



**Repotenciación y mejoramiento de los módulos didácticos de motores de eléctricos
pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la
Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede
Latacunga**

Aguilera Chimarro, Byron Enrique y Pacha Calero, Kevin Arnold

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación.

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en
Automatización e Instrumentación.

Ing. Cajas Buenaño, Mildred Lisseth

22 de agosto 2022

Latacunga



AGUILERA_ENRIQUIRE_PACHA_KEVIN_V9.pdf

Scanned on: 20:16 August 20, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	266
Words with Minor Changes	219
Paraphrased Words	245
Omitted Words	0



Firmado electrónicamente por:
**MILDRED
LISSETH CAJAS
BUENANO**



Departamento de eléctrica y electrónica

Carrera de tecnología superior en automatización e instrumentación

Certificación

Certifico que la monografía: **“Repotenciación y mejoramiento de los módulos didácticos de motores de eléctricos pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga.”** fue realizada por los señores **Aguilera Chimarro, Byron Enrique y Pacha Calero, Kevin Arnold**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 22 de agosto de 2022



Firmado electrónicamente por:
**MILDRED
LISSETH CAJAS
BUENANO**

Ing. Cajas Buenaño, Mildred Lisseth

C. C. 0503497604



Departamento de eléctrica y electrónica

Carrera de tecnología superior en automatización e instrumentación

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Aguilera Chimarro, Byron Enrique**, con cédula de ciudadanía n° 1727501924 y Pacha Calero, Kevin Arnold, con cédula de ciudadanía n° 0503408551, declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Repotenciación y mejoramiento de los módulos didácticos de motores de eléctricos pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de agosto de 2022

Aguilera Chimarro, Byron Enrique

C.C.: 1727501924

Pacha Calero, Kevin Arnold

C.C.: 0503408551



Departamento de eléctrica y electrónica

Carrera de tecnología superior en automatización e instrumentación

Autorización de Publicación

Nosotros, **Aguilera Chimarro, Byron Enrique**, con cédula de ciudadanía n° 1727501924 y **Pacha Calero, Kevin Arnold**, con cédula de ciudadanía n° 0503408551, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Repotenciación y mejoramiento de los módulos didácticos de motores de eléctricos pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 22 de agosto de 2022

Aguilera Chimarro, Byron Enrique

C.C.: 1727501924

Pacha Calero, Kevin Arnold

C.C.: 0503408551

Dedicatoria

Estudiante Kevin Arnold Pacha Calero

Dedico con todo mi corazón el presente proyecto, a mis padres que con su amor, trabajo y sacrificio han luchado por darme lo suficiente para lograr culminar mi carrera, que además de forjarme como persona me han sabido guiar por el buen camino.

A mi hermano que me ha brindado su apoyo económico y moral incondicionalmente durante esta etapa de mi vida, con su ejemplo me ha demostrado que con esfuerzo y dedicación todo es posible.

A Dios por haberme dado la sabiduría y la salud para poder realizar este proyecto.

Estudiante Byron Enrique Aguilera Chimarro

El presente trabajo está dedicado con mucho cariño y respeto a las personas más importantes y esenciales de mi vida mis padres Byron y Sofía quiénes son un gran ejemplo de superación y constancia, a mi hermano Alejandro que me dio siempre su apoyo cuando más lo necesitaba gracias a ellos hicieron posible mi anhelo de tener una profesión ya el que estuvieron incondicionalmente apoyándome para alcanzar la meta deseada en este transcurso de mi carrera universitaria.

Agradecimiento

Estudiante Kevin Arnold Pacha Calero

A mis padres y hermano, principalmente a mi madre que ha estado conmigo día tras día brindándome su apoyo a lo largo de mi vida en cada una de las metas que me he propuesto.

A todos los docentes que me han formado durante el transcurso de mi vida estudiantil, por su paciencia y esfuerzo para impartir sus conocimientos, ya que gracias a ello pude desarrollar el presente proyecto y a futuro podré desenvolverme como un excelente profesional.

Estudiante Byron Enrique Aguilera Chimarro

Primordialmente mi total y más sincero agradecimiento a mis padres que me formaron como un ser humano de bien y a mi hermano por su apoyo incondicional en los momentos buenos y malos.

Al personal docente de la carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación, los mismos que con sus valiosos conocimientos fueron los principales participantes Para de esta forma desarrollar y afianzar mis conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas.....	15
Resumen	16
Abstract.....	17
Capítulo I: Introducción	18
Antecedentes	18
Planteamiento del problema	19
Justificación.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo general</i>	20

<i>Objetivos específicos</i>	20
Alcance.....	20
Capítulo II: Marco teórico.....	22
Máquina eléctrica	22
<i>Circuitos magnéticos en las máquinas eléctricas</i>	24
<i>Clasificación de máquinas eléctricas</i>	26
Motor eléctrico	26
<i>Campo magnético giratorio en un motor</i>	28
<i>Potencia y par de un motor eléctrico</i>	29
<i>Clasificación de motores eléctricos según su alimentación</i>	30
<i>Principio de funcionamiento de motores asíncronos</i>	31
<i>Motor monofásico de arranque por capacitor</i>	31
Motor trifásico (LA7 112-4YB60)	32
<i>Conexiones para motor trifásico (LA7 112-4YB60)</i>	35
Motor WEG (1UMOIC4NXX1/2040)	37
Transformadores.....	40
<i>Funcionamiento</i>	40
Variador de frecuencia.....	42
<i>Partes de un variador</i>	43
Elementos de protección eléctrica.....	44
<i>Interruptor termomagnético</i>	44

<i>Fusible</i>	45
<i>Fusible tipo cilíndrico</i>	45
<i>Portafusible RT18-32</i>	46
Elementos de medición e indicadores.....	47
<i>Amperímetro analógico</i>	47
<i>Luz piloto</i>	48
Transformador de corriente	49
Sentron PAC3100	51
<i>Entradas de medida</i>	53
<i>Entradas y salidas digitales</i>	53
<i>Interfaz RS 485</i>	55
<i>Ejemplo de conexión</i>	56
Capítulo III: Desarrollo del tema	58
Dimensionamiento de protecciones	60
<i>Protecciones del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico</i>	61
<i>Protecciones del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico</i>	63
Conexiones	64
<i>Conexiones del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico</i>	64

<i>Conexiones del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico</i>	68
Pruebas de funcionamiento	71
<i>Funcionamiento del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico</i>	71
<i>Funcionamiento del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico</i>	76
Resultados	80
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....	86
Conclusiones.	86
Recomendaciones.....	88
Bibliografía.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Conversión de energía</i>	23
Figura 2 <i>Esquema común de las máquinas eléctricas</i>	24
Figura 3 <i>Curva de imanación</i>	25
Figura 4 <i>Circuito magnético</i>	25
Figura 5 <i>Motor eléctrico</i>	28
Figura 6 <i>Campo magnético en un motor</i>	29
Figura 7 <i>Motor de arranque por capacitor</i>	32
Figura 8 <i>Dimensiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)</i>	35
Figura 9 <i>Terminales de conexión de motor trifásico</i>	36
Figura 10 <i>Conexiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)</i>	37
Figura 11 <i>Motor monofásico WEG (1UMOIC4NXX1/2040)</i>	39
Figura 12 <i>Características del motor WEG</i>	39
Figura 13 <i>Transformadores</i>	40
Figura 14 <i>Variador de frecuencia</i>	42
Figura 15 <i>Partes internas de un variador de frecuencia</i>	44
Figura 16 <i>Interruptor termomagnético</i>	45
Figura 17 <i>Fusible tipo cilindro</i>	46
Figura 18 <i>Portafusible</i>	47
Figura 19 <i>Amperímetro analógico</i>	48
Figura 20 <i>Luz piloto</i>	49
Figura 21 <i>Partes de un TC</i>	50
Figura 22 <i>Transformador de corriente (TC)</i>	51
Figura 23 <i>Sentron PAC3100</i>	52
Figura 24 <i>Esquema de entradas digitales Sentron PAC3100</i>	54

Figura 25 <i>Interfaz de salidas digitales.</i>	52
Figura 26 <i>Comunicación Modbus</i>	56
Figura 27 <i>Ejemplo de conexión externa del Sentron PAC3100.</i>	56
Figura 28 <i>Módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico.</i>	59
Figura 29 <i>Módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico.</i>	60
Figura 30 <i>Transformador elevador.</i>	65
Figura 31 <i>Conexión de elementos del módulo de arranque por VFD.</i>	66
Figura 32 <i>Terminales de conexión de motor.</i>	67
Figura 33 <i>Conexión de motor para 440 VAC.</i>	67
Figura 34 <i>Conexión de motor para 440 VAC.</i>	68
Figura 35 <i>Conexión de los elementos.</i>	69
Figura 36 <i>Conexión de los elementos.</i>	70
Figura 37 <i>Variador de frecuencia.</i>	74
Figura 38 <i>Transformadores de corriente.</i>	75
Figura 39 <i>Sentron PAC3100</i>	75
Figura 40 <i>Velocidad del motor.</i>	76
Figura 41 <i>Esquema de conexión para el arranque por capacitor de un motor monofásico.</i>	78
Figura 42 <i>Circuito de fuerza y mando para el arranque del motor monofásico.</i>	79
Figura 43 <i>Circuito de fuerza y mando para el paro del motor monofásico.</i>	80
Figura 44 <i>Elementos y dispositivos utilizados en el arranque de un motor trifásico mediante un VFD.</i>	81

- Figura 45** *Parte constructiva frontal del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico..... 83*
- Figura 46** *Parte constructiva lateral del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico..... 83*
- Figura 47** *Parte interna del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico..... 84*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de motor trifásico (LA7 112-AYB60)</i>	33
Tabla 2 <i>Dimensiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)</i>	34
Tabla 3 <i>Características de motor</i>	38
Tabla 4 <i>Datos del motor trifásico</i>	61
Tabla 5 <i>Datos para el cálculo de corriente</i>	63
Tabla 6 <i>Características de conexión</i>	72
Tabla 7 <i>Datos de configuración de variador de frecuencia</i>	73
Tabla 8 <i>Características de conexión de un motor monofásico</i>	77
Tabla 9 <i>Mediciones de corriente</i>	82

Resumen

Con el paso de los años los módulos didácticos han tomado más importancia en el desarrollo de habilidades y destrezas de los estudiantes por tal razón es necesario repotenciar y mejorar dos módulos didácticos que se encuentran en el laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga; los cuales son: módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico (LA7 112-AYB60) se trata de un arranque directo con una alimentación de 440 VAC (voltios de corriente alterna), que por medio del transformador elevador de voltaje de 220 VAC a 440 VAC que se encuentra en el laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga, se lo utilizó para alimentar al variador de frecuencia Sinamics V20. El módulo permite variar la velocidad del motor de 0 – 1745 rpm (revoluciones por minuto) mediante el variador de frecuencia en un rango de 0 - 60 Hz (Hertz); la corriente consumida es de 0 – 3 A (amperios); con los TC (transformadores de corriente) se podrá visualizar corriente de cada fase U, V, W consumida por el motor en un analizador de redes Sentron PAC3100. El módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico WEG (1UMOIC4NXX1/2040); se trata de un arranque directo por medio de un pulsador con un enclavamiento, estará conectado con un relé alimentado en su bobina con $110 V_{rms}$, el cual encenderá una luz piloto verde que estará conectado a un contacto NO (normalmente abierto) del relé y al cerrarse este contacto por acción del pulsador podrá indicar que el motor arrancó y que su contacto centrífugo se abrió al llegar al 60% de su velocidad nominal en un aproximado de 0,5 segundos; con el pulsador de paro se detendrá el motor y se podrá visualizar mediante la luz piloto roja.

Palabras clave: variador de frecuencia Siemens V20, motor trifásico (LA7 112-AYB60), motor monofásico WEG (1UMOIC4NXX1/2040), Sentron PAC3100.

Abstract

Over the years the didactic modules have taken more importance in the development of skills and abilities of students for that reason it is necessary to upgrade and improve two didactic modules that are in the laboratory of Electrical Machines and Industrial Control of the University of the Armed Forces - ESPE Latacunga headquarters; which are: didactic module for starting by frequency converter of a three-phase motor (LA7 112-AYB60) it is a direct start with a power supply of 440 VAC (volts of alternating current), which through the voltage step-up transformer from 220 VAC to 440 VAC that is in the laboratory of Electrical Machines and Industrial Control of the Technology Unit of the University of the Armed Forces - ESPE Latacunga branch, was used to feed the frequency converter Sinamics V20. The module allows varying the motor speed from 0 - 1745 rpm (revolutions per minute) through the frequency inverter in a range of 0 - 60 Hz (Hertz); the current consumed is 0 - 3 A (amperes); with the CTs (current transformers) it will be possible to visualize the current of each phase U, V, W consumed by the motor in a Sentron PAC3100 network analyzer. The training module for capacitor starting of a WEG single-phase motor (1UMOIC4NXX1/2040); It is a direct start by means of a push button with an interlock, it will be connected to a relay fed in its coil with 110 Vrms, which will light a green pilot light that will be connected to a NO contact (normally open) of the relay and when this contact is closed by the action of the push button it will indicate that the motor started and that its centrifugal contact was opened when reaching 60% of its nominal speed in approximately 0.5 seconds; with the stop push button the motor will stop and it will be visualized by means of the red pilot light.

Keywords: Siemens V20 frequency inverter, three-phase motor (LA7 112-AYB60), WEG single-phase motor (1UMOIC4NXX1/2040), Sentron PAC3100.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En los últimos años se han escrito diversas críticas a las prácticas de laboratorio en las cuales se propone innovaciones tanto en lo metodológico como en lo conceptual. Lo que parece más problemático es la idoneidad de las prácticas para el aprendizaje de conceptos teóricos, mientras que no se duda de su utilidad para el aprendizaje de los procedimientos científicos. Además, se reconoce que las prácticas escolares responden a finalidades diversas: familiarizarse con algunos fenómenos, contrastar hipótesis e investigar. También se ha recalcado el valor de planear y desarrollar las prácticas según 3 objetivos principales: aprender ciencias, aprender qué es la ciencia y aprender a hacer ciencias. Desde la perspectiva de los maestros se critica el hecho de que enseñen la ciencia de los científicos y no contextualicen la ciencia al aula de clase. (Espinet et al., 1999)

La relación existente entre la enseñanza universitaria y los recursos didácticos deben permitir, no solo el trabajo individual en el que se produce una interacción con el material de aprendizaje y con el medio empleado, sino que también deben facilitar el trabajo en colaboración con otros estudiantes y docentes universitarios que pueden estar situados en espacios y tiempos diferentes teniendo un variado nivel de competencia. (Luis & Castilla, 2012)

La búsqueda del mejoramiento de la enseñanza universitaria y el buen uso y aplicación de recursos didácticos, son importantes para mejorar los niveles de rendimiento académico en los estudiantes estos recursos acompañados de una buena metodología docente permitirán alcanzar los propósitos establecidos dentro del marco de referencia que se propone alcanzar como objetivos propiamente dichos en la facultad de educación. (Luis & Castilla, 2012)

Cuando se requiere realizar una práctica de laboratorio el docente encargado debe tener los recursos necesarios para la correcta enseñanza de los diferentes accionamientos de motores; pero los módulos didácticos para el aprendizaje en el laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga, se encuentran deteriorados o en algunos casos no funcionan de la mejor manera; por lo cual el instructor no tiene las herramientas para dar una educación de primer nivel.

Planteamiento del problema

La necesidad de realizar este proyecto nace para mejorar el funcionamiento de módulos didácticos de accionamientos de motores del laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la Unidad de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga; debido a la falta de mantenimiento y operatividad sus elementos como: variador de frecuencia, interruptores termomagnéticos, fusibles y capacitor para el arranque de motor monofásico sufren desperfectos o daños permanentes.

Por lo tanto, se deberá hacer un mejoramiento y repotenciación de los módulos didácticos.

Justificación

En la carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación, los estudiantes del tercer nivel que cursan la asignatura de Máquinas Eléctricas y Control Industrial necesitan realizar las prácticas de laboratorio para conocer las partes, funcionamiento y control de las máquinas estáticas y rotativas; por lo cual se ha implementado módulos didácticos para el aprendizaje.

Objetivos

Objetivo general

- Repotenciar y mejorar los módulos didácticos de motores eléctricos pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la unidad de tecnologías de la Universidad Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga.

Objetivos específicos

- Investigar información relacionada con las mejoras a implementarse en los módulos didácticos de motores eléctricos de laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los módulos didácticos de Máquinas Eléctricas y Control Industrial.
- Realizar el reemplazo de los materiales y dispositivos averiados para la repotenciación de los módulos didácticos de motores eléctricos.

