



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO CON VARIADO DE
VELOCIDAD YASKAWA MODELO CIMRV7AZ20PA PARA EL CONTROL DE UN
MOTOR.**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
Josue Cruz Cuevas**

**NOMBRE DEL ASESOR:
ING. Francisco Arturo Vázquez Tonix**

APIZACO, TLAX., MARZO 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal Mecánica

Tzompantepec, Tlaxcala, **05/marzo/2026**

Oficio No. MM-232/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	JOSUE CRUZ CUEVAS
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	B17620287
Nombre del Proyecto:	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO CON VARIADO DE VELOCIDAD YASKAWA MODELO CIMRV7AZ20P4 PARA EL CONTROL DE UN MOTOR".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

ING. FRANCISCO ARTURO VÁZQUEZ TÓNIX
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita
Maza



Av. Instituto Tecnológico No. 418, Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. [241] 4172010 Ext. 124, e-mail:
mecanica@apizaco.tecnm.mx <https://www.apizaco.tecnm.mx>



Educación
Secretaría de Educación Pública



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, **19/Marzo/2026**

JOSUE CRUZ CUEVAS
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL B17620287
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO CON VARIADO DE VELOCIDAD YASKAWA MODELO CIMRV7AZ20P4 PARA EL CONTROL DE UN MOTOR"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
**Margarita
Maza**



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de mi Proyecto de Reporte de Residencia.

A mis queridos padres, **Placida Cuevas Aparicio** y **Felimon A. Cruz Mendoza**, quienes han sido mi mayor apoyo, ejemplo y motivación constante. Gracias por su amor incondicional, sus consejos, sus sacrificios y por impulsarme siempre a seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis hermanas, por su compañía, comprensión y palabras de aliento en cada momento de este proceso. Su apoyo ha sido fundamental para mantenerme firme y perseverante.

A mis asesores, por su orientación, paciencia y dedicación durante el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos y enseñanzas fueron clave para fortalecer mis habilidades y lograr la conclusión exitosa de esta etapa.

A todos ustedes, gracias por creer en mí y formar parte de este logro tan importante en mi vida profesional.

INDICE

INTRODUCCION	2
RESUMEN	3
JUSTIFICACION	3
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS PARTICULARES	4

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

UBICACIÓN	1.1
GIRO	1.2
MISIÓN Y VISIÓN	1.4
ORGANIGRAMA	1.5
ÁREA DE TRABAJO	1.6

CAPITULO II

MARCO TEORICO

PROCESO ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

APRENDIZAJE	2.1
¿QUÉ ES EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE?	2.3
INTERFACE HOMBRE-MAQUINA HMI	2.4
BOTONES PULSADORES	2.5
LÁMPARAS INDICADORAS	2.6
VARIADORES DE VELOCIDAD	2.7
SÍMBOLO Y CIRCUITOS INTERNOS ELÉCTRICO-ELECTRÓNICOS DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD ...	2.8
ELEMENTOS DE CONEXIÓN EXTERNA	2.9
TIPOS DE VARIADORES DE VELOCIDAD	2.10
APLICACIONES DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD	2.11
COMUNICACIONES	2.12
CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LOS VARIADORES	2.13
MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN	2.14
PARTES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN	2.14.1
LA PLACA DE DATOS	2.14.2

TIPOS DE POLOS EN UN MOTOR DE INDUCCIÓN	2.15
VELOCIDAD SINCRONA Y FACTOR DE DESLIZAMIENTO	2.16
VELOCIDAD SÍNCRONA	2.16.1
TORQUE O PAR-MOTOR	2.17
NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO ELÉCTRICO NEMA E IEC	2.18

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

INTRODUCCIÓN	3.1
CONDICIONES DEL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA	3.2
CONDICIONES DE LOS COMPONENTES ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE AUTOTRÓNICA ...	3.3
CONDICIONES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	3.3.1
CONDICIONES DEL MOTOR	3.3.2

CAPITULO IV

SOLUCION DEL PROBLEMA

CONSTRUCCIÓN DEL MUEBLE PARA EL MÓDULO DIDÁCTICO	4.1
CONSTRUCCIÓN DEL GABINETE PARA EL MONTAJE DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO	4.1.1
CONSTRUCCIÓN FINAL DEL MUEBLE	4.1.2
MONTAJE DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	4.2
INTERRUPTOR DE CONEXIÓN Y PROTECCIÓN ELÉCTRICA GENERAL DEL MÓDULO	4.2.1
VARIADOR DE VELOCIDAD	4.2.2
MONTAJE PRELIMINAR DE LOS COMPONENTES DEL MODULO	4.2.3
MONTAJE PRELIMINAR DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DEL MÓDULO DIDÁCTICO	
MONTAJE DEL MOTOR TRIFÁSICO	4.3
CABLEADO Y CONEXIÓN DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	4.4
CABLEADO Y CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL MOTOR TRIFÁSICO	4.5
PRUEBAS DE CONTINUIDAD EN EL CABLEADO DE CONTROL Y DE FUERZA	4.6
PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CONTROL Y FUERZA DEL MODULO	4.7
FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN BÁSICA DEL MÓDULO DIDÁCTICO	4.8

2. INTRODUCCION

Los requerimientos de la producción y de la calidad de los productos fabricados y ensamblados en una planta industrial, son cada día más exigentes, tanto para la misma fabrica como para el usuario final.

La rapidez, la precisión y la calidad en la producción de los bienes o productos fabricados son parámetros imprescindibles en los procesos industriales.

Para lograr la realización exitosa de estos parámetros, se requiere un sin número de métodos, equipos y sistemas de tecnologías actuales dentro de la planta productiva.

Así pues, los motores eléctricos juegan un papel importante dentro de los procesos industriales y de las maquinas presentes en el sector productivo.

Por tanto, en los motores eléctricos es necesario capturar, registrar, medir y controlar su velocidad de operación, su posición, su torque y su aceleración, con los cuales se podrán satisfacer los requerimientos solicitados por el fabricante.

Los equipos actuales con los cuales se puede controlar la velocidad de un motor de C.A. son conocidos generalmente como Variadores de Velocidad o como VFD por sus siglas de las palabras en Ingles Variable Frequency Driver, y para ello se desarrollará el proyecto objeto del presente trabajo.

3. RESUMEN

el presente trabajo fue elaborado por el suscrito, tomando como base las ventajas actuales que ofrece un variador de velocidad y sus aplicaciones en el ámbito productivo, a continuación, se menciona un resumen del contenido de cada capítulo.

en el capítulo uno se mencionan las generalidades del proyecto tales como la ubicación de la institución educativa, el giro, la misión, la visión y el lugar en donde se construirá el módulo didáctico.

el capítulo dos trata de los fundamentos, conceptos y bases teóricas que servirán de soporte para el diseño y construcción del módulo didáctico.

en el capítulo tres se explica la problemática y situación actual de la falta de equipos y de módulos didácticos enfocados a la capacitación del conocimiento de los variadores de velocidad.

en el capítulo cuatro se explica y se muestra detalladamente los pasos que se siguieron para el diseño y construcción del módulo didáctico.

el trabajo se concluye con apartados llamados conclusiones, recomendaciones, material bibliográfico y anexos que complementan el presente trabajo.

3. JUSTIFICACION

El suscrito se dio a la tarea de visitar al Laboratorio de Autotrónica, ubicado dentro del edificio X del Instituto Tecnológico de Apizaco, para preguntarle al jefe de laboratorio el Ing. Arturo Vázquez Tonix, sobre algún proyecto a desarrollar y que a la vez le sirviera al suscrito como tema de Residencias Profesionales.

Por lo que, por autorización del Jefe de Laboratorio en turno, se me asignó el tema mencionado en el presente trabajo, en virtud de que no hay ningún equipo o módulo didáctico dedicado a la capacitación sobre el funcionamiento y aplicaciones del variador de velocidad.

