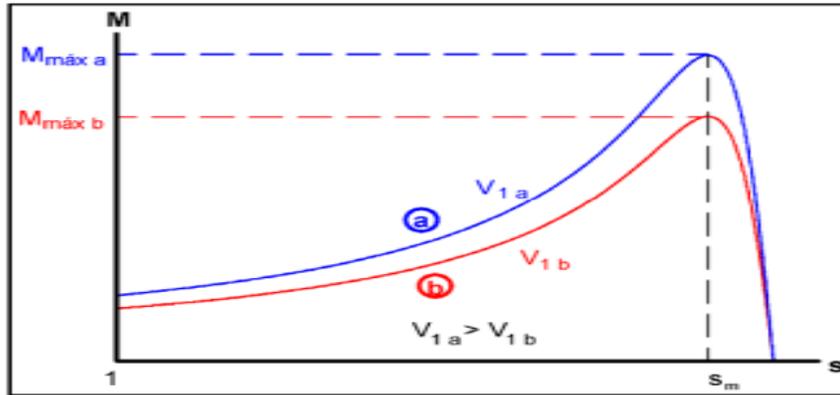
1.8.2. Arranques con tensión reducida.

El arranque con tensión reducida es un método utilizado para reducir la corriente de arranque en motores eléctricos. Consiste en aplicar una tensión inicialmente reducida al motor durante el arranque, para luego aumentarla gradualmente hasta alcanzar la tensión nominal. Esto ayuda a limitar la corriente de arranque y a minimizar el impacto en el sistema eléctrico. Entre los métodos comunes de arranque con tensión reducida se incluyen el arranque estrella-triángulo y el arranque con autotransformador. Estos métodos permiten un arranque suave y controlado, lo

que ayuda a prolongar la vida útil del motor y reduce el riesgo de sobrecargas en el sistema eléctrico.

Figura 11.

Curvas par-velocidad a la tensión asignada y con tensión reducida.



Nota: En la gráfica se muestra la tensión por medio de arranque estrella-triángulo). Gráfica obtenida de P.L., A. (1970). Induction machines. Their behavior and uses.

1.8.3. Arranque por inducción de resistencias en serie con el rotor.

El arranque por inducción de resistencias en serie con el rotor es un método utilizado para controlar la corriente de arranque en motores eléctricos de inducción. Consiste en conectar resistencias en serie con el rotor del motor durante el arranque, lo que reduce la corriente inicial y el par de arranque. A medida que el motor gana velocidad, las resistencias se desconectan gradualmente mediante un interruptor centrífugo o un relé térmico, permitiendo que el motor funcione a plena carga. Este método es eficaz para limitar la corriente de arranque y proteger el sistema eléctrico, especialmente en aplicaciones donde se requiere un arranque suave y controlado.

1.9 PROTECCIONES ELÉCTRICAS.

La protección para motores es un aspecto crucial en cualquier sistema eléctrico que incluya motores eléctricos. Estos dispositivos de protección están diseñados para detectar y responder a condiciones anormales que puedan afectar el funcionamiento seguro y eficiente de los motores. La importancia de la protección para motores radica en su capacidad para prevenir

daños costosos en los motores, así como para garantizar la seguridad de las personas y los equipos en el entorno de trabajo. En esta sección, exploraremos los diferentes tipos de protección para motores, sus principios de funcionamiento y su aplicación en una variedad de entornos industriales y comerciales.

1.9.1. Tipos de fallos en el motor de inducción.

Un fallo en un motor de inducción puede ser causado por diversas razones, algunos tipos de fallo comunes en un motor de inducción son:

Sobrecalentamiento: El sobrecalentamiento es una condición en la que el motor se calienta más de lo normal debido a una falta de ventilación o una carga excesiva. Esto puede dañar el motor y reducir su vida útil.

Fallos en el rotor: El rotor es la parte del motor que gira y es impulsada por el campo magnético del estator. Si hay algún problema con el rotor, como un desbalance o una falla en el material, el motor puede fallar.

Fallos en el estator: El estator es la parte del motor que proporciona el campo magnético. Si hay algún problema con el estator, como un cortocircuito o una falla en el aislamiento, el motor puede fallar.

Fallos en el devanado: Los devanados son los conductores que se envuelven alrededor del estator o el rotor del motor. Si hay un problema con el devanado, como un cortocircuito o una falla en el aislamiento, el motor puede fallar.

Fallos en el sistema de lubricación: Los motores de inducción necesitan lubricación para mantener sus componentes móviles en buenas condiciones. Si hay un problema con el sistema de lubricación, como una falta de lubricación o una obstrucción en las tuberías, el motor puede fallar.

Para proteger al motor de cada falla que se puede presentar, en el siguiente punto se estudiar los tipos de protecciones a motores de inducción de uso común.

1.9.2. Tipos de fallos en el motor de inducción.

Las protecciones para motores son dispositivos esenciales en cualquier sistema eléctrico que utilice motores eléctricos. Estos dispositivos están diseñados para garantizar el funcionamiento seguro y confiable de los motores al detectar y responder a diversas condiciones anormales que podrían dañarlos o comprometer su rendimiento. Para comprender mejor cómo funcionan las protecciones para motores, es importante conocer las partes principales que componen estos dispositivos. Una protección típica para motores consta de varios componentes clave, incluyendo:

Relés térmicos: Estos relés son responsables de monitorear la temperatura del motor y activar la protección en caso de sobrecalentamiento. Funcionan mediante la medición de la corriente que fluye a través del motor y activan un interruptor de desconexión si la corriente supera un nivel predeterminado.

Relés de sobrecarga: Estos relés protegen el motor contra corrientes excesivas que podrían dañarlos. Se activan cuando la corriente que pasa a través del motor excede un cierto límite, lo que indica una sobrecarga en el sistema.

Dispositivos de protección contra cortocircuitos: Estos dispositivos son responsables de detectar y responder a cortocircuitos en el sistema eléctrico. Pueden ser fusibles, disyuntores o relés de sobrecorriente que desconectan el circuito en caso de un cortocircuito para evitar daños en el motor y otros equipos.

Interruptores de circuito magnético: Estos interruptores detectan corrientes anormales en el sistema y desconectan el circuito para proteger el motor contra daños. Funcionan detectando la

intensidad magnética generada por la corriente y activando un interruptor de desconexión si se supera un nivel predeterminado.

Dispositivos de protección contra fallos a tierra: Estos dispositivos son responsables de detectar y responder a fallos a tierra en el sistema eléctrico. Pueden ser relés de corriente de fuga o interruptores de falla a tierra que desconectan el circuito en caso de un fallo a tierra para prevenir descargas eléctricas y proteger el motor y otros equipos.

Figura 12.

Partes de protección que debe tener un circuito ramal.

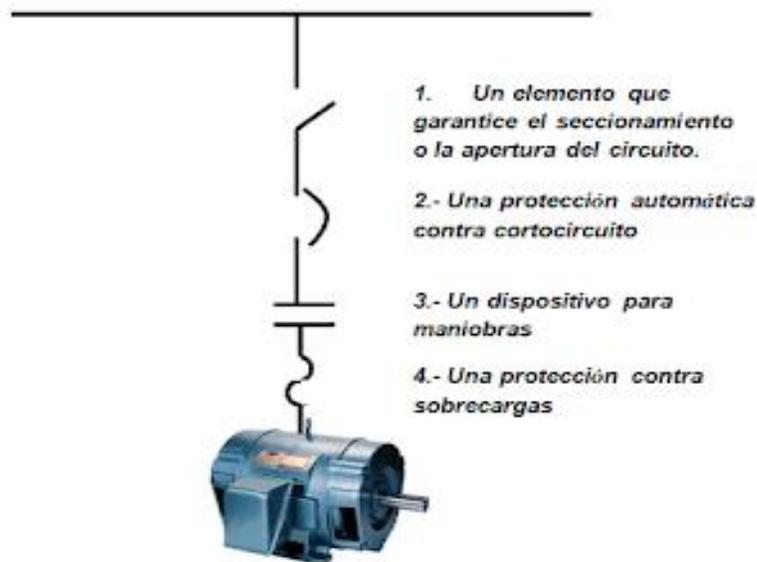


Imagen obtenida de blogspot. (2011, Junio 18). Protección de Motores Eléctricos. Electricidad

En resumen, las protecciones para motores constan de varias partes importantes que trabajan juntas para garantizar el funcionamiento seguro y confiable de los motores eléctricos en diversos entornos industriales y comerciales. Y los cuáles se profundizarán más en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO II. PROTECCIONES DE MOTORES

2.1. INTRODUCCIÓN.

Los motores de inducción son un tipo de motor eléctrico que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas. Son robustos, fiables y económicos, lo que los hace muy populares. Sin embargo, a pesar de su fiabilidad, pueden sufrir fallas debido a sobrecargas, sobrecalentamiento, cortocircuitos y otros problemas similares. Para prevenir estas fallas, es importante proteger el motor con dispositivos de protección adecuados. Los tipos de fallas más frecuentes en los circuitos que alimentan motores eléctricos se pueden clasificar en:

Por efectos de la corriente:

- Cortocircuito
- Sobrecarga

Por efectos de la red eléctrica:

- Sobretensión
- Subtensión
- Cambio de frecuencia
- Cambio de secuencias de fases
- Falla de fases

Para poder proteger al motor, se enlistan algunos de los dispositivos de protección continuamente utilizados:

1. Fusibles: Son dispositivos de protección térmica que se rompen cuando la corriente supera un nivel predeterminado, protegiendo el motor de sobrecargas y cortocircuitos.

2. Termistores: Son dispositivos de protección térmica que se activan cuando la temperatura del motor supera un nivel predeterminado, protegiendo al motor de sobrecalentamiento.

3. Dispositivos de protección térmica: Son dispositivos similares a los tres termistores que se activan cuando la temperatura del motor supera un nivel predeterminado.

4. Interruptores automáticos: Son dispositivos de protección mecánicos que se activan cuando la corriente supera un nivel predeterminado, protegiendo el motor de sobrecargas y cortocircuitos.

5. Contactores: Son dispositivos electromecánicos que se utilizan para controlar el suministro de energía eléctrica al motor. También se utilizan como dispositivos de protección, interrumpiendo el suministro de energía en caso de fallas.

Estos dispositivos de protección ayudan a prolongar la vida útil del motor y a prevenir daños costosos. Es importante seleccionar y utilizar los dispositivos de protección adecuados para cada aplicación. En este apartado veremos las dos fallas que se produce con más frecuencia que es sobretensión y sobrecarga al igual elementos de protección para prevenir y evitar un fallo en el motor. Según la norma mexicana NOM-001-SEDE-2012, se indicará la norma para cada protección de las fallas indicadas.

2.2. PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE.

La protección de sobrecorriente es un aspecto crucial en el funcionamiento seguro y confiable de los motores eléctricos. Consiste en detectar y desconectar el motor cuando la corriente que circula por él supera ciertos límites predefinidos. Esto es fundamental para evitar daños en el motor y en el sistema eléctrico y para prevenir accidentes eléctricos.

Existen dos tipos principales de sobrecorriente que pueden afectar a los motores eléctricos: la sobrecarga y el cortocircuito. La sobrecarga ocurre cuando la corriente que circula por el motor excede su capacidad nominal durante un período prolongado. Esto puede deberse a una carga excesiva o a un funcionamiento anormal del motor. Por otro lado, el cortocircuito se produce cuando hay una conexión directa entre dos puntos de diferente potencial en el sistema eléctrico, lo que provoca un flujo de corriente excesivo y repentino. Ambos tipos de sobrecorriente pueden causar daños graves al motor si no se detectan y controlan adecuadamente.

Se concluye que la adecuada protección contra sobrecorrientes es esencial para:

- Mejorar la vida útil de los motores, evitando su funcionamiento en condiciones de sobrecalentamiento.
- Asegurar la continuidad operativa de las máquinas o instalaciones, previniendo paradas repentinas.
- Facilitar la reiniciación tras un disparo de manera rápida y segura para los equipos y las personas involucradas.

2.2.1 Dispositivos básicos de protección.

Las protecciones son una parte integral para evitar algún daño en el motor, en este apartado veremos los dispositivos básicos de protección de un motor los cuáles son:

- Fusible
- Relevadores de sobrecorriente
- Relés térmicos de sobrecarga (biláminas)
- Disyuntor magnético.
- Guardamotor magnético.

2.2.2. Fusible.

Los fusibles son elementos fundamentales en la protección de sistemas eléctricos, ya que proporcionan una seguridad crucial contra sobrecargas y cortocircuitos. Estos dispositivos, a pesar de su simplicidad, desempeñan un papel vital en la prevención de daños a equipos y la garantía de la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Figura 13

Imagen de un fusible para la protección de motores.



Imagen obtenida de Sistemas Fotovoltaicos. (n.d.). Fusible.

En su esencia, un fusible es un conductor diseñado para fundirse y abrir un circuito eléctrico cuando la corriente que lo atraviesa excede un cierto límite seguro. Este límite está determinado por la capacidad nominal de corriente del fusible. Cuando la corriente supera este límite, el calor generado por la resistencia del conductor causa que el fusible se funda, interrumpiendo así el flujo de corriente y protegiendo el circuito y los dispositivos conectados a él. Existen diferentes tipos de fusibles, cada uno diseñado para aplicaciones específicas y con características particulares. Uno de los tipos más comunes es el fusible de cartucho, que consta de un elemento fusible contenido en un tubo de vidrio o cerámica. Este tipo de fusible es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y residenciales debido a su confiabilidad y capacidad de protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Otro tipo común de fusible es el fusible de acción rápida, que se caracteriza por su capacidad para fundirse rápidamente en

respuesta a una corriente excesiva. Este tipo de fusible es ideal para proteger equipos sensibles que podrían dañarse si se expusieran a una sobrecorriente durante un período prolongado. Por otro lado, los fusibles de acción retardada están diseñados para soportar corrientes de sobrecarga momentáneas sin fundirse inmediatamente, lo que los hace adecuados para proteger equipos que requieren un arranque momentáneo de corriente más alto. Además de su capacidad nominal de corriente, los fusibles también se clasifican según su capacidad de interrupción, que es la máxima corriente que pueden interrumpir de manera segura sin causar daños al dispositivo. Esta capacidad de interrupción es crucial para garantizar que el fusible pueda proteger eficazmente el circuito contra cortocircuitos y otras condiciones de falla. La selección adecuada del fusible es fundamental para garantizar una protección efectiva del sistema eléctrico. Esto implica considerar varios factores, como la corriente de carga máxima del circuito, la capacidad de interrupción requerida y las condiciones ambientales en las que operará el fusible. Además, es importante asegurarse de que el fusible esté correctamente instalado y dimensionado para su aplicación específica. El área de funcionamiento de los fusibles está delimitada por dos curvas:

Curva inferior: Esta curva se deriva del tiempo mínimo necesario para que el elemento fusible se funda (T_m).

Curva superior: Se establece mediante el tiempo total máximo requerido por el fusible para eliminar la falla (TM).

En la figura 14 se presenta la curva característica de tiempo-corriente para un fusible. El tiempo mínimo de fusión es relevante cuando el fusible respalda o sobrepasa a otro dispositivo.

Figura 14

Curvas características tiempo-corriente para un fusible.

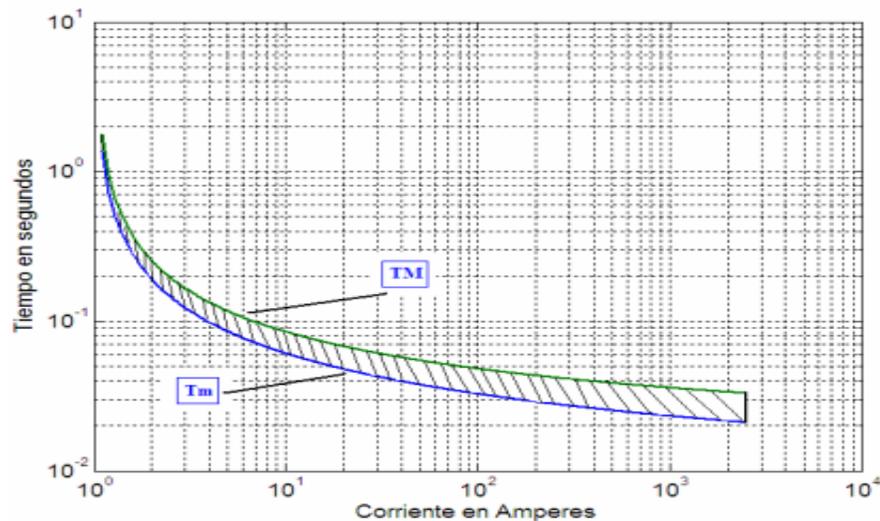


Imagen obtenida de *Sistemas Fotovoltaicos*. (n.d.). Fusible.

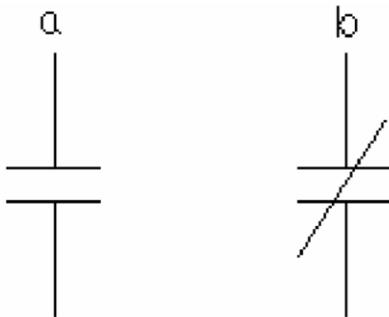
En resumen, los fusibles son dispositivos esenciales en la protección de sistemas eléctricos contra sobrecargas y cortocircuitos. Su capacidad para interrumpir el flujo de corriente de manera segura los convierte en una opción confiable para garantizar la seguridad y la integridad de las instalaciones eléctricas. Sin embargo, es crucial seleccionar y utilizar los fusibles adecuados para cada aplicación específica, teniendo en cuenta las características del sistema y las condiciones operativas.

2.2.3. Relevadores de sobrecorriente.

El funcionamiento de un relevador de sobrecorriente se basa en la detección y respuesta ante corrientes anormales en un sistema eléctrico. Estos dispositivos son esenciales para proteger equipos y circuitos contra daños causados por corrientes excesivas, lo que podría resultar en sobrecalentamiento, daños en equipos o incluso incendios. El principio de funcionamiento de un relevador de sobrecorriente implica la comparación entre la corriente medida y un valor de referencia preestablecido. Cuando la corriente medida supera el valor de referencia, el relevador actúa para desconectar el circuito o activar alarmas de advertencia. Este proceso se realiza de manera rápida y precisa para garantizar una protección efectiva del sistema eléctrico.

Figura 15.

Diagrama de conexión de un relevador de contacto.



Nota: Se muestra el contactor cuándo está abierto a) y cerrado b). Imagen obtenida de Ramírez, M.S. (2005, Julio). Protección de sistemas eléctricos de potencia.

Existen diferentes tipos de relevadores de sobrecorriente, incluyendo los electromecánicos y los electrónicos. Los relevadores electromecánicos utilizan un electroimán y un mecanismo de disparo para abrir el circuito cuando se detecta una corriente excesiva. Por otro lado, los relevadores electrónicos utilizan circuitos electrónicos para realizar la detección y la desconexión del circuito de manera más rápida y precisa.

Asimismo, los relés de sobrecorriente se dividen en tres categorías principales:

- Relés de corriente definida.
- Relés de tiempo definido.
- Relés de tiempo inverso.

En el caso de los relés de corriente definida, estos dispositivos reaccionan de forma inmediata cuando la corriente alcanza un nivel predefinido.

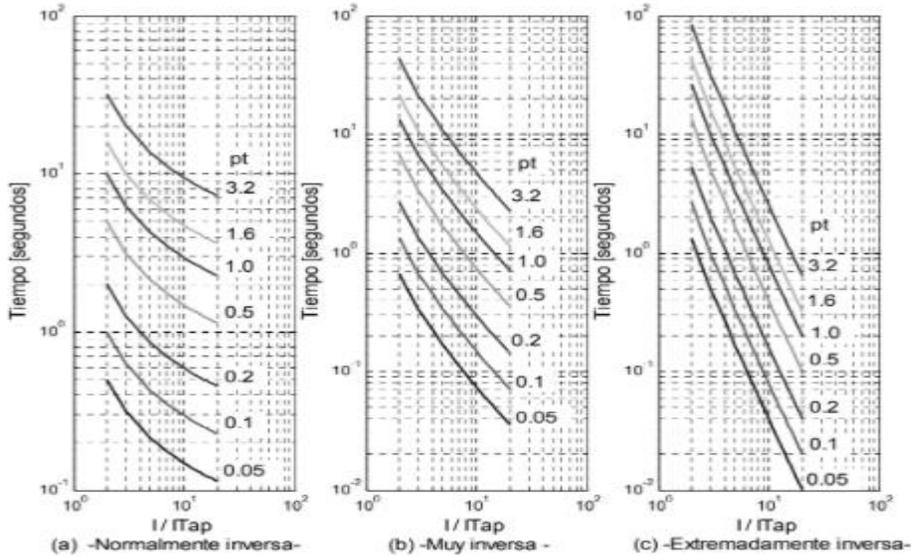
Por otro lado, los relés de tiempo definido se usan y pueden presentar dos o tres zonas con tiempos de actuación. Por lo general, el primer escalón de estos relés es instantáneo.

En cuanto a los relés de tiempo inverso, su tiempo de actuación está determinado por la magnitud de la corriente medida. La principal ventaja de estos relés es que su tiempo de respuesta es inversamente proporcional a la corriente de falla. Esto significa que, para corrientes

muy altas, se puede lograr un tiempo de disparo más corto en comparación con los relés de tiempo definido.

Figura 16.

Curvas características para un relevador se sobrecorriente de tiempo inverso



Curvas características para un relevador se sobrecorriente de tiempo inverso

Las curvas características de los relés de tiempo inverso (ver figura 16) indican la velocidad de operación, que puede ser normalmente inversa, muy inversa o extremadamente inversa, y se determinan utilizando una fórmula específica.

$$top = \frac{0.14}{\left(\frac{1}{ITap}\right)^2 - 1} \quad \text{Normalmente Inversa}$$

$$top = \frac{13.5}{\left(\frac{1}{ITap}\right)^2 - 1} * pt \quad \text{Muy inversa}$$

$$top = \frac{80}{\left(\frac{1}{ITap}\right)^2 - 1} \quad \text{Extremadamente inversa}$$

Donde:

top= Tiempo de operación (s)

pt= Palanca de tiempo

I = Valor rms de la corriente

I_{Tap} = Tap de arranque (valor rms).

La selección adecuada de un relevador de sobrecorriente depende de varios factores, como la corriente nominal del circuito, la sensibilidad requerida y las características de la carga conectada. Es importante elegir un relevador que pueda proporcionar una protección confiable y efectiva contra corrientes anormales, mientras minimiza las falsas alarmas o desconexiones innecesarias.

2.2.4. Interruptor magnético.

Los Interruptores magnéticos son fundamental en los sistemas eléctricos al proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. Su funcionamiento se basa en la generación de un campo magnético que interrumpe el flujo de corriente cuando se detecta una condición anormal en el circuito. El interruptor magnético, también conocido como disyuntor magnético, consta de un electroimán y un mecanismo de disparo. Cuando la corriente que fluye a través del electroimán supera un cierto umbral, se genera un campo magnético que atrae una armadura metálica, lo que provoca la apertura del circuito. Este proceso ocurre de manera instantánea, lo que garantiza una respuesta rápida ante situaciones de sobrecarga o cortocircuito.

Figura 17.
Interruptor Magnético.



Imagen obtenida de Subir.CC. (2019). Interruptor termomagnético: qué es, cómo funciona y sus tipos.

Una de las principales características de los interruptores magnéticos es su capacidad para interrumpir corrientes de alta magnitud en un corto período de tiempo. Sus parámetros más destacados son:

La corriente nominal: el nivel de corriente diseñado para operar seguramente. Cuando la corriente excede este valor, puede indicar una sobrecarga o un cortocircuito en el circuito. Se mide en amperios (A).

La corriente de disparo: es el valor de corriente en el cual el interruptor se activa para abrir el circuito. También se mide en amperios (A).

La tensión nominal: nivel de tensión para el que el disyuntor está diseñado. Se expresa en voltios (V) y puede ser monofásica (110-220 V) o trifásica (300-600 V).