Alcance

La propuesta de trabajo es repotenciar y mejorar los módulos didácticos de motores eléctricos pertenecientes al laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial, en lo cual los principales beneficiarios son los estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación; que con dichos módulos mejorarán el aprendizaje

La repotenciación y mejoramiento se basará en dos módulos los cuales son:

Módulo didáctico del arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico; para la variación de velocidad de un motor trifásico de 0 a 1475 rpm, dependiendo de la frecuencia inducida por el variador de frecuencia de 0 – 60 Hz; la corriente consumida de 0 – 3 A por el

motor se podrá visualizar en un analizador de redes medido por tres transformadores de corriente, uno por cada fase de voltaje.

Módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico; es un arranque directo de un motor mediante un pulsador de arranque que encenderá una luz piloto verde indicando el arranque y que su contacto centrífugo se abrió al llegar al 60% de su velocidad nominal en un aproximado de 0,5 segundos y un pulsador de paro que encenderá una luz piloto roja que indicará que el motor se detuvo por completo. Estas dos acciones se pueden realizar mediante un relé que con los pulsadores puede cambiar el estado del motor.

Capítulo II

Marco Teórico

Máquina eléctrica

Según (Alexandre Wagemakers & Francisco J. Escibano, 2013) las máquinas eléctricas son un dispositivo capaz de transformar cualquier tipo de energía en energía eléctrica o viceversa como se puede observar en la Figura 1; usan circuitos magnéticos para canalizar los flujos magnéticos generados por las corrientes y así transformar la energía de una forma a otra. El desarrollo de la electricidad ha permitido transformar y distribuir esta energía, incluyendo aquellas máquinas que transforman la electricidad en la misma forma de energía, pero con una presentación distinta más conveniente a su transporte o utilización. Todas las máquinas eléctricas tienen características que son comunes desde el punto de vista geométrico y de funcionamiento.

Según (PUCP, 2015) desde el punto de vista geométrico, se puede decir que toda máquina eléctrica rotativa está constituida por:

- Una carcasa o cubierta exterior.
- Una estructura magnética fija cilíndrica o estator.
- Una estructura magnética móvil cilíndrica o rotor.
- Un entrehierro o espacio de aire que separa el estator del rotor para que este último pueda girar
- Un bobinado estatórico.
- Un bobinado rotórico.

Según (PUCP, 2015) desde el punto de vista del funcionamiento, se puede decir que en todas las máquinas eléctricas rotativas:

- Existe un campo magnético inductor.
- Existe un campo magnético inducido.
- Interactúan en el entrehierro los campos magnéticos inductor e inducido.
- Se convierte energía mecánica en eléctrica y viceversa.
- La conversión de energía utiliza el campo magnético como medio de acoplamiento.
- Es posible un comportamiento reversible como motor o como generador.
- Se regulan automáticamente (es decir por sí mismas) ante las variaciones de la carga dentro de un amplio rango.

Según (PUCP, 2015) también puede agregarse las siguientes características comunes.

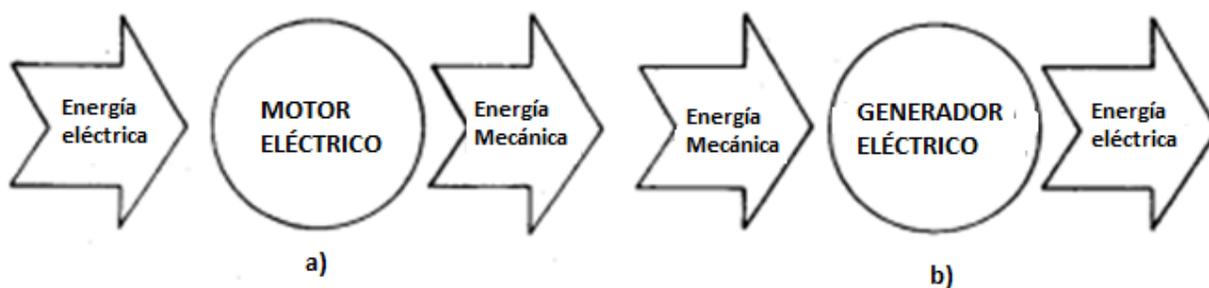
- El núcleo de ambas estructuras magnéticas es de material ferromagnético.
- Los conductores de los bobinados son de cobre.
- El entrehierro es de aire.

El esquema común de las máquinas eléctricas rotativas se puede observar en la Figura

2.

Figura 1

Conversión de energía



Nota. En la imagen muestra (a) la conversión de energía eléctrica a mecánica en un motor eléctrico y (b) la conversión de energía mecánica a eléctrica en un generador. Tomado de (PUCP, 2015).

Figura 2

Esquema común de las máquinas eléctricas



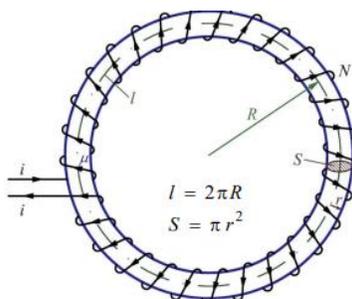
Nota. En la imagen muestra la geometría común a todas las máquinas eléctricas rotativas en la que constan de un estator, un rotor y un entrehierro; alimentado de una corriente eléctrica. Tomado de (PUCP, 2015).

Circuitos magnéticos en las máquinas eléctricas

Una pieza en forma circular como se puede observar en la Figura 3, está recubierta uniformemente por una bobina de N espiras en serie recorridas por una corriente I . Dada la simetría circular de la pieza cualquier sección S , tiene el mismo campo magnético; además, el radio R de la circunferencia media cuya longitud es mucho más grande que el radio R de la sección S ; se puede aceptar que en la sección S la inducción magnética B es prácticamente uniforme (Ángel & Pozueta, 2015).

Figura 3

Curva de imanación

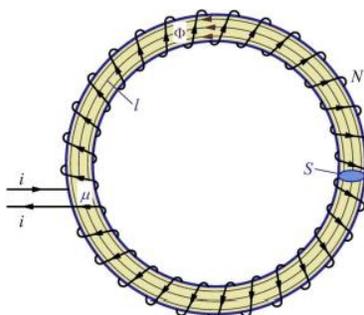


Nota. En la imagen muestra el circuito magnético elemental. Tomada de (Ángel & Pozueta, 2015).

Un conjunto de líneas de campo magnético que delimitan una superficie cerrada por cuyas paredes laterales no pasa ningún flujo y que por su interior conduce un flujo Φ constituyen un circuito magnético como se muestra en la Figura 4. Físicamente un circuito magnético se materializa en una canalización para las líneas de campo realizada íntegramente o en gran medida con material ferromagnético. En efecto la alta permeabilidad μ de los materiales ferromagnéticos hace que las líneas de campo circulen preferentemente por dichos materiales y esto permite canalizar el flujo magnético a través de ellos (Ángel & Pozueta, 2015).

Figura 4

Circuito magnético



Nota. En la imagen muestra el circuito magnético en forma circular donde se encuentra una bobina de (N) espiras, una corriente (I), un flujo (Φ) y una alta permeabilidad (μ). Tomada de (Ángel & Pozueta, 2015).

Clasificación de máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas se clasifican en tres grandes grupos como son: generadores, motores y transformadores (Dennis Fernando Acuña, 2019).

Generadores: Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica (Dennis Fernando Acuña, 2019).

Motores: Es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas (Dennis Fernando Acuña, 2019).

Transformadores: son dispositivos eléctricos los cuales permiten disminuir o aumentar la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida (Dennis Fernando Acuña, 2019).

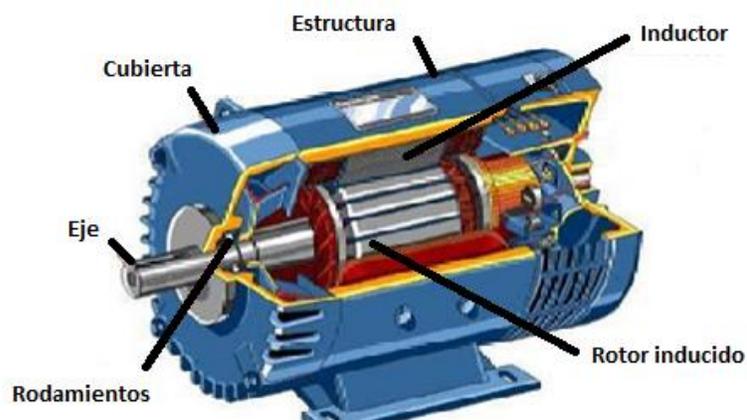
Motor eléctrico

Es una máquina que transforma la energía eléctrica en mecánica, la acción se desarrolla introduciendo una corriente en la máquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la máquina como se puede observar en la Figura 5; aparece entonces una f.e.m. (fuerza electromotriz) inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contraelectromotriz. En consecuencia, el motor

necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica correspondiente (Contreras & Sánchez, 2010).

El motor se constituye de varias partes como son:

- **Escobillas:** son las que se encargan de permitir que exista una conexión entre la parte giratoria y la parte fija del motor eléctrico.
- **Rotor:** Es conocida también como inductor; donde las piezas permiten que el eje del motor gire, son conocidas como espiras y pueden combinarse con el eje. Son como conocidas como bobinado del motor y depende el cambio que se realizará de energía eléctrica a mecánica.
- **Tapas:** son elementos que sirven para sostener los cascos de rodamiento y de cojinetes permitiendo el soporte de la acción del motor.
- **Carcasa:** es la que sirve para cubrir, proteger el rotor y estator; para fabricarse el material a utilizar depende del tipo de motor su aplicación y su diseño.
- **Bobinado del motor:** el bobinado de un cable que permite mostrar el enrollado de las diferentes espiras. Por el inicio de este y el final es que entra y sale la corriente eléctrica.
- **Cojinetes:** son aquellos que contribuyen a la operación perfecta de las partes que giran del motor.
- **Estator:** funciona como la base del motor ya que es la parte que se encuentra fija; permite que se realice la rotación del motor se mueve de forma magnética (Contreras & Sánchez, 2010).

Figura 5*Motor eléctrico*

Nota. En la imagen muestra las partes principales de un motor eléctrico como son: cubierta, estructura, inductor, eje, rodamientos y el rotor. Tomado de (Contreras & Sánchez, 2010).

Campo magnético giratorio en un motor

El campo magnético está creado por un bobinado trifásico alimentado por corriente alterna es de valor constante pero giratorio y a la velocidad del sincronismo. Esto se puede comprobar con el estudio de las posiciones que va ocupando la resultante del flujo atendiendo a los sentidos de corriente que van tomando los conductores en el bobinado como se puede observar en la Figura 6 (mheducation, 2017).

En el instante 0 la fase U tiene valor 0, la fase V tiene valor negativo, por lo que la corriente circula desde V_2 hasta V_1 y la fase W tiene valor positivo, con lo que la corriente circula desde W_1 hasta W_2 (mheducation, 2017).

- El signo positivo representa que la corriente entra en el plano y en el signo negativo activo que sale del plano.
- El ciclo de la corriente se divide en 6 partes iguales pasando ahora al instante 1

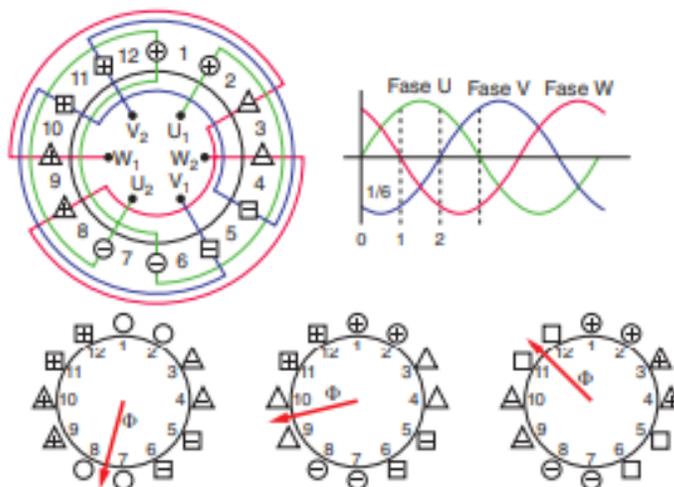
donde vemos que la fase U tiene valor positivo la fase V sigue teniendo valor negativo y la fase W tiene valor positivo.

- En este instante la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 9 y 10, con la que ha avanzado un sexto de la circunferencia en el tiempo que ha transcurrido desde el instante cero a uno, que corresponde con un sexto del período de la corriente.

Sí es cierto, sucesivamente a los demás instantes podemos ver que de uno a otro siempre avanzando un sexto de vuelta igual que el tiempo que transcurre de un instante a otro el período de la corriente, lo que nos indica que el flujo es giratorio y su velocidad coincide con la velocidad del sistema de corriente alterna (mheducation, 2017).

Figura 6

Campo magnético en un motor



Nota. En la imagen muestra la comprobación del campo magnético giratorio en base a tres fases de corriente alterna. Tomado de (mheducation, 2017).

Potencia y par de un motor eléctrico

Según (Contreras & Sánchez, 2010) la potencia mecánica de los motores se expresa en HP (caballos de fuerza) o KW (Kilowatts), medidas que cuantifican la cantidad de trabajo

que un motor eléctrico es capaz de realizar en un periodo específico de tiempo. Existen dos factores fundamentales que establecen la potencia mecánica en los motores son: el par motor y la velocidad de rotación.

El par motor es una medida de la fuerza que tiende a crear la rotación, se mide en Libras-pie o Newton-metro. La velocidad del motor esta dado por RPM (revoluciones por minuto). La relación entre la potencia, el par y la velocidad se da por la siguiente Ec.(1):

$$Potencia = Velocidad \cdot Par \quad (1)$$

Clasificación de motores eléctricos según su alimentación

Según (HIMILCE Página, 2019) los motores eléctricos según su alimentación se clasifican en dos grandes grupos que son motores de corrientes continua y motores de corriente alterna; todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación siguiente tienen aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto trifásicos como monofásicos son los que tienen una aplicación más general gracias a su facilidad de uso, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación.

- Motores de corriente continua:
 - De excitación independiente.
 - De excitación serie.
 - De excitación (shunt) o derivación.
 - De excitación compuesta (compound).
- Motores de corriente alterna:
 - Motores síncronos.
 - Motores asíncronos:
 - Monofásicos.

- De bobinado auxiliar
- De espira en cortocircuito.
- Universal.
- Trifásicos.
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Principio de funcionamiento de motores asíncronos

Según (HIMILCE Página, 2019) el principio de funcionamiento del motor asíncrono se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estático sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio establecido por el bobinado estático corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas.

La acción asociativa del flujo migratorio y las corrientes de existentes entre conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas, sobre los propios conductores que arrastra el rotor produciendo la rotación.

La velocidad de giro del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre menor a la velocidad del sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor debe existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio a la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y de rotor se le llama deslizamiento.

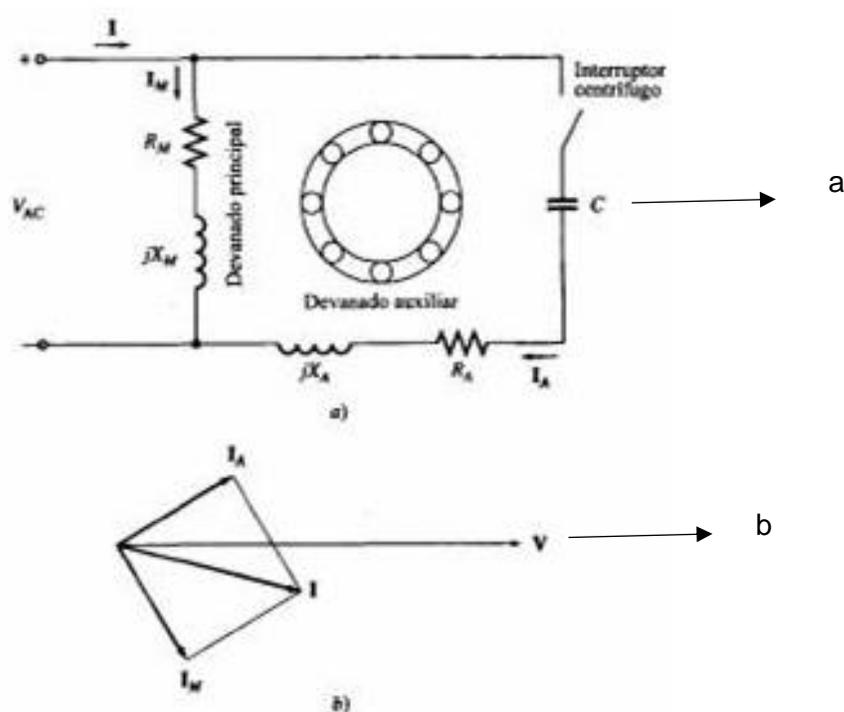
Motor monofásico de arranque por capacitor

El motor monofásico de arranque por capacitor tiene dos devanados, uno auxiliar y otro principal. Sobre el devanado auxiliar se inserta un capacitor (condensador) en serie, que tiene como función aumentar el par de arranque, entre 2 y 4 veces el par normal; estos motores monofásicos de corriente alternan cuyo rango va de fracciones de HP a 15 HP, se

usan ampliamente con muchas aplicaciones de tipo monofásico; como accionamiento a máquinas y herramientas como pueden ser taladros, pulidoras, motobombas, etc. El esquema y el desfase de corrientes de un motor de arranque por capacitor se puede observar en la Figura 7 (Fragoso, 2019).