El módulo didáctico lo podrán utilizar estudiantes y docentes de las carreras de las Ingenierías: electrónica, mecatrónica, electromecánica y Sistemas Automotrices.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y Construir un módulo didáctico con variador Yaskawa para la capacitación de estudiantes y docentes de diferentes carreras afines que se imparten en el Instituto Tecnológico de Apizaco

OBJETIVOS PARTICULARES

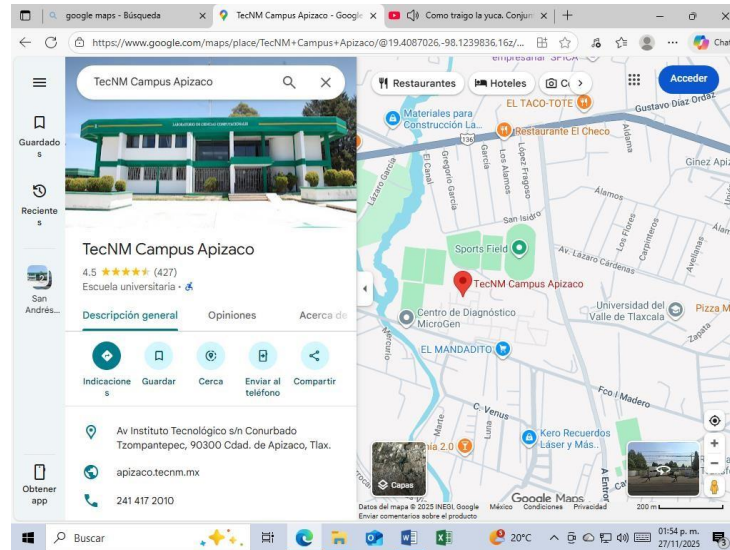
- Levantamiento de campo
- Búsqueda de componentes existentes dentro del Laboratorio de Autotronica
- Selección de componentes faltantes que se integran al módulo didáctico
- Investigación de las características del variador de velocidad de acuerdo al Datasheet
- Diseño del mueble para el módulo didáctico
- Montaje del variador de velocidad, motor y demás accesorios en el módulo didáctico
- Pruebas de funcionamiento del módulo didáctico
- Elaboración de prácticas básicas
- Validación y entrega de proyecto final

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Ubicación

A continuación, se observa la ubicación de la Institución Educativa



Dirección: Av. Instituto Tecnológico s/n conurbado Tzompatepec, 90300, ciudad de Apizaco, Tlax.

1.2 Giro

Educación y preparación tecnológica a nivel superior

1.4 Misión y visión

Misión

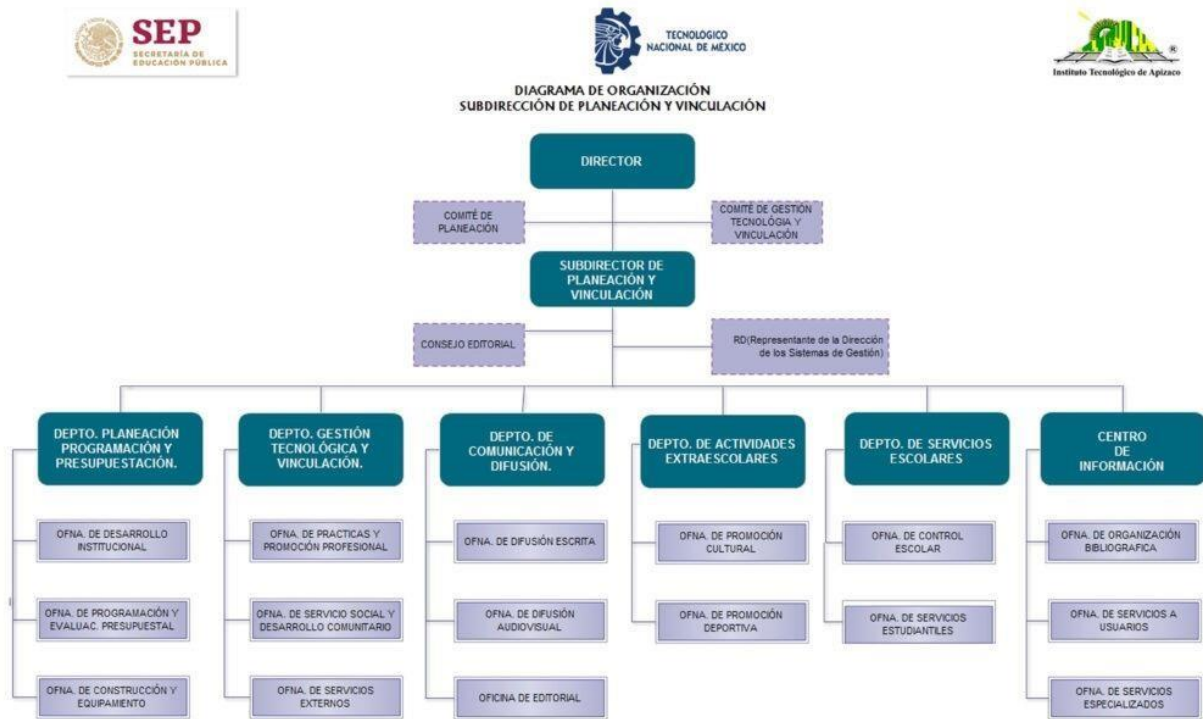
El Instituto Tecnológico de Apizaco se compromete a la formación integral de profesionales que satisfagan los requerimientos del entorno, integrando adecuadamente sus recursos. Su objetivo es contribuir al desarrollo económico, científico, social y cultural de la región y del país, formando egresados con un espíritu emprendedor y de investigación que impacten positivamente en todos los sectores de la sociedad.

Visión

La visión del Instituto es ser una institución de educación superior tecnológica consolidada, competitiva y reconocida a nivel nacional. Se busca que su prestigio se base en principios y valores humanos, así como en hábitos intelectuales y actitudes profesionales que permitan a sus egresados contribuir de manera significativa al desarrollo de la sociedad.

1.3 Organigrama

En la siguiente figura se muestra el organigrama de la Institución Educativa



1.4 Área de trabajo

El área de trabajo donde se desarrolló el proyecto de la construcción del módulo didáctico, fue dentro de las instalaciones del Laboratorio de Autotrónica, ubicado dentro del edificio X, perteneciente al Instituto Tecnológico de Apizaco, estado de Tlaxcala.

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1 Proceso enseñanza – aprendizaje

La enseñanza es la acción y el resultado de compartir una serie de saberes, estrategias, normas o destrezas con otras personas. Se apoya en diferentes métodos, instituciones y recursos para facilitar el aprendizaje. La enseñanza implica la relación de tres elementos: el profesor, el alumno y el contenido.

La enseñanza puede adoptar distintas perspectivas según el papel que se le asigne al profesor y al alumno. Según la visión enciclopedista, el profesor es el poseedor del saber y el alumno es un receptor pasivo del mismo. El profesor usa diversos medios, técnicas y herramientas para transmitir el conocimiento al alumno. Según la visión constructivista, el profesor es un guía y el alumno es un agente activo de su propio aprendizaje. El profesor propone situaciones, actividades y recursos que estimulen al alumno a construir el conocimiento por sí mismo.

2.2 Aprendizaje

El aprendizaje se define como el proceso mediante el cual se origina o se modifica una actividad respondiendo a una situación siempre que los cambios no puedan ser atribuidos al crecimiento o al estado temporal del organismo (como la fatiga o bajo el efecto de las drogas). Ernest Hilgard

También, se puede definir el aprendizaje como un proceso de cambio relativamente permanente en el comportamiento de una persona generado por la experiencia (Feldman, 2005). Este proceso de cambios supone un cambio conductual, debe ser perdurable en el tiempo y ocurre a través de la práctica o de otras formas de experiencia (p. ej., observando a otras personas).

2.3 ¿Qué es el proceso de enseñanza y aprendizaje?

El proceso de enseñanza y aprendizaje es un conjunto de actividades que se llevan a cabo con el objetivo de facilitar la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes por parte de los estudiantes. En este proceso, el rol del docente es guiar y facilitar el aprendizaje de los alumnos, proporcionando los recursos necesarios para que puedan adquirir nuevos conocimientos de manera efectiva.

El aprendizaje es un proceso activo en el que el estudiante es el protagonista, ya que es él quien debe asimilar la información, comprenderla y aplicarla en diferentes contextos. La enseñanza, por otro lado, implica la planificación y ejecución de estrategias pedagógicas que permitan a los alumnos alcanzar los objetivos de aprendizaje propuestos.