El poder de corte: medido en kiloamperios (kA), representa la corriente máxima que el disyuntor puede interrumpir sin sufrir daños. Superar este valor puede resultar en la formación de arcos eléctricos o la fusión de materiales, lo que podría impedir la apertura del circuito.

El poder de cierre: indica la corriente máxima que puede circular a través del disyuntor cuando se cierra sin que el dispositivo sufra daños por sobrecarga eléctrica.

El número de polos: se refiere al máximo número de conductores que pueden conectarse al interruptor automático, pudiendo ser de uno, dos, tres o cuatro polos.

Esto los hace ideales para proteger equipos sensibles y circuitos críticos en instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales. Además, su diseño compacto y su facilidad de instalación los convierten en una opción popular entre los profesionales del sector eléctrico.

Existen diferentes tipos de Interruptores magnéticos, cada uno diseñado para satisfacer requisitos específicos de protección y rendimiento. Los interruptores de acción rápida son ideales para aplicaciones donde se requiere una respuesta instantánea ante condiciones de sobrecarga.

Por otro lado, los interruptores de acción retardada son más adecuados para proteger equipos que pueden soportar corrientes de arranque momentáneas sin activar la protección.

Figura 18.

Curva de operación de los tipos de interruptor.

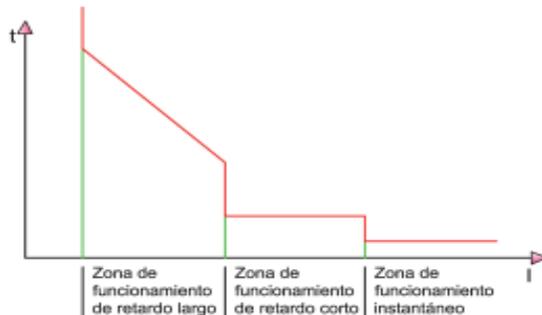


Imagen obtenida de Subir.CC. (2019). Interruptor termomagnético: qué es, cómo funciona y sus tipos.

En términos de aplicaciones, los interruptores magnéticos se utilizan en una amplia variedad de sistemas eléctricos, incluyendo circuitos de iluminación, tomas de corriente, motores eléctricos y equipos de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Su capacidad para proporcionar protección confiable y su alto grado de sensibilidad los convierten en una opción popular para garantizar la seguridad y la fiabilidad de los sistemas eléctricos. Es importante destacar que los interruptores magnéticos deben instalarse y mantenerse adecuadamente para garantizar su correcto funcionamiento. Las normas y regulaciones eléctricas establecen pautas específicas para la selección, instalación y mantenimiento de interruptores magnéticos, lo que ayuda a prevenir accidentes eléctricos y garantiza la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Su capacidad para proporcionar una respuesta rápida y confiable los convierte en una opción indispensable para garantizar la seguridad y la fiabilidad de los sistemas eléctricos en una amplia gama de aplicaciones. Al comprender su funcionamiento, características y aplicaciones, los profesionales del sector eléctrico pueden seleccionar y utilizar interruptores magnéticos de manera efectiva para proteger equipos y garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas.

2.2.5. Relés térmicos de biláminas.

Los relés térmicos de bimetálico son dispositivos de protección utilizados en sistemas eléctricos para detectar y responder a las condiciones de sobrecarga. Estos dispositivos juegan un papel crucial en la prevención de daños en equipos y en la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Figura 19
Relé térmico de biláminas.



Imagen obtenida de Subir.CC. (2019). Interruptor termomagnético: qué es, cómo funciona y sus tipos.

Funcionamiento de los relés térmicos de bimetálico.

Los relés térmicos de bimetálico funcionan según el principio de la dilatación diferencial de dos metales con coeficientes de dilatación térmica diferentes. Estos metales, generalmente hierro y cobre, están unidos entre sí en forma de una lámina bimetálica. Cuando la corriente eléctrica fluye a través de esta lámina, genera calor debido a la resistencia eléctrica del material. A medida que la temperatura aumenta, los dos metales se expanden a diferentes velocidades, lo que provoca que la lámina se curve en la dirección de menor coeficiente de dilatación. Esta curvatura activa un mecanismo de disparo que interrumpe el circuito eléctrico, protegiendo así el equipo contra sobrecargas.

Características de los relés térmicos de bimetal.

Los relés térmicos de bimetal tienen varias características distintivas que los hacen adecuados para una amplia gama de aplicaciones en sistemas eléctricos. Algunas de estas características incluyen:

Sensibilidad ajustable: Los relés térmicos de bimetal suelen tener un mecanismo de ajuste que permite configurar la corriente de disparo deseada. Esto permite adaptar la protección térmica a las necesidades específicas del sistema eléctrico.

Protección contra sobrecargas: Los relés térmicos de bimetal son efectivos para detectar y responder a condiciones de sobrecarga prolongada, lo que ayuda a prevenir daños en equipos y a garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Fiabilidad: Debido a su diseño simple y robusto, los relés térmicos de bimetal son dispositivos confiables que pueden funcionar de manera continua durante largos períodos de tiempo sin requerir mantenimiento frecuente.

Amplia gama de corrientes nominales: *Estos relés están disponibles en modelos con diferentes rangos de corriente nominal, haciendo adecuados para aplicaciones que van desde sistemas de baja potencia hasta industriales de alta potencia.*

Aplicaciones de los relés térmicos de bimetal.

Los relés térmicos de bimetal se utilizan en una amplia gama de aplicaciones en sistemas eléctricos. Algunos ejemplos incluyen:

Protección de motores eléctricos: Los relés térmicos de bimetal se utilizan comúnmente para proteger motores eléctricos contra sobrecargas y condiciones de funcionamiento anormales que podrían dañar el motor.

Protección de transformadores: Estos relés también se utilizan para proteger transformadores eléctricos contra sobrecargas térmicas que podrían causar fallas en el sistema.

Protección de circuitos de iluminación: En sistemas de iluminación, los relés térmicos de bimetálico se utilizan para proteger los circuitos contra sobrecargas que podrían dañar las luminarias y otros componentes del sistema.

Con su funcionamiento confiable, características ajustables y amplia gama de aplicaciones, estos relés son una opción popular para la protección térmica en una variedad de entornos industriales y comerciales.

2.2.6. Guardamotor magnético.

Los guardamotors magnéticos son dispositivos fundamentales en los sistemas eléctricos para proteger motores eléctricos contra sobrecargas y condiciones anormales de funcionamiento. En este apartado, exploraremos en detalle el funcionamiento, las características y las aplicaciones de los guardamotors magnéticos, así como su importancia en la protección de equipos eléctricos.

Figura 20.
Guardamotors.



Imagen obtenida de Dicesa PQS. (2016). Guardamotors. Guardamotors.

Funcionamiento de los guardamotores magnéticos.

Los guardamotores magnéticos funcionan según el principio del electromagnetismo. Estos dispositivos constan de un electroimán que actúa como sensor de corriente y un mecanismo de disparo que interrumpe el circuito eléctrico cuando se detecta una corriente excesiva. Cuando la corriente que circula por el motor eléctrico supera un umbral preestablecido, el electroimán genera un campo magnético lo suficientemente fuerte como para activar el mecanismo de disparo y abrir el circuito, deteniendo así el funcionamiento del motor y protegiéndolo de posibles daños por sobrecarga.

Figura 21.
Composición de un guardamotor.



Imagen obtenida de Dicesa PQS. (2016). Guardamotores. Guardamotores.

Características de los guardamotores magnéticos.

Los guardamotores magnéticos presentan varias características distintivas que los hacen adecuados para su uso en una amplia gama de aplicaciones en sistemas eléctricos. Algunas de estas características incluyen:

Sensibilidad ajustable: Los guardamotores magnéticos suelen tener un mecanismo de ajuste que permite configurar la corriente de disparo deseada. Esto permite adaptar la protección térmica a las necesidades específicas del motor eléctrico y del sistema en el que se encuentra.

Protección contra sobrecargas: Los guardamotores magnéticos son efectivos para detectar y responder a condiciones de sobrecarga prolongada, lo que ayuda a prevenir daños en el motor y a garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Fiabilidad: Debido a su diseño simple y robusto, los guardamotores magnéticos son dispositivos confiables que pueden funcionar de manera continua durante largos períodos de tiempo sin requerir mantenimiento frecuente.

Muchos guardamotores magnéticos ofrecen protección contra cortocircuitos, además de proteger contra sobrecargas, evitando daños mayores en el sistema eléctrico por falla grave.

Aplicaciones de los guardamotores magnéticos.

Los guardamotores magnéticos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones en sistemas eléctricos. Algunos ejemplos incluyen:

Protección de motores eléctricos: Los guardamotores magnéticos se utilizan comúnmente para proteger motores eléctricos en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales contra sobrecargas y condiciones anormales de funcionamiento.

Protección de bombas y compresores: En sistemas de bombeo y compresión, los guardamotores magnéticos ayudan a prevenir daños en equipos y a garantizar un funcionamiento seguro y confiable.

En resumen, los guardamotores magnéticos son dispositivos esenciales en sistemas eléctricos para proteger motores eléctricos y otros equipos contra sobrecargas y condiciones anormales de funcionamiento. Con su funcionamiento confiable, características ajustables y

amplia gama de aplicaciones, estos dispositivos juegan un papel crucial en la protección de equipos y en la seguridad de las instalaciones eléctricas.

2.3. PROTECCIÓN DE SOBRETENSIÓN.

En el ámbito de la ingeniería eléctrica, la sobretensión representa una amenaza constante para los motores de inducción. Este fenómeno, caracterizado por un incremento súbito en el voltaje de la red eléctrica, puede provocar daños significativos a los motores, incluyendo fallas en bobinas, aislamientos y rotores. La importancia de proteger los motores contra la sobretensión radica en la prevención de estos daños y en el mantenimiento de su funcionamiento seguro y confiable.

La clasificación más ampliamente aceptada identifica tres categorías de sobretensiones:

Sobretensiones Temporales: Estas sobretensiones son de duración prolongada (varios milisegundos), muestran una amortiguación limitada y tienen una frecuencia cercana a la frecuencia de operación. Ejemplos de este tipo de sobretensiones incluyen aquellas causadas por un cortocircuito entre una fase y tierra, o por problemas de ferorresonancia.

Sobretensiones de Maniobra: Estas sobretensiones son altamente amortiguadas, de corta duración y pueden presentar un rango de frecuencias entre 2 y 10 kHz. Aunque su origen puede estar relacionado con maniobras de conexión o desconexión, también pueden surgir por otras causas.

Sobretensiones de Origen Atmosférico: Originadas por descargas atmosféricas, estas sobretensiones son de corta duración y pueden tener una amplitud varias veces mayor que la tensión nominal de pico.

Sobretensiones de Resonancia: Se producen en presencia de armónicos y en situaciones de resonancia tanto en configuraciones serie como paralelo.

En este tema, exploraremos las causas y consecuencias de la sobretensión, así como las medidas de protección necesarias para mitigar sus efectos en los motores de inducción.

2.3.1. Dispositivos básicos de protección.

Los motores de inducción la gran parte del tiempo están expuestos a diversos riesgos, como las sobretensiones, que pueden afectar su funcionamiento y vida útil. Por lo tanto, es crucial contar con dispositivos básicos de protección para sobretensión que salvaguarden estos motores de posibles daños.

Entre los dispositivos más utilizados para proteger los motores de inducción contra las sobretensiones se encuentran:

Varistores de Óxido de Zinc (MOV): Estos componentes semiconductores ofrecen una resistencia no lineal ante cambios bruscos de voltaje, desviando la corriente excesiva y limitando así los daños a los bobinados y componentes internos del motor.

Descargadores de Gas (GDT): Contienen un gas ionizable en su interior y generan una descarga eléctrica controlada cuando la tensión supera un umbral predefinido, protegiendo así los motores de inducción contra posibles daños.

Supresores de Picos (TVS): Diseñados para limitar las sobretensiones transitorias en circuitos electrónicos sensibles, como los sistemas de control de motores de inducción, ofrecen una respuesta rápida ante cambios bruscos de voltaje.

Filtros de Línea: Atenúan las interferencias electromagnéticas y las sobretensiones presentes en la red eléctrica, especialmente útiles en entornos industriales donde los motores de inducción están expuestos a condiciones adversas y fluctuaciones de voltaje.

La implementación adecuada de estos dispositivos de protección garantiza una operación más segura y confiable de los motores de inducción, así como una mayor vida útil. Es esencial

seleccionar y dimensionar estos dispositivos según las características y requerimientos específicos de cada aplicación.

Protectores contra sobretensiones permanentes: Las sobretensiones permanentes se refieren a incrementos de voltaje que exceden el 10% de la tensión nominal (220 V o 230 V) y tienen una duración indefinida. Estos dispositivos protectores contra sobretensiones pueden ser de tipo monofásico (P+N) o trifásico (3P+N), y su función principal es actuar sobre los interruptores magnéticos para desconectar la instalación en caso de detectar una sobretensión. Esta medida preventiva ayuda a proteger los motores y otros dispositivos eléctricos contra los daños ocasionados por las sobretensiones permanentes, garantizando así un funcionamiento seguro y confiable del sistema eléctrico.

Protectores contra sobretensiones transitorias: Las sobretensiones transitorias se caracterizan por ser ráfagas de voltaje que alcanzan niveles de varios kilovoltios y tienen una duración breve. Estos picos de tensión pueden ocasionar daños graves o incluso la destrucción de los equipos conectados a la red eléctrica, lo que puede resultar en la interrupción del servicio eléctrico. Estos sistemas de protección adicionales brindan una mayor capacidad de descarga, lo que asegura una protección más efectiva contra las sobretensiones transitorias. Similar a los dispositivos de protección contra sobretensiones permanentes, estos equipos son capaces de desconectar la instalación eléctrica de la red cuando la tensión supera cierto umbral preestablecido. Pero, a diferencia de los protectores permanentes, estos dispositivos pueden reconectar automáticamente la instalación cuando la tensión vuelve a niveles seguros, evitando interrupciones prolongadas en el suministro eléctrico. De esta manera, se evita dejar sin alimentación al motor, ya que estos protectores transitorios actúan de manera coordinada con los interruptores magnéticos asociados para garantizar un funcionamiento seguro y confiable del sistema eléctrico.

Figura 22.

Protector contra sobretensiones transitorias.



Imagen obtenida de Hiziroglu, H. R. (2003). Máquinas eléctricas y transformadores. 3. Protectores contra sobretensiones permanentes con reconexión automática.

Protectores contra sobretensiones permanentes con reconexión automática: Los protectores contra sobretensiones permanentes con reconexión automática son dispositivos esenciales en los sistemas eléctricos para garantizar la protección contra aumentos sostenidos de voltaje que pueden dañar los motores de inducción. Estos dispositivos son capaces de desconectar la instalación eléctrica de la red cuando la tensión supera el 10% de la tensión nominal durante un período prolongado, lo que puede provocar sobrecalentamiento, reducción de la vida útil, incendios y daños en los equipos. Los protectores contra sobretensiones permanentes pueden ser monofásicos o trifásicos, con una acción coordinada sobre interruptores magnetotérmicos para garantizar una protección efectiva. Además, la reconexión automática después de que la tensión vuelva a niveles seguros asegura un suministro eléctrico constante y evita interrupciones prolongadas.

2.4. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.

Para garantizar la eficiencia y la continuidad del servicio en las instalaciones eléctricas, es fundamental maximizar la operatividad de los motores, evitando paradas innecesarias y costosas. La protección de los motores se vuelve crucial para evitar fallos que puedan resultar en

interrupciones costosas del proceso. Es esencial que los sistemas de protección solo actúen cuando haya un riesgo real, evitando detenciones no programadas que puedan afectar la productividad. Pese a la importancia de la protección de motores, aún persisten muchas averías. Por lo tanto, es fundamental que la selectividad de las protecciones sea adecuada, utilizando dispositivos como fusibles, disyuntores magnéticos y contactores para optimizar los esquemas de protección. Esta combinación de dispositivos garantiza la restauración automática del servicio eléctrico en caso de fallos temporales, asegurando la seguridad de las instalaciones y de las personas.

La coordinación de las protecciones implica asociar dispositivos de protección contra cortocircuitos y sobrecargas, como fusibles, disyuntores magnéticos y contactores, para interrumpir rápidamente las corrientes anormales sin poner en riesgo la integridad de las instalaciones ni de las personas. Además, los arrancadores eléctricos desempeñan cuatro funciones básicas: seccionamiento, protección contra cortocircuitos, protección contra sobrecargas y conmutación. El tamaño de los dispositivos que se utilizan en los arrancadores debe seleccionarse en función de la potencia del motor y garantizar una coordinación adecuada de las protecciones en caso de cortocircuito.

Actualmente, la configuración más usada localmente implica proteger cortocircuitos con interruptores termomagnéticos o fusibles, combinados con un relé térmico bimetálico para proteger contra sobretensión, y contactores para el arranque y detener el motor. También se usan guardamotors para proteger contra cortocircuitos y sobretensión, junto con contactores para el encendido y apagado del motor. Esta configuración es habitual para el control de motores de menor tamaño. Una alternativa más fiable consiste en emplear únicamente un fusible o interruptor automático de tipo magnético para la protección contra cortocircuitos, junto con un relé electrónico que ofrece protección contra sobrecorrientes, asimetría, falta de fase, baja

corriente, corriente de rotor bloqueado y rotación de fases. Al seleccionar el sistema de protección adecuado, es importante considerar los diferentes tipos de coordinación disponibles.

2.4.1. Tipos de coordinación.

Los tipos de coordinación en la protección de motores de inducción son fundamentales para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos. A continuación, se describen los principales tipos de coordinación utilizados en la práctica:

Coordinación tipo I: En este tipo de coordinación, se busca que la protección más cercana al punto de falla actúe de manera selectiva y rápida, sin afectar a otros dispositivos de protección. Esto se logra mediante la selección adecuada de los dispositivos de protección y la configuración de sus ajustes. La protección más cercana al punto de falla debe ser sensible para detectar y desconectarla a tiempo, evitando la activación innecesaria de protecciones ubicadas aguas arriba.

Coordinación tipo II: En este caso, se busca una coordinación más selectiva que en el tipo I, donde cada dispositivo de protección actúa solo en su zona de protección sin afectar a los dispositivos aguas arriba o aguas abajo. Esto se logra mediante la configuración cuidadosa de los ajustes de los dispositivos de protección y la selección adecuada de los tiempos de operación. La coordinación tipo II es especialmente importante en sistemas eléctricos complejos donde la selectividad y la rapidez de respuesta son cruciales para evitar interrupciones innecesarias en el suministro de energía.

Coordinación tipo III: En este tipo de coordinación, se busca una protección completa y selectiva de todo el sistema eléctrico, desde el punto de falla hasta la fuente de alimentación. Esto implica la selección adecuada de los dispositivos de protección y la configuración de sus ajustes para que cada dispositivo actúe de manera selectiva y coordinada en caso de una falla. La

coordinación tipo III es fundamental en sistemas eléctricos críticos donde cualquier interrupción en el suministro de energía puede tener consecuencias graves.

Figura 23.

Ejemplo de una instalación con las 3 clases de protectores contra sobretensiones.



Imagen obtenida de Wordpress. (2017, October 6). T08 – Descargadores de Sobretensión.

En resumen, la selección del tipo de coordinación adecuado depende de las características y requerimientos específicos de cada sistema eléctrico, así como de los niveles de protección y seguridad requeridos.

2.4.2. Selección para los dispositivos de protección.

La selección adecuada de los dispositivos de protección para motores de inducción es crucial para garantizar su funcionamiento seguro y confiable en todo momento. A continuación, se describen los principales aspectos a considerar durante este proceso:

Corriente nominal del motor: Es importante seleccionar dispositivos de protección cuya corriente nominal coincida con la corriente nominal del motor. Esto garantiza que los dispositivos puedan proteger efectivamente al motor contra sobrecargas y cortocircuitos sin comprometer su funcionamiento normal.

Tipo de protección: Dependiendo de las características del sistema eléctrico y los requisitos de protección, se pueden utilizar diferentes tipos de dispositivos de protección, como fusibles, interruptores automáticos, relés térmicos, entre otros. Es fundamental elegir el tipo de protección más adecuado para las condiciones de operación del motor y el entorno en el que se encuentra.

Coordinación de protección: La coordinación adecuada entre los dispositivos de protección es esencial para garantizar una respuesta selectiva y eficiente en caso de una falla. Esto implica seleccionar dispositivos de protección que se coordinen de manera adecuada, evitando disparos innecesarios y asegurando la protección completa del sistema eléctrico.

Ambiente de operación: Se deben considerar las condiciones ambientales en las que operará el motor, como la temperatura, la humedad y la presencia de sustancias corrosivas o inflamables. Esto ayudará a determinar el grado de protección necesario para los dispositivos de protección y asegurar su rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

Normativas y estándares: Es fundamental cumplir con las normativas y estándares aplicables en materia de protección de motores de inducción. Esto garantiza que los dispositivos de protección seleccionados cumplan con los requisitos de seguridad y rendimiento establecidos por las autoridades competentes.

En resumen, la selección adecuada de los dispositivos de protección para motores de inducción requiere analizar las características del sistema eléctrico, los requisitos de protección y las condiciones de operación, así como cumplir las normativas y estándares aplicables.

2.4.3. Estudio de coordinación de protecciones.

El estudio de coordinación de protecciones es un proceso fundamental en el diseño y la operación de sistemas eléctricos que involucran motores de inducción. El estudio pretende garantizar que los dispositivos de protección instalados en el sistema funcionen selectivamente y

coordinada, para que se aislar rápidamente cualquier falla sin afectar innecesariamente a otros equipos o circuitos. A continuación, se describen los principales aspectos a considerar durante el estudio de coordinación de protecciones:

Identificación de los dispositivos de protección: En primer lugar, es necesario identificar todos los dispositivos de protección presentes en el sistema eléctrico, incluyendo fusibles, interruptores automáticos, relés térmicos, entre otros. También se deben considerar los dispositivos de protección incorporados en los motores de inducción, como los guardamotores.

Análisis de curvas de disparo: Se realiza un análisis detallado de las curvas de disparo de cada dispositivo de protección para determinar sus características de tiempo-corriente. Esto permite identificar las regiones de operación de cada dispositivo y evaluar su capacidad para coordinarse con otros dispositivos en el sistema.

Establecimiento de tiempos de disparo: Con base en las curvas de disparo y las características de los equipos y circuitos protegidos, se establecen los tiempos de disparo de cada dispositivo de protección. Estos tiempos deben estar coordinados de manera que el dispositivo más cercano a la falla pueda actuar primero, aislando la falla de manera rápida y eficiente.

Simulación de escenarios de falla: Se realizan simulaciones de diferentes escenarios de falla para evaluar la efectividad de la coordinación de protecciones en cada caso. Esto permite identificar posibles problemas de selectividad y ajustar los tiempos de disparo de los dispositivos de protección según sea necesario.

Optimización del esquema de protección: Con base en los resultados de las simulaciones, se realizan ajustes en el esquema de protección para mejorar su eficiencia y selectividad. Esto puede implicar la modificación de los tiempos de disparo de los dispositivos de protección o la incorporación de dispositivos adicionales para garantizar una protección completa del sistema.

En síntesis, el estudio de coordinación de protecciones es un proceso integral que requiere un análisis detallado de las características del sistema eléctrico y una cuidadosa evaluación de los dispositivos de protección. Al garantizar una coordinación adecuada entre los dispositivos de protección, se puede mejorar la confiabilidad y la seguridad del sistema eléctrico, reduciendo al mínimo el tiempo de inactividad y los costos asociados a las fallas.

2.5. NORMATIVA NACIONAL NOM-001-SEDE-2012 SOBRE PROTECCIONES DE MOTORES.

En este último tema del capítulo 2, vamos a adentrarnos en la normatividad mexicana que regula las protecciones de motores eléctricos. Abordaremos la NOM-001-SEDE-2012, que tiene como finalidad establecer los requisitos técnicos y directrices que deben cumplir las instalaciones que utilizan energía eléctrica, asegurando condiciones seguras para las personas y los equipos, particularmente en lo que respecta a la protección de motores eléctricos contra diversos riesgos, como descargas eléctricas, efectos térmicos, sobrecorrientes, sobretensiones y corrientes de falla.