Figura 7

Motor de arranque por capacitor



Nota. En la imagen muestra el (a) esquema interno del arranque por capacitor de un motor y (b) el desfase de corrientes. Tomado de (Fragoso, 2019).

Motor trifásico (LA7 112-4YB60)

Es un motor el cual cuenta con amplias propiedades para el trabajo como se muestra en la Tabla 1; además cumple con las normas IEC (Comisión Electrotécnica Internacional); los motores LA7 de certificación obligatoria han sido certificados por el CQC (Centro Certificado de

Calidad China), tiene un grado de protección IP55 (Protección contra polvo y chorros de agua) y una eficiencia IE1 (Eficiencia eléctrica estándar) (siemens, 2003).

Tabla 1

Características de motor trifásico (LA7 112-AYB60)

Motor 4 polos, 1745 RPM	
Frame IEC	112M
Potencia	4(HP), 3.0 (KW)
Factor de servicio	1.15
Corriente nominal (440 VAC)	6.1 (A)
Corriente nominal (220 VAC)	12.2(A)
Eficiencia η	85.5%
Velocidad nominal	1745 (rpm)
Torque nominal	16.4 (Nm)
Torque de arranque	2.8 (Ta/Tn)
Corriente de arranque	7.6 (Ia/In)
Peso Neto IMB3	25.4 (kg)
Rodamientos	6206 2Z C3/ 6205 2Z C3

Nota. Esta tabla muestra las características principales como: potencia, factor de servicio, corriente nominal dependiendo del voltaje de alimentación, velocidad nominal del motor trifásico. Tomado de (Eficiencia, 2012).

Para las dimensiones del motor trifásico hay que tomar en cuenta los nombres de las cotas en las medidas comunes IMB3 que son: l, d, t, u, g; y en las medidas de la forma constructiva IMB3 que son: p/p2, k, a, b, h, w₁, s, e, f.

Con esto se observa en la Figura 8 y en la Tabla 2 las dimensiones del motor (Eficiencia, 2012).

Tabla 2

Dimensiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)

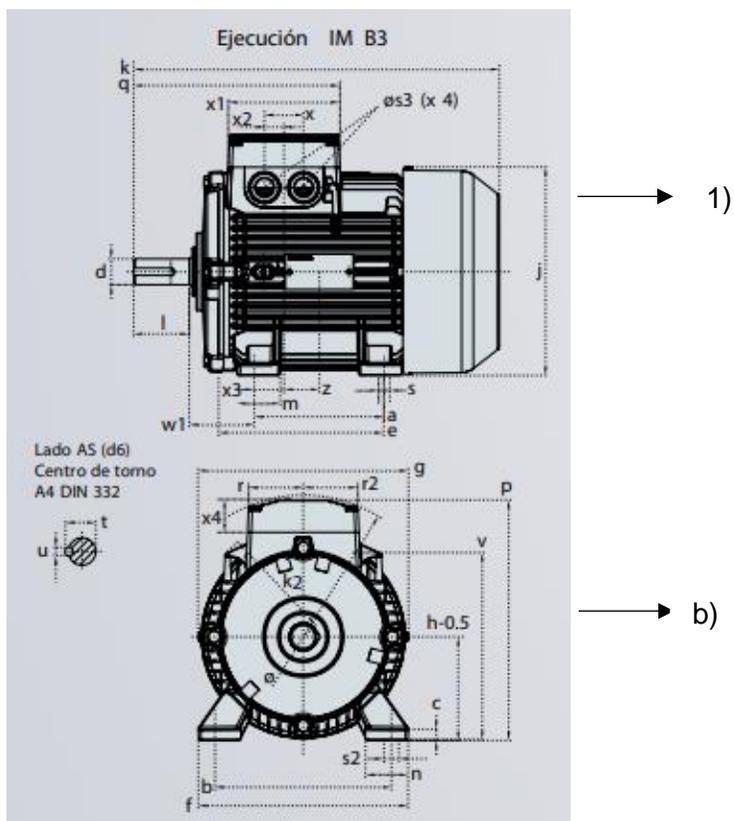
Dimensiones (mm)			
Medidas comunes IMB3		Medidas de la forma constructiva IMB3.	
l	60	p/p2	260
d	28	k	393
t	31.0	a	140
u	8	b	190
g	227	h	112
		w₁	70
		s	12
		e	176
		f	226

Nota. Esta tabla muestra las medidas comunes IMB3 y las medidas de la forma constructiva

IMB3 del motor trifásico. Tomado de (Eficiencia, 2012).

Figura 8

Dimensiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)



Nota. En la imagen muestra (1) la parte lateral donde se encuentra: la cota (k) que es la medida desde el eje hacia la tapa de ventilación del motor, (d) es el diámetro del eje, (l) longitud del eje, (e) longitud de la carcasa y (2) la parte frontal del motor donde se encuentra: la cota (b) que es el diámetro interno, (g) el diámetro total, (f) longitud entre soportes. Tomado de (Eficiencia, 2012) .

Conexiones para motor trifásico (LA7 112-4YB60)

Según (coparoman, 2014) los motores eléctricos trifásicos asíncronos, elaborados bajo la norma estadounidense NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos), más

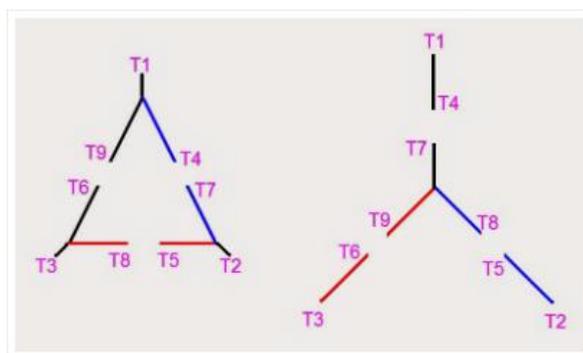
comunes tienen 9 terminales. Se diseñan para dos tensiones, con una relación de 2 a 1. Ejemplo 230/ 460 voltios. Y dos tipos de conexión; “Conexiones Tipo Delta” o “Conexiones Tipo Estrella”, cada una debe ser conectada en bajo voltaje (en paralelo) y o en alto voltaje (serie).

Si comprobamos continuidad identificamos el tipo de conexión:

- En Delta tendremos tres grupos de tres terminales como se observa en la Figura 9 (a):
 - Grupo 1 (T1, T9, T4)
 - Grupo 2 (T3, T6, T8)
 - Grupo 3 (T2, T5, T7)
- En Estrella tendremos un grupo de tres terminales que se observa en la Figura 9 (b):
 - Grupo 1 de tres terminales (T7, T8, T9)
- Tres grupos de dos terminales:
 - Grupo 1 de dos terminales (T4, T7)
 - Grupo 2 de dos terminales (T6, T9)
 - Grupo 3 de dos terminales (T5, T8)

Figura 9

Terminales de conexión de motor trifásico



a)

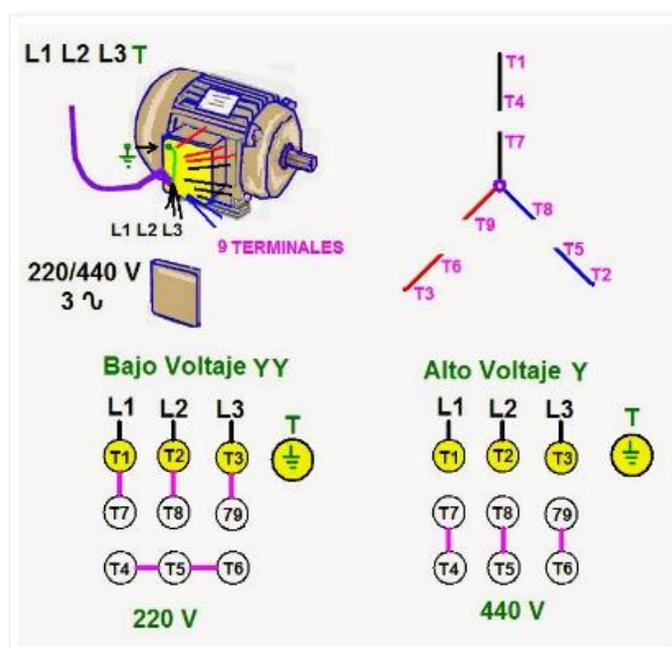
b)

Nota. En la imagen muestra los terminales en la conexión Delta (a) y los terminales de conexión en la conexión estrella (b) del motor trifásico. Tomado de (coparoman, 2014) .

En potencias bajas hasta 40 HP las conexiones más utilizadas son estrella serie para alto voltaje y doble estrella en bajo voltaje se puede observar en la Figura 10.

Figura 10

Conexiones de motor trifásico (LA7 112-AYB60)



a)

b)

Nota. En la imagen muestra los terminales para la conexión en bajo voltaje 220 VAC en (a) doble estrella y (b) alto voltaje 440 VAC en estrella serie. Tomado de (coparoman, 2014) .

Motor WEG (1UMOIC4NXX1/2040)

Es un motor apto para suministro de energía doméstica y rural como se muestra en la Figura 11, con un alto torque de arranque, dos elecciones para alimentar es a 110 VAC y 220 VAC; se puede utilizar para algunas aplicaciones como: secaderos de grano, lavadoras

de alta presión, taladros, compresores, etc.

- Tiene un devanado de trabajo enrollado con alambre grueso en la parte baja de las ranuras.
- El devanado de arranque se enrolla con alambre más delgado que el de trabajo y se encuentra en la parte superior de las ranuras.
- Tiene un interruptor centrífugo y un capacitor por lo cual su par de arranque es mayor. (Fragoso, 2019).

Para lo cual a continuación se presentará en la Tabla 3 algunas de sus características y las características se puede observar en la placa del motor en la Figura 12:

Tabla 3

Características de motor

Motor 4 polos, 1720 rpm	
Frecuencia	60Hz
Potencia	1/2(HP), 0.37 (KW)
Factor de servicio	1.25
Corriente nominal (110 VAC)	8,40 (A)
Corriente nominal (220 VAC)	4.20 (A)
Tolerancia	15%
Velocidad nominal	1720 (rpm)
Medida de eje	12.7 (cm)
Temperatura	130°
Tipo de carcasa	C48
Polos	4

Nota. Esta tabla muestra las características como: frecuencia, potencia, factor de servicio, corriente nominal, tolerancia, velocidad nominal, medida de eje, temperatura, tipo de carcasa y el número de polos del motor. Tomado de (Promesa, 2020).

Figura 11

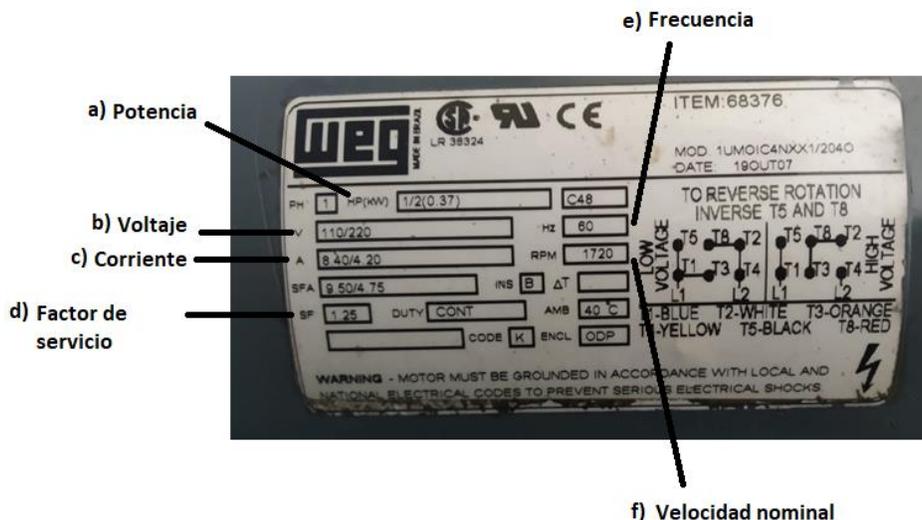
Motor monofásico WEG (1UMOIC4NXX1/2040)



Nota. En la imagen muestra la parte lateral del motor WEG con sus partes: Eje, soporte, placa de datos, carcasa del capacitor y ventilación. Tomado de (Promesa, 2020).

Figura 12

Características del motor WEG



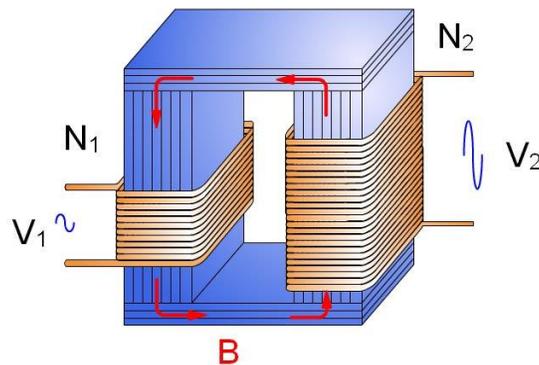
Nota. En la imagen muestra la placa del motor con sus características principales como: a) Potencia, b) Voltaje de alimentación, c) Corriente nominal, d) Factor de servicio, e) Frecuencia, f) Velocidad nominal del motor WEG.

Transformadores

Los transformadores son máquinas inmóviles con dos devanados de corriente alterna arrollados sobre un núcleo magnético. El devanado por donde ingresa la energía al transformador se denomina primario y el devanado por donde desemboca la energía hacia las cargas que son alimentadas por el transformador se nombra secundario. El devanado primario tiene N_1 (número de espiras en el devanado primario) y el secundario tiene N_2 (número de espiras en el devanado secundario) como se muestra en la Figura 13 (Angel & Pozueta, 2008).

Figura 13

Transformadores



Nota. En la imagen muestra el número de espiras del devanado primario (N_1) y el número de espiras del devanado secundario (N_2). Tomado de (Angel & Pozueta, 2008).

Funcionamiento

Según (Angel & Pozueta, 2008) al conectar un voltaje de corriente alterna V_1 (voltaje del devanado primario) al primario, circula una corriente B (corriente que circula por los devanados)

por él que produce un flujo alterno en el núcleo magnético. Este flujo magnético, en virtud de la Ley de Faraday, impulsa una f.e.m. (fuerza electromotriz) que da lugar a una tensión V_2 de este devanado. De esta manera se obtiene transformar una tensión alterna de valor eficaz V_1 en otra de valor eficaz V_2 y de la misma frecuencia como se muestra en la Figura 13.

Las tensiones nominales V_{1N} (tensión nominal del devanado primario), V_{2N} (tensión nominal del devanado secundario) son aquellas que se han diseñado en el transformador. Estas tensiones son equitativas al número de espiras (N_1 y N_2) de cada devanado.

S_N (potencia asignada o nominal) es la potencia aparente del transformador que el fabricante asegura que no produce calentamientos arriesgados durante un funcionamiento continuo de la máquina. Los dos devanados del transformador tienen la misma potencia asignada.