Es importante que en el proceso de enseñanza y aprendizaje se promueva la participación activa de los estudiantes, se fomente la reflexión y se estimule el pensamiento crítico. Además, es fundamental que se utilicen metodologías y recursos que se adapten a las necesidades y características de los estudiantes, para garantizar un aprendizaje significativo y duradero.



Fig. 2.3.1 Diferentes esquemas del Proceso Enseñanza - Aprendizaje

2.4 Interface Hombre-Maquina HMI

En las áreas de controles eléctricos y de la Automatización Industrial, existe una parte importante llamada Interface Hombre-Maquina (Human-Machine Interface HMI) o también se conoce como Dialogo Hombre-Maquina.

Los accesorios y equipos que se utilizan en estas áreas son diversas que pueden ir desde las más simples a las más sofisticadas incluyendo Software.

En este trabajo se consideran elementos de HMI simples, tales como los botones pulsadores y lámparas indicadoras, bastante utilizadas en la industria.

2.5 Botones pulsadores

Un elemento simple para “decirle” a la maquina cuando debe de arrancar o parar, es el botón pulsador.

Existe una gran variedad de botones pulsadores, uno para cada necesidad, y a continuación se muestran algunos ejemplos de estos elementos y su respectivo símbolo.

Todos los botones pulsadores están integrados por dos partes importantes una es el botón en sí y la otra se conoce como cuerpo o bloque, observe las siguientes figuras:



Fig. 2.5.1 Diferentes tipos de botones pulsadores

Y se pueden encontrar en dos presentaciones normalmente abierto NA y normalmente cerrado NC, sus símbolos son los siguientes en diferentes normas, norma europea IC y norma americana NEMA:

SIMBOLOS DEL PULSADOR



simbolo utilizado en los
planos de planta unifilar

SIMBOLOGIA AMERICANA



SIMBOLOGIA ANTIGUA



Fig. 2.5.2 Símbolos de botones pulsadores NA y NC en normas IEC y NEMA

2.6 Lámparas indicadoras

El elemento simple para que la maquina “nos diga” o nos indique que ya arrancó o que ya paró o si se encuentra en estado de falla o alarma.

Existe una gran variedad de lámparas indicadoras, una para cada necesidad, y a continuación se muestran algunos ejemplos de estos elementos y su respectivo símbolo.

Todas las lámparas indicadoras están integradas por dos partes importantes una es la lampara en sí y la otra se conoce como cuerpo o bloque y también existen en una gran diversidad, tamaños y aplicaciones, observe las siguientes figuras:



Fig. 2.6.1 Diferentes tipos y tamaños de lamparas indicadoras

Los simbolos de las lamparas se pueden represetar bajo norma europea IEC y bajo norma americana NEMA y se muestran a continuacion:



IEC (EUROPEO)



NEMA (AMERICANO)

Fig. 2.6.2 Simbolos de la lampara indicadora en normas IEC y NEMA

2.7 Variadores de Velocidad

El control de la velocidad en los motores eléctricos se hace necesario para lograr los alcances de la mejora continua en la producción de bienes y servicios y a la vez que con ello se optimiza el rendimiento de las máquinas y de los procesos industriales.

Anteriormente se utilizaban motores eléctricos de CD para proveer el movimiento mecánico adecuado a las maquina y procesos, el problema era el costo muy elevado, tanto de los motores como de los tableros de control eléctrico-electrónico que se requerían para su funcionamiento.

Por estas razones se desarrollaron unos equipos electrónicos llamados Variadores de Velocidad, por medio de los cuales se pueden controlar los motores eléctricos, pero ahora de CA.

Los Variadores de Velocidad son equipos eléctrico-electrónicos de costo más bajo que el de los variadores de CD, a la vez que los motores de CA también son de más bajo costo con respecto a los de CD.

A los variadores de velocidad también se les conoce como Variadores de frecuencia, Driver de velocidad o VFD (Variable Frequency Driver).

2.8 Símbolo y Circuitos internos eléctrico-electrónicos de un Variador de Velocidad

A continuación, se muestra el símbolo del variador de velocidad y en dicha figura se hace la analogía del Variador de Velocidad con un arreglo de interruptores mecánicos, para simular y entender el funcionamiento del “switecheo” de los transistores de salida del Variador de Velocidad llamados transistores IGBT, a continuación, se muestra el símbolo de un variador de velocidad:

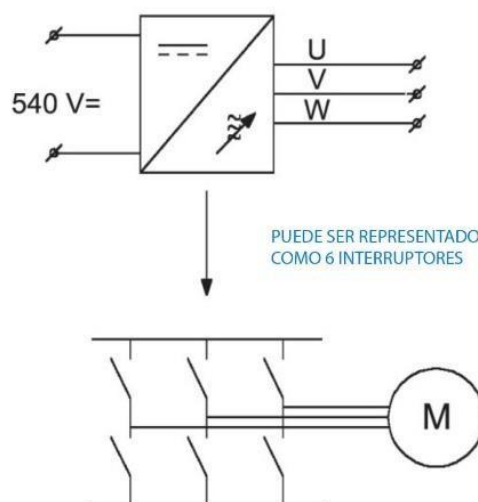


Fig. 2.8.1 En la parte superior de la figura se muestra el símbolo de un variador de velocidad LOS circuitos internos principales de los variadores de velocidad son:

- Etapa rectificadora CA/CD – arreglo de 6 diodos para rectificación trifásica
- Etapa de Filtraje – arreglo de capacitores e inductores
- Etapa de Control – Microcontroladores
- Etapa Inversora CD/CA – arreglo de 6 Transistores de Potencia IGBT Observe

las siguientes figuras:

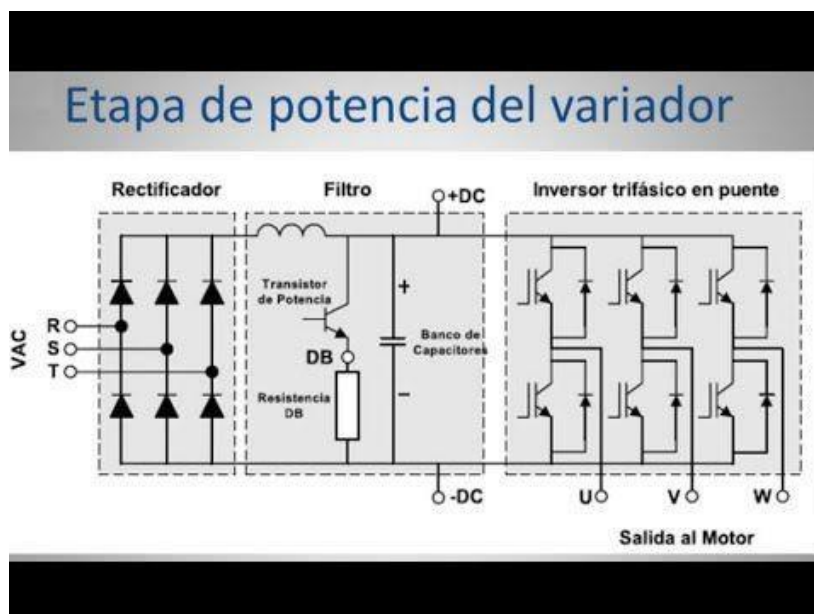
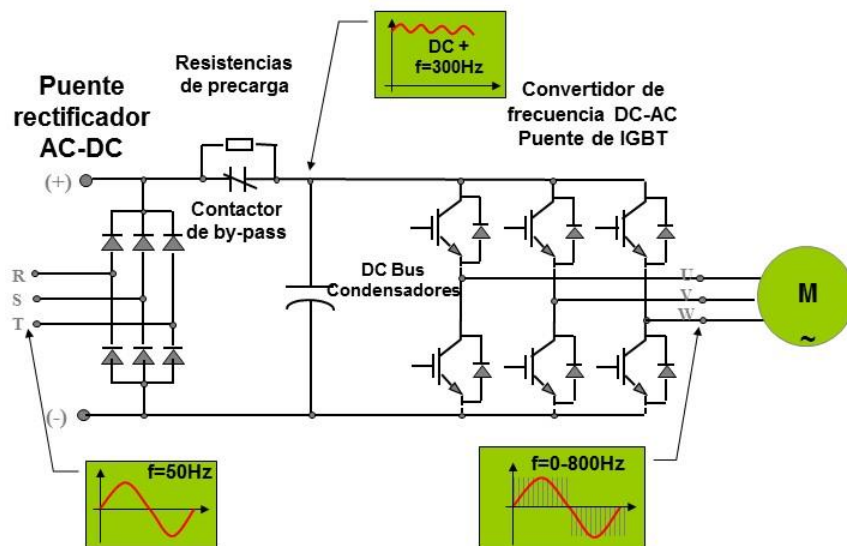


Fig. 2.8.2 Circuitos internos de un variador de velocidad

2.9 Elementos de Conexión Externa

En la siguiente figura se muestran los diversos elementos de control eléctrico que se conectan a la entrada y a la salida de un Variador de Velocidad.