Exploraremos los principales puntos de esta normativa y su relevancia en el contexto de la ingeniería eléctrica, cómo el cumplimiento de estas disposiciones que promueve el uso seguro y eficiente de la energía eléctrica en una variedad de contextos, incluyendo propiedades industriales, comerciales y residenciales, así como instalaciones públicas y privadas, independientemente del nivel de tensión utilizado. El artículo 430 de la normativa aborda específicamente el control, la protección y los circuitos relacionados con los motores eléctricos, incluyendo la selección de conductores, circuitos derivados y medidas de protección contra sobrecargas, sobrecorrientes y condiciones térmicas adversas.

2.5.1. Protección contra sobrecarga.

La protección contra sobrecarga en motores de inducción es un aspecto fundamental para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. La Norma Oficial Mexicana NOM-001-Sede 2012 en su artículo 100 define la sobrecarga a operar un motor superior a su capacidad normal, a plena carga, o de un conductor superior, si persiste durante un tiempo largo, podría causar daños o calentamiento peligroso.

En base a lo anterior, la norma establece lineamientos técnicos específicos para asegurar que los motores estén protegidos adecuadamente contra sobrecargas, reduciendo así el riesgo de daños en los equipos y aumentando su vida útil.

En el marco de esta normativa, la protección contra sobrecarga se aborda en el artículo 430, el cual se centra en los conductores de los alimentadores, los circuitos derivados de los motores y su protección contra sobrecargas, sobrecorrientes y térmicos. La NOM-001-Sede 2012 busca garantizar condiciones seguras en las instalaciones eléctricas, promoviendo el uso eficiente y seguro de la energía eléctrica en diversos entornos, incluyendo propiedades industriales, comerciales y residenciales.

La protección contra sobrecarga en motores de inducción se logra mediante el uso de dispositivos de protección, como los relés térmicos, que son dispositivos electromecánicos diseñados para detectar y desconectar el motor cuando la corriente eléctrica supera un nivel predeterminado durante un período prolongado. Estos relés térmicos funcionan detectando el aumento de temperatura del motor, que es indicativo de una sobrecarga, y activando el mecanismo de desconexión para evitar daños en el motor y en el sistema eléctrico en general.

La normativa establece criterios claros para la selección, instalación y calibración de los relés térmicos, considerando factores como la corriente nominal del motor, la clase de servicio, el factor de servicio y otras características específicas de la aplicación. Es importante que los

dispositivos de protección estén correctamente dimensionados y configurados para garantizar su eficacia en la detección y desconexión oportuna en caso de sobrecarga. A continuación, se describe de manera puntual los lineamientos más importantes para cada tipo de motor eléctrico:

Motores de servicio continuo: aquellos con una potencia superior a 746 watts (1 HP), se establece que los dispositivos de protección deben ser sensibles a la corriente del motor y ajustarse según la carga completa nominal del motor, con valores de ajuste específicos dependiendo del factor de servicio y de la temperatura de aumento del motor. Los valores permitidos para estos ajustes son 125% para motores con un factor de servicio de 1.15 o más, 115% para la mayoría de los otros motores, y 125% para aquellos con un aumento de temperatura no mayor de 40°C.

Para motores de hasta 746 watts con arranque automático y no automático, la protección contra sobrecargas debe cumplir con los mismos requisitos establecidos para motores de mayor potencia. La protección puede variar si los motores están instalados permanentemente o no, y dependiendo de si están o no a la vista del controlador. Los dispositivos de protección no deben exceder los valores especificados en las normas para circuitos de más de 600 volts. En cuanto a los motores de servicio intermitente, pueden protegerse contra sobrecargas con dispositivos diseñados para cortocircuitos y fallas a tierra si no superan los límites establecidos. Además, se debe considerar como servicio continuo a menos que la aplicación específica indique lo contrario.

Finalmente, el artículo 430-42 aborda la conexión de motores a circuitos derivados de uso general. Establece que los motores de hasta 746 watts pueden conectarse sin protección individual contra sobrecargas bajo ciertas condiciones, mientras que motores de mayor potencia deben tener dispositivos específicos de protección. Además, si un motor está conectado mediante un cordón y clavija, el dispositivo de protección debe ser parte integral del motor o del aparato operado por el motor. Los dispositivos de protección deben permitir el tiempo suficiente de retardo para que el motor arranque y alcance su carga operativa.

La selección adecuada de los dispositivos de protección es crucial para asegurar una protección efectiva del motor contra sobrecargas. Los ingenieros y diseñadores deben tener en cuenta las especificaciones de la normativa, así como las características específicas de la aplicación, para seleccionar los dispositivos más adecuados y garantizar un funcionamiento seguro y confiable del sistema.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-Sede 2012 establece lineamientos técnicos claros para asegurar que los motores estén protegidos adecuadamente contra sobrecargas, reduciendo así el riesgo de daños en los equipos y aumentando su vida útil. Con dispositivos de protección como los relés térmicos y los guardamotors, se garantiza la protección efectiva del motor contra sobrecargas, contribuyendo a la seguridad y fiabilidad del sistema eléctrico.

2.5.2. Selección del dispositivo de protección contra sobrecarga.

La selección del dispositivo de protección contra sobrecarga es crucial en el diseño y la operación segura de los motores de inducción eléctrica, según la normativa mexicana NOM-001-Sede 2012. Este dispositivo garantiza la integridad del motor al detectar y desconectarlo en caso de que la corriente eléctrica exceda los límites seguros de funcionamiento.

Según lo establecido en la NOM-001-Sede 2012, la selección del dispositivo de protección contra sobrecarga debe realizarse de manera cuidadosa y precisa, teniendo en cuenta varios factores clave, como la potencia del motor, el tipo de carga, el entorno operativo y las condiciones ambientales. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes relacionados con la selección de este dispositivo:

1. **Potencia del motor:** La potencia nominal del motor, expresada en watts (W) o caballos de fuerza (HP), es un factor determinante en la selección del dispositivo de protección contra sobrecarga. La normativa establece que todos los motores de

- servicio continuo con una potencia superior a 746 watts (1 HP) deben estar protegidos contra sobrecargas.
2. Corriente nominal: La corriente nominal del motor, indicada en su placa de características, es otro parámetro esencial para la selección del dispositivo de protección contra sobrecarga. Este dispositivo debe ser sensible a la corriente del motor y ajustarse para desconectarlo cuando la corriente excede ciertos límites seguros.
 3. Tipo de carga: Dependiendo del tipo de carga que el motor deba manejar, se debe seleccionar el dispositivo de protección adecuado. Las cargas pueden ser de tipo resistivo, inductivo o capacitivo, y cada una presenta características específicas de corriente de arranque y operación que deben tenerse en cuenta al elegir el dispositivo de protección.
 4. Factor de servicio y temperatura de aumento: Algunos motores pueden tener un factor de servicio marcado de 1.15 o más, lo que significa que pueden operar a una corriente por encima de su valor nominal durante períodos cortos sin sufrir daños. En estos casos, el dispositivo de protección debe ajustarse para tener en cuenta este factor. Además, la temperatura de aumento del motor también influye en la selección del dispositivo de protección.
 5. Medios de protección disponibles: La normativa especifica varios medios de protección contra sobrecargas que pueden utilizarse, como dispositivos separados de protección contra sobrecarga sensibles a la corriente del motor, relés térmicos bimetálicos, y contactores para el arranque y la parada del motor. Es importante evaluar las características y capacidades de cada medio de protección para seleccionar el más adecuado para la aplicación específica.

6. Normas y regulaciones aplicables: La selección del dispositivo de protección contra sobrecarga debe realizarse de acuerdo con las normas y regulaciones vigentes en México, como la NOM-001-Sede 2012. Es fundamental asegurarse de que el dispositivo seleccionado cumpla con todos los requisitos y estándares de seguridad establecidos en estas normativas.

Es fundamental contar con un conocimiento sólido de las especificaciones del motor, las características de la carga y las regulaciones aplicables para garantizar una protección efectiva y segura del motor en todas las condiciones de funcionamiento.

2.5.3. Protección térmica

La protección térmica de los motores de inducción eléctrica es fundamental para garantizar su operación segura y confiable, según la normativa mexicana NOM-001-Sede 2012. Esta protección evita el sobrecalentamiento del motor, que puede causarse por condiciones anormales de operación, como sobrecargas, arranques frecuentes o fallas en el sistema eléctrico. En esta redacción, exploraremos en detalle los requisitos y consideraciones relacionados con la protección térmica de los motores de inducción, de acuerdo con la normativa mexicana.

Según la NOM-001-Sede 2012, la protección térmica de los motores de inducción debe cumplir con ciertos lineamientos específicos para garantizar su eficacia y conformidad con los estándares de seguridad establecidos. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes relacionados con la protección térmica de los motores de acuerdo con esta normativa:

1. Dispositivos de protección térmica: La normativa exige que todos los motores de inducción estén equipados con dispositivos de protección térmica adecuados para evitar el sobrecalentamiento. Estos dispositivos pueden ser relés térmicos bimetálicos,

- sensores de temperatura u otros diseñados para monitorear la temperatura del motor y desconectarlo si excede límites seguros.
2. Ajuste de la protección térmica: Los dispositivos de protección térmica deben ajustarse correctamente para que respondan de manera adecuada a las condiciones de operación del motor. Esto incluye configurar los valores de disparo de acuerdo con la corriente nominal del motor, la clase de aislamiento y otros factores relevantes que puedan afectar la temperatura de funcionamiento.
 3. Sensibilidad a la temperatura: Los dispositivos de protección térmica deben ser lo suficientemente sensibles para detectar incluso pequeños incrementos de temperatura en el motor y tomar medidas preventivas para evitar el sobrecalentamiento. Esto es importante en aplicaciones donde el motor opera en condiciones adversas o cerca de su límite de capacidad.
 4. Integración con el sistema de control: Los dispositivos de protección térmica deben integrarse de manera adecuada con el sistema de control del motor para garantizar una respuesta rápida y efectiva ante condiciones de sobrecalentamiento. Esto puede implicar la conexión del dispositivo de protección térmica a un panel de control centralizado o a sistemas de monitoreo remoto para una supervisión continua del estado del motor.
 5. Mantenimiento y pruebas periódicas: La normativa también establece la importancia de realizar mantenimiento y pruebas periódicas en los dispositivos de protección térmica para asegurar su correcto funcionamiento y fiabilidad a lo largo del tiempo. Esto puede incluir la calibración regular de los dispositivos, la inspección visual de los componentes y la realización de pruebas de funcionamiento para verificar su operatividad.

6. Cumplimiento de normas y regulaciones: Es fundamental que los dispositivos de protección térmica instalados en los motores de inducción cumplan con todas las normas y regulaciones aplicables en México, como la NOM-001-Sede 2012. Esto garantiza que los motores estén protegidos de manera adecuada y cumplan con los estándares de seguridad establecidos por las autoridades competentes.

Mediante el cumplimiento de estas disposiciones, se puede garantizar la integridad y la durabilidad de los motores de inducción, así como la seguridad de las personas y las instalaciones donde operan.

2.5.4. Protección del alimentador de motores contra cortocircuito y fallas a tierra.

La protección del alimentador de motores contra cortocircuitos y fallas a tierra es un aspecto fundamental en el diseño y la instalación de sistemas eléctricos que incluyen motores de inducción. La normativa mexicana NOM-001-Sede 2012 establece lineamientos específicos para garantizar la seguridad y la fiabilidad de estos sistemas, protegiendo tanto los motores como el sistema eléctrico en su conjunto. En esta redacción, exploraremos en detalle los requisitos y consideraciones relacionados con la protección del alimentador de motores contra cortocircuitos y fallas a tierra de acuerdo con esta normativa.

La NOM-001-Sede 2012 establece que todos los sistemas eléctricos que incluyan motores de inducción deben contar con protección adecuada contra cortocircuitos y fallas a tierra en el alimentador que suministra energía a estos motores. Esta protección busca evitar daños en los equipos y prevenir riesgos para la seguridad de las personas que trabajan con estos sistemas.

Para cumplir con los requisitos de la normativa, es necesario instalar dispositivos de protección contra cortocircuitos y fallas a tierra en el alimentador de los motores. Estos dispositivos pueden ser interruptores automáticos termomagnéticos, interruptores de falla a tierra

o dispositivos de protección combinados que proporcionen protección contra ambos tipos de fallas.

Uno de los aspectos clave que establece la normativa es la capacidad de corriente nominal de los dispositivos de protección. Según la NOM-001-Sede 2012, los dispositivos de protección instalados en el alimentador de motores deben soportar la corriente nominal máxima del sistema sin sufrir daños ni activarse incorrectamente. Esto garantiza que los dispositivos de protección sean tan robustos como para proteger eficazmente el sistema eléctrico en caso de falla.

Además, la normativa establece que los dispositivos de protección contra cortocircuitos y fallas a tierra deben coordinarse adecuadamente con otros dispositivos de protección presentes en el sistema eléctrico. Esto incluye dispositivos de protección instalados en otros circuitos, así como dispositivos de protección específicos para motores, como relés térmicos y guardamotores. En cuanto a la selección y la instalación de los dispositivos de protección, la normativa exige que estos sean adecuados para las condiciones de operación específicas del sistema eléctrico y los motores que protegen. Esto incluye tener en cuenta factores como la corriente de arranque del motor, la carga máxima que puede soportar el sistema y las condiciones ambientales en las que opera el equipo.

Es importante destacar que la protección del alimentador de motores contra cortocircuitos y fallas a tierra no solo se refiere a la instalación de dispositivos de protección adecuados, sino también a la implementación de prácticas de mantenimiento y monitoreo regulares. Esto incluye la inspección visual de los equipos, la realización de pruebas de funcionamiento y la calibración periódica de los dispositivos de protección para garantizar su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO III. PROTECCIÓN CON RELEVADORES DIGITALES

3.1. INTRODUCCIÓN.

Los dispositivos modernos de protección, conocidos como relevadores de protección con microprocesadores o relevadores digitales, están experimentando una creciente aceptación en el campo de la protección de motores eléctricos. Esta tendencia se debe a que los relevadores digitales ofrecen una amplia gama de capacidades, incluyendo funciones de protección, medición, control y supervisión, todo integrado en un solo dispositivo. Esta evolución ha transformado el enfoque convencional de las protecciones eléctricas al incorporar lógica de protección en forma de software, lo que brinda una mayor flexibilidad para la implementación de nuevas técnicas de protección.

Desde su surgimiento, se han desarrollado y probado numerosos algoritmos para los relevadores digitales. Algunos de estos algoritmos permiten que los relevadores sean adaptables, ajustándose automáticamente a las condiciones específicas del motor eléctrico o del sistema de potencia en el que están instalados. Esto se logra gracias a la inteligencia artificial integrada en los relevadores, lo que les permite identificar y responder a las fallas con mayor eficiencia.

Además, la capacidad de comunicación de los relevadores digitales facilita la interacción con otros dispositivos similares o con estaciones de monitoreo y control, tanto localmente como de forma remota. Esto permite una supervisión continua y proporciona más información sobre el estado del sistema de potencia. Estas características convierten a los relevadores de protección digitales en elementos fundamentales dentro de la infraestructura de automatización y control de los sistemas de potencia, desempeñando un papel clave en la protección de motores eléctricos.

3.2. COMPOSICIÓN DE LOS RELEVADORES DIGITALES .

Los relevadores digitales han transformado la forma en que se protegen y monitorean los motores de inducción en la industria moderna. La composición de estos dispositivos es compleja y multifuncional, diseñada para maximizar la eficacia en la detección y prevención de fallos eléctricos, así como para facilitar la integración con sistemas de gestión de energía y automatización industrial.

*Figura 24.
Relevador digital.*



Imagen obtenida de directindustry. – Fabricante.

A continuación, se detallan los componentes clave y las funcionalidades de un relevador digital típico para motores de inducción:

1. Unidad de Procesamiento: El corazón de un relevador digital es su microprocesador, que ejecuta software avanzado capaz de procesar señales, ejecutar algoritmos de protección y tomar decisiones en tiempo real. Este procesador gestiona todas las funciones del relevador, desde la supervisión de parámetros hasta la ejecución de comandos de control.

2. Interfaces de entrada y salida: Los relevadores digitales están equipados con múltiples entradas y salidas tanto analógicas como digitales. Las entradas recogen señales de diversos sensores que miden corrientes, voltajes y otras variables relevantes del motor. Las salidas, por otro lado, se utilizan para enviar comandos a dispositivos externos, como interruptores, para aislar el motor en caso de detectar condiciones de funcionamiento anormales.

3. Módulos de comunicación: Para integrarse eficientemente con otros sistemas de control y monitoreo, los relevadores digitales incluyen módulos de comunicación que soportan diversos protocolos industriales, como Modbus, Profibus, o Ethernet/IP. Estos módulos permiten el intercambio de datos y alarmas con sistemas de control centralizados, facilitando una gestión integral y remota.

4. Software de configuración y diagnóstico: Los relevadores digitales vienen acompañados de software que permite a los usuarios configurar ajustes de protección, personalizar parámetros y diagnosticar problemas. Este software también puede ser utilizado para actualizar el firmware del relevador, añadir nuevas funcionalidades y analizar datos históricos para mantenimiento predictivo.

5. Pantalla y elementos de interfaz de usuario: Muchos relevadores digitales cuentan con pantallas que muestran información vital sobre el estado del motor y del propio relevador. Interfaces de usuario como botones o pantallas táctiles permiten a los operadores interactuar directamente con el dispositivo para realizar ajustes manuales o verificar el estado del sistema.

La comprensión profunda de estos componentes y su integración funcional es crucial para optimizar la protección y eficiencia de los motores de inducción en entornos industriales. Los relevadores digitales no solo proporcionan una barrera de seguridad avanzada sino que también contribuyen significativamente a la gestión inteligente y eficiente de la energía en las operaciones industriales modernas.

3.3. ANALISIS DE DATOS Y OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN MEDIANTE RELEVADORES DIGITALES.

Los relevadores digitales han revolucionado la forma en que se analizan y optimizan las operaciones de los motores de inducción en diversos entornos industriales. Estos dispositivos avanzados no solo protegen los motores contra fallas y sobrecargas, sino que también recopilan una gran cantidad de datos operativos que pueden aprovecharse para mejorar la eficiencia y la fiabilidad del sistema. En este contexto, el análisis de datos y la optimización de la operación de los motores se convierten en aspectos cruciales para maximizar el rendimiento y reducir los costos de mantenimiento.

Uno de los principales beneficios de los relevadores digitales es su capacidad para recopilar datos en tiempo real sobre variables clave del motor, como corriente, voltaje, temperatura y frecuencia. Estos datos son fundamentales para identificar tendencias, anomalías y posibles problemas de rendimiento antes de que se conviertan en fallas costosas. Al analizar estos datos de manera sistemática, los ingenieros pueden detectar patrones de operación y tomar medidas proactivas para optimizar el funcionamiento del motor.

Además del monitoreo continuo, los relevadores digitales también ofrecen herramientas avanzadas de análisis de datos, como el registro de eventos y la generación de informes automáticos. Estas características permiten a los operadores y técnicos revisar el historial de operación del motor, identificar eventos críticos y realizar un análisis de causa raíz para abordar las posibles causas subyacentes de problemas recurrentes. Al comprender mejor el comportamiento del motor a lo largo del tiempo, las organizaciones pueden implementar estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo más efectivas, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado y optimizando la disponibilidad operativa.

La optimización de la operación de los motores mediante relevadores digitales también implica la implementación de algoritmos y estrategias de control avanzadas. Estos dispositivos pueden ajustar dinámicamente los parámetros de operación del motor en función de las condiciones del sistema y los requisitos de carga, lo que permite una gestión más eficiente de la energía y una respuesta más rápida a cambios en la demanda. Por ejemplo, los relevadores digitales pueden optimizar la velocidad de arranque, el nivel de corriente y el ciclo de trabajo del motor para minimizar el consumo de energía y reducir el desgaste mecánico durante las operaciones de carga variable.

Para respaldar estas afirmaciones, diversos estudios han demostrado los beneficios tangibles de utilizar relevadores digitales para el análisis de datos y la optimización de la operación de motores de inducción. Por ejemplo, un informe publicado por la Asociación Internacional de Protección de Motores (IAMP) destacó el papel crucial de los relevadores digitales en la protección y gestión eficiente de motores de inducción en entornos industriales exigentes.

3.4. CONFIGURACIÓN Y PERSONALIZACIÓN DE RELEVADORES DIGITALES.

La configuración y personalización de relevadores digitales juega un papel crucial en la protección efectiva de motores de inducción. Estos dispositivos ofrecen una amplia gama de funciones y capacidades que pueden adaptarse a las necesidades específicas de cada aplicación. A continuación, se describen los principales aspectos relacionados con la configuración y personalización de relevadores digitales:

1. Selección de parámetros de protección: Los relevadores digitales permiten configurar una variedad de parámetros de protección, como corriente de sobrecarga, corriente de cortocircuito, tiempo de retardo y características de disparo. Estos parámetros deben

ajustarse cuidadosamente según las características del motor y las condiciones de operación para garantizar una protección adecuada.

Figura 25.

Gráfica sobre las características de disparo de rUn relevador digital (clase 10,20 y30)

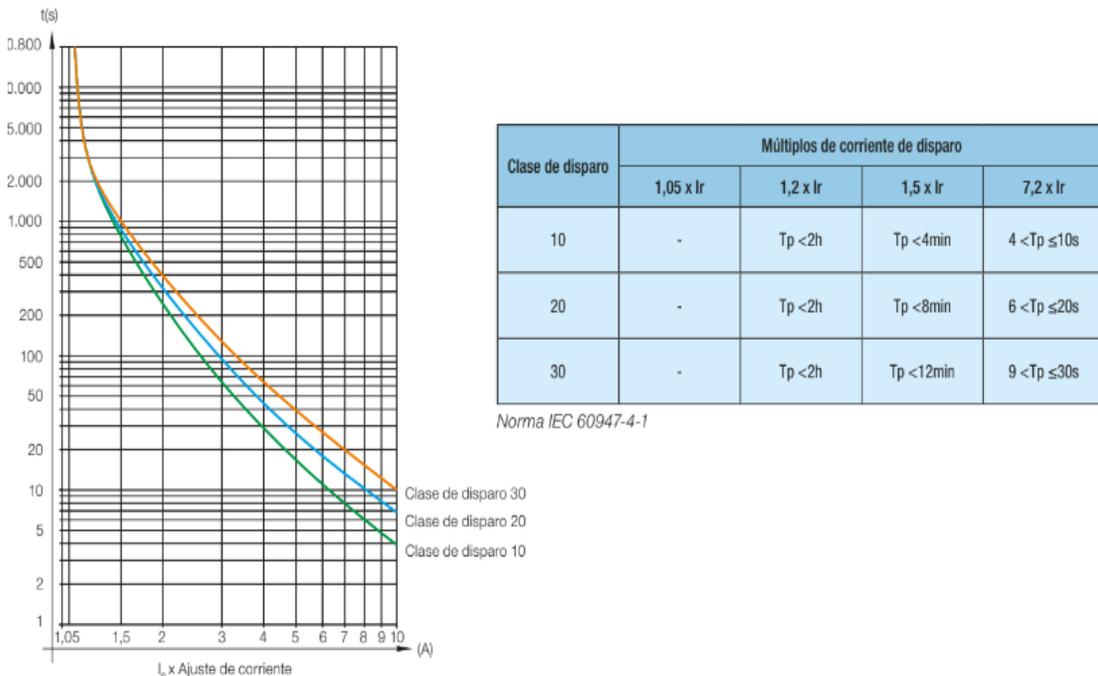


Imagen obtenida de WEG. (2018). Relés de Sobrecarga Electrónica.