Las corrientes nominales I_{1N} (corriente nominal del devanado primario), I_{2N} (corriente nominal del devanado secundario) se alcanzan a partir de las tensiones asignadas y de la potencia. Así, en un transformador monofásico se tiene que la potencia nominal es igual a la tensión del devanado primario por la corriente del devanado secundario y también es igual a la tensión del devanado primario por la corriente del devanado secundario como se puede observar en la Ec. (2):

$$S_N = V_{1N} \cdot I_{1N} = V_{2N} \cdot I_{2N} \quad (2)$$

La m (relación de transformación) es la fracción entre las tensiones del primario y del secundario como se puede observar en la Ec (3):

$$m = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} \quad (3)$$

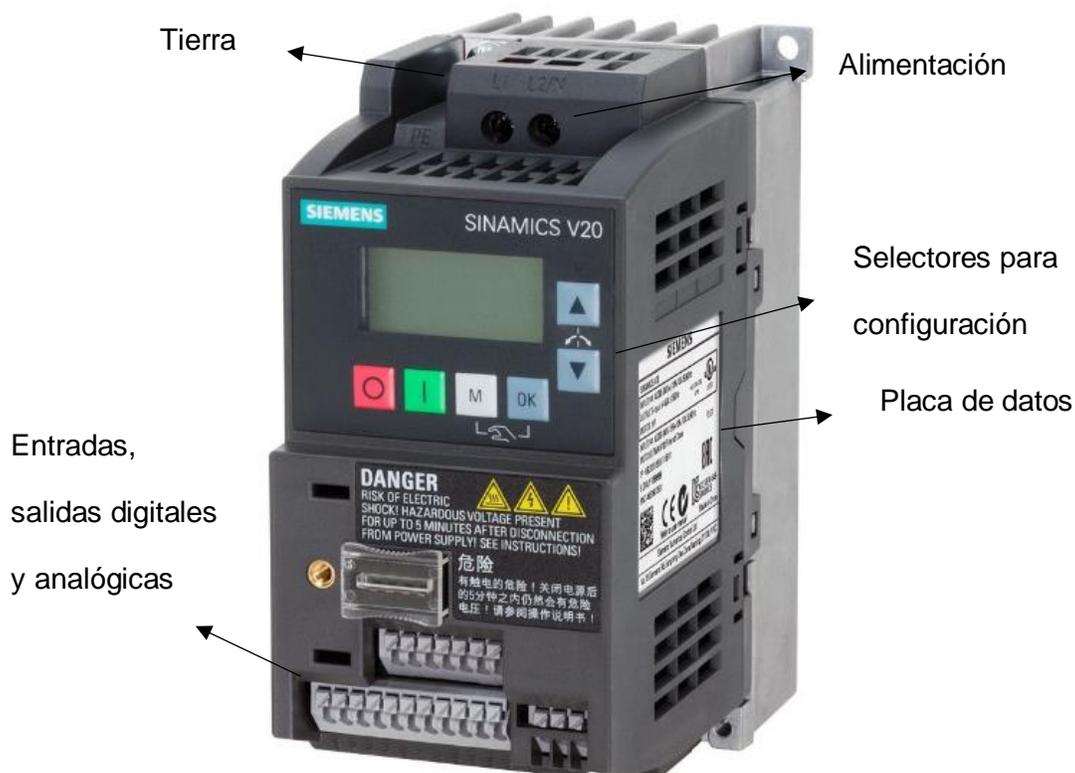
Por consiguiente, en un transformador reductor el cociente de transformación asignada es igual a la relación de transformación m , mientras que en un transformador elevador es igual al contrario de m .

Variador de frecuencia

Se trata de un dispositivo electrónico como se puede observar en la Figura 14, que permite el control de motores eléctricos de inducción de CA (corriente alterna) variación de la frecuencia; los motores más empleados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla) (HIMILCE Página, 2019).

Figura 14

Variador de frecuencia



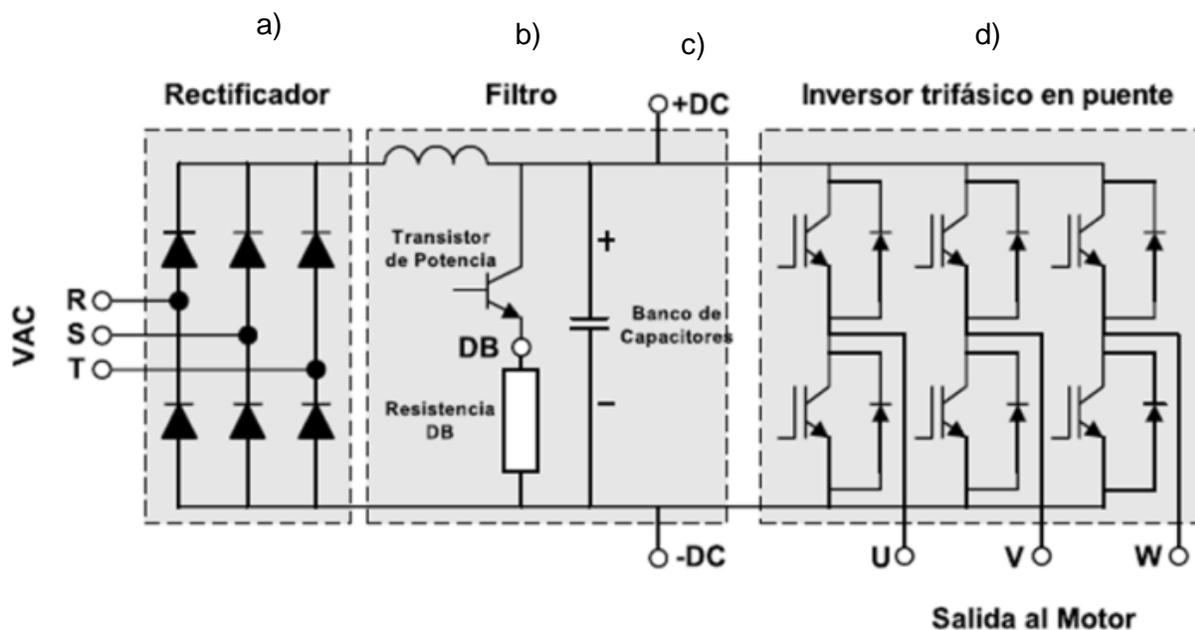
Nota. En la imagen muestra las partes principales de un variador de frecuencia como son: alimentación, selectores de configuración, placa de datos, entradas digitales y analógicas, tierra. Tomado de (HIMILCE Página, 2019).

Partes de un variador

- **Rectificador:** Desde la red de suministro de C.A., trifásica o monofásica, se alcanza C.C. (Corriente continua) mediante diodos rectificadores. La función del rectificador es transformar la señal de voltaje de alimentación de CA a CD y dominar el voltaje que llega al inversor como muestra en la Figura 15 (a) (HIMILCE Página, 2019).
- **Bus de continua:** se tiene condensadores que almacenan y filtran la C.C. rectificada, para conseguir un valor de voltaje continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad para el motor como muestra en la Figura 15 (b) (HIMILCE Página, 2019).
- **Control y E/S (entradas y salidas):** son circuitos de control de los bloques del variador, protección, regulación, entradas y salidas, tanto digitales como lógicas. Además, se incluye el interfaz de comunicaciones con buses de datos u otros dispositivos de control y usuario como muestra en la Figura 15 (c) (HIMILCE Página, 2019).
- **Etapas de salida:** a partir de la tensión del bus, un ondulator transforma esta energía en una salida trifásica, con valores de voltaje, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan primordialmente transistores bipolares BJT (transistor de unión bipolar), CMOS (semiconductor de óxido de metal complementario), IGBT (transistor bipolar de puerta aislada, SCR (rectificador controlado de silicio), GTO (tiristor de apagado de puerta), etc. Las señales de salida, se alcanzan por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante PWM (modulación por anchura de impulsos) como muestra en la Figura 15 (d) (HIMILCE Página, 2019).

Figura 15

Partes internas de un variador de frecuencia



Nota. En la imagen muestra 4 etapas de un variador de frecuencia la etapa rectificadora (a), filtro o bus continua (b), control y E/S (c) y la etapa de salida o inversora (d). Tomado de (HIMILCE Página, 2019).

Elementos de protección eléctrica

Son dispositivos que protegen al circuito de sobrecargas de tensión y al operario de posibles accidentes, a continuación, se muestran algunos dispositivos principales utilizados en circuitos eléctricos:

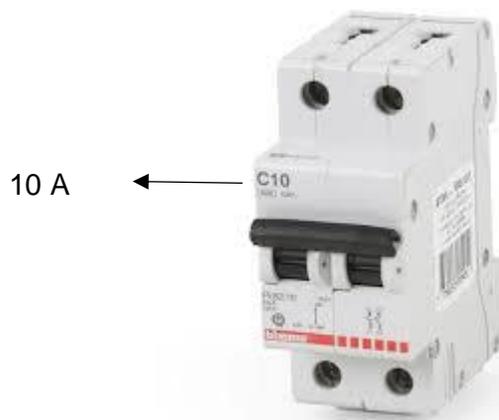
Interrupor termomagnético

El Interrupor termomagnético es un dispositivo de protección de circuitos eléctricos que actúa ante dos distintos tipos de sucesos como se puede observar en la Figura 16, la parte

magnética lo hace ante un cortocircuito y la parte térmica actúa ante una sobrecarga del circuito (Macedo, 2015).

Figura 16

Interruptor termomagnético



Nota. En la imagen muestra un interruptor termomagnético monofásico con un valor de 10 (A) amperios para su desconexión. Tomado de (Macedo, 2015).

Fusible

Es un dispositivo más empleado y confiable en los sistemas de protección, entre las funciones principales, se encuentra la de proteger una instalación eléctrica contra sobre corrientes, soportar voltajes transitorios de recuperación. (Castro Villacis, 2013).

Fusible tipo cilíndrico

Según (Camsmark, 2021) el fusible tipo cilíndrico es un tipo de fusible eléctrico como su nombre tiene una forma de cilindro como muestras la Figura 17. Tiene un cable delgado con una tira de aleación de metal en el medio, dos tapas en cada extremo de metal que se emplean como contactos cuando se encuentra en serie el circuito eléctrico. El cable está diseñado para liquidarse a una temperatura específica que se alcanza cuando el circuito transporta más de la cantidad de corriente eléctrica prevista.

A continuación, se muestra algunas características del fusible tipo cilindro:

- Fusible tipo cilíndrico RT14-20 (10*38)
- Voltaje Nominal: 500V
- Clase de servicio: gG
- Capacidad de ruptura: 100 KA
- Montaje en base: RT18-32.

Figura 17

Fusible tipo cilindro



Nota. En la imagen muestra tres fusibles tipo cilindro de diferentes tamaños. Tomado de (Camsmark, 2021).

Portafusible RT18-32

Según (Debiase, 2022) un portafusible es un dispositivo encargado de salvaguardar en su interior el fusible como se puede observar en la Figura 18. A continuación, se muestra algunas características del portafusible:

- Soporte de fusible RT18-32(X) para RO15 (0.394 x 1.496 in)

- 2 polos.
- Soporte de riel DIN de 1.378 in.

Figura 18

Portafusible



Nota. En la imagen muestra un portafusible para dos líneas de voltaje y en su interior contiene dos fusibles. Tomado de (Debiase, 2022).

Elementos de medición e indicadores

Son dispositivos de cálculo usados para medir varias cantidades de carga eléctrica. La medición de cantidades eléctricas puede hacerse al medir parámetros eléctricos de un sistema, estos pueden ser: amperímetros, voltímetros, luces piloto, etc (Ingelcom, 2020).

Amperímetro analógico

Los amperímetros analógicos muestran el resultado de la medición con ayuda de una aguja que se ubica en el punto correspondiente entre el máximo y el mínimo disponible en

el panel de indicación como muestra la Figura 19; el principal manejo de este tipo de instrumentos esta dado por el tipo de sistema que emplean para la medición usando el sistema ferromagnético para medir en corriente alterna. El indicador ferromagnético C.A (corriente alterna) está construido por una bobina por la cual se hace circular una corriente a medir, en cuyo centro hay un un hierro móvil y un hierro fijo conectado al eje y aguja del instrumento. El conjunto se mueve por el efecto de aversión que el campo magnético produce entre ambos hierros, y el arco depende de la corriente que circule por la bobina. Este sistema para la medición de voltaje de corriente entre 15 y 100 Hz (Hertz) calcula el valor eficaz de la corriente alterna, no sirviendo para cuantificar corrientes C.A rectificadas sin filtrar (Circutor, 2020).

Figura 19

Amperímetro analógico



Nota. En la imagen muestra un amperímetro analógico ferromagnético que tiene un rango de 0 - 400 amperios. Tomado de (Circutor, 2020).

Luz piloto

Es un dispositivo que tiene el propósito de indicar si alguna línea de fase se encuentra energizada o bien simplemente para indicar algún proceso. Su alimentación es de 110 VAC o

220 VAC y tiene un diámetro de 22 mm (milímetros) como se puede observar en la Figura 20 (InexChile, 2018).

Figura 20

Luz piloto



Nota. En la imagen muestra una luz piloto de color verde tipo industrial que se energiza con 110 VAC o 220 VAC con un diámetro de 22 mm (milímetros). Tomado de (InexChile, 2018).

Transformador de corriente

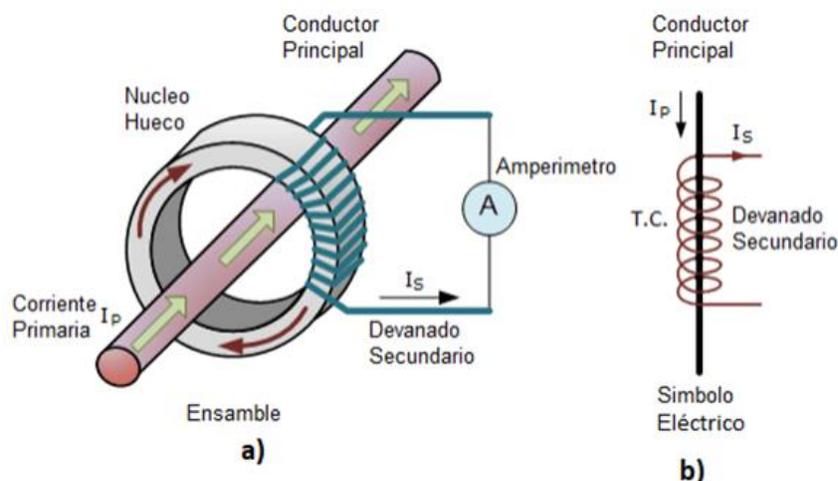
Según (Altech, 2019) el (TC) transformador de corriente es un dispositivo convertidor, diseñado para que su producto sea una corriente diferente en el devanado secundario la cual es equitativa a la corriente que se está midiendo en su devanado primario. Los transformadores de corriente disminuyen corrientes de altos voltajes de corrientes de valor bajo y proporcionan una forma conveniente de monitorear de forma segura el flujo de corriente eléctrica actual en una línea de comunicación de CA (corriente alterna) utilizando un amperímetro común el principio de operación de un transformador de corriente no es diferente del de un transformador normal.

Para medir la corriente de un conductor principal, el TC debe constar de varias partes como se puede observar en la Figura 21 y son:

- Núcleo.
- Ensamble.
- Devanado secundario.

Figura 21

Partes de un TC



Nota. En la imagen muestra a) las partes de un transformador de corriente que son: devanado secundario, núcleo, ensamble y b) el símbolo eléctrico de un TC donde se introduce un conductor principal con una I_p (corriente principal) en el devanado secundario. Tomado de (Altech, 2019).

El transformador de corriente MFO-30, a continuación, se presenta las siguientes características principales de operación:

- Ratio: 60/5A, 75/5A, 80/5A, 100/5A, 120/5A, 150/5A, 200/5A, 250/5A, 300/5A.
- Conductor through: 1T

- Burden VA: 2.5 VA, 5VA
- Class: 1.0 (Siemens, 2021)

Figura 22

Transformador de corriente (TC)



Nota. En la imagen muestra el transformador de corriente con de modelo MSQ-30 con sus diferentes variaciones de corriente en un rango de 30 – 300 A. Tomado de (Siemens, 2021)

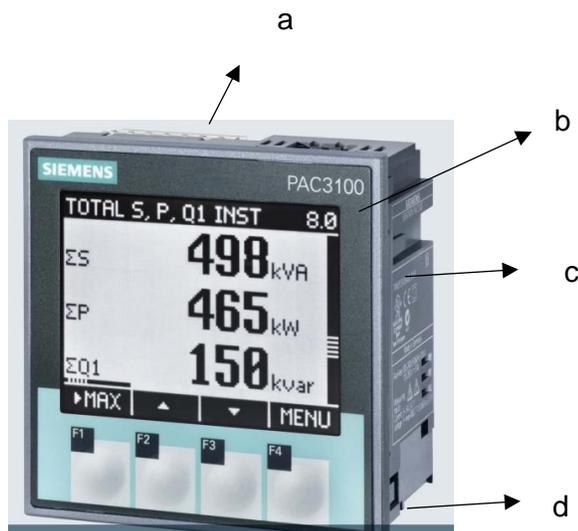
Sentron PAC3100

Según (Siemens, 2015) el Sentron PAC3100 es un multímetro analizador de red que permite visibilizar las magnitudes eléctricas básicas en una repartición de energía eléctrica en bajo voltaje, puede realizar mediciones trifásicas bifásicas y monofásicas; puede utilizarse en redes en esquema TN (funciones del conductor neutro y el conductor de protección están combinados en un único conductor en todo el sistema), TT (puesta a tierra de servicio) e IT (aislado de tierra) de 3 o cuatro conductores.

- Dispone de 2 entradas digitales y 2 salidas digitales; la parametrización puede realizarse en el dispositivo o a través de una interfaz RS 485 como se puede observar en la Figura 23 (a).
- La pantalla gráfica de cristal líquido accede la lectura incluso a grandes distancias, para la medición de corriente se puede emplear transformadores de corriente x/5 A como se puede observar en la Figura 23 (b).
- Cuenta con la placa de datos en la parte lateral del dispositivo como se puede observar en la Figura 23 (b).
- La fuente de alimentación de amplio rango de entrada AC/DC se puede sustentar con 100 a 240 voltios AC, 50/60 Hz o 110 a 250 voltios DC como se puede observar en la Figura 23 (d).