No necesariamente se deben conectar todos los elementos mostrados en el esquema para el funcionamiento de Variador, solo se conectarán los que se requieran en un caso específico.

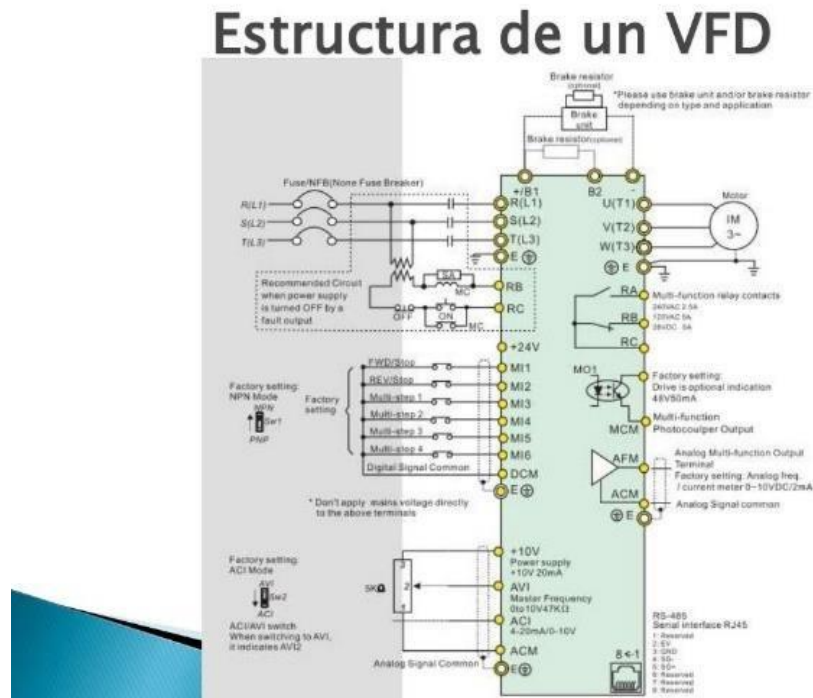


Fig. 2.9.1 Elementos de control eléctrico que se conectan a las entradas y salidas de un variador de velocidad

2.10 Tipos de variadores de velocidad

Existe una gran variedad de tipos, marcas, tamaños y aplicaciones de los Variadores de Velocidad, a continuación, observe algunos de ellos.



Fig. 2.10.1 Diferentes tamaños, marcas y modelos de los variadores de velocidad

En cuanto al voltaje que manejan los diferentes tipos de variadores de velocidad se puede mencionar la siguiente clasificación en base a la NOM: En Baja tensión Vac

- 127 V monofasico
- 220 V • 440 V
- 550 V

En media tensión Vac

- 3 KV
- 7 KV
- 13.2 KV

2.11 Aplicaciones de los variadores de velocidad

Las aplicaciones de los Variadores de velocidad son muy diversas, depende del medio ambiente, de las áreas peligrosas, si son a prueba de polvo y goteo, si son lavables (dentro de recintos de acero inoxidable), del voltaje, del giro de la empresa, de la maquina o mecanismo que mueva, incluso si se usa en una válvula automática de gran tamaño.

En la siguiente figura se muestra la configuración básica para entender cómo se debe utilizar el variador de velocidad en la práctica.

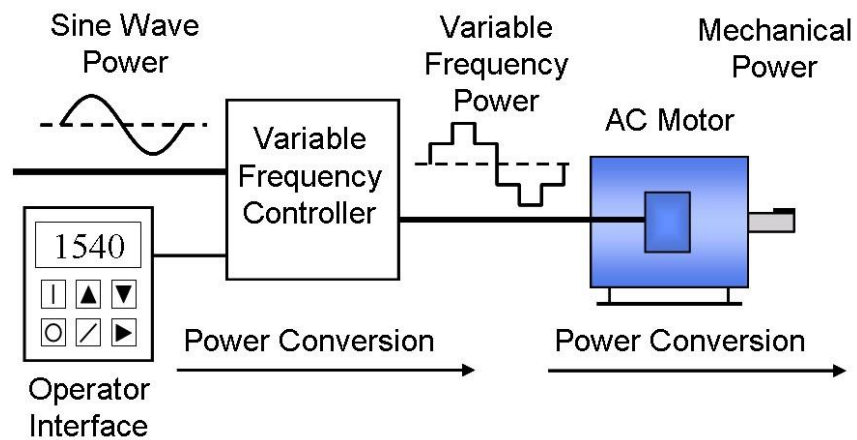


Fig. 2.11.1 En estas figuras se observa la secuencia de conexión eléctrica en general entre cada componente eléctrico y electrónico

Y a continuación, se muestran algunas cuantas aplicaciones en donde se utilizan los variadores de velocidad.





Fig. 2.11.2 En estas imágenes se muestran diversas aplicaciones de los variadores de velocidad en bombas, bandas, sopladores, etc.

2.12 Comunicaciones

Los medios de comunicación para comandar un variador de velocidad pueden ser de Hombre a Maquina o de Maquina a Maquina, por comunicación standard o por protocolo de comunicación Industrial.

Por Hombre-Maquina o Maquina – Maquina

- Por elementos simples (lámparas indicadoras y botones)
- Por potenciómetro
- Por sensores (de proximidad, de nivel, de velocidad, de peso, de temperatura, etc.)
- Por elementos permisivos (presostato, termostato, interruptor de nivel, de flujo, etc.)
- Por teclado local en el variador

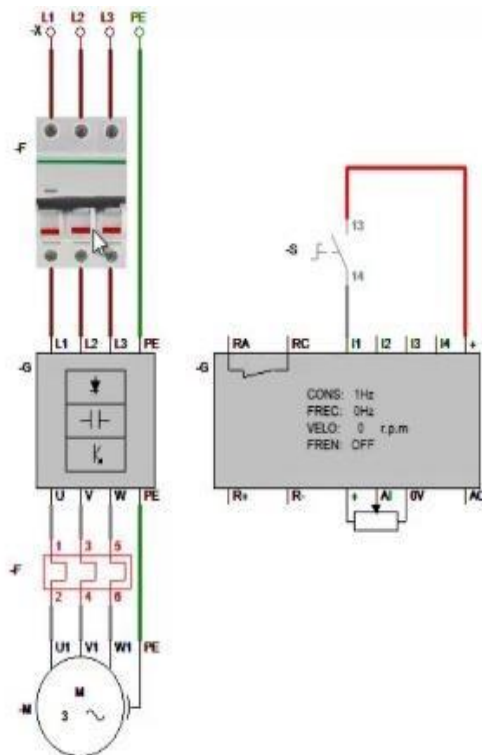
Por Protocolo de comunicación Industrial