2. Adaptación a las características del motor: Los relevadores digitales pueden adaptarse a las características específicas del motor, como su corriente nominal, factor de servicio y clase de aislamiento. Esto permite una protección más precisa y eficiente, minimizando el riesgo de disparos innecesarios o falsas alarmas.
3. Personalización de funciones avanzadas: Además de las funciones básicas de protección, los relevadores digitales ofrecen una serie de características avanzadas que pueden personalizarse según los requisitos de la aplicación. Estas funciones incluyen la detección de desequilibrios de fase, la supervisión de la calidad de la energía, la comunicación remota y la integración con sistemas de control de procesos.

4. Interfaz de usuario intuitiva: La configuración y personalización de relevadores digitales se facilita mediante interfaces de usuario intuitivas y amigables. Estas interfaces permiten a los usuarios acceder fácilmente a los parámetros de configuración, realizar ajustes en tiempo real y visualizar información relevante sobre el estado y la operación del relevador.
5. Actualizaciones de firmware: Los fabricantes de relevadores digitales suelen ofrecer actualizaciones de firmware periódicas para mejorar el rendimiento y añadir nuevas funciones. Estas actualizaciones pueden realizarse de forma remota o mediante la conexión física del relevador a un ordenador, garantizando que el dispositivo esté siempre actualizado y protegido contra vulnerabilidades de seguridad.

Al ajustar cuidadosamente los parámetros de protección y aprovechar las funciones avanzadas disponibles, es posible optimizar el rendimiento y la seguridad de los sistemas eléctricos.

CAPÍTULO IV. PRÁCTICAS DE APLICACIÓN CON EL MÓDULO DE LABORATORIO

4.1. INTRODUCCIÓN.

Las prácticas de laboratorio son esenciales para comprender y aplicar la teoría de protección de motores de inducción. Las que permiten al alumno poner en práctica lo que ha aprendido y experimentar de primera mano cómo funcionan los sistemas de protección de motores de inducción en la práctica. Además, las prácticas de laboratorio permiten experimentar con diferentes configuraciones y parámetros de protección de motores para entender cómo afectan al funcionamiento del motor. En resumen, las prácticas de laboratorio son esenciales para comprender y aplicar la teoría de protección de motores de manera efectiva, ya que te permiten experimentar de primera mano con los sistemas de protección y entender cómo funcionan en la práctica.

Con lo anterior dicho, se presenta una serie de prácticas de laboratorio para la protección de motores de inducción basado en la metodología mostrada en este trabajo y que ayudará a los estudiantes como docentes de ingeniería eléctrica y electrónica en entender y observar el funcionamiento de las protecciones mediante prácticas de laboratorio con el módulo de protección para motores de inducción, el cual, está disponible en el laboratorio L3 de la FES Aragón.

4.2 PRÁCTICA 1. MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

4.2.1. OBJETIVO.

La práctica de laboratorio sobre el módulo didáctico para la protección de motores de inducción tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y protección de los motores de inducción. Algunos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los motores de inducción: los estudiantes podrán entender cómo los motores de inducción convierten la energía eléctrica en energía mecánica, y cómo los diferentes componentes del motor trabajan para lograr esto.
2. Familiarizarse con los diferentes tipos de protección del motor: Los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de protección del motor, como la protección contra sobrecargas, la protección contra cortocircuitos y la protección contra falta de fase, y cómo se implementan en un motor de inducción.
3. Aprender a utilizar equipos de prueba y medición: Los estudiantes aprenderán a utilizar equipos de prueba y medición para verificar el funcionamiento del motor, como voltímetro, amperímetro y osciloscopios.

4.2.2 MATERIAL.

Los materiales que se necesitan para la realización de esta práctica son:

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 vCA) EMS 8821

Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla. EMS 822

Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.

Cables de conexión. EMS 8941

Módulo de medición CA. (100/250V) EMS 8426

Todo material descrito está disponible en el laboratorio L3 ubicado por su código de identificación (EMS XXXX).

4.2.3. DESARROLLO.

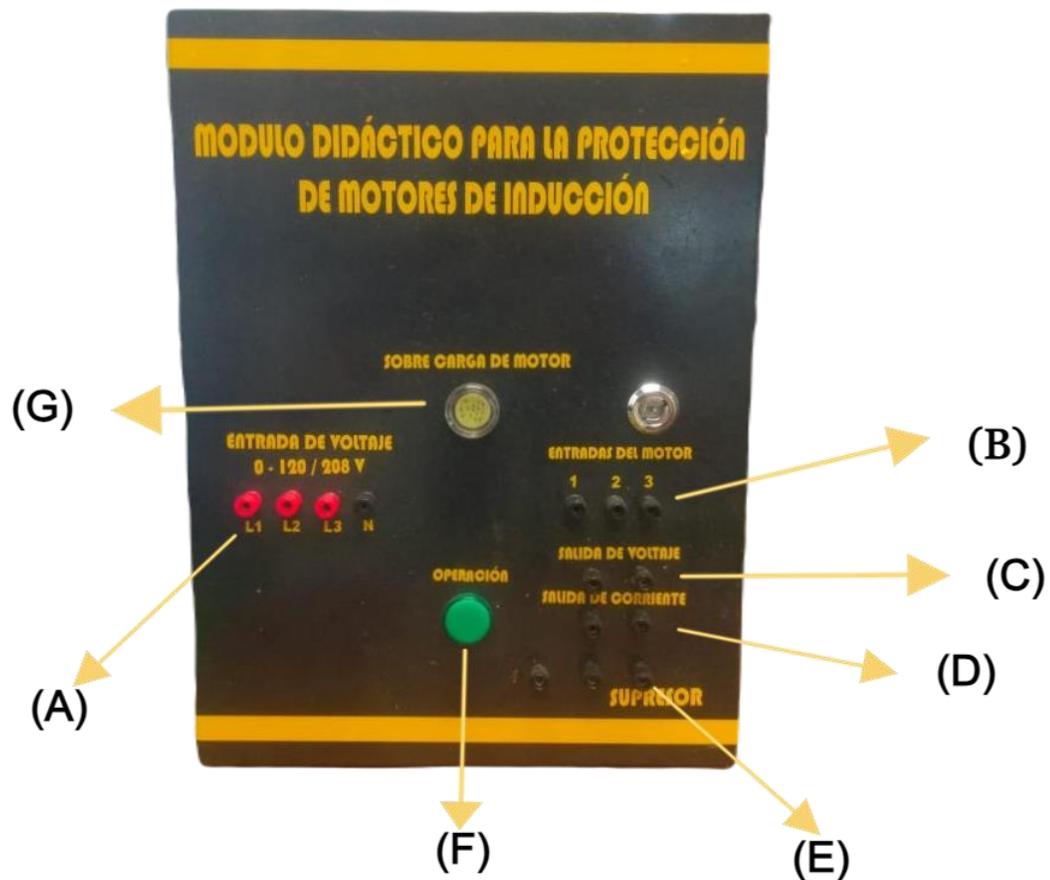
Experimento 1.

1. Examine las terminales de conexión de la parte exterior del módulo didáctico e identifique lo siguiente:

- A. Entrada de voltaje 0-120/208 Vac.
- B. Entrada para motor jaula de ardilla
- C. Salida de voltaje
- D. Salida de corriente
- E. Terminal para el supresor
- F. Luz indicadora de operación
- G. Luz indicadora de sobrecarga

Figura 50.

Portada del módulo didáctico para la protección de motores de inducción.

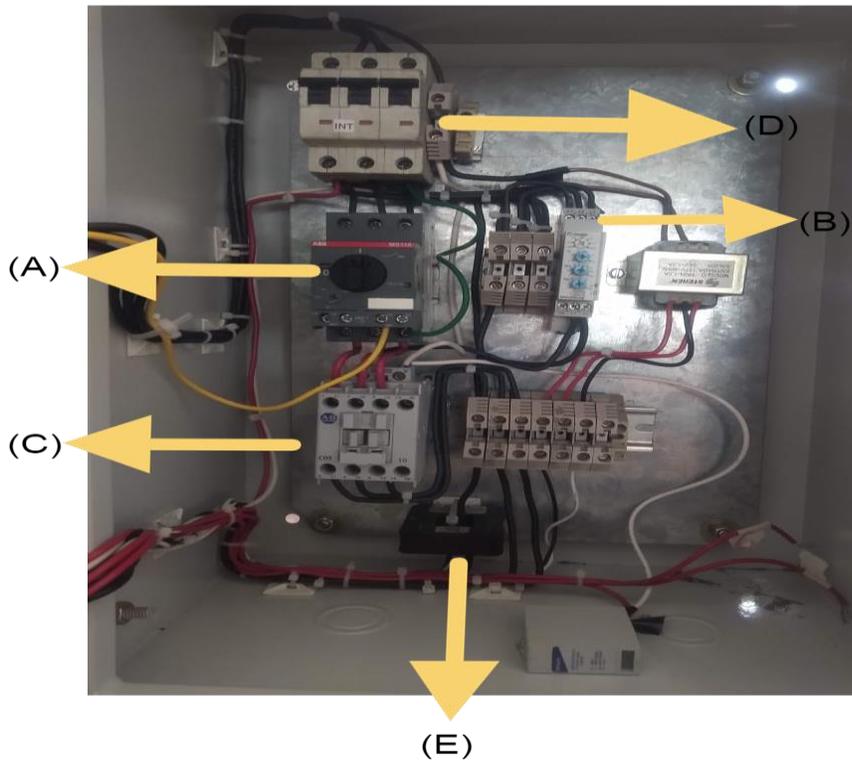


2. Ahora examine la construcción interna del módulo didáctico para la protección de motores de inducción e identifique lo siguiente:

- A. Guardamotor
- B. Relé de monitoreo
- C. Contactor trifásico
- D. Interruptor termomagnético
- E. Transformador de corriente (TC's)

Figura 51.

Elementos internos del módulo didáctico para la protección de motores de inducción.



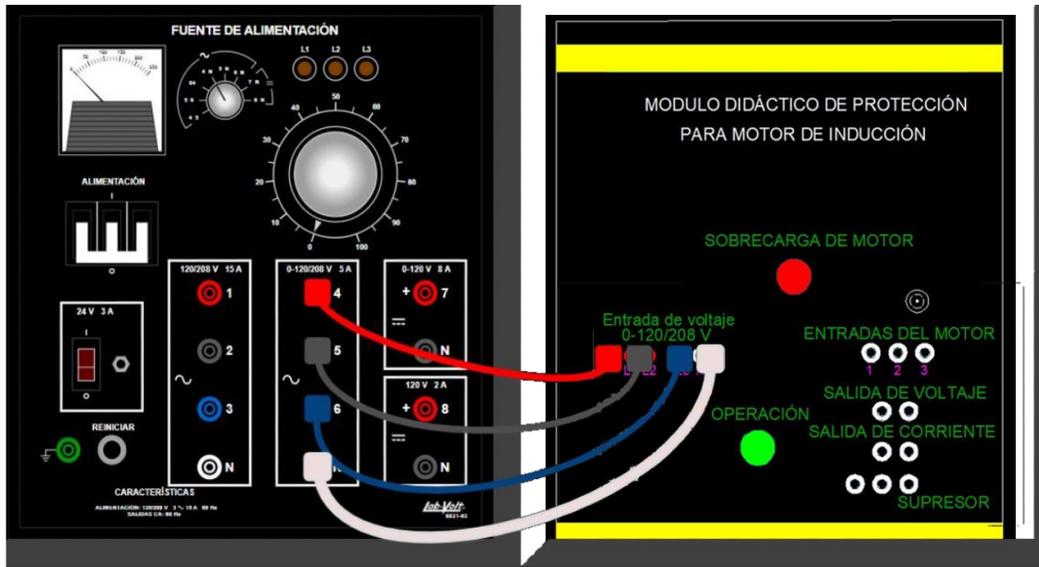
Experimento 2.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

1. Realicé la conexión de la fuente de alimentación de 0-120/208V- 5A con el módulo didáctico de protección para motores de inducción. Conecte las terminales 4,5,6 y N de la fuente de alimentación a las terminales L1, L2, L3 Y N del módulo didáctico, respectivamente.

Figura 52.

Imagen ilustrativa de la conexión entre la fuente de alimentación y el módulo didáctico de protecciones.



2. Realicé una conexión en paralelo entre las terminales L1 y L2 del módulo didáctico para la protección de motores de inducción a la entrada y salida del voltímetro con un rango de 250V.

Figura 53.

Imagen ilustrativa de la conexión entre el voltímetro y el módulo didáctico de protecciones.

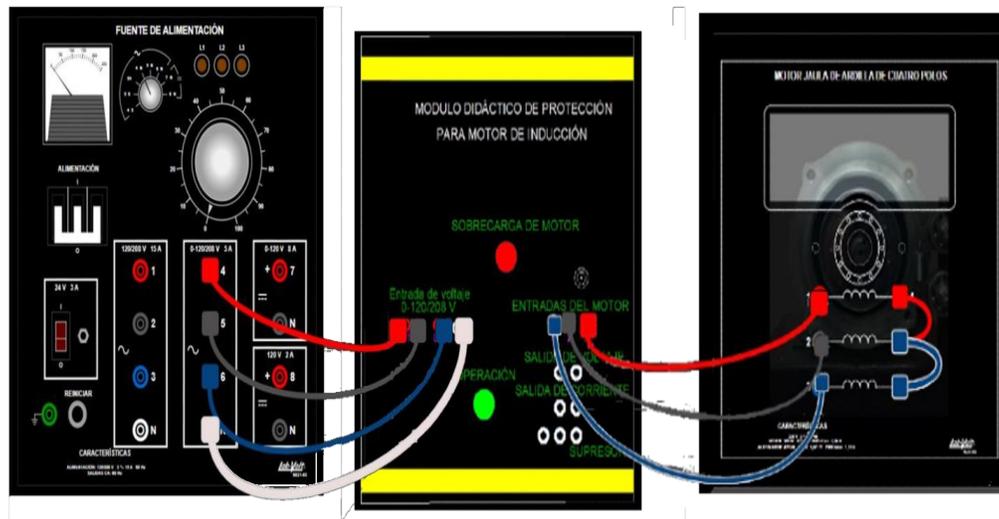


3. Conecté el devanado principal del motor de inducción jaula de ardilla (terminales 1,2 y 3) a las terminales de entrada del motor (1,2 y 3) en el módulo didáctico de protecciones para motores de

inducción. En el devanado secundario (terminales 4,5 y 6), realicé una conexión en estrella como se muestra en la figura 54.

Figura 54.

Imagen ilustrativa de la conexión entre el motor jaula de ardilla y el módulo didáctico de protecciones.



4. Encienda la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje hasta que el voltímetro marque 208Vac.

5. Una vez que el motor esté operando en condiciones normales, desconecte la terminal 4 de la fuente de alimentación, luego reduzca el voltaje a 0v y apague la fuente de alimentación.

¿Qué le sucedió al motor jaula de ardilla cuando se desconectó la terminal 4?

Cuando se desconectó la terminal 3 de la fuente de alimentación, el motor jaula de ardilla dejó de funcionar inmediatamente debido a la interrupción del suministro eléctrico en una de sus fases. Está pérdida de fase provocó que el motor no pudiera mantener su operación normal, resultando en una parada abrupta del mismo. Además, el módulo de protección detectó esta anomalía y actuó para desconectar el motor completamente, evitando así posibles daños adicionales.

6. Reconecta la terminal 4 de la fuente de alimentación. Luego abre el gabinete del módulo didáctico de protección para motores de inducción. Enciende la fuente de alimentación y ajusta el voltaje hasta que el voltímetro indique 208Vac. Después, desconecta la terminal 5 de la fuente de alimentación.

7. Una vez que el motor se detenga tras la desconexión de la terminal 5, reduce el voltaje de la fuente de alimentación a 0V y apágala. Responda a las siguientes preguntas:

¿Qué elemento de protección se activa cuándo se desconecta alguna fase?

Al desconectar una fase, se activa el guardamotor. Este dispositivo está diseñado para detectar la pérdida de fase y proteger al motor, desconectándolo para prevenir daños

¿Por qué el voltímetro no mostró cambios significativos en su lectura?

Si el voltímetro no muestra un cambio de medición al desconectar una fase, es posible que esté midiendo el voltaje entre las fases restantes, que podrían estar equilibradas. También podría ser que el sistema de protección esté compensando la pérdida de fase, manteniendo el voltaje dentro de un rango nominal.

¿Qué cambios observó en la corriente y el comportamiento del motor después de la desconexión de una fase?

Después de la desconexión de una fase, la corriente en las fases restantes aumentó significativamente, llevando al motor a operar de manera inestable y desbalanceada. Esto provocó vibraciones y un incremento en la temperatura del motor.

Además del guardamotor, ¿qué otro elemento del módulo didáctico se activó y cuál fue su función específica?

Además del guardamotor, el contactor también se activó. Su función fue interrumpir la corriente hacia el motor una vez que el guardamotor detectó la sobrecorriente y emitió la señal de disparo. Esto

aseguró que el motor se desconectara completamente de la fuente de alimentación, protegiéndolo de daños adicionales.

Experimento 3.

8. Con la fuente de alimentación apagada, intercambie las terminales 5 y 6 de la fuente de alimentación. Esta acción tiene como propósito observar el comportamiento del motor cuando se expone a una secuencia incorrecta de fases.

9. Verifique que todos los componentes del módulo didáctico de protección para motores de inducción están correctamente instalados.

10. Encienda nuevamente la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje hasta alcanzar 208Vac. Una vez alcanzado este valor, reduzca inmediatamente el voltaje a 0Vac, apague la fuente de alimentación y responda las siguientes preguntas:

¿Cuál fue el comportamiento del motor cuándo se intercambió las fases?

Al intercambiar las fases, se observó que el motor comenzó a girar en la dirección opuesta. En algunos casos, se escucharon ruidos inusuales y se notaron vibraciones. El motor pudo haber tenido dificultades para arrancar correctamente o, si estuviera bajo carga, pudo haber enfrentado problemas para mover la carga.

Explique el motivo por el cual el motor no pudo operar con las fases intercambiadas.

El motor no pudo operar correctamente con las fases intercambiadas porque la inversión de las fases cambió el sentido de rotación del motor. Los motores de inducción están diseñados para girar en una dirección específica, y al invertir las fases, el campo magnético rotatorio también se invierte. Esto provoca que el motor intente girar en la dirección opuesta, lo que puede resultar en problemas como dificultad para arrancar, sobrecalentamiento o daños si el motor está bajo carga.

¿Qué elemento de protección interviene para proteger al motor de una falla de secuencia incorrecta y cuál fue su función específica?

El monitor de secuencia de fases (MMWUA Monitoring Relay) es el dispositivo que protege al motor de una secuencia incorrecta de fases. Si detecta que las fases no están conectadas en el orden correcto, el monitor apaga el suministro de energía al motor. Esto evita que el motor funcione de manera incorrecta y previene posibles daños o fallos debido a la rotación en sentido opuesto. Es una medida de seguridad para asegurar que el motor funcione solo bajo condiciones adecuadas.

11. Repetir el experimento con el módulo didáctico abierto para observar el comportamiento del monitor de secuencia de fases (MWUA). Encienda la fuente de alimentación y proceda a intercambiar las fases 4 y 5. Mientras realiza este cambio, monitoree atentamente el MWUA para detectar si reconoce la secuencia incorrecta.

12. Una vez completada la observación con la secuencia de fases incorrecta, restablezca las fases al orden correcto. Repita el experimento para evaluar cómo el sistema responde con la secuencia correcta. Responda las siguientes preguntas

¿Cómo respondió cada dispositivo de protección al cambio en la secuencia de fases?

Durante el experimento con la secuencia de fases incorrecta, el monitor de secuencia de fases (MWUA) detectó el cambio y activó su función de protección, desconectando el suministro de energía al motor. El guardamotor podría haber intervenido, registrando una sobrecarga si el motor intentaba operar bajo condiciones incorrectas. El interruptor termomagnético podría haber intervenido si se detectó un sobrecalentamiento.

¿Cómo respondió cada dispositivo de protección al cambio en la secuencia de fases?

Con la secuencia correcta de fases, los dispositivos de protección funcionaron dentro de sus parámetros normales. El MWUA permitió el funcionamiento del motor sin interrupciones. La corriente

medida por el sensor fue estable. En contraste, con la secuencia incorrecta, el MWUA desconectó el motor para prevenir daños.

4.3 PRÁCTICA 2. PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE.

4.3.1. OBJETIVO.

En esta práctica de laboratorio de protección contra bajo voltaje tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y la protección de los equipos eléctricos contra bajadas de voltaje. Algunos de estos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los equipos de protección contra bajo voltaje: los estudiantes podrán entender cómo los equipos de protección contra bajo voltaje detectan las bajadas de voltaje y desconectan los equipos eléctricos de la fuente de alimentación para evitar daños.
2. Familiarizarse con los diferentes tipos de equipos de protección contra bajo voltaje: los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de equipos de protección contra bajo voltaje, como los relés de protección y contactores, cómo se utilizan para proteger los equipos eléctricos.
3. Adquirir conocimientos sobre las normas de seguridad eléctrica: los estudiantes aprenderán sobre las normas de seguridad eléctrica y las precauciones necesarias para trabajar con equipos eléctricos, incluyendo la selección y uso de herramientas y equipos de protección personal.

4.3.2 MATERIAL.

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 vCA)	EMS 8821
Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla.	EMS 8221
Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.	
Cables de conexión.	EMS 8941
Módulo de medición CA. (100/250 V).	EMS 8426
Módulo de medición CA (0.5/8.0 A)	EMS 8425
Osciloscopio	
Puntas atenuadoras	
Caimanes	

Todo material descrito está disponible en el laboratorio L3 ubicado por su código de identificación (EMS XXXX).

4.3.3 DESARROLLO.

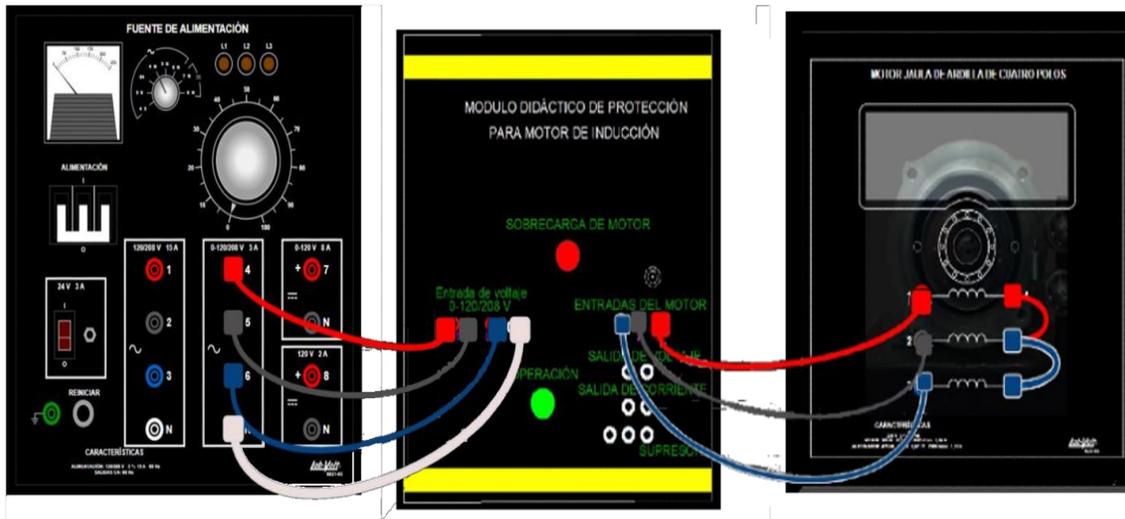
¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Realice el siguiente circuito eléctrico como se muestra en la siguiente ilustración.

Figura 55.

Conexión base para la fuente de alimentación y motor jaula de ardilla al módulo didáctico de protección.



2. Conecté la terminal L1 y L2 del módulo didáctico para la protección de motores a la entrada y salida de un voltímetro respectivamente con un rango de 250V.

3. Conecte el amperímetro en serie entre la terminal L1 y la terminal de entrada del motor 1 en el módulo didáctico para la protección de motores. Para ello, desconecte el cable L1 y 1 de la entrada del motor. Conecte un extremo del amperímetro (rango 8A) a L1 y el otro a la terminal 1 de la entrada del motor.

4. Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje gradualmente hasta alcanzar 208 Vac. Una vez que el motor esté funcionando normalmente, reduzca el voltaje a 150Vac (aproximadamente el 75% del voltaje inicial).

¿Qué ocurrió con el motor cuándo se bajó el voltaje?

Al reducir el voltaje aplicado al motor de inducción, se observó una disminución en la velocidad del motor. Con el voltaje reducido, el motor no puede alcanzar su velocidad nominal, resultando en una operación más lenta. Además, el par motor disponible se reduce, lo que puede afectar su capacidad para mantener la carga conectada, posiblemente llevando a una incapacidad para mantener el movimiento y, en casos extremos, a una parada si la carga es excesiva.

5. Con el motor jaula de ardilla detenido, desconecte y baje el voltaje a 0V de la fuente de alimentación. Con precaución, abra el gabinete del módulo didáctico e identifique el relé de monitoreo (MWUA).

6. Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 208 Vac. Una vez que el motor esté operando de manera normal, reduzca el voltaje a 100Vac y observe cómo el relé de monitoreo comienza a temporizar. Registre el corriente medido por el amperímetro y el tiempo exacto en el que el elemento de protección actúa para desconectar el motor.

$$I_{100vac} : \approx 2.5A$$

Tiempo de respuesta: 5 segundos

7. Repita el experimento con los siguientes diferentes niveles de voltaje: 180Vac, 150Vac, 120Vac, para obtener una comprensión más completa de cómo el motor responde a variaciones en el voltaje y cómo los dispositivos de protección intervienen en cada caso. Completa la siguiente tabla comparativa registrando tanto el tiempo de actuar del relé de monitoreo cómo el amperaje de cada variación.

VOLTAJE	TIEMPO DE ACTUAR DEL RELE	AMPERAJE
180Vac	15-20 Seg.	1.8 A
150Vac	10-15 Seg.	2.2 A
120Vac	5-10 Seg.	2.7 A

8. Para concluir con la práctica baje el voltaje a 0 V, desconecte la fuente de alimentación y cierre el gabinete del módulo didáctico.

Experimento 2.

9. Con el circuito eléctrico armado de la práctica anterior. Conecte las puntas atenuadoras del osciloscopio a las terminales de salida de voltaje del módulo didáctico de protecciones para motores.

Asegúrese de que las puntas estén correctamente ajustadas y conectadas; puede utilizar caimanes (figura 56) para una lectura precisa.

Figura 56.

Imagen ilustrativa de la conexión entre el osciloscopio y el módulo didáctico de protecciones.



10. Encienda la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje hasta alcanzar 208V. Observe la forma de onda en el osciloscopio donde indica que el motor está operando en condiciones normales.

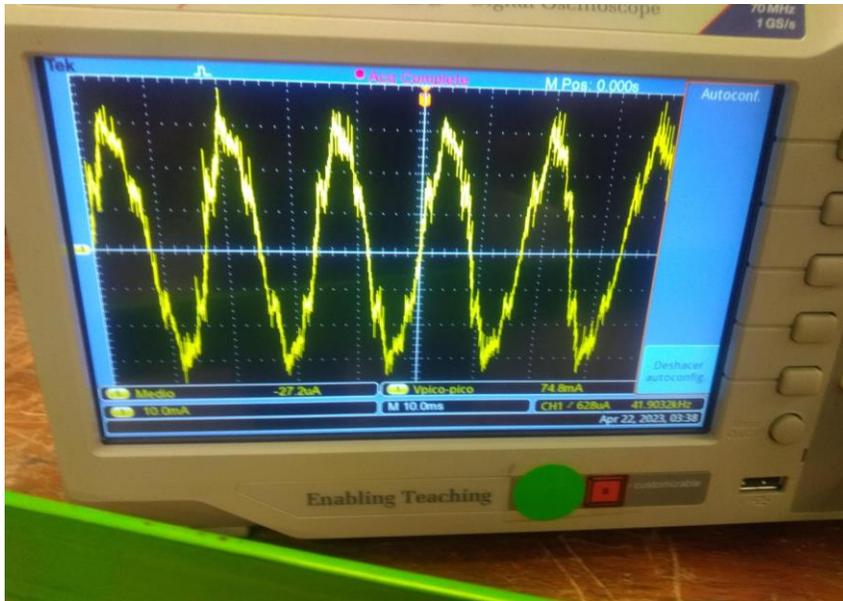
11. Con el motor operando en condiciones normales a 208V, utilice la tecla “Autoscan” del osciloscopio para ajustar automáticamente la visualización de la forma de onda de voltaje. Registre esta forma de onda como la referencia para operación normal.

12. Reduzca gradualmente el voltaje mientras observa la forma en el osciloscopio. Continúe bajando el voltaje hasta que el relé de monitoreo (MWUA) temporice y desconecte el motor. Observe y registre la forma de onda de voltaje durante el proceso.

13. Utilice la tecla “Single” del osciloscopio para capturar la forma de onda justo antes de que el relé de monitoreo accione y desconecte el motor. Esto asegurará que la forma de onda no se altere durante la desconexión. Realice un dibujo de la forma de onda obtenida en condiciones de bajo voltaje.

Figura 57.

Forma de onda obtenida de n bajo voltaje y con zoom para su mejor visualización.



14. Apague la fuente de alimentación y reduzca el voltaje a 0V. Desconecte la fuente de alimentación y retire las conexiones del osciloscopio, amperímetro y voltímetro.

4.4 PRÁCTICA 3. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA.

4.4.1 OBJETIVO.

La práctica de laboratorio de protección contra sobrecarga tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y la protección de los equipos eléctricos contra sobrecargas. Algunos de estos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los equipos de protección contra sobrecarga: los estudiantes podrán entender cómo los equipos de protección contra sobrecarga detectan el aumento de corriente en los equipos eléctricos y desconexión de la fuente de alimentación para evitar daños.

2. Familiarizarse con los diferentes tipos de equipos de protección contra sobrecarga: los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de equipos de protección contra sobrecarga, como los relés térmicos, los interruptores automáticos y los fusibles, y cómo se utilizan para proteger los equipos eléctricos.

4.4.2 MATERIAL.

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 vCA)	EMS 8821
Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla.	EMS 8221
Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.	
Cables de conexión.	EMS 8941
Módulo de medición CA. (250/250/250 V).	EMS 8426
Módulo de medición CA (0.5/8.0 A)	EMS 8425
Electrodinamómetro	EMS 8911
Módulo de resistencias variables	EMS 8311
Máquina sincrónica	EMS 8241

Todo material descrito está disponible en el laboratorio L3 ubicado por su código de identificación (EMS XXXX).

4.4.3. DESARROLLO.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Conecte las terminales L1, L2, L3 y N del módulo didáctico de protección a las terminales 4, 5, 6 y N de la fuente de alimentación 0-120/208V, 5A. A continuación, conecte las terminales L1 y L2 del módulo didáctico de protección a la entrada y salida del voltímetro con un rango de 250V.

2. Retire las carátulas de protección del motor de inducción jaula de ardilla y del electrodinamómetro utilizando un destornillador. Acople la banda entre el motor y el electrodinamómetro para permitir la transferencia de carga. Al terminar vuelva acoplar las carátulas.

Figura 58.

Acoplamiento de la banda entre el motor jaula de ardilla y el electrodinamómetro.



3. En el devanado secundario del motor de inducción jaula de ardilla, realice una conexión en estrella conectando las terminales 4, 5 y 6. En el devanado primario, conecte la terminal 1 a la salida del amperímetro con un rango de 8A y seguidamente conecte la entrada del amperímetro al módulo didáctico de protección. Conecte las terminales 2 y 3 del devanado principal del motor jaula de ardilla a las terminales correspondientes del módulo didáctico de protección.

Figura 59.

Conexión base para el motor jaula de ardilla, el amperímetro y el módulo didáctico de protección para motores.



4. Conecte las terminales 8 y N de la fuente de alimentación de 120V, 2A al electrodinamómetro para suministrar la energía necesaria para su funcionamiento.

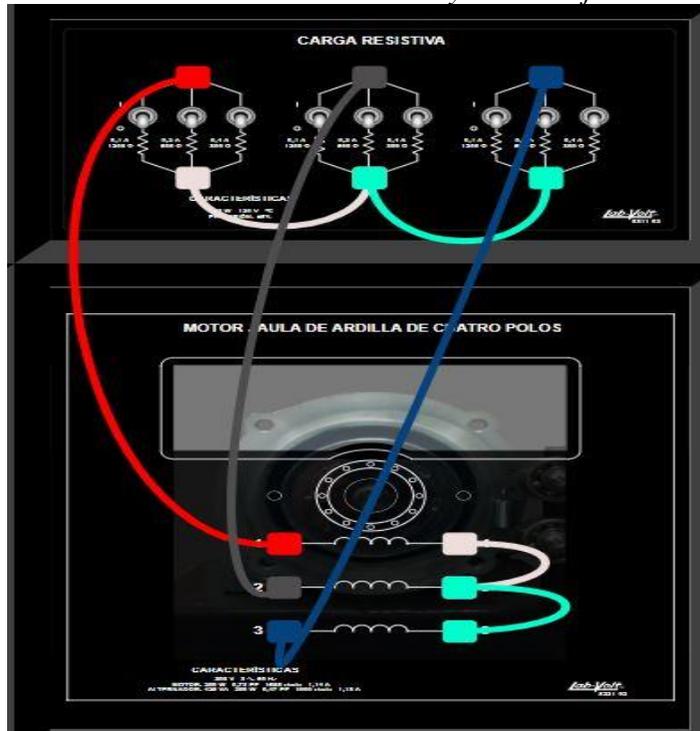
Figura 60.
Conexión base para la fuente de alimentación y el electrodinamómetro



5. En el devanado primario del motor jaula de ardilla, realice una conexión en paralelo con el módulo de resistencia variable. En el devanado secundario del módulo de resistencia, realice una conexión en estrella similar a la del motor (véase figura 61).

Figura 61.

Conexión entre el módulo resistivo y el motor jaula de ardilla



6. Utilice la perilla de control del electrodinamómetro para fijar un valor de carga del 55%. Asegúrese de que todas las conexiones estén correctas y seguras antes de encender la fuente de alimentación.

7. Encienda la fuente de alimentación y aumente el voltaje gradualmente hasta alcanzar 208V. Una vez que el motor esté operando en condiciones normales, anote el corriente mostrado en el amperímetro.

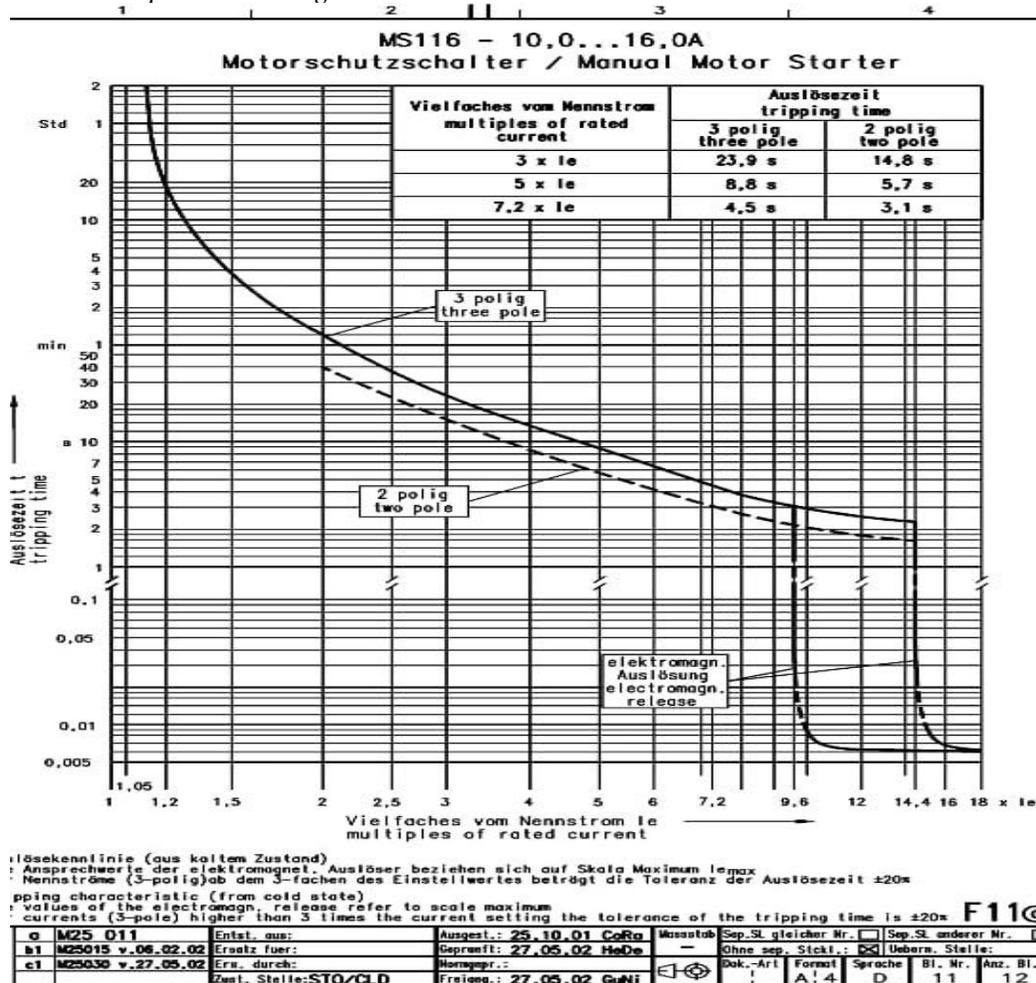
$$I_{inicial} = \underline{4.1 \text{ A}}$$

8. Varíe el valor del módulo resistivo a 300 Ohm en cada una de las resistencias y mida la corriente obtenida. ¿Cuál es la corriente cuando el motor está operando con una carga de 300Ω?

$$I_{300\Omega} = 4.3 \text{ A}$$

9. Con base en la curva de operación del guardamotor mostrada en la figura 62, determine el tiempo estimado para que el guardamotor se accione con una carga de 300 Ohm.

Figura 62.
Curva de operación del guardamotor.



$$T_{300\Omega} = 25 \text{ a } 30 \text{ Segundos}$$

10. Cuando el guardamotor haya accionado y el foco indicador de sobrecarga se encienda, espere a que el motor se detenga completamente. Luego, baje el voltaje a 0V y apague la fuente de alimentación.

11. Abra el gabinete del módulo didáctico de protecciones e identifique el guardamotor. Gire la perilla hacia arriba hasta la posición indicada con el número 1. Cierre nuevamente el gabinete, encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje a 208V. Repita el proceso, pero añada una carga resistiva de 600 Ohm. Repita el mismo procedimiento y mida la corriente obtenida y anote el tiempo transcurrido hasta que el guardamotor se accione.

$$I_{600\Omega} = \underline{4.4 \text{ A}}$$

$$Tiempo_{600\Omega} = \underline{21 \text{ segundos}}$$

12. Baje nuevamente el voltaje a 0V, restablezca el guardamotor y añada una carga resistiva de 1200 Ohm. Mida la corriente obtenida y anote el tiempo transcurrido hasta que el guardamotor se accione.

$$I_{1200\Omega} = \underline{4.9 \text{ A}}$$

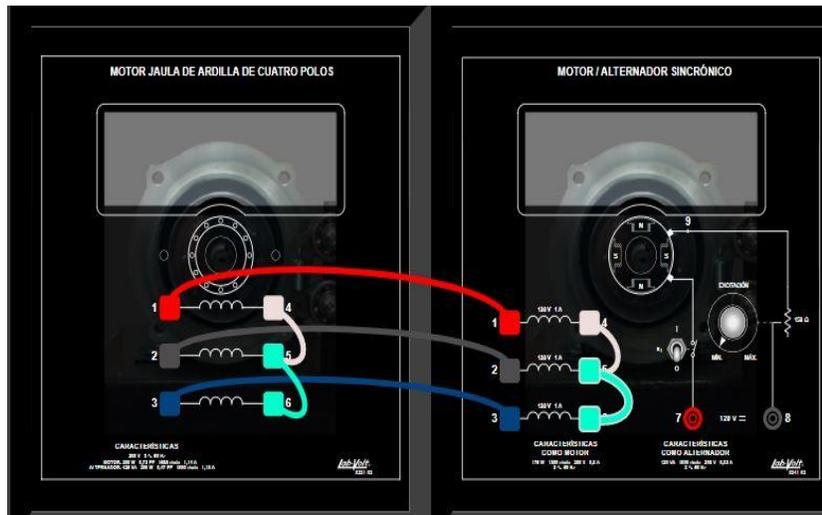
$$Tiempo_{1200\Omega} = \underline{15.5 \text{ segundos}}$$

13. Con todas las mediciones anotadas, baje el voltaje a 0V, desconecte la fuente de alimentación y reduzca el valor del electrodinamómetro a 0%. Finalmente, restablezca nuevamente el guardamotor.

Experimento 2.

14. Desconecte las resistencias variables y retire todas las conexiones realizadas previamente. Seguidamente, conecte las terminales 1, 2 y 3 del motor síncrono en paralelo con el motor jaula de ardilla, y realice una conexión en estrella en el devanado secundario del motor síncrono.

Figura 63.
Conexión entre el motor síncronico y el motor jaula de ardilla.



15. Encienda la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje hasta alcanzar 208 Vac. Espere hasta que el motor síncrono esté operando en condiciones normales y anote la corriente inicial obtenida.

$$I_{\text{inicial}} = \underline{4.6 A}$$

16. Utilice la perilla de ajuste del electrodinamómetro para subir el valor a un 55%. Observe la reacción del motor ante este incremento de carga.

¿Cuál fue la reacción del motor ante el incremento del 55% del electrodinamómetro?

El motor mostró un incremento en la corriente debido a la mayor demanda de potencia impuesta por el electrodinamómetro. Este aumento de carga también provocó una ligera caída en la velocidad del motor.

17. Espere a que el guardamotor accione cuando detecte una sobrecarga y registré el tiempo transcurrido hasta la activación. Anote este tiempo y compárelo con los valores teóricos obtenidos de la curva del guardamotor.

$$\text{Tiempo} = \underline{17 \text{ segundos}}$$

18. Una vez que el motor haya sido detenido por el guardamotor, baje el voltaje a 0 y apague la fuente de alimentación. Para finalizar, restablezca el guardamotor girando la perilla hacia la posición de reinicio y asegurándose de que todo esté en orden.

4.5 PRÁCTICA 4. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE Y SOBRETENSIÓN.

4.5.1 OBJETIVO.

La protección contra sobrecorriente y sobretensión en el laboratorio es esencial para garantizar la seguridad de los equipos y las personas que trabajan en él. Los objetivos importantes que se deben considerar al implementar prácticas de laboratorio para protección contra sobrecorriente y sobretensión:

1. Entenderá el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrecorriente como los interruptores automáticos y los fusibles.
2. Comprender cómo los dispositivos de protección contra sobrecorriente ayudan a proteger el equipo y las personas de los daños causados por una sobrecarga o cortocircuito.
3. Aprender sobre las normativas y estándares aplicables a la protección contra sobrecorriente en diferentes sistemas eléctricos.
4. Conocerá la forma de onda de una sobrecorriente en vacío y con carga.

4.5.2 MATERIAL.

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 vCA)	EMS 8821
Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla.	EMS 8221
Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.	
Cables de conexión.	EMS 8941
Puntas de atenuación 1:10	

Módulo de medición CA. (250/250/250 V).	EMS 8426
Módulo de medición CA (0.5/2.5 A)	EMS 8425
Electrodinamómetro	EMS 8911
Osciloscopio	EMS 8311

Todo material descrito está disponible en el laboratorio L3 ubicado por su código de identificación (EMS XXXX).

4.5.3 DESARROLLO.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Conecte las terminales L1, L2, L3 y N del módulo didáctico de protección a las terminales 4, 5, 6 y N de la fuente de alimentación de 0-120/208V-5A. A continuación, conecte las terminales L1 y L2 del módulo didáctico de protección a la entrada y salida del voltímetro con un rango de 250V, asegurándose de que las conexiones estén en paralelo.

2. Conecte la terminal 1 de la entrada del motor en el módulo didáctico de protección a la entrada del amperímetro. La salida del amperímetro, con un rango de 2.5A, debe ser conectada a la terminal 1 del motor jaula de ardilla.

3. Conecte las terminales 2 y 3 del motor jaula de ardilla a la entrada correspondiente del módulo didáctico de protección.

Figura 64.

Conexión base para el motor jaula de ardilla, el amperímetro y el módulo didáctico de protección para motores.



4. Sin alterar ninguna de las conexiones previas, abra el gabinete del módulo didáctico e identifique el interruptor termomagnético.

5. Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 208 Vac. Espere hasta que el motor esté operando en condiciones normales.

6. Utilizando el interruptor termomagnético y bajo la supervisión del docente, realice una rápida desconexión y reconexión del interruptor. Mida la corriente cuando el motor encienda sin carga (en vacío).

$$I_{\text{vacío}} = \underline{1.5 \text{ A}}$$

7. Con el motor en operación, baje el interruptor termomagnético y espere hasta que el motor se detenga por completo. Una vez detenido, restablezca el interruptor y anote la corriente medida.

$$I_{\text{alto total}} = \underline{2.5 \text{ A}}$$

8. Reduzca el voltaje a 0 y apague la fuente de alimentación. Responda las siguientes preguntas:

¿Existe alguna variación de corriente en los pasos 6 y 7? Justifique su respuesta.

Sí, existe una variación de corriente en los pasos 6 y 7. En el paso 6, cuando el interruptor termomagnético se baja y sube rápidamente, el motor enciende sin ninguna carga y la corriente medida es la corriente de arranque, que generalmente es mayor que la corriente nominal. En el paso

7, al restablecer el interruptor con el motor parado, la corriente medida también será la corriente de arranque, pero puede variar ligeramente dependiendo del tiempo de restablecimiento y las condiciones de arranque.

¿Cuántas veces se incrementa la corriente con respecto a la corriente nominal del motor?

La corriente de arranque de un motor de inducción suele ser de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. Esta variación se debe a la necesidad de superar la inercia del rotor y alcanzar la velocidad de operación.

9. Conecte las puntas atenuadoras 1:10 del osciloscopio a las terminales de la salida de voltaje del módulo didáctico de protecciones; pueden ocupar caimanes para una mejor conexión. Encienda nuevamente la fuente de alimentación y aumente el voltaje gradualmente hasta obtener 208 Vac.

Figura 65.
Conexión del módulo didáctico de protección para motores de inducción y el osciloscopio.



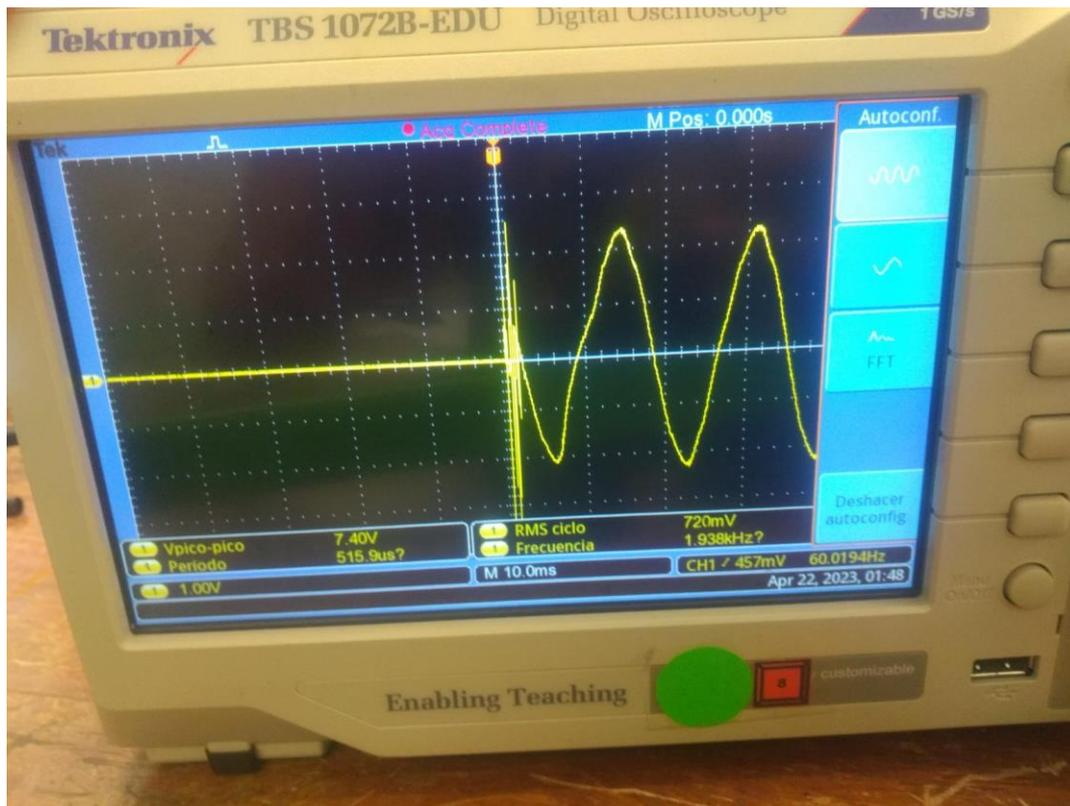
10. Cuando el motor esté operando en condiciones normales, presione el botón autoscane en el osciloscopio para obtener la forma de onda del voltaje del motor.