Figura 23

Sentron PAC3100



Nota. En la imagen muestra las partes principales del Sentron PAC3100 que son: a) Entradas y salidas digitales, b) Pantalla gráfica, c) Placa de datos, d) Fuente de alimentación. Tomado de (Siemens, 2015).

Entradas de medida

Las entradas de medida son dos de corriente y de tensión; en la medida de corriente se realiza mediante un transformador de corriente (TC), mientras que la medida de tensión para voltajes más altos se debe hacer mediante un transformador de tensión. (Siemens, 2015)

- Medición de corriente: La corriente de medición es de 5 A para la conexión de transformadores. Cada entrada de medición de corriente puede soportar permanentemente 10 A (max 300V). (Siemens, 2015)
- Medición de tensión: Tiene una medición directa o a través de transformador de tensión; las entradas de voltaje del dispositivo miden directamente a través de impedancias de protección. Para tensiones superiores es necesario utilizar transformadores de tensión externos (Siemens, 2015).

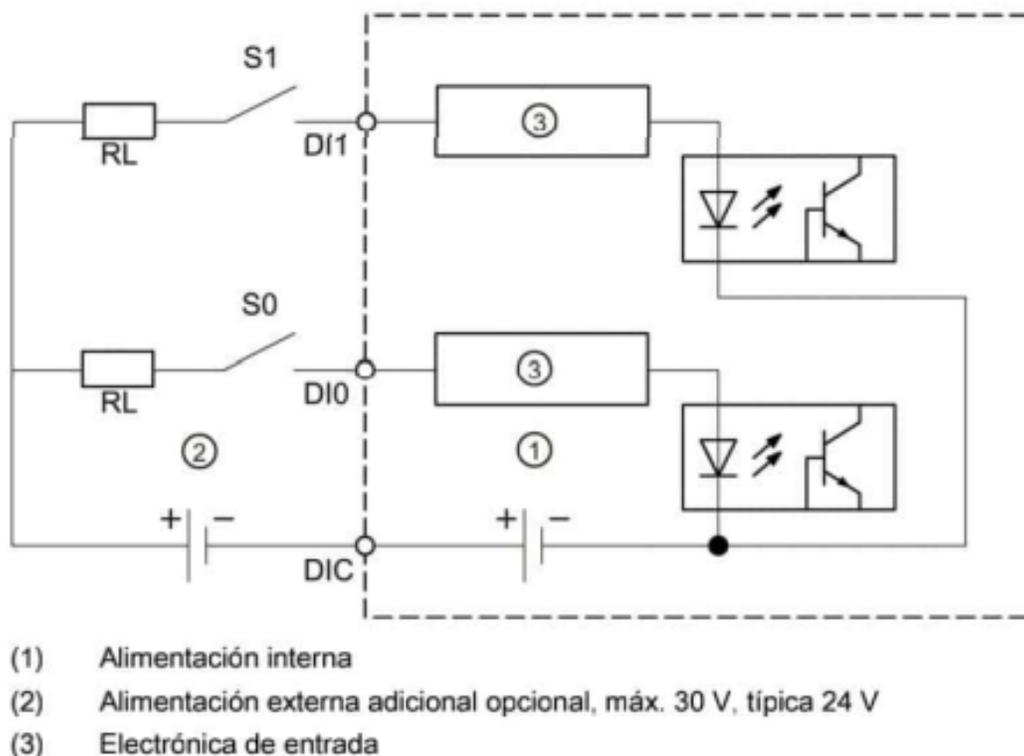
Entradas y salidas digitales

Las entradas digitales sirven para recibir una señal externa, mientras que las salidas digitales envían una señal.

- Entradas digitales: Existen dos entradas digitales que captan los estados de los emisores de señales conectados, a continuación, se muestra en la Figura 24 la conexión interna de entradas digitales (Siemens, 2015).

Figura 24

Esquema de entradas digitales Sentron PAC3100

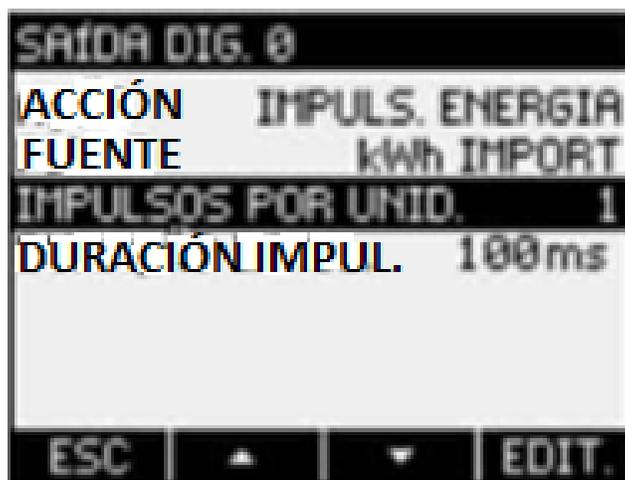


Nota. En la imagen muestra el esquema de conexión interna de entradas digitales de Sentron PAC3100. 1) Alimentación interna, (2) Alimentación externa opcional y (3) Electrónica de entrada. Tomado de (Siemens, 2015).

- Salidas digitales: Tiene salida de impulsos de energía, programable para energía reactiva y activa como se muestra en la Figura 25; la salida lógica para telecontrol será a través de la interfaz RS485. Tomado de (Siemens, 2015).

Figura 25

Interfaz de salidas digitales



Nota. En la imagen muestra el interfaz de salidas digitales donde se está programando los impulsos de energía. Tomado de (Siemens, 2015).

Interfaz RS 485

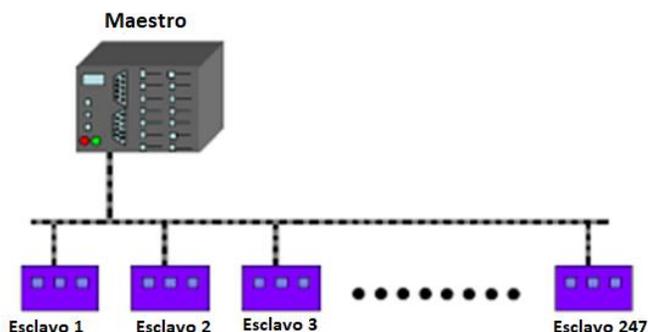
Según (Siemens, 2015) el interfaz RS 485 tiene una comunicación Modbus RTU como se puede observar en la Figura 26 que es un medio de comunicación que permite el intercambio de datos entre PLC (controladores lógicos programables) y los PC (ordenadores).

El interfaz RS 485 cuenta con algunas aplicaciones las cuales son:

- Lectura de los valores medidos.
- Escritura y lectura de los parámetros ajustables del dispositivo.
- Actualización de firmware del dispositivo.
- Actualización de idiomas disponibles en el dispositivo.

Figura 26

Comunicación Modbus



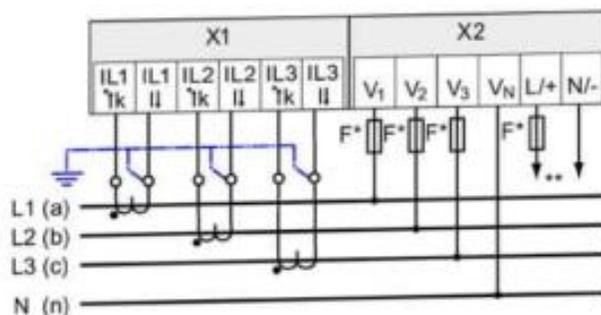
Nota. En la imagen muestra la comunicación Modbus donde se tiene un Maestro que puede ser un PLC y varios esclavos que pueden ser: sensores actuadores, maquinaria, etc. Tomado de (Siemens, 2015).

Ejemplo de conexión

Para el ejemplo de conexión se posee una medición trifásica con cuatro conductores, una carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente (TC) como se puede observar en la Figura 27. (Siemens, 2015)

Figura 27

Ejemplo de conexión externa del Sentron PAC3100



Nota. En la imagen muestra un ejemplo de conexión externa con tres transformadores conectados a una tierra común; donde cada transformador está conectado a una entrada ($\uparrow k$) y una salida ($I\downarrow$) en IL1, IL2 e IL3; la conexión V_1, V_2, V_3 de tensión con fusibles a cada línea de fase L1, L2 y L3. Tomado de (Siemens, 2015).

Capítulo III

Desarrollo del tema

En el presente capítulo se muestra el proceso de la repotenciación y mejoramiento de los módulos didácticos: módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico y el módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico. Se dará a conocer las conexiones, los elementos utilizados, características de los elementos más principales, pruebas de funcionamiento y los resultados de funcionamiento.

El módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico está constituido por varias secciones como se muestra en la Figura 28 y a continuación se los describe en cada literal: un interruptor termomagnético trifásico (a) donde ingresan tres fases de voltaje L1, L 2 y L3 de 440 VAC, posteriormente los portafusibles (b) que contienen a los fusibles protegen al variador de frecuencia Sinamics V20 (c), donde se tiene una salida de tres fases U, V, W las cuales traspasan los transformadores (d) de corriente para luego introducirse en el motor trifásico (e); la corriente de las líneas U, V, W se podrán visualizar en el medidor de corriente analógico (f) y en el analizador de red Sentron PAC3100 (g) que estará energizado con una red monofásica de 110 VAC protegido por fusibles (h).

Módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico está constituido por varias secciones como muestra en la Figura 29 y a continuación se describe cada literal: en el circuito de fuerza se tiene un interruptor termomagnético (a) monofásico donde ingresará una red monofásica de 110 VAC hacia motor monofásico (b). En el circuito de control se tiene un interruptor termomagnético monofásico (c) que intercepta el voltaje de 110 VAC, seguidamente se energiza la bobina del relé (d); un pulsador de arranque (e) estará conectado al contacto seis del relé y este mediante el contacto 4 NO (normalmente abierto) dará el arranque al motor y se encenderá la luz piloto verde(g); al accionar el pulsador de paro

(f) se detendrá el motor y se encenderá la luz piloto roja (h) como se puede observar en la Figura 29.

Figura 28

Módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico

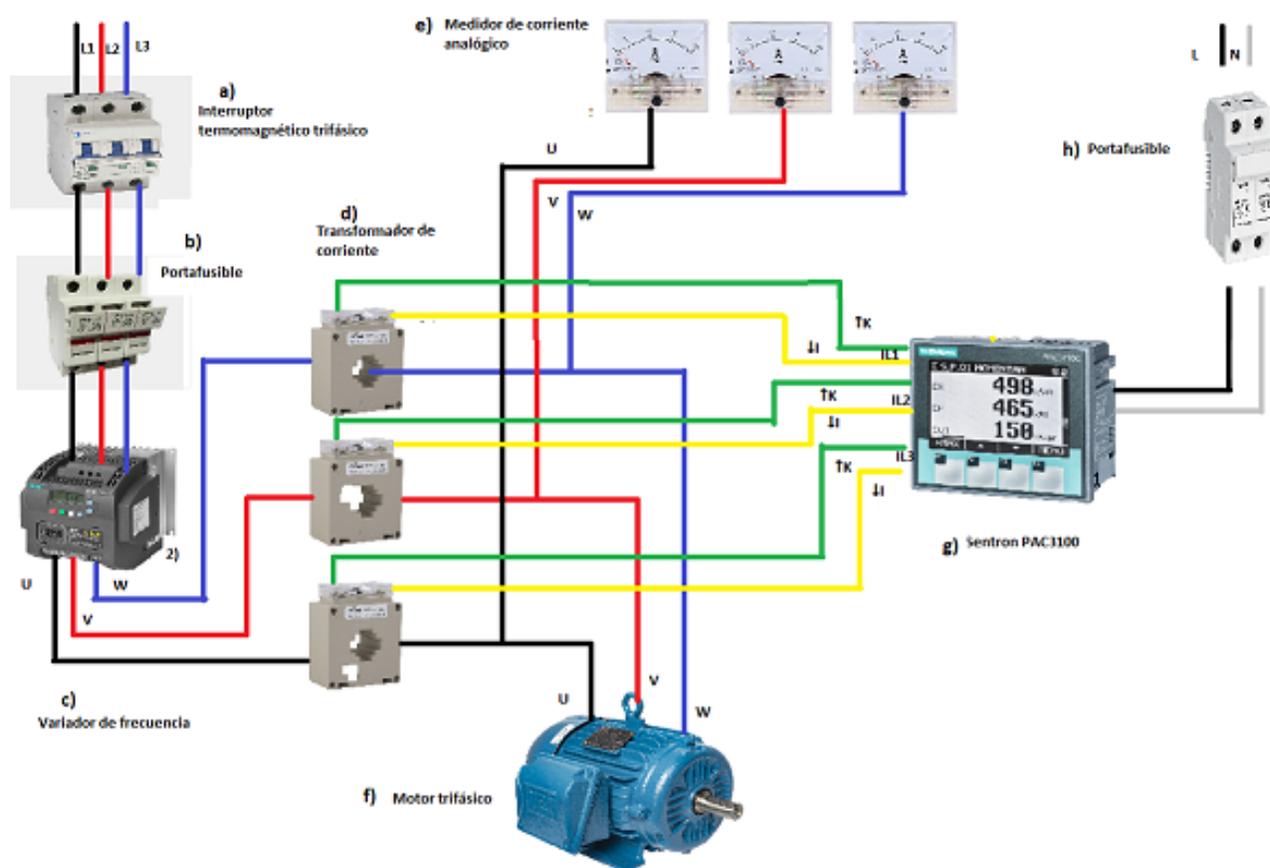
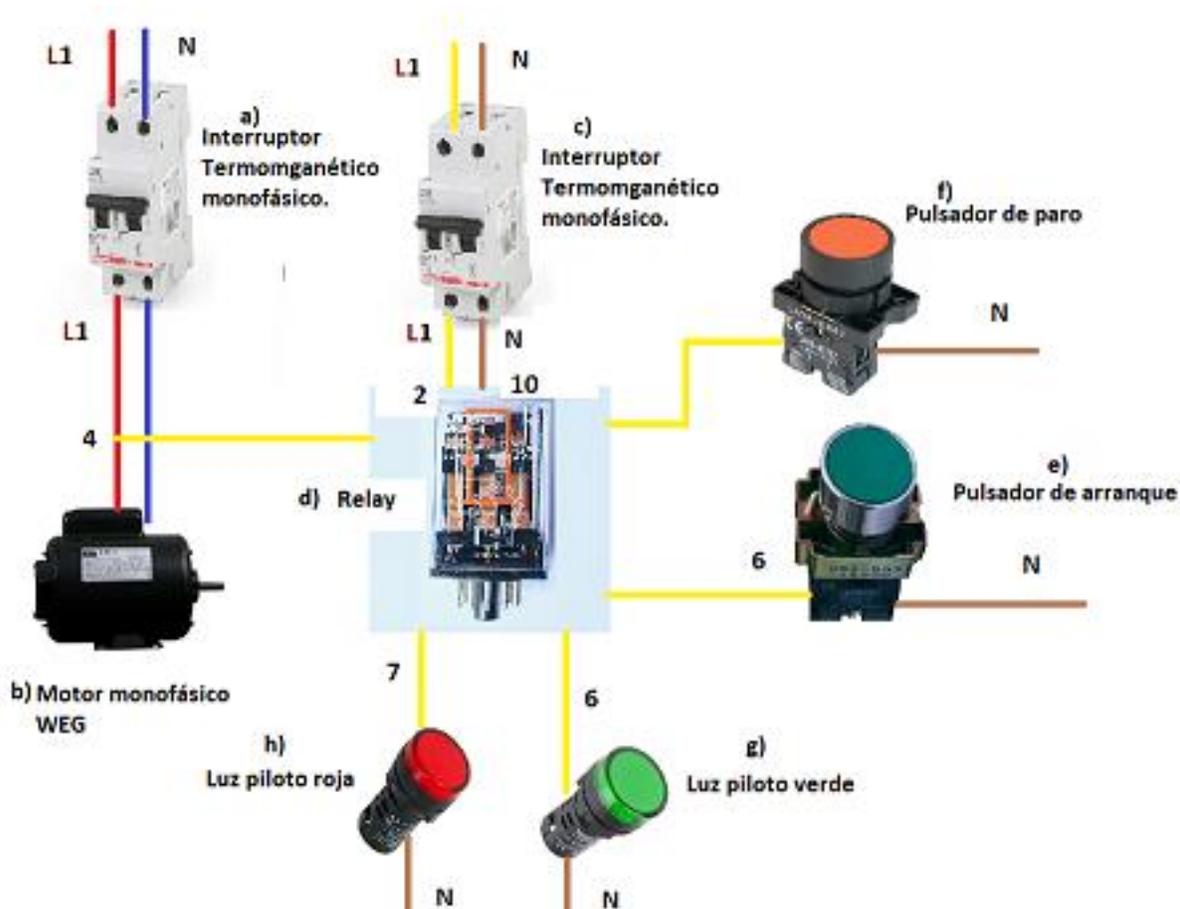


Figura 29

Módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico



Dimensionamiento de protecciones

El dimensionamiento de las protecciones estará dado a partir del cálculo de la corriente consumida por el motor trifásico y el motor monofásico; con esto se puede elegir de manera correcta los interruptores termomagnéticos, los fusibles y además la sección de cable a utilizar.