- Mod Bus RTU
- DeviceNet
- Profibus PA
- Profinet

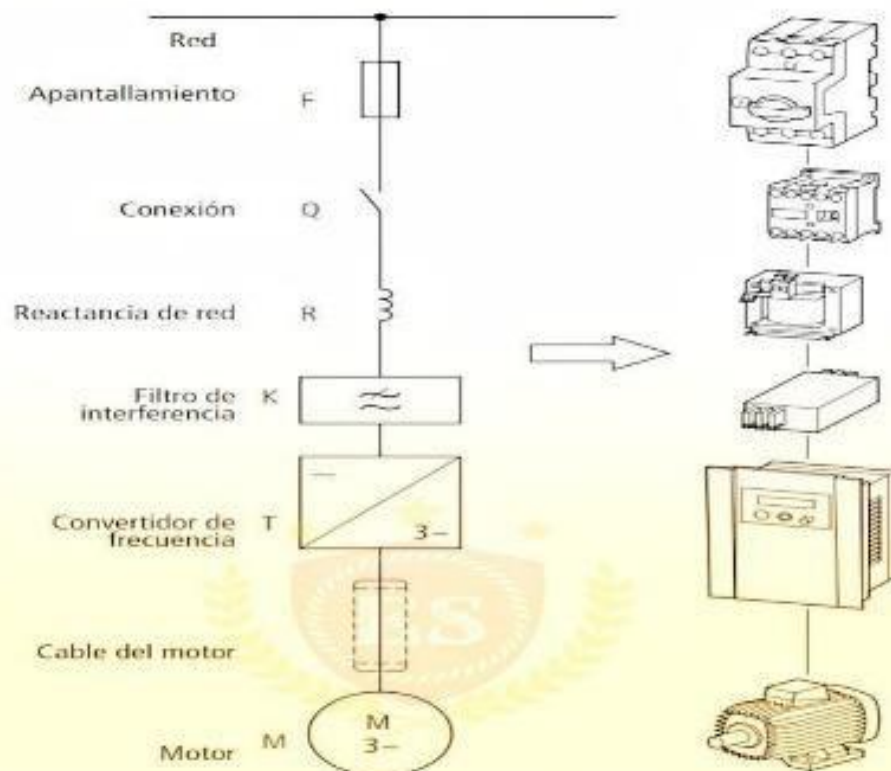
- Foundation Field Bus
- RS 242/RS422

2.13 Conexión eléctrica de los variadores

En los siguientes esquemas se muestran las formas de como conectar los circuitos de fuerza y control en un variador de velocidad, y en general los dispositivos eléctricos utilizados, se conectan en la siguiente secuencia: interruptor termomagnético o elementos fusibles – contactor de protección – variador de velocidad – filtros de armónicos – motor, observe las siguientes figuras:



Conexión según CEM de convertidores de frecuencia



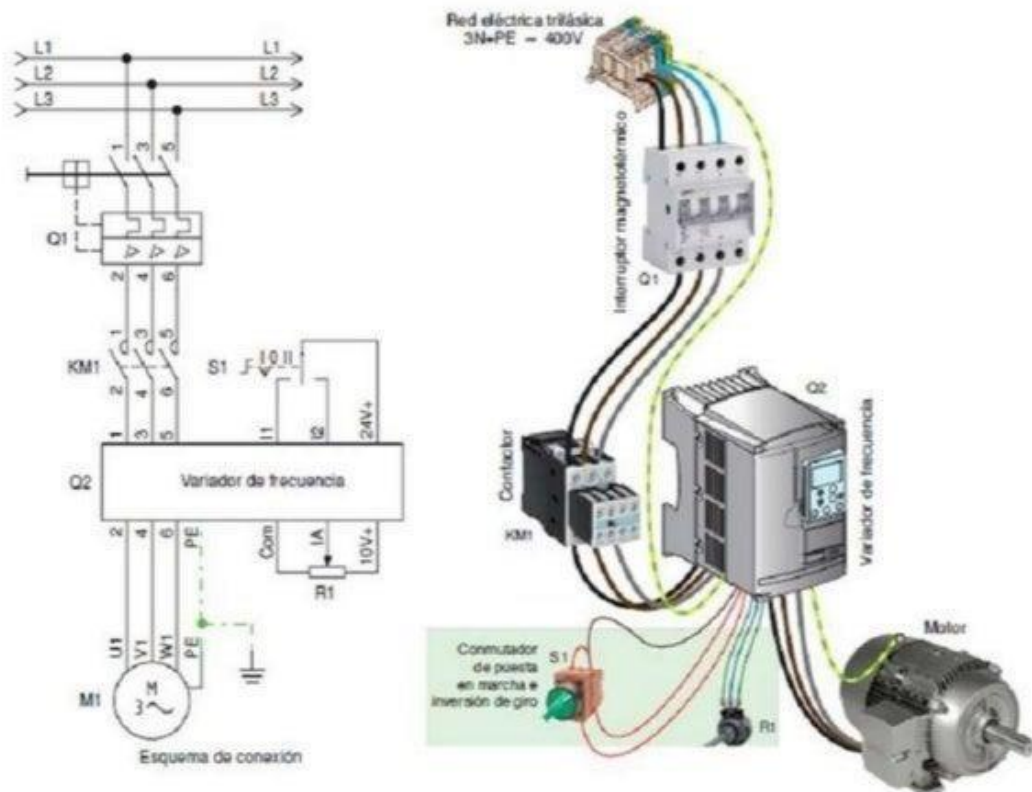


Fig. 2.13.1 Diferentes ejemplos representativos de conectar los circuitos de fuerza y control en un variador de velocidad

2.14 Motores Eléctricos de Inducción

Los variadores de velocidad fueron creados específicamente para el control de velocidad de los motores trifásicos de CA, del tipo llamado de inducción, en virtud de que son los más utilizados a nivel industrial por su costo más bajo que el de un motor síncrono.

Los motores de inducción existen de diferentes tamaños, formas, marcas, aplicaciones, potencias, voltajes, etc.

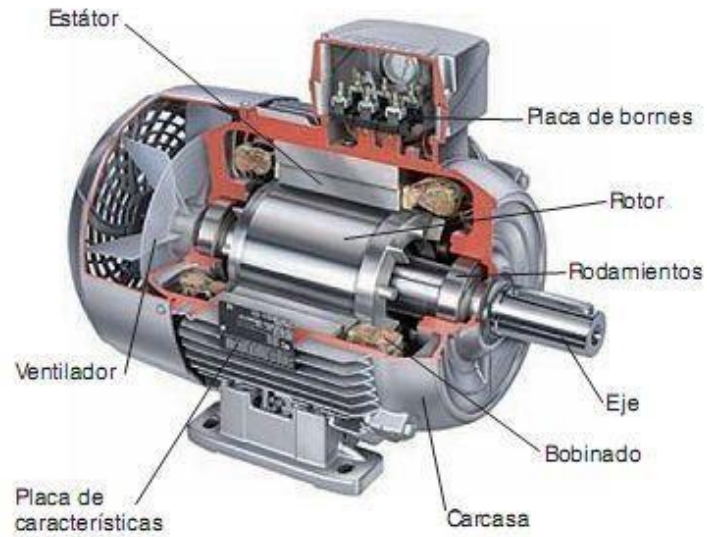
En la siguiente figura se muestra esta gran variedad de motores:



Fig. 2.14.1 Diferentes tipos y marcas de motores de inducción

2.14.1 partes de un motor de inducción

A continuación, observe las partes más importantes de un motor de inducción, considerando que cualquier maquina eléctrica rotatoria está constituida por dos partes principales: Rotor y Estator.



Mª del Pilar Alés Otón. Módulo Técnicas y Procesos de Instalaciones Automáticas. 1º GS SEA