11. Repita el paso 6. Mientras realiza este proceso, presione rápidamente la tecla single en el osciloscopio para capturar la forma de onda de la sobrecorriente en vacío. Mida la corriente en el osciloscopio, multiplicando el resultado por 10 debido al uso de las puntas atenuadoras 1:10. Anote el resultado.

$$I_{\text{vacío}} = \underline{1.9 \text{ A}}$$

12. Dibuje la forma de onda obtenida en el paso anterior.

Figura 66.
 Forma de onda de la corriente de arranque (inrush) en un motor en vacío.



13. Reduzca el voltaje a 0 y desconecte momentáneamente el osciloscopio.

Experimento 2.

14. Retire el acrílico protector del electrodinamómetro y del motor jaula de ardilla para permitir la incorporación de la banda de prueba, cuando la banda haya sido puesta correctamente, vuelva a colocar el acrílico protector. Conecte el electrodinamómetro a la fuente de alimentación utilizando las terminales 8 y N de 120-2A.

15. Ajuste el rango de salida del amperímetro a 8 A. Encienda la fuente de alimentación y ajuste el voltaje a 208 Vac. Permita que el motor opere en condiciones normales hasta que se estabilice.

16. Con el motor en funcionamiento, manipule el interruptor termomagnético del módulo didáctico de protección, alternando rápidamente entre las posiciones de encendido y apagado. Durante esta acción, mida la corriente con el amperímetro y observe la forma de onda en el osciloscopio. Presione el botón de modo "single" en el osciloscopio para capturar la forma de onda. Registre la corriente obtenida durante esta medición.

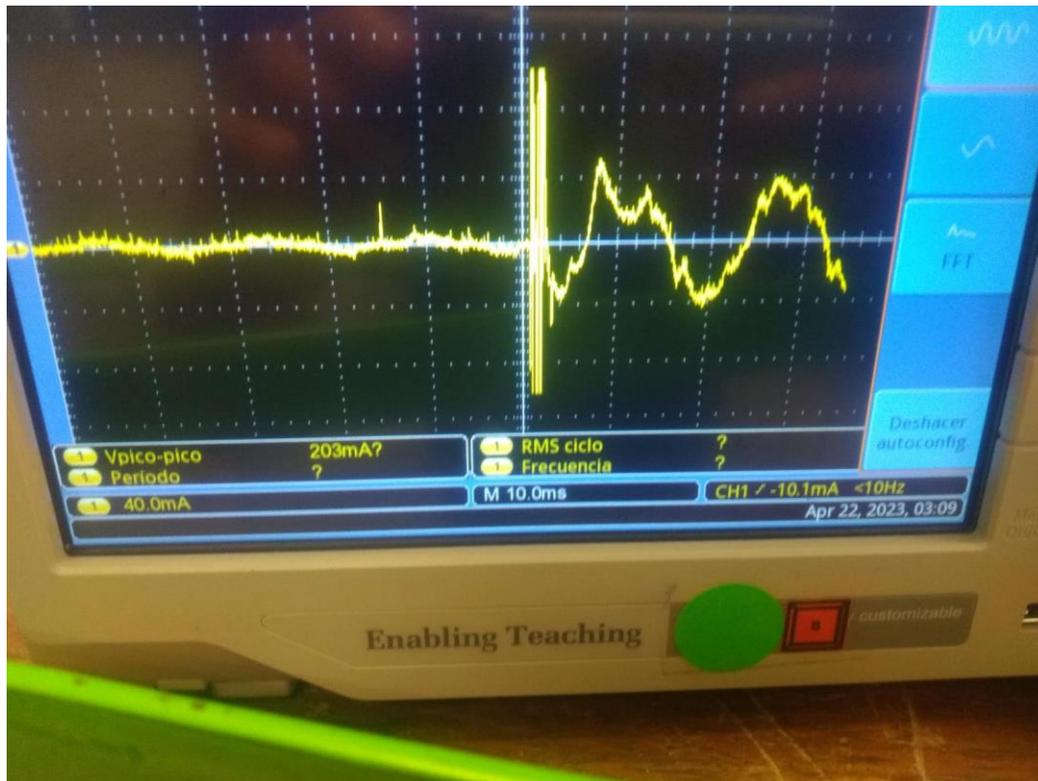
$$I_{carga} = \underline{6.0 \text{ A}}$$

17. Reduzca el voltaje a 0V y desconecte la fuente de alimentación. Conecte nuevamente el osciloscopio al sistema y reinicie la operación del motor jaula de ardilla. Obtenga la forma de onda del motor en condiciones normales y repita la manipulación del interruptor termomagnético, observando y registrando la corriente de manera similar al paso anterior.

18. Mientras manipula el interruptor, presione el botón de modo "single" en el osciloscopio para capturar la forma de onda precisa. Finalmente, dibuje la forma de onda observada en el osciloscopio durante el experimento y reduzca el voltaje a 0V para finalizar el procedimiento.

Figura 67.

Forma de onda de la corriente de arranque (inrush) en un motor con carga.



Experimento 3.

19. Con las conexiones anteriores intactas, conecte la terminal del supresor del módulo didáctico de protección a la terminal 1 de la entrada del motor. Esta conexión garantiza que el supresor de picos esté en la línea del motor, proporcionando protección contra sobretensiones.

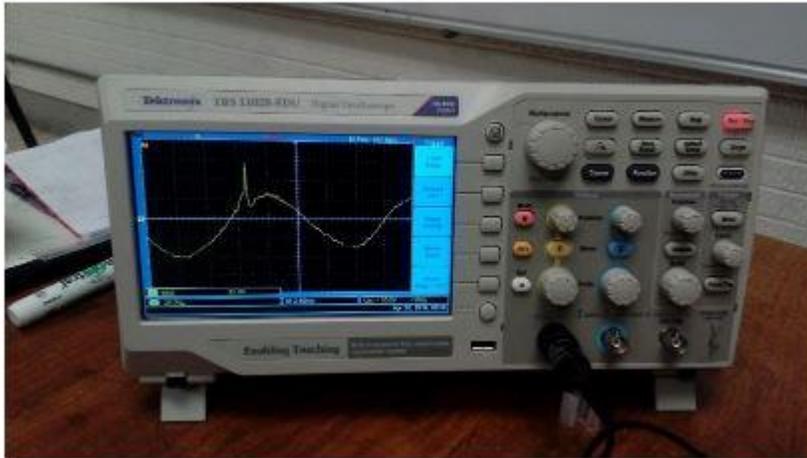
Figura 68.
Conexión del supresor a la terminal 1 de la entrada del motor.



20. Energice nuevamente la fuente de alimentación y ajuste el voltaje gradualmente a 208 Vac. Permita que el motor se estabilice antes de proceder con las mediciones.

21. Utilizando el osciloscopio, obtenga la forma de onda cuando el motor esté operando en condiciones normales. Manipule el interruptor termomagnético, alternando rápidamente entre las posiciones de encendido y apagado. Observe y registre la forma de onda generada durante este proceso.

Figura 69.
Forma de onda de la corriente de arranque (inrush) con él supresor.



22. Mida la corriente utilizando el amperímetro y anote el resultado. Esta medición proporciona datos sobre cómo el supresor de picos influye en la corriente del motor durante la manipulación del interruptor termomagnético.

$$I_{\text{Supresor}} = \underline{4.5 \text{ A}}$$

23. Finalmente, reduzca el voltaje a 0 Vac y apague la fuente de alimentación.

VI. CONCLUSIONES

En conclusión, las protecciones sobre motores de inducción son esenciales para garantizar su correcto funcionamiento, prolongar su vida útil y protegerlos contra daños y fallos. Algunas de las protecciones más comunes incluyen protección térmica, protección de corriente de sobrecarga, protección de fase y protección de tensión. Es importante seleccionar y aplicar las protecciones adecuadas en función de las características y requisitos específicos de cada motor y sistema. La implementación eficaz de estas protecciones puede ayudar a garantizar la continuidad del funcionamiento y la eficiencia energética en los sistemas que utilizan motores de inducción.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Silvia, L. (2023). Blogspot. *Protección de Motores Eléctricos*. Obtenido el 10 Abril de 2023 en <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com/2011/07/proteccion-de-motores-electricos.html>
2. Área Tecnología. (2017.). *Relé Térmico o TermoMagnético*. Obtenido el 10 de Abril de 2023 en <https://www.areatecnologia.com/electricidad/reletermico.html>
3. Dicesa PQS (2016). *Guardamotores*. Obtenido el 10 Abril de 2023 en <https://dicesamexico.com.mx/guardamotores/>

4. *Energía controlada de México*. (2019). *¿Qué es un motor eléctrico trifásico?*. Obtenido el 10 de Abril de 2023 en

<https://www.energiacontrolada.com/faq/Que-es-un-motor>

5. *Nofuel*. (2018). *Disyuntor Magnético*. Obtenido el 10 de Abril de 2023 en

<https://www.nofuelpower.com/uz/news/why-need-a-motor-protection-circuit-breakers-mpcb>

6. *Sistemas Fotovoltaicos*. (2019.). *Fusible*. Obtenido el 10 de Abril de 2023 en

http://seslab.org/fotovoltaico/211_fusible.html

7. *Subir.CC*. (2019). *Interruptor termomagnético: qué es, cómo funciona y sus tipos*.

Obtenido el 20 de Abril de 2023 en

<https://subir.cc/interruptor-termomagnetico/>

8. *Wordpress*. (2017). *Descargadores de Sobretensión «instalaciones electromecánicas*.

Instalaciones electromecánicas. Obtenido el 20 de Abril de 2023 en

<https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/06/t08-descargadores-de-sobretension-2/spot.com/2011/07/proteccion-de-motores-electricos.html>

9. *Fitzgerald, A.E., Kingsley Jr, C., & Umans, S.D.* (2004). *Máquinas eléctricas*.

McGraw-Hill Interamericana de España.

10. *Fitzgerald, A.E., Kingsley Jr, C., & Umans, S.D.* (2004). *Máquinas eléctricas*.

McGraw-Hill Interamericana de España.

11. *Chapman, S. J.* (2004). *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill Education.

12. *Kosow, I. L.* (2004). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Pearson Prentice Hall.

13. *Del Toro, V.* (2003). *Principios de Electricidad y Electrónica*. Pearson Educación.

14. Helfrick, A. D., & Cooper, W. D. (2012). *Modern Electronic Instrumentation and Measurement Techniques*. Pearson Education.
15. Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics*. Cambridge University Press.
16. Blackburn, J. L. (2012). *Protective Relaying: Principles and Applications*. CRC Press.
17. Bosch Rexroth AG. (2019). *Electrical Drives: From Application to Control*. Springer.
18. García, J. (2018). *Protección de sistemas eléctricos de potencia: Problemas y práctica*. Madrid: Paraninfo.
19. Moreno, A., & Castro, A. (2019). *Protección de sistemas eléctricos industriales y comerciales*. México: Limusa.
20. González, M. (2017). *Protección de sistemas eléctricos de potencia*. Madrid: Editorial Reverté.
21. Castro, A., & López, J. (2019). *Protección de sistemas eléctricos industriales*. México: Editorial Limusa.
22. Martínez, L. F. (2019). *Manual de protección eléctrica industrial*. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
23. Horowitz, S. H., & Phadke, A. G. (2008). *Power System Relaying*. Wiley.
24. García, A., Martínez, E., & Rodríguez, J. (2019). "Performance Evaluation of Digital Relays in Manufacturing Plants." *Journal of Industrial Engineering*.
25. International Association of Motor Protection (IAMP). (2020). "Digital Relays for Motor Protection: A Key Component in Industrial Applications." *White Paper*.
26. Bollen, M.H.J. (2011). *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. John Wiley & Sons.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

CUADERNILLO DE PRÁCTICAS

**MODULO DIDÁCTICO PARA LAS
PROTECCION DE MOTOR DE
INDUCCIÓN**



CONTENIDO

PRACTICA 1.- MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	4
1. OBJETIVO.	4
2. MARCO TEORÍCO.	4
3. CUESTIONARIO PREVIO.....	7
4. MATERIAL.....	7
5. DESARROLLO.....	8
Experimento 1.....	8
Experimento 2.....	9
Experimento 3.....	13
6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	14
7. CONCLUSIONES.....	14
8. BIOGRAFÍA.	15
PRÁCTICA 2. PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE.	15
1. OBJETIVO.	15
2. MARCO TEÓRICO.	15
3. CUESTIONARIO PREVIO.....	17
4. MATERIAL.....	18
5. DESARROLLO.....	19
Experimento 1.....	19
Experimento 2.....	20
6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	22
7. CONCLUSIONES.....	22
8. BIOGRAFÍA.	23
PRÁCTICA 3. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA.....	23
1. OBJETIVO.	23
2. MARCO TEORÍCO.	24
4. MATERIAL.....	27
5. DESARROLLO.....	28
Experimento 1.....	28
Experimento 2.....	32

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	34
8. BIBLIOGRAFIA.....	34
PRÁCTICA 4. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE.	36
1. OBJETIVO.	36
2. MARCO TEORÍCO.	36
3. CUESTIONARIO PREVIO.....	39
4. MATERIAL.....	40
5. DESARROLLO.....	40
Experimento 1.....	41
Experimento 2.....	44
Experimento 3.....	45
6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.....	46
7. CONCLUSIONES.....	46

PRACTICA 1.- MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

1. OBJETIVO.

La práctica de laboratorio sobre el módulo didáctico para la protección de motores de inducción tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y protección de los motores de inducción. Algunos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los motores de inducción: los estudiantes podrán entender cómo los motores de inducción convierten la energía eléctrica en energía mecánica, y cómo los diferentes componentes del motor trabajan para lograr esto.

2. Familiarizarse con los diferentes tipos de protección del motor: Los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de protección del motor, como la protección contra sobrecargas, la protección contra cortocircuitos y la protección contra falta de fase, y cómo se implementan en un motor de inducción.

3. Aprender a utilizar equipos de prueba y medición: Los estudiantes aprenderán a utilizar equipos de prueba y medición para verificar el funcionamiento del motor, como voltímetro, amperímetro y osciloscopios.

2. MARCO TEORÍCO.

Los motores de inducción son componentes esenciales en una amplia variedad de aplicaciones industriales y electrónicas, desde la fabricación hasta la generación de energía. Sin embargo, estos motores pueden verse afectados por una serie de problemas, desde sobrecargas hasta fallos en la alimentación eléctrica, lo que puede resultar en un desempeño deficiente o incluso en la falla del motor. Por esta razón, es importante implementar protecciones en los motores de inducción para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Estas protecciones pueden incluir protección térmica,

protección de corriente de sobrecarga, protección de fase y protección de tensión y tienen un propósito específico que es esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia del motor de inducción. La protección térmica, por ejemplo, evita el sobrecalentamiento del motor, mientras que la protección de corriente de sobrecarga detecta corrientes anormales y desconecta el motor en caso de sobrecarga. La protección de fase es importante para evitar daños al motor cuando una fase se pierde o está débil, mientras que la protección de tensión evita daños al motor cuando la tensión de alimentación es demasiado alta o demasiado baja. Además de prolongar la vida útil del motor, la implementación de protecciones también puede ayudar a garantizar la continuidad del funcionamiento y la eficiencia energética en los sistemas que utilizan motores de inducción. También puede ayudar a prevenir daños a otros componentes del sistema y reducir los costos de reparación y mantenimiento.

Para comprender más la importancia de las protecciones y su funcionamiento de todos los elementos tanto básicos como complejos, se ha desarrollado un módulo didáctico de protección para motores de inducción, esto nos ayuda a poder elaborar prácticas en los laboratorios más complejas haciendo pruebas que en la industria y en el área eléctrica se les hace tanto a los motores como a las protecciones y poder ir entendiendo la importancia y su funcionamiento de cada elemento y así poder entenderlo cuando se estudie la teoría. La construcción del módulo, desde la fabricación hasta las pruebas que se realizaron ayudan al conocimiento de las normas que se ocupan en el ámbito profesional (industria) que se requieren para un trabajo de calidad y seguro también sirve para conocer el comportamiento de un motor y sus protecciones de cómo probarlas, como protegerlas, y cómo explotar su capacidad de funcionamiento a un motor eléctrico que se utilizan en la industria.

El módulo didáctico de protecciones previene fallos como la pérdida de fase y la secuencia incorrecta del mismo; la pérdida de fase se define como un evento que ocurre cuando una o más fases del suministro eléctrico al motor fallan o se cortocircuitan. Esto puede tener un impacto significativo en el funcionamiento y la eficiencia del motor, así como en la seguridad de las personas y el equipo cercano. La pérdida de fase puede ocurrir debido a una variedad de razones, incluyendo fallos en el sistema eléctrico,

problemas con el cableado o conexiones defectuosas, y daños a los componentes eléctricos. La pérdida de fase en un motor de inducción puede causar una serie de problemas, incluyendo una disminución en la eficiencia del motor y un aumento en el consumo de energía. Además, puede causar una sobrecarga en los componentes eléctricos restantes, lo que puede aumentar el riesgo de fallos y daños. También puede provocar un aumento en la vibración y el ruido del motor, lo que puede indicar una falla en el futuro. Es importante detectar y corregir la pérdida de fase en un motor de inducción lo antes posible para evitar daños adicionales y prolongar la vida útil del motor. Esto puede lograrse mediante la implementación de protecciones adecuadas, como la protección de fase, que pueden detectar y desconectar el motor en caso de pérdida de fase. Además, es importante realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo para detectar y corregir cualquier problema potencial antes de que se convierta en un problema mayor.

Para el caso de la secuencia incorrecta de una fase se describe como una conexión errónea de las tres fases del suministro eléctrico al motor. Esto puede tener un impacto negativo en el funcionamiento del motor y, en casos graves, puede causar daños irreparables. La secuencia incorrecta de fase puede ocurrir debido a una variedad de razones, incluyendo errores humanos en el cableado, problemas con los interruptores o conectores, y fallos en el sistema eléctrico. La secuencia incorrecta de fase puede afectar negativamente el funcionamiento del motor, incluyendo una disminución en la eficiencia y un aumento en el consumo de energía. También puede provocar un aumento en la vibración y el ruido del motor, lo que puede ser un indicador de un problema más grande. Además, la secuencia incorrecta de fase puede causar daños en los componentes eléctricos, incluyendo el rotor y el estator, lo que puede requerir una reparación costosa o incluso el reemplazo del motor. Es importante detectar y corregir la secuencia incorrecta de fase en un motor de inducción lo antes posible para evitar daños adicionales y prolongar la vida útil del motor. Esto puede lograrse mediante la implementación de protecciones adecuadas, como los detectores de secuencia de fase, que pueden detectar y desconectar el motor en caso de una secuencia incorrecta. Además, es importante realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo para detectar y corregir cualquier problema potencial antes de que se convierta en un problema mayor.

3. CUESTIONARIO PREVIO.

1. ¿Qué es un motor de inducción?
2. ¿Cómo se puede detectar una falla en la alimentación eléctrica de un motor de inducción?
3. ¿Cómo se produce la pérdida de fase en un motor de inducción?
4. ¿Cómo funciona la protección por desequilibrio de fases?
5. ¿Cómo se puede corregir una secuencia incorrecta de fases en un motor de inducción?
6. ¿Qué sucede si no se corrige una secuencia incorrecta de fases en un motor de inducción?
7. ¿Cómo funciona un motor de inducción trifásico?
8. ¿Qué factores externos pueden afectar el funcionamiento de un motor de inducción y por qué es importante protegerlo contra ellos?
9. ¿Cómo se relaciona el par de arranque con la secuencia incorrecta de fases en un motor de inducción?
10. ¿Qué medidas de protección se pueden implementar para garantizar el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de los motores de inducción?

4. MATERIAL.

Los materiales que se necesitan para la realización de esta práctica son:

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 VCA) EMS 8821

Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla. EMS 8221

Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.

Cables de conexión. EMS 8941

5. DESARROLLO.

Experimento 1.

1. Examine las terminales de conexión de la parte exterior del módulo didáctico e identifique lo siguiente:

A. Entrada de voltaje 0-120/208 Vac.

B. Entrada para motor jaula de ardilla

C Salida de voltaje

D. Salida de corriente

E. Terminal para el supresor

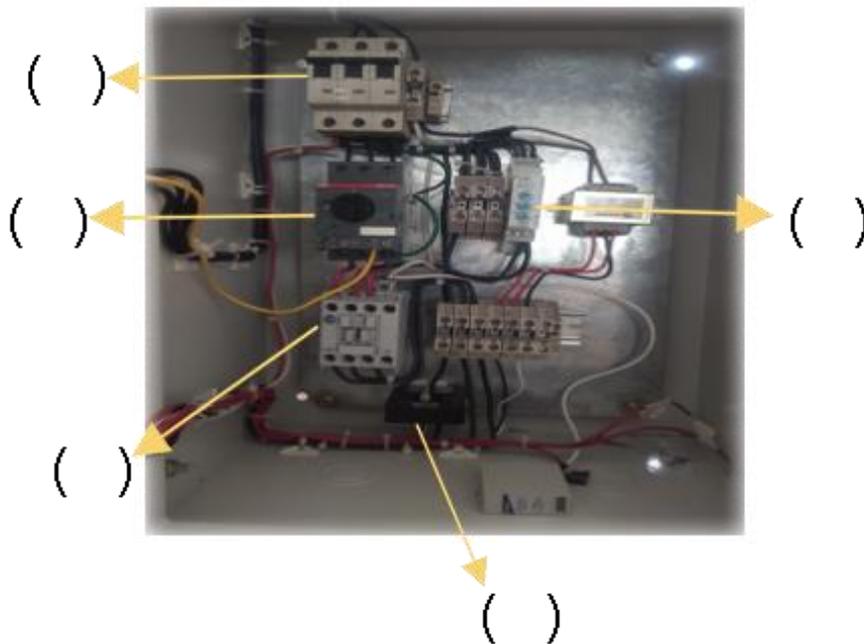
F. Luz indicadora de operación

G. Luz indicadora de sobrecarga



2. Ahora examine la construcción interna del módulo didáctico para la protección de motores de inducción e identifique lo siguiente:

- A. Guardamotor
- B. Relé de monitoreo
- C. Contactor trifásico
- D. Interruptor termomagnético
- E. Transformador de corriente (TC's)
- F. Relevador de sobrecarga



Experimento 2.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control

variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

1. Realicé la conexión de la fuente de alimentación del rango de 0-120/208V- 5A con el módulo didáctico en las terminales de entrada de voltaje (L1, L2, L3 y N).