Protecciones del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico

Para el dimensionamiento del interruptor termomagnético, los fusibles y la sección cable, es necesario realizar el cálculo de la corriente activa a partir de la potencia mecánica nominal del motor, la tensión nominal de alimentación, del rendimiento del motor, del variador y de los armónicos; para los cálculos de corriente se debe tener algunos datos como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Datos del motor trifásico

Datos de motor y variador de frecuencia	
Potencia del motor	3000 W (vatios)
Tensión nominal de alimentación	440 V (voltios)
Frecuencia	60 Hz (Hertz)
Eficiencia del motor	85.5%
Eficiencia del variador de frecuencia	90%

Nota. Esta tabla muestra los datos necesarios para el cálculo de corriente eficaz del motor trifásico.

Es necesario calcular la corriente eficaz a partir de la distorsión armónica total ya que en la red eléctrica existen armónicos que pueden afectar la corriente que será consumida por el variador de frecuencia y el motor.

Para calcular la corriente en función del THD (tasa de distorsión) a un 140%; se necesita la constante V_{rms} (valor eficaz) dada por la ecuación (4):

$$V_{rms} = I_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (4)$$

El dato del valor eficaz para el cálculo de la corriente eficaz:

$$V_{rms} = 1,081_1 \approx 1,08$$

Para el calcular la corriente eficaz se tiene los datos de P (potencia nominal del motor), V (tensión entre fases), n_{mot} (rendimiento del motor), n_{vfd} (rendimiento del variador de frecuencia) y V_{rms} (valor eficaz) se tiene la siguiente ecuación (5):

$$I_{rms} = V_{rms} \cdot 1,1 \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} \cdot \frac{1}{n_{mot}} \cdot \frac{1}{n_{vfd}} \quad (5)$$

Al reemplazar los valores de los datos del motor trifásico como se observa en la Tabla 4 se tiene que la corriente eficaz es igual a:

$$I_{rms} = 1,08 \cdot 1,1 \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 440} \cdot \frac{1}{0,85} \cdot \frac{1}{0,9}$$

$$I = 6,11 A$$

Por lo tanto, el interruptor termomagnético a elegir es de 8 amperios y el cable a utilizar será un 16 AWG (Calibre de Alambre Americano) ya que soporta corrientes de 10 amperios.

Protecciones del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico

Para el dimensionamiento del interruptor termomagnético y el cable a utilizar, es necesario realizar el cálculo de la corriente activa la cual va a consumir el motor al momento de su arranque a partir de la potencia nominal del motor, la tensión nominal del motor y el factor de potencia; por lo tanto, a continuación, se detallará en la Tabla 5 varios datos del motor.

Tabla 5

Datos para el cálculo de corriente

Datos para el cálculo de corriente de motor WEG.	
Potencia	370 W (vatios)
Tensión nominal	110 V (voltios)
Frecuencia	60 Hz (Hertz)
Cos Φ	0.85
Polos	4

Nota. Esta tabla muestra los datos necesarios para el cálculo de corriente activa del motor.

Para el cálculo de la corriente activa del motor la ecuación a utilizar es la potencia es igual al voltaje nominal por la corriente donde se tiene P (potencia del motor), V (tensión nominal del motor) y $\cos \Phi$ (factor de potencia); como se observa en la Ec (6):

$$P = V \cdot I \cdot \cos \Phi \quad (6)$$

Para calcular la corriente activa del motor de la ecuación (6) se despeja la variable (I); al introducir los valores de la Tabla 5 se tiene un resultado de:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \Phi}$$

$$I = \frac{370}{110 \cdot 0,85}$$

$$I = 7.96 \text{ A} .$$

Por lo tanto, el interruptor termomagnético a elegir es de 10 amperios y el cable a utilizar será un 16 AWG (Calibre de Alambre Americano) ya que soporta corrientes de 10 amperios.

Conexiones

Para las conexiones se debe utilizar el cable más adecuado para que no exista ningún sobrecalentamiento o alguna falla en los módulos didácticos, por lo tanto, se realizará las conexiones desde la alimentación ya sea monofásica o trifásica hacia las protecciones, los contactos, equipos de medición, indicadores y los actuadores.

Conexiones del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico

Para la alimentación del variador de frecuencia de 440 VAC, se trabajó con un módulo transformador elevador de 220 VAC a 440 VAC que se puede observar en la Figura 30; que se encuentra en el laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial de la unidad de tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE sede Latacunga.

Figura 30

Transformador elevador



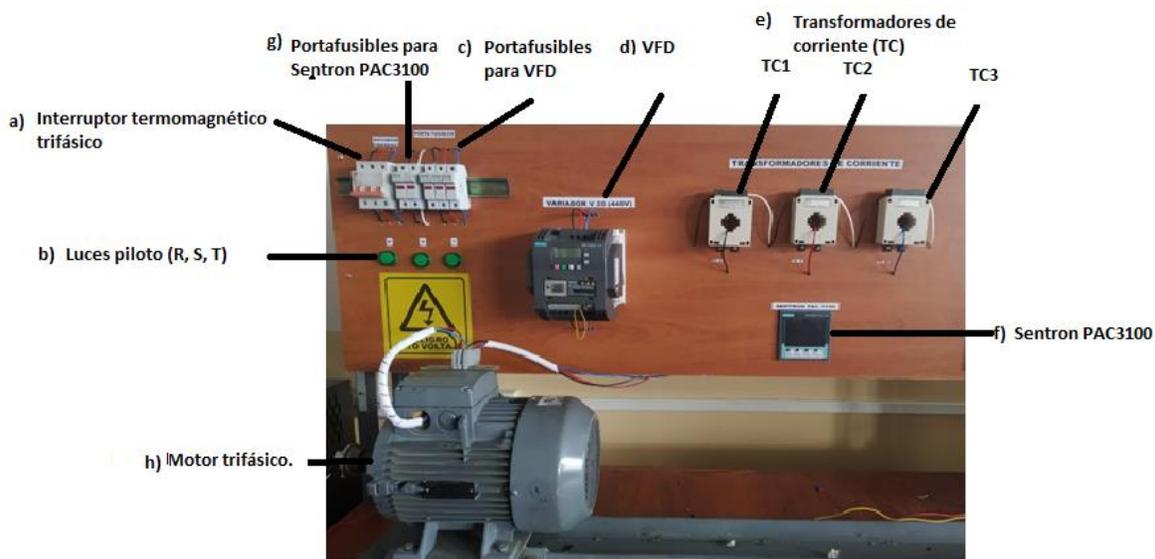
Nota. En la imagen muestra el transformador elevador de 220 VAC a 440 VAC por cada línea de fase.

Para el cableado se tiene una corriente consumida por el motor trifásico y el variador de frecuencia de 6.72 A (amperios); por lo tanto, se utilizará una sección de 16 AWG (Calibre de Alambre Americano) que soporta un máximo de 10 A. En cuanto a la conexión entre la alimentación del módulo transformador elevador de 220 VAC a 440 VAC como se puede observar en la Figura 29; el voltaje de 440 VAC debe ingresar al (a) interruptor termomagnético trifásico, las líneas de fase son R, S, T que se verificarán la correcta conexión por medio de las (b) luces piloto; por consiguiente, dicho voltaje pasará por la siguiente protección que son los (c) portafusibles, para luego alimentar al (d)VFD (variador de frecuencia) con 440 VAC por cada dos líneas de fase; cada línea de fase de salida del VFD se medirá por medio de los (e) TC1, TC2 y TC3 (Transformadores de corriente), hacia el analizador de redes (f) Sentron PAC3100

que tendrá la (g) protección de los fusibles donde se podrá visualizar la corriente consumida por el motor; por último las líneas de fase se introducirán en (h) el motor trifásico. Los literales (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) y (h) se pueden observar en la Figura 31.

Figura 31

Conexión de elementos del módulo de arranque por VFD

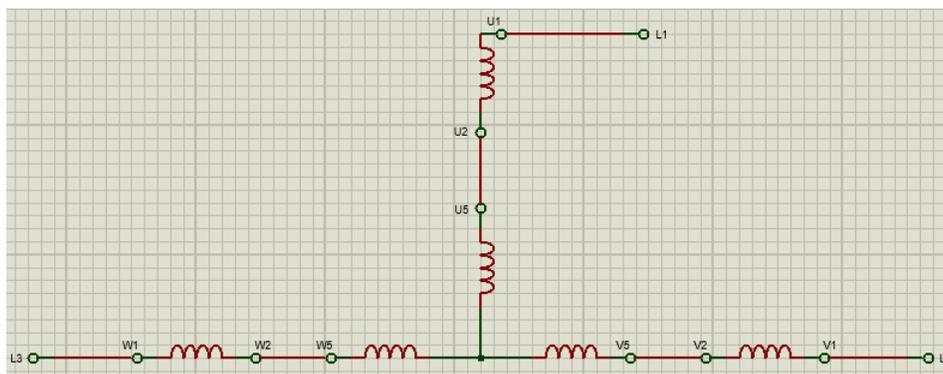


Nota. En la imagen muestra los elementos (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) y (h) para su respectiva conexión.

Para el arranque del motor a 440 VAC se realizó la conexión YY en los bornes; cuenta con 9 terminales de conexión, en la línea de conexión L1 se encuentra U1, U2, U5; en la línea L2 se encuentra V1, V2, V5; y en la línea L3 se encuentra W1, W2 y W5 como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Terminales de conexión de motor

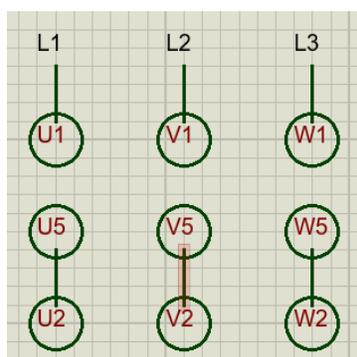


Nota. En la imagen se muestra los 9 terminales de las líneas L1 (línea uno de voltaje), L2 (línea dos de voltaje), L3 (línea tres de voltaje), y los bobinados de conexión.

Para la correcta conexión para el funcionamiento del motor en 440 VAC; L1 se debe conectar hacia el terminal U1 y los terminales U5 con U2 se debe realizar un cortocircuito; en L2 se debe conectar al terminal V1 y V5 con V2 se debe cortocircuitar; en L3 se realiza la conexión hacia W1 y W2 con W5 se debe cortocircuitar como se visualiza en la Figura 33 en forma gráfica y en la Figura 34 en forma real.

Figura 33

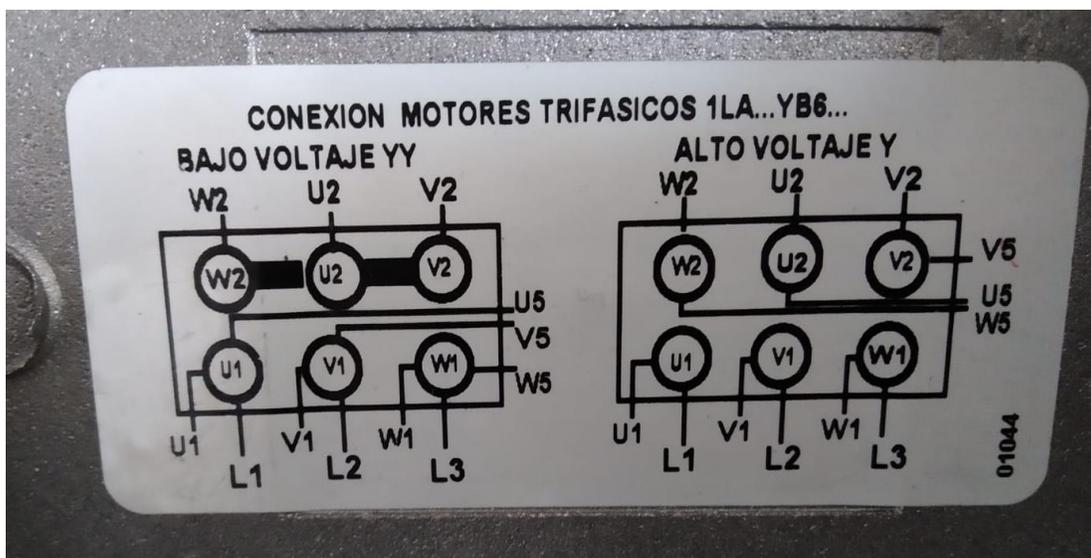
Conexión de motor para 440 VAC



Nota. En la imagen se muestra la conexión de los terminales entre sí y hacia las líneas de voltaje en forma gráfica.

Figura 34

Conexión de motor en alto voltaje Y para 440 VAC



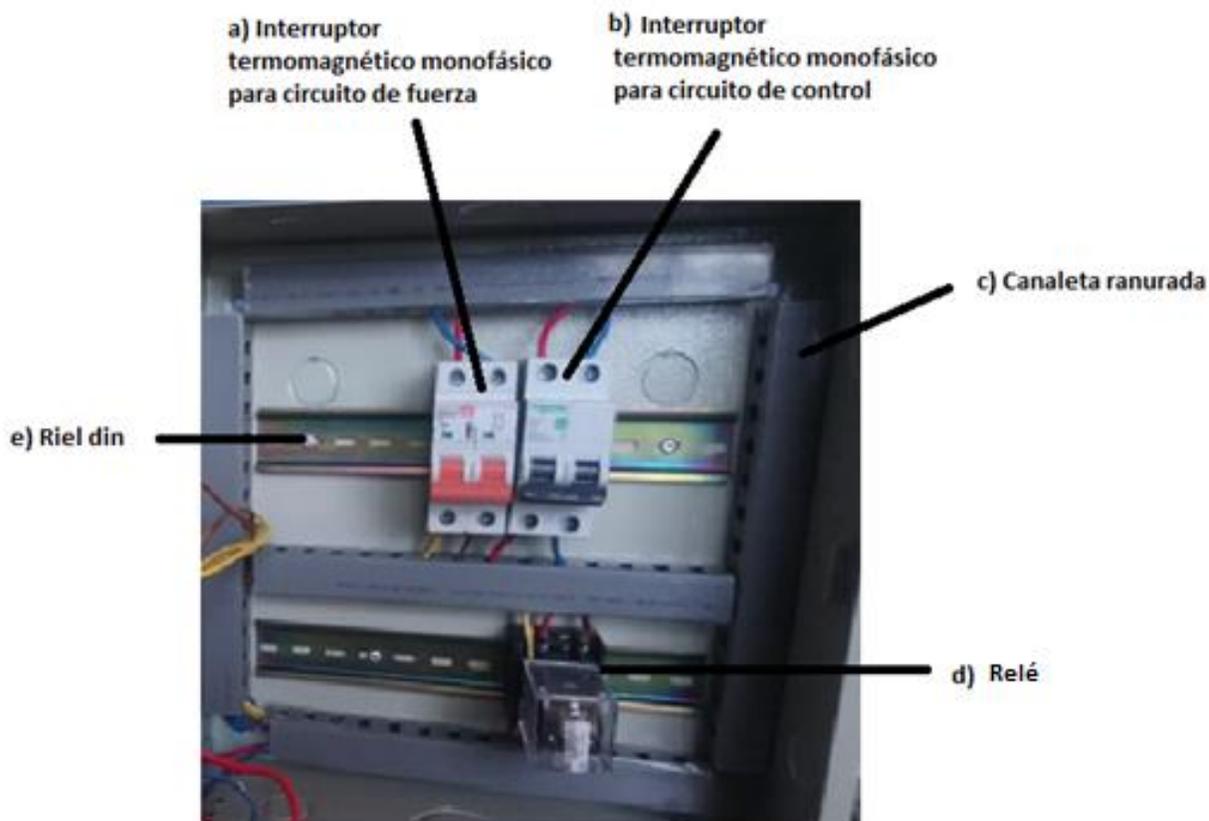
Nota. En la imagen muestra la conexión de los terminales L1 conectado hacia el terminal U1 y los terminales U5 con U2 en cortocircuito; en L2 se conecta al terminal V1 y V5 con V2 en cortocircuito; en L3 se realiza la conexión hacia W1 y W2 con W5

Conexiones del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico

Para las conexiones dentro del gabinete eléctrico se utilizó canaletas ranuradas para el enrutamiento del cable, se colocó un riel din para el soporte del relé y de los interruptores termomagnéticos del circuito de fuerza y control como se puede visualizar en la Figura 35.

Figura 35

Conexión de los elementos



Nota. En la imagen se muestra los elementos de la parte interna del gabinete eléctrico como son: a) interruptor termomagnético monofásico para circuito de fuerza, b) interruptor monofásico para el circuito de control, c) canaleta ranurada, e) riel din, d) relé

En la tapa del gabinete se realizó varios orificios para colocar las luces piloto, los pulsadores de arranque y paro, los terminales de conexión tipo banana (hembra) como se muestra en la Figura 36.