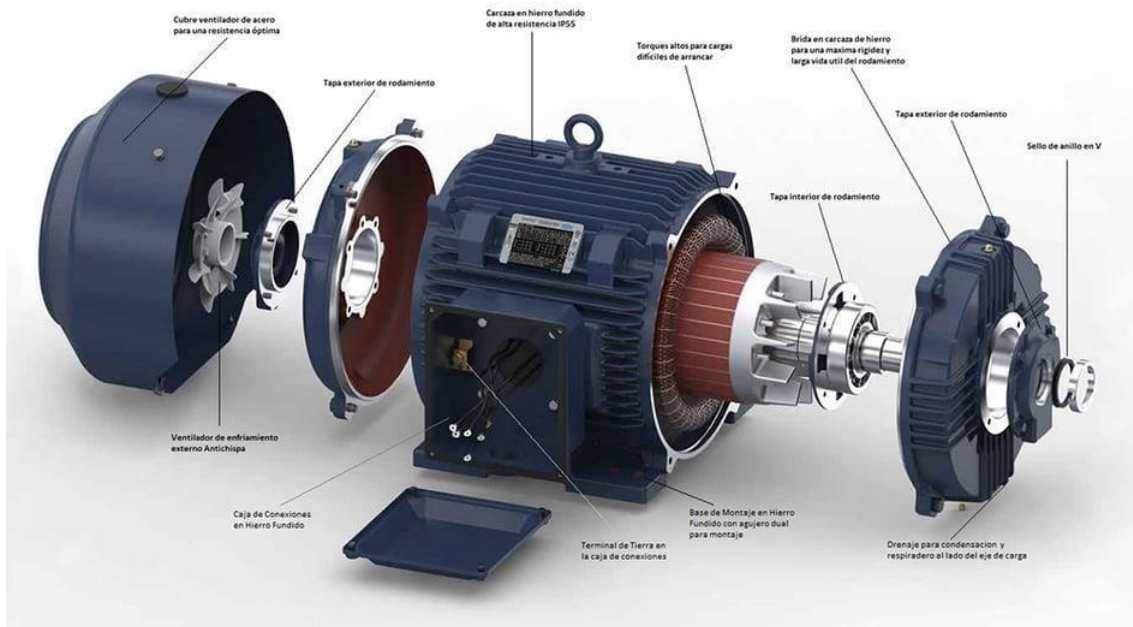
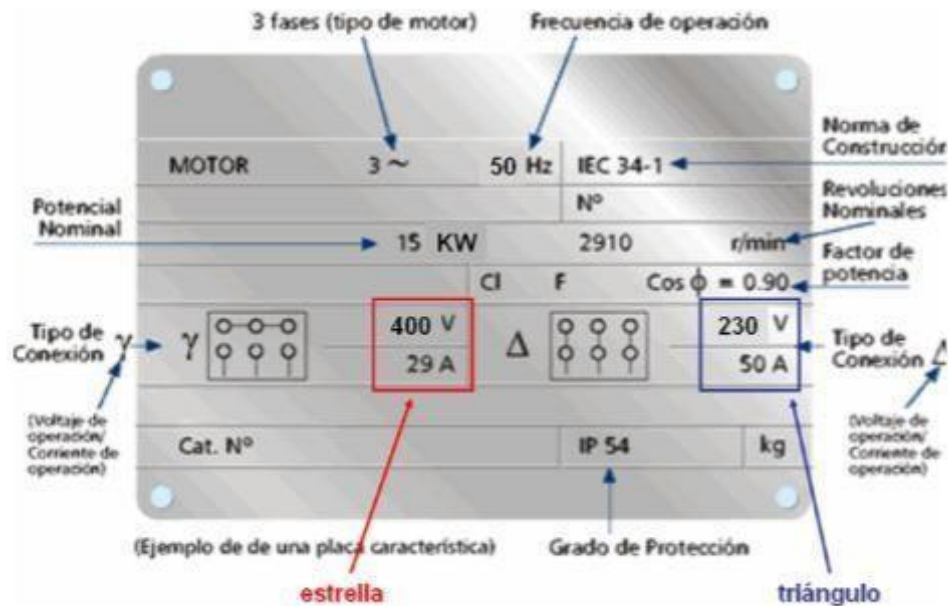


Fig. 2.14.1.1 Componentes principales de un motor de inducción

2.14.2 La Placa de Datos

La placa de datos que se coloca en la carcasa del motor de inducción, nos proporciona la información de bastante utilidad para el análisis, conexión e instalación del mismo, en la siguiente figura se muestran algunos ejemplos de placas de datos, en ellos se puede observar información tal como: voltaje, número de fases, corriente de consumo, factor de potencia, Potencia, frecuencia, factor de servicio, etc.



s/n: M0065901	TAMB: 40°C	INS.CL.:H/F
3PH Motor Type: MF10Z-106N161P85025E-IP55		
ID: 52262304	6 min on 4 off	ENCL: TEFC
3.6/0.5 kW	2800 /400 rpm	$\cos \phi$: 0.87/0.63
380-415 V	Y/Y	8.2/4.1 A
V	A	I ₀ : 4.5 A
50 Hz	Duty: S3-60%	60 min
4.3/0.7 kW	3400 /500 rpm	$\cos \phi$: 0.89/0.61
440-480 V	Y/Y	8.3/4 A
V	A	I ₀ : 4.5 A
60 Hz	Duty: S3-60%	60 min

Fig. 2.14.2.1 Las placas de datos muestran la información técnica del motor

2.15 Tipos de polos en un motor de Inducción

La teoría de las maquinas eléctricas rotatorias establece que toda máquina eléctrica rotatoria debe de estar constituida necesariamente por dos componentes importantes: el rotor y el estator.

Y hablando específicamente del rotor, en este se encuentran unos componentes llamados POLOS, en los cuales se colocan las bobinas o devanados del rotor, para que cumplan con la función de formar parte con la rotación del rotor.

Por lo que en general los polos del estator pueden ser de dos tipos: POLOS SALIENTES Y POLOS RASANTES, en la siguiente figura se muestran algunos ejemplos de un rotor con polos rasantes.

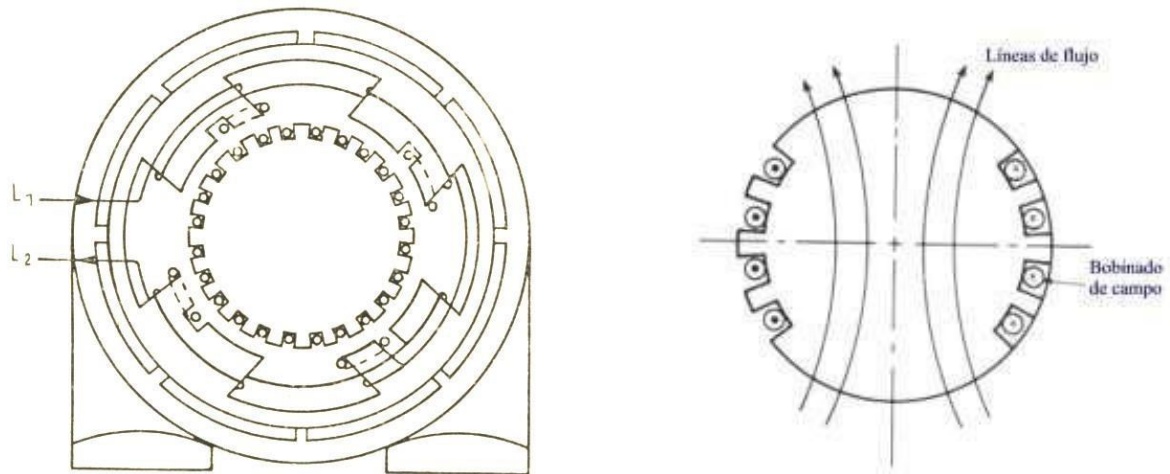


Fig. 2.15.1 Rotores con polos rasantes

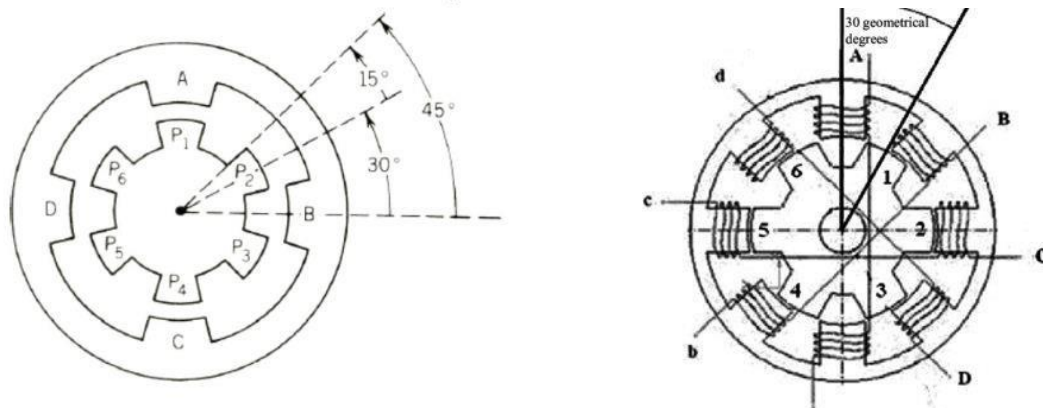


Fig. 2.15.2 Rotores con polos salientes

2.16 Velocidad Sincrónica y Factor de Deslizamiento

Las máquinas síncronas se caracterizan por tener una relación importante entre la velocidad dada en RPM del rotor y la frecuencia de línea dada en Hz.