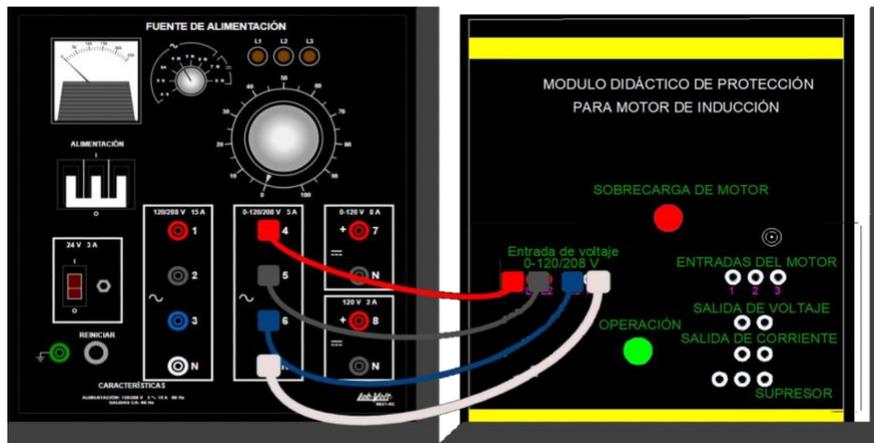


Imagen ilustrativa de la conexión entre la fuente de alimentación y el módulo didáctico de protecciones.

2. Conecté en paralelo de la terminal L1 y L2 del módulo didáctico de protecciones a la entrada y salida del voltímetro de un rango de 250V.



Imagen ilustrativa de la conexión entre el voltímetro y el módulo didáctico de protecciones.

3. Con el módulo de motor de inducción jaula de ardilla, conecté el devanado principal (1,2 y 3) a las terminales de entrada del motor del módulo didáctico de protecciones; en el devanado secundario (4,5 y 6) realicé una conexión estrella como se muestra en la siguiente figura.

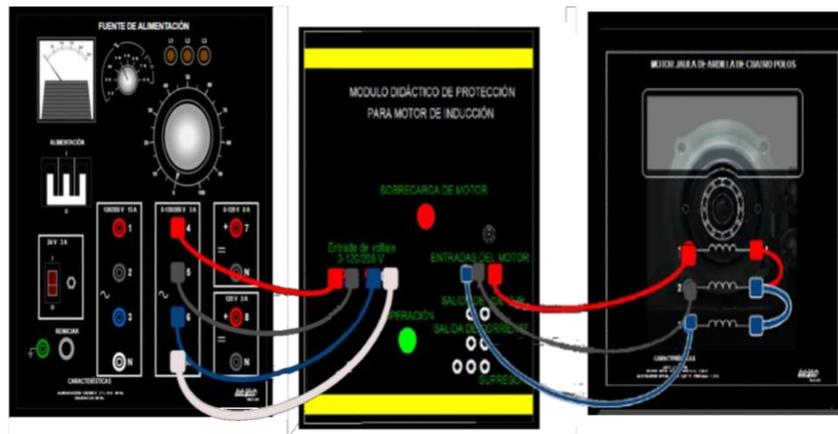


Imagen ilustrativa de la conexión entre el motor jaula de ardilla y el módulo didáctico de protecciones.

4. Encienda la fuente de alimentación y de manera gradual incremente el voltaje hasta que el voltímetro indique 208 Vac.

5. Una vez que el motor esté operando en condiciones normales, proceda con la desconexión de la terminal 4 de la fuente de alimentación, a continuación, baje el voltaje a 0V y apague la fuente de alimentación; responda la siguiente pregunta. ¿Qué le sucedió al motor jaula de ardilla cuando se desconectó la terminal 4?

6. Vuelva a conectar la terminal 4 y proceda abrir el gabinete del módulo didáctico de protecciones; encienda la fuente de alimentación, eleve el voltaje a 208V, proceda a desconectar la terminal 5 de la fuente de alimentación.

7. Cuando el motor sea interrumpido proceda a bajar el voltaje y apagar la fuente de alimentación y conteste a las siguientes preguntas.

¿Qué elemento de protección se activa cuándo se desconecta alguna fase?

Con la desconexión de las terminales de la fuente de alimentación. ¿Cambio el valor del voltaje en el voltímetro? Si es necesario vuelva a repetir el experimento.

¿Cuál es la explicación del porque no se alteró el valor en el voltímetro?

¿Cuánto tiempo le toma al contactor accionar cuando detecta una pérdida de fase?

Experimento 3.

8. Con la fuente de alimentación apagada, intercambie la terminal 4 y 5 de la fuente de alimentación, esto con la finalidad de observar cómo se comporta el motor cuándo se expone a una secuencia incorrecta.

9. Encienda nuevamente la fuente de alimentación y suba el voltaje gradualmente a 208 Vac, llegando a este valor inmediatamente baje el voltaje a 0Vac apague la fuente y conteste las siguientes preguntas.

¿Cuál fue el comportamiento del motor cuándo se intercambiaron las fases?

Explique el motivo por el cual el motor no pudo operar con las fases intercambiadas.

¿Qué elemento de protección interviene para proteger al motor de una falla de secuencia incorrecta?

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.

- a. ¿Cómo se relaciona la corriente de arranque con la pérdida de fase en un motor de inducción?
- b. ¿Qué papel juega la protección en motores de inducción en la prevención de interrupciones en el proceso de producción?
- c. ¿Qué medidas de seguridad deben tomarse al trabajar con un motor de inducción con pérdida de fase o secuencia incorrecta de fases?
- d. ¿Qué herramientas se pueden utilizar para corregir la pérdida de fase o la secuencia incorrecta de fases en un motor de inducción?
- e. ¿Qué es el desequilibrio de corriente en un motor de inducción? ¿Cómo se relaciona con la pérdida de fase o la secuencia incorrecta de fases?
- f. ¿Qué consecuencias puede tener la falta de protección en términos de seguridad en el lugar de trabajo?

7. CONCLUSIONES.

8. BIOGRAFÍA.

- Hızıroglu, H. R. (2003). Máquinas eléctricas y transformadores. Oxford University.
- Mora, J.F. (2003). Máquinas Eléctricas (5th ed.). McGraw Hill.
- Smolenski, I. (1984). Máquinas eléctricas México: Limusa.

PRÁCTICA 2. PROTECCIÓN CONTRA BAJO VOLTAJE.

1. OBJETIVO.

En esta práctica de laboratorio de protección contra bajo voltaje tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y la protección de los equipos eléctricos contra bajadas de voltaje. Algunos de estos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los equipos de protección contra bajo voltaje: los estudiantes podrán entender cómo los equipos de protección contra bajo voltaje detectan las bajadas de voltaje y desconectan los equipos eléctricos de la fuente de alimentación para evitar daños.
2. Familiarizarse con los diferentes tipos de equipos de protección contra bajo voltaje: los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de equipos de protección contra bajo voltaje, como los relés de protección y contactores, cómo se utilizan para proteger los equipos eléctricos.
3. Adquirir conocimientos sobre las normas de seguridad eléctrica: los estudiantes aprenderán sobre las normas de seguridad eléctrica y las precauciones necesarias para trabajar con equipos eléctricos, incluyendo la selección y uso de herramientas y equipos de protección personal.

2. MARCO TEÓRICO.

El bajo voltaje en un motor de inducción puede tener un impacto significativo en el rendimiento y la vida útil del motor. Cuando el voltaje de alimentación es menor que el voltaje nominal del motor, el rendimiento del mismo disminuye y el calor generado en el rotor y el estator aumenta. Esto puede causar un desgaste prematuro de las partes móviles del motor, así como un aumento en el tiempo de inactividad

debido a fallas. Uno de los principales problemas asociados con el bajo voltaje en un motor de inducción es la reducción en el par de arranque. El par de arranque es la cantidad de fuerza motriz necesaria para arrancar el motor desde un estado de reposo. Cuando el voltaje de alimentación es bajo, el par de arranque también disminuye, lo que puede hacer que el motor sea incapaz de arrancar o que el tiempo de arranque sea significativamente más largo. Otro problema común asociado con el bajo voltaje en un motor de inducción es la sobrecarga del rotor.

La sobrecarga del rotor se produce cuando el rotor está expuesto a una corriente excesiva debido a una reducción en el voltaje de alimentación. Esto puede causar un desgaste prematuro del rotor y, en casos extremos, puede causar la falla del rotor. Un motor de inducción en bajo voltaje puede presentar una serie de síntomas que indican un problema, tales como:

- El motor puede no arrancar o tener dificultad para hacerlo.
- El motor puede funcionar a una velocidad baja o variable.
- El motor puede generar un ruido anormal.
- El motor puede sobrecalentarse.
- El motor puede tener una vida útil reducida.

Para prevenir problemas relacionados con el bajo voltaje en un motor de inducción es necesario tener una protección como una medida de seguridad que nos ayuda a prevenir daños en el motor debido a una caída de voltaje de alimentación. Una de las formas de proteger un motor de inducción de bajo voltaje es mediante el uso de un relé de voltaje. Este dispositivo mide el voltaje de alimentación del motor y, si detecta una caída por debajo de un cierto nivel, desconecta el motor para evitar daños. El relé de voltaje puede ser ajustado para activarse a diferentes niveles de voltaje, dependiendo de las especificaciones del motor y de las condiciones de operación.

Otra forma de proteger un motor de inducción de bajo voltaje es mediante el uso de un sistema de compensación de voltaje. Este sistema utiliza capacitores para aumentar el voltaje de alimentación del

motor cuando se produce una caída en el voltaje. Esto ayuda a mantener el voltaje dentro de los límites especificados para el motor, lo que reduce el riesgo de sobrecalentamiento y daños mecánicos. Además de estas medidas de protección, es importante asegurarse de que el motor esté correctamente dimensionado para las condiciones de operación y de que los sistemas eléctricos de alimentación estén en buen estado y sean adecuados para el motor. También es importante supervisar regularmente el motor y realizar mantenimiento preventivo para detectar y corregir problemas antes de que causen daños significativos.

En el módulo didáctico para las protecciones de un motor de inducción se integra un relé de monitoreo y se encarga de la medición de la corriente y voltaje en el circuito del motor y utiliza estas mediciones para detectar fallos como sobrecarga, bajo voltaje, cortocircuito o pérdida de fase.



Relé de monitoreo MWUA para la protección contra bajo voltaje.

El relé detecta un fallo, envía una señal de alarma o desconecta el motor para evitar daños o peligros. Además de la protección contra fallos, el relé de monitoreo puede utilizarse para supervisar el rendimiento del motor y detectar problemas en el funcionamiento temprano, lo que permite una intervención temprana y la prevención de fallos grave.

3. CUESTIONARIO PREVIO.

1. ¿Qué es la protección contra bajo voltaje en motores de inducción?
2. ¿Qué tipos de protección contra bajo voltaje existen para motores de inducción?
3. ¿Cómo se configura un relé de protección contra bajo voltaje?

4. ¿Cómo se selecciona el dispositivo de protección de voltaje mínimo adecuado para un motor de inducción?
5. ¿Qué es la corriente de arranque reducida y cómo afecta a la protección contra bajo voltaje?
6. ¿Cómo se pueden diagnosticar y solucionar problemas de protección contra bajo voltaje en motores de inducción?
7. ¿Qué es un dispositivo de protección de voltaje mínimo?
8. ¿Cuál es la función del relé de monitoreo MWUA?
9. ¿Cuáles son los tipos de fallas que puede detectar el relé de monitoreo MWUA?
10. ¿Cómo se ajustan los parámetros del relé de monitoreo MWUA?
11. ¿Qué sucede si el relé de monitoreo MWUA falla?
12. ¿Cómo se pueden mejorar los sistemas de protección contra bajo voltaje en motores de inducción?

4. MATERIAL.

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 VCA)	EMS 8821
Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla.	EMS 8221
Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.	
Cables de conexión.	EMS 8941
Módulo de medición CA. (100/250 V).	EMS 8426
Osciloscopio	

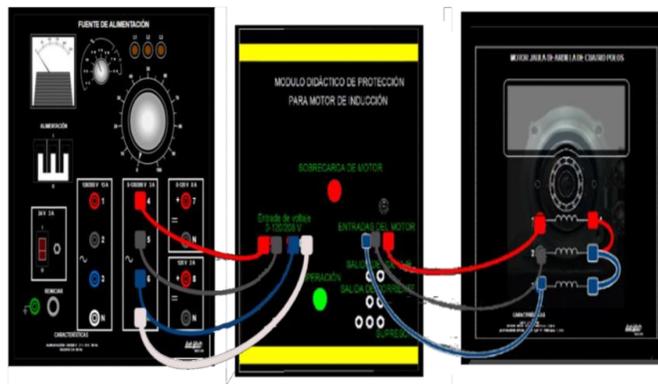
Puntas atenuadoras

5. DESARROLLO.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Realice el siguiente circuito eléctrico como se muestra en la siguiente ilustración.



Conexión base para la fuente de alimentación y motor jaula de ardilla al módulo didáctico de protección.

2. Conecté la terminal L1 y L2 (del módulo didáctico de protecciones) a la entrada y salida del voltímetro respectivamente con un rango de 250V. Encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje gradualmente hasta obtener 208 Vac, una vez que el motor esté operando en condiciones normales baje el voltaje a 150Vac ($\pm 75\%$ de la fuente).

¿Qué ocurrió con el motor cuándo se bajó el voltaje?

5. Con el motor jaula de ardilla detenido, desconecte y baje el voltaje a 0V de la fuente de alimentación. con precaución proceda abrir el gabinete e identifica el relé de monitoreo, que cuyo elemento es el que protege al motor de un bajo voltaje.

6. Encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje a 208 Vac, cuando el motor esté operando de manera normal, baje el voltaje a 100 Vac y observe cómo el relé de monitoreo empieza a temporizar y anote el tiempo en el que el elemento de protección acciono.

Tiempo de respuesta: _____.

7. Para concluir con la práctica bajamos el voltaje a 0 Vac, desconectamos la fuente de alimentación y cerramos el gabinete del módulo didáctico.

Experimento 2.

8. Con el circuito eléctrico armado de la práctica anterior, añadimos la conexión de osciloscopio conectando las puntas atenuadoras en las terminales de salida de voltaje del módulo didáctico de protecciones.



Imagen ilustrativa de la conexión entre el osciloscopio y el módulo didáctico de protecciones.

9. Con el gabinete abierto del módulo de didáctico, encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje a 208Vac y cuando el motor esté operando en circunstancias normales obtenga la onda de voltaje en el osciloscopio con la tecla autoscane.

10. Una vez obtenida la forma de onda para el motor, baje gradualmente el voltaje hasta que el relé de monitoreo esté temporizado, en el osciloscopio obtendrá la forma de onda de un bajo voltaje.

11. Presione la tecla single del osciloscopio para que no se altere la función cuando el relé acciona y pare al motor. Realice un dibujo sobre la forma de onda de un bajo voltaje.



11. Una vez que se tiene la función de un bajo voltaje, proceda a desconectar la fuente de alimentación y bajar el voltaje a 0V.

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.

a. ¿Cómo se puede verificar la respuesta del relé de protección contra bajo voltaje ante diferentes niveles de voltaje?

b. ¿Cómo se puede verificar la eficacia de la protección contra bajo voltaje en el laboratorio durante el arranque y la operación del motor?

c. ¿Cómo se puede verificar la eficacia de la protección contra bajo voltaje durante el arranque y la operación del motor?

d. ¿Cómo se puede mejorar la protección contra bajo voltaje en un motor de inducción después de realizar pruebas en el laboratorio?

e. ¿Cómo se conecta un relé de monitoreo MWUA en un circuito eléctrico de prueba?

f. ¿Cómo se verifica que el relé de monitoreo MWUA está funcionando correctamente?

g. ¿Cuál es la diferencia entre un relé de monitoreo y un interruptor de circuito?

h. ¿Qué tipos de fallas eléctricas puede detectar un relé de monitoreo MWUA?

7. CONCLUSIONES.

8. BIOGRAFÍA.

- Ramírez, M. S. (2005). Protección de sistemas eléctricos de potencia. Universidad autónoma de nuevo león.
- Aliprantis, D. C. (2017). Low voltage ride-through and transient stability in renewable energy systems. CRC Press.
- Masoum, M. A. S., & Fuchs, E. F. (2010). Voltage sag mitigation in industrial power systems. Wiley-IEEE Press.

PRÁCTICA 3. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA.

1. OBJETIVO.

La práctica de laboratorio de protección contra sobrecarga tiene varios objetivos importantes que ayudan a los estudiantes a aprender sobre el funcionamiento y la protección de los equipos eléctricos contra sobrecargas. Algunos de estos objetivos son:

1. Comprender el principio de funcionamiento de los equipos de protección contra sobrecarga: los estudiantes podrán entender cómo los equipos de protección contra sobrecarga detectan el aumento de corriente en los equipos eléctricos y desconexión de la fuente de alimentación para evitar daños.
2. Familiarizarse con los diferentes tipos de equipos de protección contra sobrecarga: los estudiantes aprenderán sobre los diferentes tipos de equipos de protección contra sobrecarga, como los relés térmicos, los interruptores automáticos y los fusibles, y cómo se utilizan para proteger los equipos eléctricos.

2. MARCO TEORÍCO.

La protección contra sobrecarga es esencial para garantizar la seguridad y la eficiencia en los sistemas eléctricos. Los equipos eléctricos pueden estar sujetos a sobrecargas por diversas razones, como la sobrecarga del equipo, el mal diseño del sistema o el mal funcionamiento de los equipos. Estos problemas pueden provocar daños en los equipos y lesiones a las personas. Por lo tanto, se utilizan dispositivos de protección contra sobrecarga, como el guardamotor, para desconectar la fuente de alimentación cuando la corriente eléctrica supera un nivel determinado.

Hay varias causas comunes de sobrecarga en motores de inducción, como el uso de una carga inadecuada, una mala lubricación, una falta de mantenimiento, o un fallo en los componentes del motor. También puede ser causado por una falla en el sistema eléctrico que alimenta al motor, como una tensión de alimentación inestable o un fallo en los componentes del motor. También puede ser causado por una falla en el sistema eléctrico que alimenta al motor, como una tensión de alimentación inestable o un fallo en los dispositivos de protección. Para prevenir la sobrecarga en un motor de inducción, es importante asegurarse de que el motor está siendo utilizado de acuerdo con su diseño y capacidad nominal. Esto incluye el uso de una carga adecuada, el mantenimiento regular y la lubricación adecuada. También es importante monitorear regularmente el sistema eléctrico que alimenta al motor, y asegurarse de que los dispositivos de protección estén funcionando correctamente.

La protección contra sobrecarga es una medida de seguridad crítica en los sistemas eléctricos. La sobrecarga se produce cuando la corriente eléctrica en un circuito supera el nivel de corriente nominal. Existen varios tipos de dispositivos de protección contra sobrecarga, como los relés térmicos, los interruptores automáticos y los fusibles. Los relés térmicos funcionan detectando el aumento de temperatura en el circuito debido a la sobrecarga, mientras que los interruptores automáticos y los fusibles detectan el aumento de corriente. Los interruptores automáticos son dispositivos de protección que se encargan de desconectar el circuito eléctrico cuando la corriente supera un nivel determinado, mientras

que los fusibles son elementos fusibles que se rompen cuando la corriente eléctrica supera un nivel determinado.

Una protección que se utiliza a menudo en campo es el guardamotor, el cual, es un dispositivo de protección crítico utilizado en los sistemas eléctricos para proteger los motores eléctricos contra sobrecargas. Este dispositivo es un interruptor automático que detecta la corriente en un circuito eléctrico y se desconecta automáticamente cuando se detecta una sobrecarga. El guardamotor es una medida de protección crítica en los sistemas eléctricos, ya que ayuda a prevenir daños en los equipos y a proteger a las personas de lesiones.

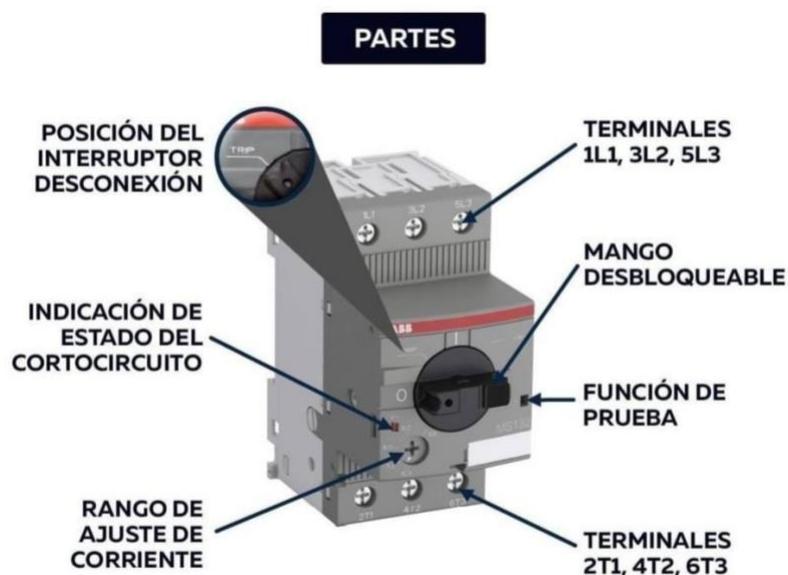
Otra medida para prevenir las sobrecargas en un motor de inducción es asegurarse de que el motor esté adecuadamente dimensionado para la carga a las que se someterá. Esto incluye asegurarse de que el motor tenga suficiente potencia y torque para manejar la carga, y también asegurarse de que el sistema eléctrico tenga suficiente capacidad para suministrar la energía necesaria al motor.



Guardamotor integrado al módulo didáctico de protección para motores de inducción.

Un guardamotor monitoriza continuamente la corriente que fluye a través del motor y detecta cualquier sobrecarga anormal. Cuando se detecta una sobrecarga, el guardamotor activa automáticamente un interruptor que desconecta el suministro de energía al motor, evitando daños graves. Existen diferentes tipos de guardamotors, cada uno diseñado para proteger motores de diferentes tamaños y aplicaciones.

Los guardamotors termomagnéticos son los más comunes y utilizan un termostato y un dispositivo magnético para detectar sobrecargas. Los guardamotors electrónicos, por otro lado, utilizan circuitos electrónicos para detectar sobrecargas y tienen la ventaja de ser más precisos y sensibles que los guardamotors termomagnéticos.



En conclusión, la protección de sobrecarga es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de un motor de inducción. Esto puede lograrse con el uso del guardamotor que es una protección esencial ya que monitorea continuamente la corriente que fluye a través del motor y detecta cualquier sobrecarga anormal, activando automáticamente un interruptor que desconecta el suministro de energía al motor. Es

importante seleccionar el adecuado para el motor específico y su aplicación para garantizar la seguridad y prolongar la vida útil del motor.

3. CUESTIONARIO PREVIO.

1. ¿Cómo se puede detectar una sobrecarga en un motor de inducción?
2. ¿Qué daños puede causar la sobrecarga en un motor de inducción si no se trata adecuadamente?
3. Explique el principio de funcionamiento de un guardamotor
4. ¿Cómo afecta la sobrecarga al rendimiento y la eficiencia del motor?
5. ¿Qué medidas de seguridad se deben tomar al trabajar con un guardamotor?
6. ¿Qué medidas de mantenimiento se deben llevar a cabo para prevenir la sobrecarga en un motor de inducción?
7. ¿Qué regulaciones y normas se deben seguir al utilizar un guardamotor?
8. ¿Cómo se puede determinar la carga adecuada para un motor de inducción?
9. ¿Qué precauciones se deben tomar al instalar un guardamotor?
10. ¿Cómo se mide la eficiencia de un guardamotor?
11. ¿Qué problemas pueden ocurrir con un guardamotor y cómo se solucionan?
12. ¿Qué son las curvas de tiempo de los relés de sobrecarga?

4. MATERIAL.

- | | |
|---|----------|
| Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 VCA) | EMS 8821 |
| Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla. | EMS 8221 |

Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.

Cables de conexión.	EMS 8941
Módulo de medición CA. (250/250/250 V).	EMS 8426
Módulo de medición CA (0.5/2.5 A)	EMS 8425
Electrodinamómetro	EMS 8911
Módulo de resistencias variables	EMS 8311
Máquina sincrónica	EMS 8241

5. DESARROLLO.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Conecte las terminales L1, L2, L3 y N del módulo didáctico de protección a 4,5,6 y N de 0-120/208V-5A de la fuente de alimentación, una vez realizado lo anterior conecte las terminales L1 y L2 del módulo didáctico de protección a la entrada y salida del voltímetro con un rango de 250V.