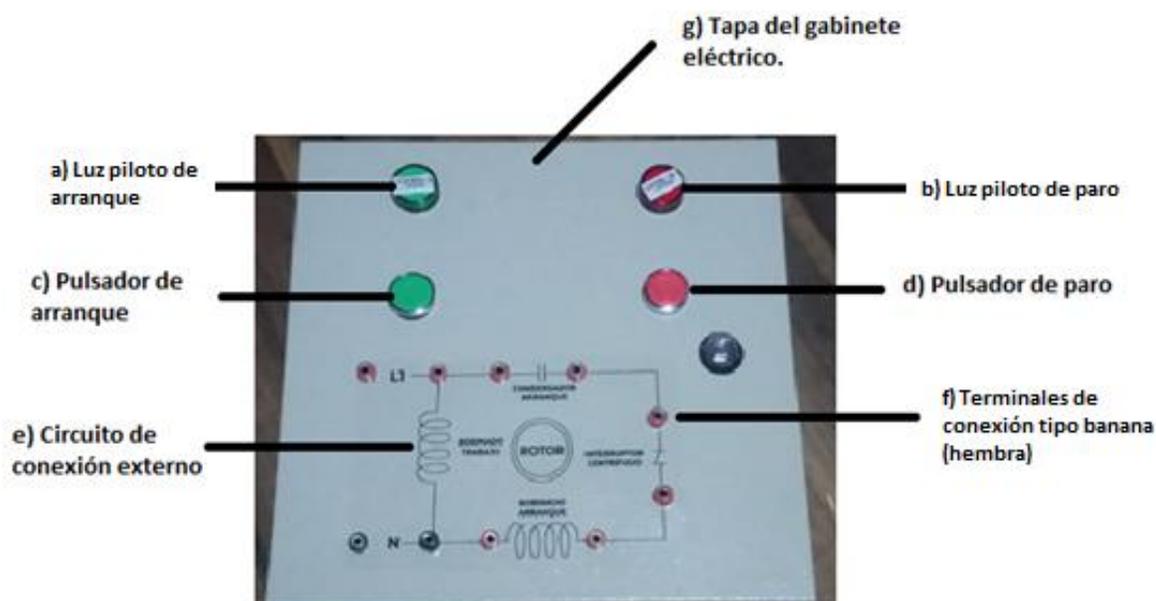
Para la conexión correcta entre los elementos se inició por la alimentación a 110 VAC hacia el interruptor termomagnético monofásico para el circuito de fuerza, por consiguiente, la

fase de dicha alimentación se conectó al relé que su bobina esta energizada por 110 VAC, con su respectiva protección que es un interruptor termomagnético monofásico.

Mediante el pulsador de arranque conectado a un contacto del relé se accionará el motor y el pulsador de paro lo detendrá; esta acción se puede visualizar mediante las luces piloto de arranque y paro.

Figura 36

Conexión de los elementos



Nota. En la imagen muestra los elementos introducidos en la g) tapa del gabinete eléctrico como son: a) luz piloto de arranque, b) luz piloto de paro, c) pulsador de arranque, d) pulsador de paro, f) terminales de conexión tipo banana (hembra) por los cuales se hará la conexión externa del motor con el e) circuito de conexión externo.

Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas de funcionamiento se debe verificar la alimentación que será introducida en los interruptores termomagnéticos o en los portafusibles que irán hacia los elementos como el variador de frecuencia o el relé, también se debe revisar la correcta conexión entre elementos de potencia y elementos de medida.

Funcionamiento del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico

En la Tabla 6 se puede visualizar las características más fundamentales para la conexión del motor como: voltaje nominal de trabajo, potencia, frecuencia, corriente consumida por el motor, factor de potencia y la velocidad del motor; dichos datos son muy necesarios al momento del funcionamiento del módulo, ya que sin esos datos no es posible realizar la configuración del variador de frecuencia;

Entre los datos principales del variador de frecuencia se tiene: voltaje de entrada, frecuencia de entrada, corriente de entrada, corriente de salida y frecuencia de salida como se puede observar en la Tabla 6; con respecto al voltaje de entrada la alimentación debe ser de 440 VAC por cada dos líneas de fase, dicha alimentación estará dada por el transformador elevador de voltaje de 220 VAC a 440 VAC, la frecuencia de salida debe ser colocada en la configuración del variador de frecuencia dependiendo la frecuencia de trabajo del motor trifásico.

Por último, se tiene los datos del analizador de redes como se muestra en la Tabla 6, que será conectado a la red monofásica de 110 VAC que tiene una frecuencia de 60 Hz.

Tabla 6

Características de conexión

Características de conexión.	
Motor trifásico	
Voltaje nominal	440 VAC
Potencia	4 HP o 3 KW
Frecuencia	60 Hz
Corriente consumida (440 VAC).	6,1 A
Factor de potencia	0,74
Velocidad nominal.	1745 rpm
Variador de frecuencia.	
Voltaje de entrada	400 – 480 VAC
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Corriente de entrada	8,6 A
Corriente de salida	7.3 A
Frecuencia de salida	0 – 550 Hz
Analizador de redes Sentron PAC3100	
Alimentación	100 – 240 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Potencia aparente	10 VA (voltio – amperio)

Nota. En la tabla muestra los datos para la conexión del motor eléctrico, del variador de frecuencia y del analizador de redes Sentron PAC3100.

Para el arranque del motor trifásico se configuro el variador de frecuencia Sinamics V20 con los siguientes parámetros que se pueden observar en la Tabla 7; los cuales a partir de las características del motor trifásico deben ser colocadas.

Tabla 7

Datos de configuración de variador de frecuencia

Datos de configuración de variador de frecuencia		
Parámetros	Descripción	Datos de selección
P0003	Nivel de acceso del usuario	1
P0010	Habilitar puesta en marcha rápida	1
P0100	Unidades de potencia	1 (HP)
P0304	Tensión nominal del motor	440 VAC
P0305	Corriente nominal del motor	6,1 A
P0307	Potencia nominal del motor	4 HP
P0310	Frecuencia nominal del motor	60 Hz
P0311	Velocidad del motor (RPM).	1745
P1080	Frecuencia mínima de trabajo de motor	0 (Hz)
P1082	Frecuencia máxima de trabajo de motor	60 (Hz)
P3900	Guardar los datos configurados	1

Nota. En la tabla muestra los datos de configuración del variador de frecuencia para el arranque del motor a 440 VAC, cada parámetro tiene su descripción y el dato a seleccionar.

En la Figura 37 se tiene el variador de frecuencia configurado a 60 Hz con sus líneas de entrada de 440 VAC, sus líneas de salida pasan por los transformadores de corriente como se puede observar en la Figura 38; que entregan la medida máxima de 2,9 A se puede visualizar en la Figura 39 en el analizador de redes Sentron PAC3100 y el motor trifásico alcanza su máxima velocidad 1745 rpm como se muestra en la Figura 40.

Figura 37

Variador de frecuencia



Nota. En la imagen muestra un variador de frecuencia en funcionamiento con una frecuencia de 60 Hz.

Figura 38

Transformadores de corriente



Nota. En la imagen muestra tres líneas de fase que pasan por los transformadores de corriente y entrega una medida de corriente.

Figura 39

Sentron PAC3100



Nota. En la imagen muestra el Sentron PAC3100 con medidas en L1 de 2,9 A, L2 de 2,8 A y L3 2,9 A.

Figura 40

Velocidad del motor



Nota. En la imagen muestra la velocidad de 1745 rpm en la que se encuentra trabajando el motor trifásico.

Funcionamiento del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico

Las características de conexión principales del motor monofásico como se muestra en la Tabla 8 son: voltaje nominal, potencia, frecuencia, corriente consumida en 440 VAC, factor

de potencia y velocidad nominal; en el voltaje nominal es necesario alimentar a la red monofásica de 110 VAC.

Tabla 8

Características de conexión de un motor monofásico

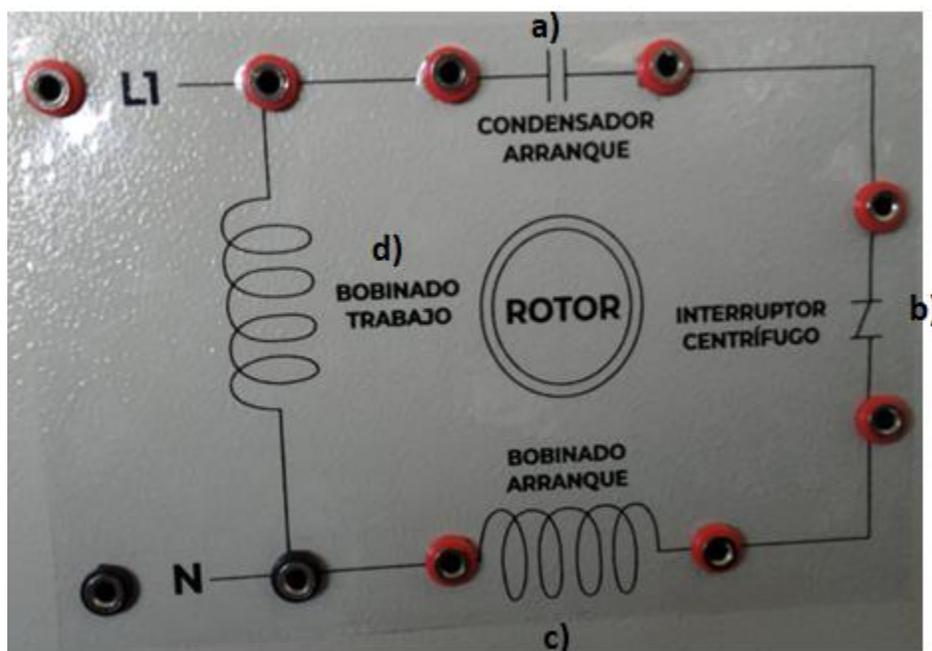
Características de conexión.	
Motor monofásico	
Voltaje nominal	110 VAC
Potencia	1/2 HP o 0,37 KW
Frecuencia	60 Hz
Corriente consumida (440 VAC).	8,4 A
Factor de potencia	0,85
Velocidad nominal.	1720 rpm

Nota. En la tabla muestra las características como: voltaje nominal, potencia, frecuencia, corriente consumida, factor de potencia y velocidad nominal; con sus respectivos valores.

En la Figura 41 se puede observar la alimentación del motor con un voltaje de 110 VAC mediante una L1 (línea 1 de fase) y su N (neutro); la L1 alimenta a un extremo de condensador de arranque (a) que estarán interconectados con el interruptor centrífugo (b) y el bobinado de arranque (c), para formar el circuito con una conexión a N; el bobinado de trabajo (d) estará energizado con la L1 y N.

Figura 41

Esquema de conexión para el arranque por capacitor de un motor monofásico



Nota. En la imagen se muestra la conexión mediante las partes del motor monofásico WEG como son: a) condensador de arranque, b) interruptor centrífugo, c) bobinado de arranque, d) bobinado de trabajo.

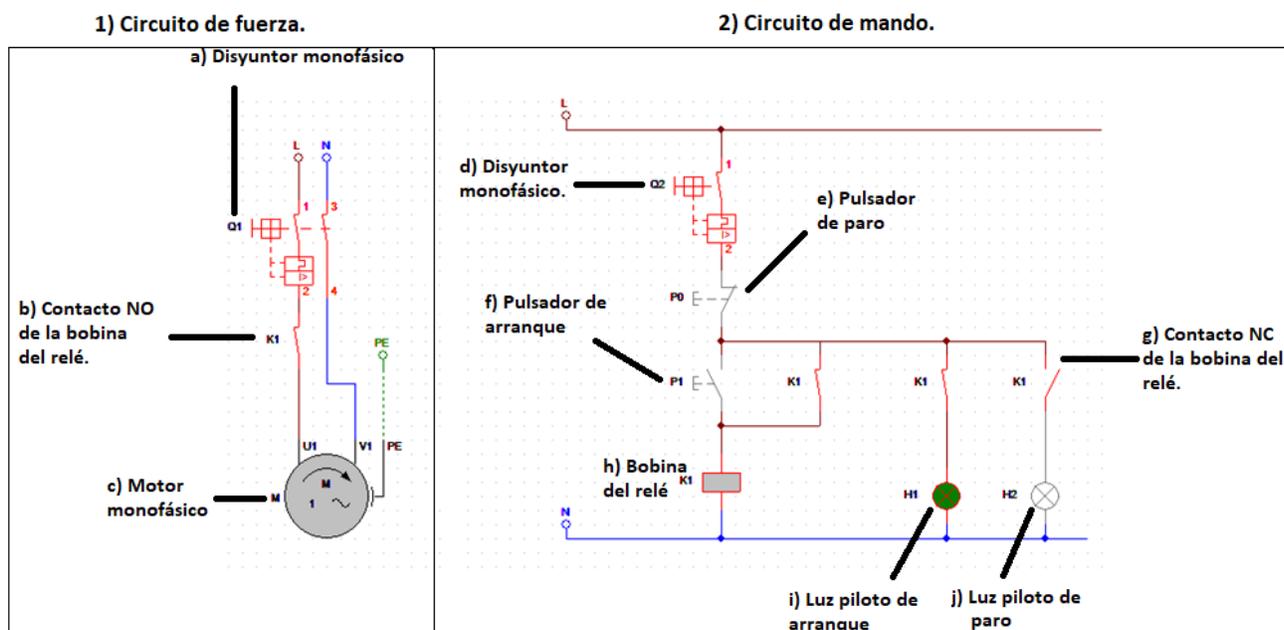
Para el arranque y paro del motor monofásico se necesita de la conexión de los pulsadores mediante un relé; por lo tanto, se tiene un circuito de fuerza y mando los cuales están interconectados entre sí mediante un contacto NO (normalmente abierto) de bobina del relé.

En el circuito de fuerza y mando se accionan los disyuntores de fuerza (a) y mando (d), que nos permitirán que la red monofásica circule por ambos circuitos; para el arranque del motor monofásico se da inicio mediante un (f) pulsador de arranque, que encenderá una (h) bobina del relé y cerrará un (b) contacto NO que estará conectado a la (i) luz piloto y a la L

(fase) que se dirige para la alimentación del (c) motor monofásico ; con esto el (g) contacto NC (normalmente cerrado) se abrirá para que la (j) luz piloto de paro no se encienda. Los literales (a), (b), (c), (d), (f), (g), (h), (i) y (j), se pueden observar en la Figura 42.

Figura 42

Circuito de fuerza y mando para el arranque del motor monofásico



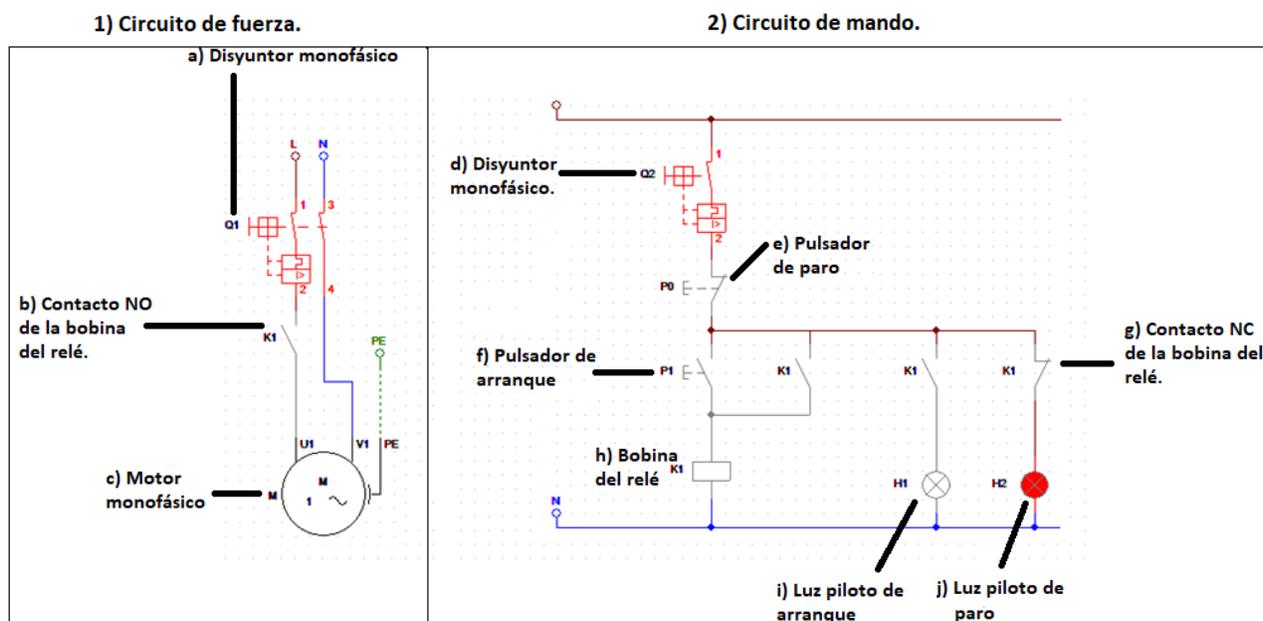
Nota. En la imagen muestra los elementos del 1) circuito de fuerza y 2) mando; utilizados para el accionamiento del motor monofásico como son: a) Disyuntor monofásico, b) Contacto NO de la bobina del relé, c) Motor monofásico, d) Disyuntor monofásico, e) Pulsador de paro, f) Pulsador de arranque, g) Contacto NC de la bobina del relé, h) Bobina del relé, i) Luz piloto de arranque y j) Luz piloto de paro.