2.16.1 Velocidad sincrónica

Se llama máquina síncrona por que la velocidad RPM del rotor es múltiplo de la frecuencia HZ de línea, solo que una máquina síncrona lado motor o lado generador, ambos requieren una fuente de alimentación externa para su correcto funcionamiento. La expresión matemática para la velocidad síncrona, se conoce como:

$$w = 120 f / \text{no. de polos}$$

Fórmulas básicas para especialidad de drives.

Velocidad

VELOCIDAD SINCRONA DE LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Motores de Inducción

$$n = \frac{2 f (60)}{p}$$

Velocidad de sincronismo en RPM		
# de polos	50 hz	60 hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900

n = Velocidad en revoluciones por minuto (rpm)

f = Frecuencia de la red de suministro (Europa = 50 hertzios)

p = Número de Polos América = 60Hz

La Velocidad real del Rotor Asíncrono es entre un 3% menor

Esto se puede implementar en una maquina síncrona solo que su costo se eleva respecto al de un motor de inducción, ya que dicho motor no requiere de una fuente de CD externa para su funcionamiento.

De cualquier manera, el motor de inducción proporciona un movimiento rotatorio para ser aprovechado en la necesidad específica para la cual fue construido, aunque no nos proporcione una velocidad síncrona, es decir, nos proporciona una velocidad un poco menor a la velocidad síncrona, lo cual no representa problema alguno en la aplicación y uso en la máquina que va a mover.

Por lo que a este concepto se le conoce como factor de deslizamiento, y su ecuación es:

$$n_s = \frac{120 \times f}{2p} \times (1 - s)$$

Donde: n_s = Rotación síncrona (rpm);
 f = Frecuencia (Hz);
 $2p$ = Numero de polos;
 s = Deslizamiento

Nº de polos	Rotación síncrona por minuto	
	60 Hz	50Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750

2.17 Torque o Par-motor

Finalmente es importante conocer la fuerza mecánica que proporciona el motor, a este tipo de fuerza se le conoce como Par Motor o Torque, el cual está dado por la siguiente expresión:

Formula to Calculate
AC Motor Torque

$$T = (P \times 5252) / N$$

Electric Motor Torque Formula

$$T = 60 \times P / (2 \times \pi \times \text{rpm})$$

where:

- **T – Torque:** also referred to as electric motor torque, represents the amount of rotational force that the motor develops;
- **P – Power:** indicates the output power that can be used from the shaft; and
- **rpm – Motor speed:** Measures the rotation speed of the shaft.

2.18 Normas de construcción de equipo eléctrico NEMA e IEC

Norma NEMA

La norma NEMA se refiere a los estándares de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), que establece criterios de seguridad y protección para equipos eléctricos en América del Norte. NEMA desarrolla estándares técnicos que garantizan que los componentes eléctricos cumplan con requisitos específicos de seguridad, rendimiento y protección ambiental, lo que es esencial para instalaciones eléctricas y equipos industriales. Las clasificaciones de NEMA definen el nivel de protección que ofrecen los gabinetes eléctricos contra factores ambientales como el polvo, el agua y la corrosión.

Norma IEC

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), también conocida como IEC (International Electrotechnical Commission), es una organización internacional de normalización que se encarga de preparar y publicar normas internacionales para todos los campos eléctricos, electrónicos y tecnologías relacionadas. La CEI fue fundada en 1906 y tiene su sede en Ginebra. Sus normas abarcan una amplia gama de tecnologías, desde la generación, transmisión y distribución de energía hasta electrodomésticos y equipos de oficina, semiconductores, fibra óptica, baterías, energía solar, nanotecnología y energía marina. La CEI también gestiona cuatro sistemas de certificación global de conformidad que avalan si los dispositivos, sistemas o componentes cumplen con sus normas internacionales.

La CEI ha desarrollado numerosas normas que han sido adoptadas y utilizadas en todo el mundo, contribuyendo a la seguridad, eficiencia y sostenibilidad en la industria eléctrica y electrónica.

CAPITULO III DESCRIPCION DEL PROBLEMA

3.1 Introducción

La necesidad del conocimiento acerca del funcionamiento, instalación, aplicación, selección, operación, programación y mantenimiento de los variadores de velocidad, se hace presente y cada día se requieren personas profesionales que solucionen estas necesidades presentes en los procesos y en las maquinas industriales, comerciales, residenciales y domésticas.

Así pues, el suscrito se dio a la tarea de visitar y observar que, en los laboratorios de electromecánica, de electrónica y de autotrónica y se percató que no existe algún módulo o sistema de entrenamiento para el manejo o aplicación de los variadores de velocidad.

3.2 Condiciones del laboratorio de Autotrónica

El suscrito solicitó al Jefe de Laboratorio que le mencionara algún tema para la realización de residencias profesionales, el cual le sugirió al suscrito que realizara el diseño y construcción de un módulo didáctico con un variador de velocidad, ya que actualmente no existe ningún equipo o sistema para la manipulación y conocimiento de los variadores de velocidad.

Sin embargo, el jefe de laboratorio mencionó que contaba con los equipos y accesorios de control eléctrico y electrónico en forma aislada, con los cuales se podía disponer de ellos para la construcción del módulo didáctico.

3.3 Condiciones de los componentes encontrados en el Laboratorio de Autotrónica

Los componentes se encontraron en forma aislada, por lo que el suscrito se dio a la tarea de recolectar los componentes eléctricos, electrónicos y demás accesorios, para poder ver con cuales componentes contaba el laboratorio y proceder a diseñar en primer lugar el mueble para montar dichos componentes.

3.3.1 Condiciones del Variador de Velocidad

En general el estado de los componentes era aceptable, con la única situación que se tuvo que proceder a limpiar internamente las tarjetas electrónicas y clemas del variador, ya que tenían polvo acumulado.

Foto limpieza variador

3.3.2 Condiciones del motor

En el caso del motor trifásico, dentro del Laboratorio de Autotrónica no se contaba con ningún motor, por lo que se tuvo que solicitar un traslado de dicho motor del Laboratorio de

Electrónica al Laboratorio de Autotrónica y a continuación se muestran las condiciones en las cuales se encontró dicho motor



Fig. 3.2.2.1 Condiciones en las cuales se encontró el motor

CAPITULO IV SOLUCION DEL PROBLEMA

4.1 construcción del mueble para el módulo didáctico

En las siguientes imágenes se muestran los pasos que se fueron realizando para la construcción del mueble en donde se instalaran el variador y sus accesorios.

4.1.1 Construcción del gabinete para el montaje de los componentes del módulo

En la siguiente figura se muestran las medidas y detalles para la construcción del gabinete del módulo.

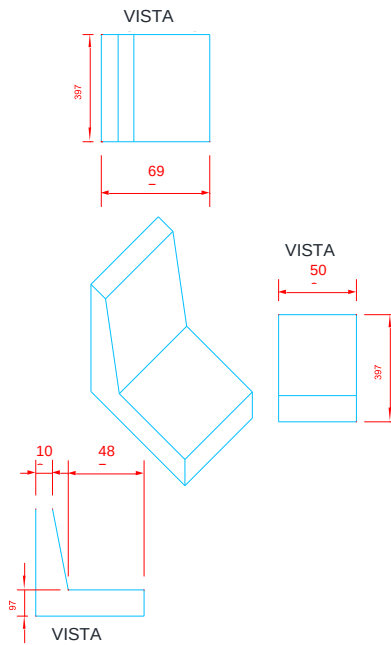


Fig. 4.1.1.1 Medidas del gabinete del modulo

4.1.2 Construcción final del mueble

A continuación, se observa la construcción final del mueble en donde se montaran los componentes del módulo didáctico.