2. Con el motor jaula de ardilla y el electrodinamómetro, retire las carátulas de protección desatornillando y acople la banda.



Acoplamiento de la banda entre el motor jaula de ardilla y el electrodinamómetro.

3. En el devanado secundario del motor jaula de ardilla realice la conexión estrella (terminales 4,5 y 6), y en el devanado primario conecte la terminal 1 a la salida del amperímetro con un rango de 8A y seguidamente conecte la entrada del amperímetro al módulo didáctico de protección. Continúe conectando las terminales 2 y 3 del devanado principal del motor jaula de ardilla al módulo didáctico de protección como se observa en la siguiente imagen.



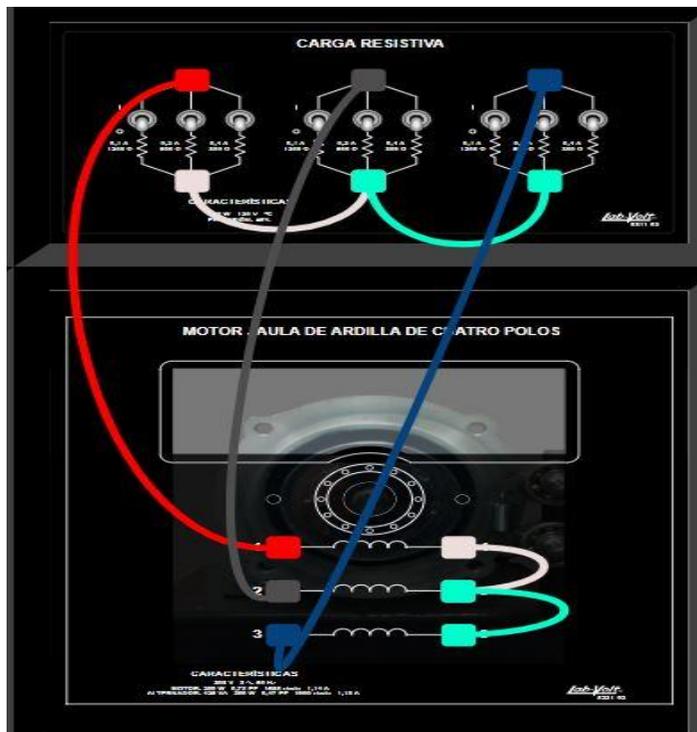
Conexión base para el motor jaula de ardilla, el amperímetro y el módulo didáctico de protección para motores.

4. De la fuente de alimentación conecte las terminales 8 y N de 120V-2A con el electrodinamómetro.



Conexión base para la fuente de alimentación y el electrodinamómetro.

5. Con el módulo de resistencia variable, en el devanado primario realice una conexión paralela al motor jaula de ardilla y en el devanado secundario realice una conexión estrella.



Conexión entre el módulo resistivo y el motor jaula de ardilla.

6. Con la perilla de control del electrodinamómetro fije un valor del 55% y verifique que todas las conexiones estén correctas antes de encender la fuente de alimentación.

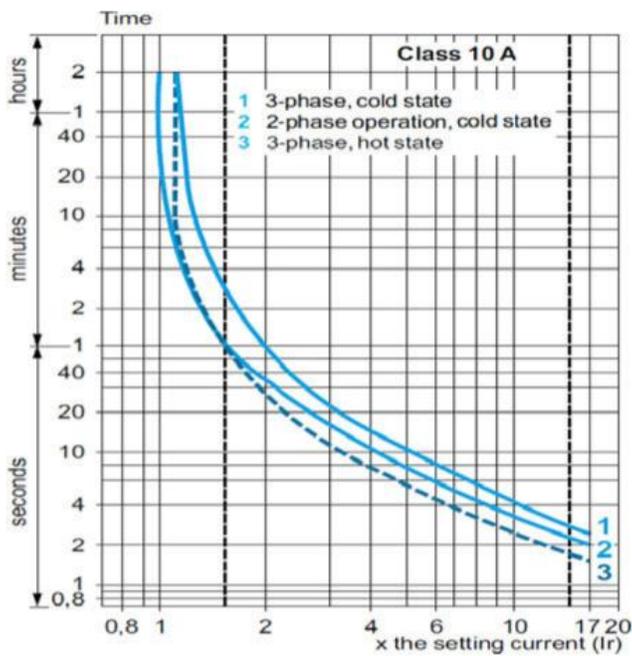
7. Encienda la fuente de alimentación y fije el voltaje a 208 Vac, mida la corriente cuando el motor esté operando en condiciones normales.

$$I_{inicial} = \text{_____ A.}$$

8. Varíe el valor del módulo resistivo a 300 Ohm en cada una de las resistencias y mida la corriente obtenida.

$$I_{300\Omega} = \text{_____ A.}$$

9. En la figura 68 se muestra la curva del guardamotor, esto indica el tiempo de accionar cuando se somete a ciertas cargas. Agregue el valor de 300 ohm. ¿Con base a la curva de operación, cuál es el tiempo estimado para que el guardamotor se accione?



10. Cuando el guardamotor haya accionado y se haya encendido el foco indicador de sobrecarga, una vez que el motor se detenga completamente baje el valor del voltaje a 0 y apague la fuente de alimentación.

11. Proceda abrir el gabinete del módulo didáctico de protecciones, identifique el guardamotor y gire la perilla de hacia arriba donde está indicado el número 1. Vuelva a cerrar y encender la fuente de alimentación y a subir el voltaje a 208V, repita el proceso, pero añadiendo una carga resistiva de 600 ohm. Mida la corriente obtenida. y anote el tiempo transcurrido en que se acciono el guardamotor.

$$I_{600\Omega} = \text{_____} \text{ A.}$$

$$Tiempo_{600\Omega} = \text{_____} .$$

12. Baje nuevamente el voltaje a 0, restablezca el guardamotor y proceda a agregar el valor de 1200 Ohm, mida la corriente y anote el tiempo transcurrido en que tardó en accionar el guardamotor.

$$I_{1200\Omega} = \text{_____} \text{ A.}$$

$$Tiempo_{1200\Omega} = \text{_____} .$$

13. Con las mediciones ya anotadas baje el voltaje a 0, desconecte la fuente de alimentación y reduzca el valor a 0% del electrodinamómetro. Por último, restablezca nuevamente el guardamotor.

Experimento 2.

14. Desconecte las resistencias variables y retire las conexiones realizadas; seguidamente conecte el motor síncrono de las terminales 1,2 y 3 en paralelo con el motor jaula de ardilla, en el devanado secundario realice la conexión estrella.



Conexión entre el motor sincrónico y el motor jaula de ardilla.

15. Encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje a 208 Vac y espere hasta que el motor esté operando en condiciones normales y anote la corriente inicial obtenida.

$$I_{inicial} = \text{_____} \text{ A.}$$

16. Suba el valor del electrodinamómetro con la perilla de ajuste a un valor de 55%.

¿Cuál fue la reacción del motor ante el incremento del 55% del electrodinamómetro?

17. Espere a que el guardamotor accione cuando detecte una sobrecarga y anote el tiempo transcurrido.

$$Tiempo = \text{_____}.$$

18. Espere a que el motor sea detenido, baje el voltaje a 0 y desconecte la fuente de alimentación. Para finalizar vuelva a restablecer el guardamotor.

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.

- a. ¿Cómo se puede proteger un motor de inducción contra sobrecargas en aplicaciones con variadores de frecuencia?
- b. ¿Cuál es la diferencia entre los relés térmicos y los relés electrónicos de sobrecarga?
- c. ¿Cómo se calcula la corriente nominal de un motor de inducción?
- d. ¿Cuál es la importancia de la curva de disparo en la selección del guardamotor adecuado?
- e. ¿Cómo se instala un guardamotor en un circuito eléctrico?
- f. ¿Qué se debe hacer si el guardamotor no dispara cuando se produce una sobrecarga en el motor?

7. CONCLUSIONES.

8. BIBLIOGRAFIA.

- WEG. (2018). Relés de Sobrecarga Eletrônicos. Jaragúa do sul, Brasil: WEG S.A
- Ramírez, M. S. (2005). Protección de sistemas eléctricos de potencia. Universidad autónoma de nuevo león.
- Leung, H. K., & Chan, W. L. (2016). Development of a protection scheme for induction motor against stator winding turn-to-turn faults using dynamic simulation. IEEE Transactions on Industry Applications, 52(6), 4856-4864. doi: 10.1109/tia.2016.2597299

- Morimoto, T., Hashimoto, Y., & Nishimoto, K. (2019). Development of a small-sized guard relay for contactor and motor protection. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(5), 5118-5126. doi: 10.1109/tia.2019.2911735

PRÁCTICA 4. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE.

1. OBJETIVO.

La protección contra sobre corriente y sobretensión en el laboratorio es esencial para garantizar la seguridad de los equipos y las personas que trabajan en él. Aquí te presento 5 objetivos importantes que se deben considerar al implementar prácticas de laboratorio para protección contra sobre corriente y sobretensión:

1. Entenderá el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobre corriente como los interruptores automáticos y los fusibles.
2. Comprender cómo los dispositivos de protección contra sobre corriente ayudan a proteger el equipo y las personas de los daños causados por una sobrecarga o cortocircuito.
3. Aprender sobre las normativas y estándares aplicables a la protección contra sobre corriente en diferentes sistemas eléctricos.
4. Conocerá la forma de onda de una sobre corriente en vacío y con carga.

2. MARCO TEORÍCO.

Los motores de inducción son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones industriales y comerciales debido a su fiabilidad y eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. Sin embargo, estos motores están sujetos a fallas debido a sobre corrientes y sobretensiones que pueden dañar sus componentes internos, reducir su vida útil y causar interrupciones en los procesos productivos.

Por lo tanto, es esencial proteger los motores de inducción contra estas condiciones anormales de operación. La protección contra sobre corriente y sobretensión es una medida preventiva que puede minimizar los riesgos de fallas y garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del motor.

En este apartado se abordará la importancia de la protección contra sobre corriente y sobretensión en motores de inducción, describiendo los principales tipos de protección, sus funciones y características, así como las técnicas de implementación y selección adecuada de dispositivos de protección.

Protección contra sobre corriente:

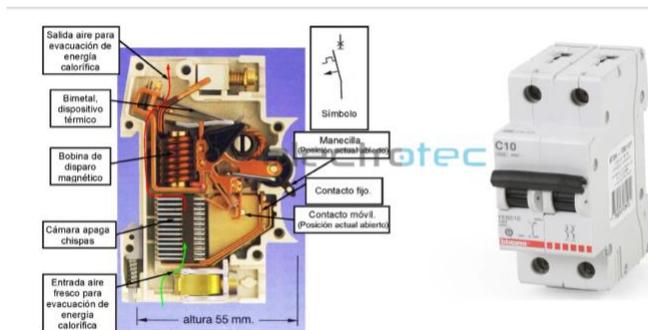
Las sobre corrientes pueden ocurrir en los motores de inducción debido a diversas causas, como cortocircuitos, fallas en el aislamiento, sobrecargas, arranques bruscos, entre otros. Estas sobre corrientes pueden generar altas temperaturas en los devanados del motor, lo que puede dañar su aislamiento y reducir su vida útil.

Por lo tanto, la protección contra sobre corriente es esencial para garantizar la operación segura y confiable del motor de inducción. Los dispositivos de protección contra sobre corriente se utilizan para detectar y desconectar el motor de la fuente de alimentación en caso de que se produzca una sobre corriente.

Existen varios tipos de dispositivos de protección contra sobre corriente, como fusibles, interruptores automáticos, relés térmicos y relés electrónicos. Cada tipo de dispositivo tiene sus propias características y limitaciones, y su selección debe basarse en las necesidades específicas de la aplicación y las condiciones de operación del motor. Uno de los métodos más comunes es el uso del interruptor termomagnético, este dispositivo está diseñado para detectar un aumento en la temperatura del motor y desconectar la corriente eléctrica en caso de sobrecalentamiento.



Su composición está conformada por un termómetro que está diseñado para detectar el aumento de temperatura en el motor. Cuando la temperatura del motor excede un cierto límite preestablecido, el termómetro activa el mecanismo magnético, que desconecta la corriente eléctrica al motor. El mecanismo magnético está compuesto por un imán permanente y un resorte. Cuando el termómetro activa el mecanismo, el imán atrae el resorte, lo que provoca que se abra el contacto eléctrico y se desconecte la corriente eléctrica. Una vez que la temperatura del motor ha disminuido a un nivel seguro, el termómetro desactiva el mecanismo magnético, permitiendo que el resorte vuelva a cerrar el contacto eléctrico y se restablezca la corriente eléctrica al motor.



Partes de un interruptor termomagnético.

Protección contra sobretensión:

Las sobretensiones pueden ser causadas por descargas atmosféricas, conmutación de cargas inductivas, fallas en la red eléctrica, entre otras razones. Estas sobretensiones pueden generar altas tensiones en los devanados del motor, lo que puede dañar su aislamiento y reducir su vida útil.

Por lo tanto, la protección contra sobretensión es esencial para garantizar la operación segura y confiable del motor de inducción. Los dispositivos de protección contra sobretensión se utilizan para limitar la tensión que llega al motor, evitando así que se produzcan daños en sus componentes internos.

Entre los dispositivos de protección contra sobretensión se encuentran los supresores de sobretensión, los limitadores de tensión y los reguladores de voltaje. Cada tipo de dispositivo tiene sus

propias características y limitaciones, y su selección debe basarse en las necesidades específicas de la aplicación y las condiciones de operación del motor.

El elemento de protección más utilizado es el guardamotor, que es capaz de detectar y desconectar la alimentación del motor en unos pocos milisegundos, lo que lo hace ideal para proteger los motores de inducción contra sobretensiones transitorias de corta duración. Además, este tipo de guardamotors suelen tener un indicador visual de fallo y un mecanismo de reinicio automático para volver a conectar el motor una vez que la sobretensión ha sido eliminada.

Para la realización de las prácticas, el módulo didáctico para la protección de motores de inducción tiene integrado un interruptor termomagnético y el guardamotor ya instalados y operando de manera eficiente.

3. CUESTIONARIO PREVIO.

1. ¿Qué consecuencias puede tener la sobre corriente en un motor de inducción?
2. ¿Qué es la corriente nominal y cómo se relaciona con la protección contra sobre corriente?
3. ¿Cuál es la diferencia entre una sobretensión temporal y permanente en un motor de inducción?
4. ¿Qué es la protección contra sobre corriente de tiempo inverso y cómo funciona?
5. ¿Qué es y para qué funciona el supresor de picos?
6. ¿Cuáles son los requisitos para los dispositivos de protección contra sobre corriente en motores de inducción según la NOM-SEDE-2012?
7. ¿Qué es la sobretensión de retroceso y cómo se puede prevenir en un motor de inducción?
8. ¿Qué mantenimiento debe realizarse en un interruptor termomagnético?
9. ¿Cuál es el tiempo de disparo y cómo se ajusta en un interruptor termomagnético?

10. ¿Qué dispositivos de protección se pueden utilizar para proteger un motor de inducción contra sobretensión?

11. ¿Qué es la protección magnética y cuál es su función?

12. Enliste algunas aplicaciones que se le da al supresor de picos.

4. MATERIAL.

Módulo de fuente de alimentación. (120/208 V, 3 ϕ , 120 VCA)	EMS 8821
Módulo de motor de inducción-jaula de ardilla.	EMS 8221
Módulo didáctico para la protección de motores de inducción.	
Cables de conexión.	EMS 8941
Puntas de atenuación 1:10	
Módulo de medición CA. (250/250/250 V).	EMS 8426
Módulo de medición CA (0.5/2.5 A)	EMS 8425
Electrodinamómetro	EMS 8911
Osciloscopio	EMS 8311

5. DESARROLLO.

¡ADVERTENCIA! Durante el desarrollo de la práctica se manejan altos voltajes, se recomienda que antes de cada práctica se verifique la fuente de alimentación esté desconectada y la perilla de control variable esté indicando 0v y al finalizar cada práctica vuelva a desconectar la fuente de alimentación después de cada medición.

Experimento 1.

1. Empiece a conectar la fuente de alimentación de las terminales L1, L2 Y L3 a la entrada de voltaje del módulo didáctico, posteriormente conecte el voltímetro en las terminales en paralelo conectando la terminal L1 hacia la entrada y L2 hacia la salida del voltímetro con un rango de 250 V

2. Conecte la terminal 1 a la entrada del motor del módulo didáctico de protección a la entrada de amperímetro, para la salida será de un rango de 2.5A y será conectado a la terminal 1 del motor jaula de ardilla.

3. Para las terminales 2 y 3 del motor jaula de ardilla realice la conexión a la entrada del motor del módulo didáctico de protección.



Conexión base para el motor jaula de ardilla, el amperímetro y el módulo didáctico de protección para motores.

4. Sin manipular ninguna conexión de los pasos anteriores, el gabinete e identifiqué el interruptor termomagnético.

5. Encienda la fuente de alimentación y proceda a subir el voltaje a 208 Vac y espere a que el motor esté trabajando en condiciones normales.

6. Con la ayuda del interruptor termomagnético y con la supervisión del docente, baje y suba rápidamente el interruptor y mida la corriente cuándo el motor enciende sin ninguna carga, es decir, en vacío.

$$I_{vacío} = \text{_____} \text{ A.}$$

7. Con el motor operando nuevamente, baje el interruptor termomagnético y espere a que el motor se detenga en su totalidad, con el motor parado restablezca el interruptor y anote la corriente medida.

$$I_{alto \ total} = \text{_____} \text{ A.}$$

8. Baje el voltaje a 0 y apague la fuente de alimentación. Contesta las siguientes preguntas.

¿Existe alguna variación de corriente en los pasos 6 y 7? Justifique su respuesta.

¿Cuántas veces la corriente se incrementa con respecto a la corriente nominal del motor?

9. Conecté el osciloscopio al módulo didáctico de protecciones con las puntas atenuadoras 1:10, en las terminales de la salida de voltaje. Encienda nuevamente la fuente de alimentación y aumente el voltaje gradualmente hasta obtener 208 Vac.

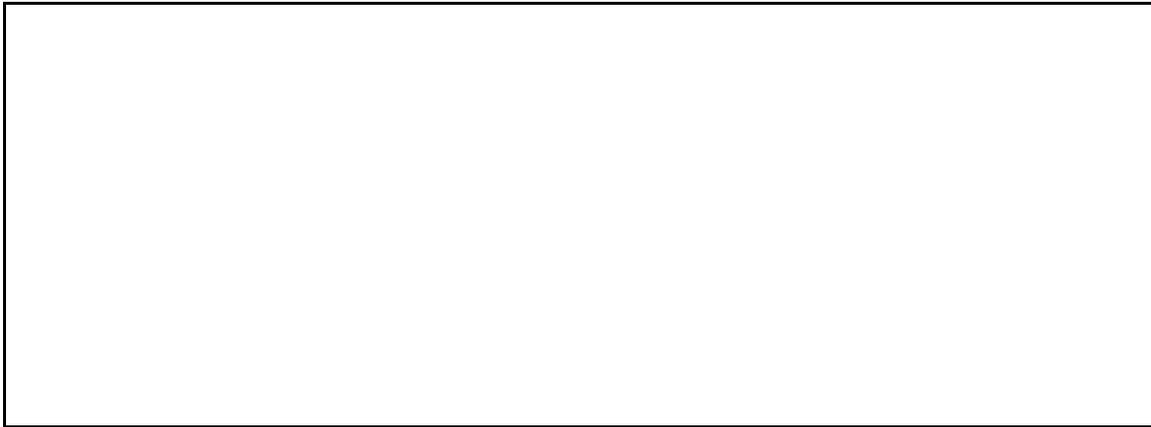
10. Cuando el motor esté operando en condiciones normales, en el osciloscopio presione el botón autoscane para obtener la función de onda del motor.

11. Repita nuevamente el paso 6, y al momento de que se esté realizando este proceso presione rápidamente la tecla single en el osciloscopio para que se aprecie la función de onda de la sobre corriente en vacío. Una vez obtenida la función, si es posible configure el osciloscopio para que se muestran las mediciones de corriente. Mida la corriente en el osciloscopio y anote el resultado.

Recuerde que se están utilizando puntas atenuadoras 1:10, el cual el resultado obtenido por el osciloscopio deberá multiplicarse por 10.

$$I_{Vacío} = \text{_____} \text{ A.}$$

12. Dibuje la función de onda obtenida en el paso anterior.



13. Baje el voltaje a 0 y desconecte momentáneamente el osciloscopio.

Experimento 2.

14. Retire el acrílico protector del electrodinamómetro y el motor jaula de ardilla para incorporar la banda. Realicé la conexión del electrodinamómetro con la fuente de alimentación en las terminales 8 y N de 120-2A.

15. Cambie el rango de salida del amperímetro a 8A. Encienda la fuente de alimentación y suba el voltaje a 208 Vac, espere a que el motor esté operando en condiciones normales.

16. En el módulo didáctico de protección baje y suba rápidamente el interruptor termomagnético. Mida la corriente en el amperímetro, mientras que en osciloscopio presione el botón single para apreciar la función de onda. Anote la corriente obtenida.

$$I_{carga} = \text{_____} \text{ A.}$$

18. Baje el voltaje a 0V y desconecte la fuente de alimentación, incorpore nuevamente el osciloscopio y ponga en marcha el motor jaula de ardilla, obtenga la función del motor en condiciones normales y repita el paso 16.

19. Mientras que esté bajando y subiendo el interruptor presione rápidamente el botón single. Anote la corriente obtenida.

$$I_{carga} = \text{_____} \text{ A.}$$

20. Dibuje la función de onda que se aprecia. Posteriormente baje el voltaje a 0V.



Experimento 3.

21. Con las conexiones anteriores intactas. Conecte la terminal del supresor del módulo didáctico de protecciones a la terminal 1 de la entrada del motor.

FOTO

22. Energice una vez más la fuente de alimentación y aumente gradualmente el voltaje a 208 Vac.

23. En el osciloscopio obtenga la forma de onda cuándo el motor esté operando en condiciones normales, rápidamente suba y baje el interruptor termomagnético. Obtenga la función de onda cuándo se esté realizando en este proceso.

24. Mida la corriente del amperímetro y anote el resultado.

$$I_{Supresor} = \text{_____} \text{ A.}$$

25. Dibuje la forma de onda y mida la corriente en el osciloscopio y anote el resultado.

$$I_{Supresor} = \text{_____} \text{ A.}$$

26. Por último baje el voltaje a 0 Vac y apague la fuente de alimentación.

6. PREGUNTAS DE EVALUACIÓN.

- a. ¿Cómo se puede determinar el nivel de corriente de disparo en un dispositivo de protección contra sobre corriente?
- b. ¿Es posible desactivar la protección contra sobre corriente en un motor de inducción? ¿Por qué?
- c. ¿Qué diferencia tuvo la función de onda con el supresor de picos?
- d. ¿Qué pruebas se pueden realizar en un motor de inducción para comprobar su correcto funcionamiento después de instalar la protección contra sobre corriente?
- e. ¿Cuál es la diferencia entre la protección térmica y la protección magnética en un interruptor termomagnético?
- f. ¿Cómo se puede realizar el mantenimiento de un interruptor termomagnético en el laboratorio?
- g. ¿Qué sucede si un motor de inducción experimenta una sobretensión sin protección contra sobretensión?
- h. Enlista las ventajas y desventajas de tres diferentes elementos de protección contra sobretensión disponibles para motores de inducción.

7. CONCLUSIONES.

8. BIBLIOGRAFIA.

- ABB. (2019). Control y protección de motores. Catálogo resumido, 168 Pág.
- Blackburn, J. D. (2007). Protective relaying for power generation systems. CRC Press.
- Chowdhury, A., & Rahman, S. (2011). Power system protection and switchgear.
Springer.
- Elmore, W. A. (2010). Power system protection: static relays. Elsevier.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2010). Power system analysis and design.
Cengage Learning.