Con los disyuntores del circuito de fuerza (a) y mando (d) encendidos; para el paro del motor monofásico se lo realiza mediante un (e) pulsador de arranque, que apagará una (h) bobina del relé y abrirá un (b) contacto NO que estará conectado a la (i) luz piloto y a la L que

se dirige para la alimentación del (c) motor monofásico; con esto el (g) contacto NC permanecerá cerrado para que la (j) luz piloto de paro se encienda. Los literales (a), (b), (c), (d), (e), (g), (h), (i) y (j), se pueden observar en la Figura 43.

Figura 43

Circuito de fuerza y mando para el paro del motor monofásico



Nota. En la imagen muestra los elementos del 1) circuito de fuerza y 2) mando; utilizados para el paro del motor monofásico como son: a) Disyuntor monofásico, b) Contacto NO de la bobina del relé, c) Motor monofásico, d) Disyuntor monofásico, e) Pulsador de paro, f) Pulsador de arranque, g) Contacto NC de la bobina del relé, h) Bobina del relé, i) Luz piloto de arranque y j) Luz piloto de paro.

Resultados

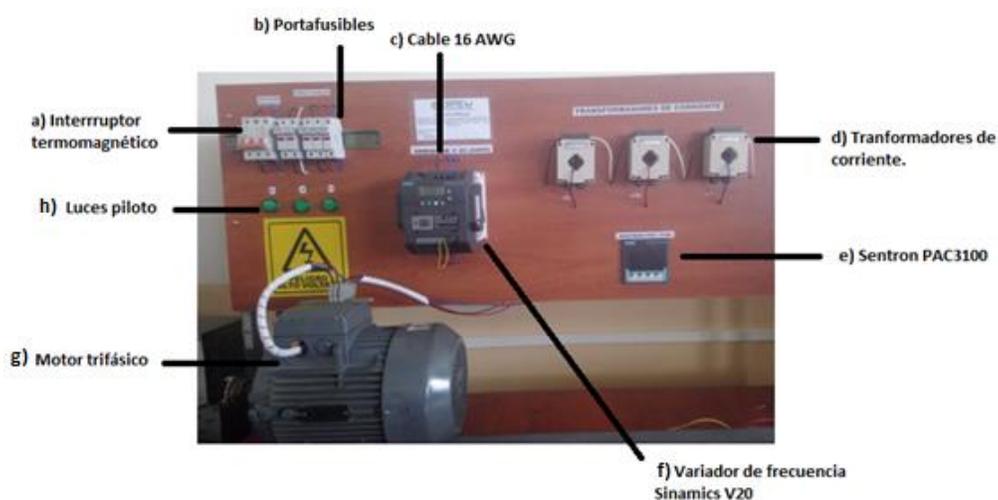
En este apartado se determinarán los datos tomados mediante mediciones y figuras de los módulos terminados además que describen los elementos de cada módulo con sus respectivos nombres.

Módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico; los elementos que constan en el módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico son: Interruptor termomagnético, portafusibles, cable 16 AWG, transformadores de corriente, Sentron PAC3100, variador de frecuencia Sinamics V20, motor trifásico y luces piloto como se muestra en la Figura 44.

Las mediciones de corriente consumida por el motor como se puede observar en la Tabla 9 se dan a partir de la variación de frecuencia en 15 Hz, 30 Hz, 45 Hz, 60 Hz; mediante un variador de frecuencia, el cual también cambia la velocidad del motor. La corriente consumida por el motor se podrá visualizar en el analizador de redes Sentron PAC3100.

Figura 44

Elementos y dispositivos utilizados en el arranque de un motor trifásico mediante un VFD



Nota. En la imagen muestra los elementos y dispositivos utilizados en el módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico que son: (a) interruptor termomagnético, (b) Portafusibles, (c) Cable 16 AWG, (d) Transformadores de corriente, (e) Sentron PAC3100, (f) Variador de frecuencia Sinamics V20, (g) Motor trifásico, (h) Luces piloto.

Tabla 9

Mediciones de corriente

Mediciones de corriente.	
Frecuencia del VFD	Corriente Sentron PAC3100
15 Hz	1,8 A
30 Hz	2,7 A
45 Hz	2,9 A
60 Hz	3,0 A

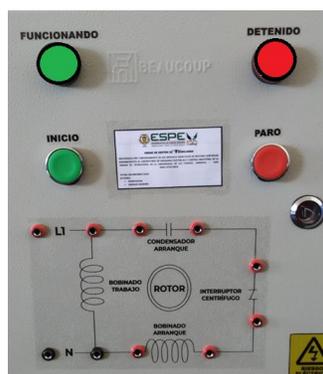
Nota. En la tabla muestra las mediciones de corriente a partir de la frecuencia proporcionada por el variador de frecuencia y se visualizará en el analizador de redes Sentron PAC3100.

Módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico; los elementos externos que constituyen en el módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico son: luz piloto de arranque, luz piloto de paro, pulsador de arranque, pulsador de paro, terminales de conexión tipo banana (hembra) y motor monofásico; los resultados en la parte constructiva del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un

motor monofásico se pueden observar en la Figura 44 en forma frontal y en la Figura 45 en forma lateral.

Figura 45

Parte constructiva frontal del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico



Nota. En la imagen muestra la parte constructiva terminada del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico de forma frontal.

Figura 46

Parte constructiva lateral del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico

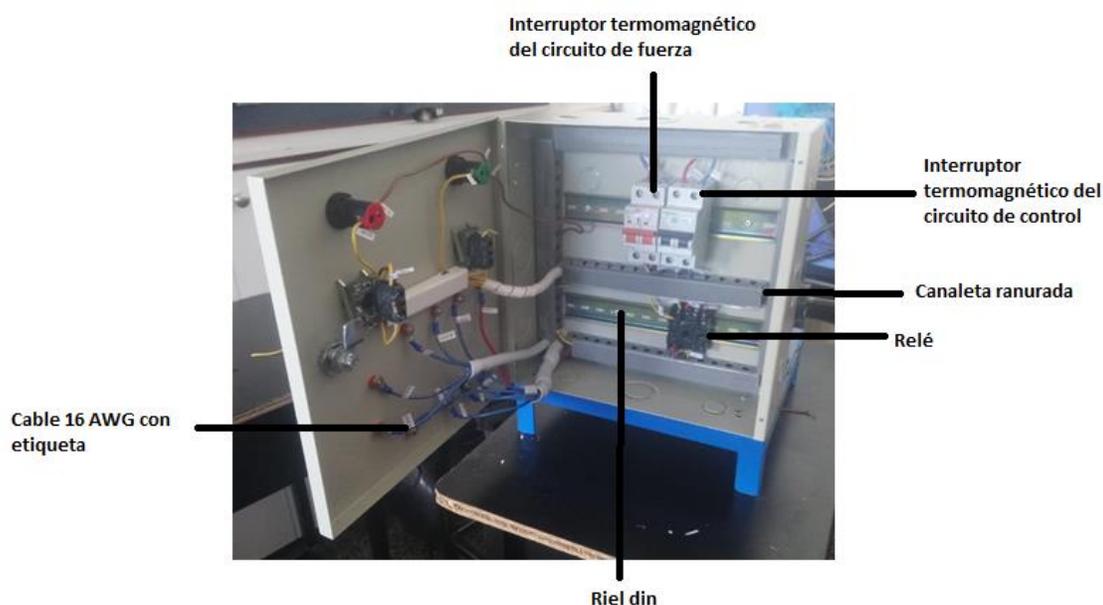


Nota. En la imagen muestra la parte constructiva terminada del módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor monofásico de forma lateral.

A su vez los elementos que se encuentran en la parte interna del módulo didáctico son: interruptor termomagnético del circuito de fuerza, interruptor termomagnético del circuito de control, canaleta ranurada, relé, cable 16 AWG con etiqueta; como se puede observar en la Figura 46.

Figura 47

Parte interna del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico



Nota. En la imagen muestra los elementos y dispositivos utilizados en la parte externa del módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico que son: interruptor termomagnético del circuito de fuerza, interruptor termomagnético del circuito de control, canaleta ranurada, relé, cable 16 AWG con etiqueta debidamente etiquetado.

Como resultado de aprendizaje, el motor de arranque por capacitor al llegar al 60% de su velocidad nominal 1720 rpm; por medio del interruptor centrífugo abre el circuito que contiene el bobinado de arranque; al medir la corriente en el bobinado de arranque antes de la desconexión del interruptor centrífugo; se midió la corriente en aproximadamente 0,5 segundos mediante un cronómetro y el resultado fue de 8,1 A al momento del arranque del motor.

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- En el módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico; se determinó que la importancia de tener un capacitor de arranque es que cumple la función de incrementar el factor de potencia que al dividir la potencia útil de 0,37 KW por la potencia aparente de 0,435 KVA, se tiene un resultado de 0,85 el cual se puede visualizar en la tabla 5 y el par motor inicial que tiende a producir la rotación, se obtiene al dividir la potencia útil 3 KW por la velocidad del motor 1745 rpm el resultado es 1,71 Nm (Newton/metro); además permite que el motor sea encendido y apagado rápidamente.
- En el módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico; se comprobó que al llegar al 60% de su velocidad nominal que es 1720 rpm, se mide 1047 rpm y por medio del interruptor centrífugo se abre el circuito que contiene el bobinado de arranque, por lo cual la corriente es de 8,1 A aproximadamente en un corto instante de 0,5 segundos.
- En el módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico; se verificó las características según la placa eléctrica; con los parámetros configurados por el panel BOP se tiene una frecuencia de 0 – 60 Hz con un rango de velocidad de 0 - 1745 rpm como se muestra en la Figura 40, dependiendo de los anteriores parámetros el motor consumirá una corriente de 0 – 2,9 A.
- Para el dimensionamiento de los elementos de protección que protegen a los dispositivos y sobre todo al operario; se realizó los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos y de los fusibles, en el caso del

módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico se obtuvo una corriente de 6,11 A, por lo tanto, se seleccionó ambos elementos con una capacidad de corriente de 8 A; por su parte en el módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico la corriente de arranque es de 7,96 A, por lo cual el interruptor termomagnético es de 10 A.

- Se concluyó que los módulos didácticos son parte fundamental para el desarrollo de las habilidades y destrezas de los estudiantes, por lo cual se repotenció y se mejoró el: módulo didáctico del arranque por capacitor de un motor monofásico y el módulo didáctico del arranque de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia; para mejorar la enseñanza aprendizaje de los alumnos del tercer nivel de la carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentación perteneciente a la Unidad de Tecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sede Latacunga.

Recomendaciones

- Al operario y estudiante se recomienda trabajar con el manual de operación de los módulos didácticos y con las protecciones necesarias como guantes, por un cortocircuito de una mala conexión de los cables o una fuga de corriente.
- Se recomienda verificar las conexiones de los dispositivos que trabajen con corriente alterna para no ocasionar daños a los dispositivos conectados.
- Realizar una correcta configuración para cambiar los valores de velocidad en el variador de frecuencia, a través del panel BOP para el correcto funcionamiento del motor trifásico.
- Realizar un mantenimiento preventivo periódico en los dispositivos y máquinas que contienen los módulos implementados: módulo didáctico para el arranque por variador de frecuencia de un motor trifásico y módulo didáctico para el arranque por capacitor de un motor monofásico.

Bibliografía

- Alexandre Wagemakers, & Francisco J. Escribano. (2013). *Introducción a la teoría de circuitos y máquinas eléctricas*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36882306/circuitos_2013-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656091775&Signature=OgnsXg5sOSbpVm-qpbGcTa1RYKIC8TDPla-hRKsaKpLGpNWVCaSGwVxEE4YNhI14~RzE2i3d-HH5bKu3mRMB~OqdWuRD4I41CF1aaFOdRQp618XcPcDHYQkP~Qgp81UWaVpoFCtnI3lff8MGsUKnPhz6u4Q3IXeAgzIZiCGWQ8gIFrD82VerMx05SNvcNOeAWy8CrbJ3Sv8nCjXOu8xoNRxJ5ZLnvGa3745EWkECOCjMUHfuLmm4VSSe6kL9OV-elbPwePkwuCf95WieR-BMFDKQ5SI1QUa3HNUVO~fB7V~yYczujf8-YX~l8AXTm0H8Ou0nkW68x1RiBshxKnBKDA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Altech. (2019). *Fundamentos del transformador de corriente*.
https://www.acotron.com/download/32de95e2fa80e256138dc575f378a2aa_MX-CT-INF
- Angel, M., & Pozueta, R. (2008). *“ELECTROTECNIA PARA INGENIEROS NO ESPECIALISTAS” UNIVERSIDAD DE CANTABRIA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA*.
<http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>
- Ángel, M., & Pozueta, R. (2015). *MATERIALES Y CIRCUITOS MAGNÉTICOS*.
https://ocw.unican.es/pluginfile.php/136/course/section/64/tema_01.pdf
- Camsmark. (2021). *44-02 Fusible tipo Cilíndrico RT14-20 (10X38)*.

- Castro Villacis, K. C. (2013). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES PRESENTADO POR.*
- Circutor. (2020). *Instrumentación analógica PIC A / PIC B / PIC E.*
https://docs.circutor.com/docs/CA_M1_SP.pdf
- Contreras, E., & Sánchez, R. (2010). *motores eléctricos definición.*
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>
- Debiase. (2022). *Baomain RT18-32(X) - Portafusibles cilíndrico (0.394 x 1.496 in, base de fusible, 2 polos, montaje en carril DIN.*
- Dennis Fernando Acuña. (2019). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS. CLASIFICACIÓN DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.* <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-ambato/maquinas-electricas/clasificacion-de-maquinas-electricas/5200370>
- Eficiencia, A. (2012). *Motores Eléctricos Industriales y Ventiladores Axiales de Alto Caudal.*
<http://support.automation.siemens.com>
- Espinet, M., Izquierdo, M., & Sanmartí, N. (1999). *FUNDAMENTACIÓN Y DISEÑO DE LAS PRÁCTICAS ESCOLARES DE CIENCIAS EXPERIMENTALES* (Vol. 17, Issue 1).
- Fragoso, A. (2019). *El motor de arranque por capacitor y capacitor en marcha.*
<https://www.monografias.com/trabajos73/motor-arranque-capacitador-capacitador-marcha/motor-arranque-capacitador-capacitador-marcha>
- HIMILCE Página, I. (2019). *UNIDAD 5-INTRODUCCIÓN VARIADORES DE FRECUENCIA AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA INDUSTRIAL.*

<https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/depaelca/files/2019/12/Unidad-5-VARIADOR-FRECUENCIA.pdf>

InexChile. (2018). *Luces Piloto*. http://bekam.cl/wp-content/uploads/2017/08/Luces_Piloto_final.pdf

Ingelcom. (2020). *Instrumentos de medida Eléctrica | Ingelcom*.
<https://www.ingelcom.com.ec/blog/blog-1/post/instrumentos-de-medida-electrica-27>

Luis, J., & Castilla, L. (2012). *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS La Enseñanza Universitaria, los Recursos Didácticos y el Rendimiento Académico de los estudiantes de la*.

Macedo, S. (2015). *INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO*.
<https://www.acomee.com.mx/clasificaciones/INTERRUPTOR%20TERMOMAGNETICO.pdf>

mheducation. (2017). *Motores eléctricos*.
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

Promesa. (2020). *MOTOR MONOFÁSICO 1800 RPM “WEG” 1/2 HP | PROMESA*.
<https://www.promesa.com.ec/producto/motor-monofasico-1800-rpm-weg-1-2-hp>

PUCP. (2015). *CARACTERÍSTICAS GENERALES*.
https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28690/maquinas_electricas_cap01.pdf?sequence=6

siemens. (2003). *MOTORES DE BAJA TENSIÓN BAJA*.
<http://www.siemens.de/automation/mall>

Siemens. (2015). *sentron_pac3100_manual_es_03_es-MX*.

Siemens. (2021). *MFO Multi-Mount Current Transformer - Camsco Electric Co., Ltd.*

<https://www.camsco.com.tw/spa/current-coil/mfo-multi-mount-current-transformer.html>