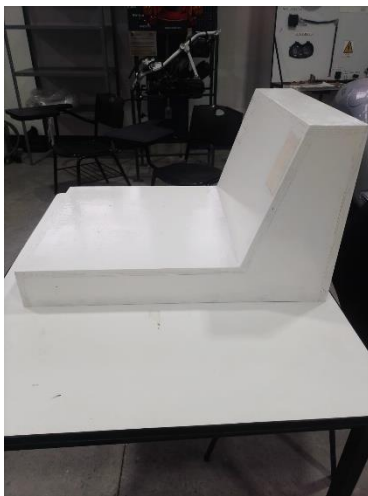


Fig. 4.1.2.1 Vista lateral y frontal del mueble terminado para el módulo didáctico



Fig. 4.1.2.2 Vistas en isométrico del mueble terminado para el módulo didáctico

4.2. Montaje de los componentes eléctricos y electrónicos

4.2.1 El interruptor de conexión y protección eléctrica general del módulo

Este dispositivo es un interruptor termomagnético trifásico del tipo Mini norma IEC, marca SIEMENS mod C4, 3 Fases, 220 V, 60 Hz, 4 Amp, el cual se ha instalado en un riel DIN.



Fig. 4.2.1.1 Interruptor general para el modulo didáctico, montado en riel DIN, marca SIEMENS, 3 Fases, 220 V, 60 Hz, 4 Amp

4.2.2 El Variador de Velocidad

El Variador de Velocidad es un equipo VARISPEED V7, OMRON, 220 V, 1HP, el cual se monta también en un Riel DIN.



Fig.4.2.2.1 Variador VARISPEED V7 de OMRON, 220 V, 1 HP

4.2.3 Otros componentes utilizados en el módulo didáctico

En el módulo didáctico se utilizaron otros componentes tales como:

- Clemas de diferentes tamaños, norma Nema
- Contacto y clavija trifásica, 3F, 1N,
- Focos Neon 127 Vac
- Canaleta
- Cable uso rudo 4 hilos

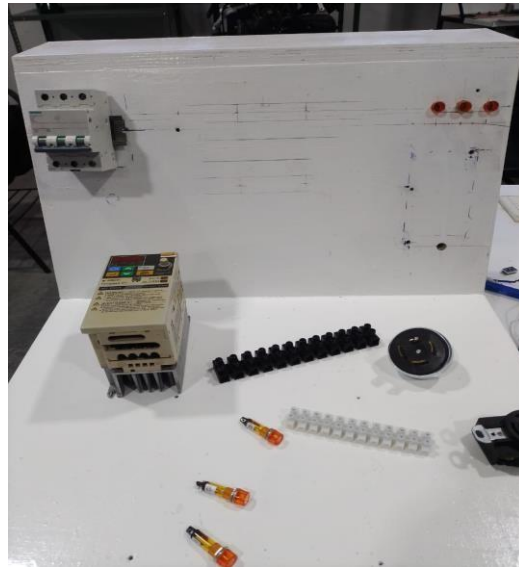


Fig. 4.2.3.1 Otros componentes utilizados en el módulo Didáctico

4.2.4 Montaje Preliminar de los componentes del modulo

A continuación, se muestra el montaje preliminar de los componentes principales del módulo

Didáctico

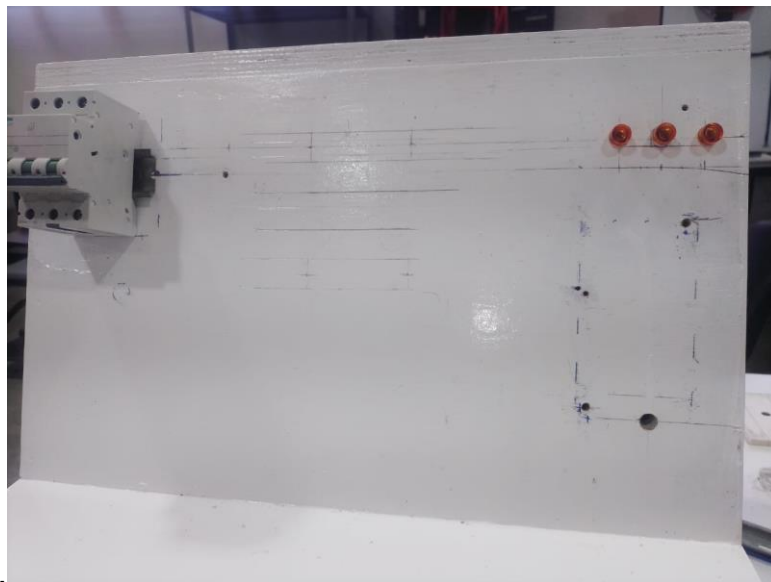


Fig. 4.2.4.1 Montaje inicial de algunos componentes en el modulo

4.3 Montaje del motor trifasico

4.4 Cableado y conexión de los componentes eléctricos y electrónicos

4.5 Cableado y conexión eléctrica del motor trifásico

De acuerdo con el siguiente diagrama, se procedió a instalar el cableado de fuerza y a realizar la conexión eléctrica del motor trifásico

4.6 Haciendo pruebas de continuidad en el cableado de control y de fuerza 4.7 Puesta en marcha del sistema de control y fuerza del modulo 4.8 Funcionamiento y operación básica del Módulo Didáctico

CONCLUSIONES

Con el diseño y construcción del módulo didáctico, se puede concluir que con esta herramienta didáctica se pretende que tanto el estudiante como el docente se capaciten en el área de los variadores de velocidad, lo cual será de gran utilidad para que sea un complemento básico entre la teoría y práctica de algunas asignaturas, tales como electrónica de potencia, instrumentación, maquinas eléctricas, controles eléctricos, control digital, ingeniería de control, Automatización Industrial.

RECOMENDACIONES

El módulo Didáctico, se construyó con componentes básicos, pero es recomendable que se le vayan anexando más componentes eléctricos y electrónicos, tales como un enconder, sensores de proximidad, display para el monitoreo de la velocidad, de las RPM, frecuencia.

Y también se recomienda que en lo posterior se le envíen señales al variador de velocidad desde un PLC, etc.

MATERIAL BIBLIOGRAFICO

MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas* (5ª ed.). México: McGraw-Hill Education.

Rashid, M. H. (2014). *Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones* (4ª ed.). México: Pearson Educación.

Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia* (6ª ed.). México: Pearson Educación.

Yaskawa Electric Corporation. (2010). *Manual de usuario del variador de frecuencia Yaskawa serie V7 (VARISPEED V7)*. Japón: Yaskawa Electric Corporation.

Omron Corporation. (2011). *Manual técnico del variador de frecuencia VARISPEED V7*. Japón: Omron Industrial Automation.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA). (2016). *Standards Publication No. 250: Enclosures for Electrical Equipment*. Rosslyn, Virginia, USA.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2019). *International Standards for Electrical Equipment and Industrial Automation*. Ginebra, Suiza.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. (2003). *Máquinas Eléctricas* (6ª ed.). Nueva York: McGrawHill.

Bolton, W. (2015). *Mecatrónica: Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (5ª ed.). México: Alfaomega.

Tecnológico Nacional de México. (2020). *Lineamientos para la elaboración de reportes de residencia profesional*. México: Tecnológico Nacional de México.

ANEXO

ANEXO 1. Especificaciones técnicas del variador de velocidad

El variador de velocidad utilizado en el presente proyecto corresponde al modelo **VARISPEED V7**, el cual es un equipo electrónico diseñado para el control de velocidad de motores eléctricos de inducción trifásicos mediante la variación de la frecuencia de alimentación.

Los variadores de frecuencia (VFD) permiten regular la velocidad, el torque y la aceleración de los motores eléctricos, optimizando su desempeño en aplicaciones industriales y educativas. En este proyecto, el variador de velocidad forma parte del módulo didáctico desarrollado para facilitar la enseñanza del control de motores eléctricos en el laboratorio.

A continuación, se presentan algunas de las especificaciones técnicas más relevantes del variador utilizado:

Características generales

- Tipo de equipo: Variador de Frecuencia (VFD)
- Modelo: VARISPEED V7
- Marca: Yaskawa / Omron
- Tipo de control: Control V/F y control vectorial
- Aplicación: Control de velocidad de motores de inducción trifásicos

Características eléctricas

- Voltaje de alimentación: 220 V CA
- Frecuencia de entrada: 50 / 60 Hz
- Potencia del motor: 1 HP
- Número de fases: Trifásico
- Rango de frecuencia de salida: 0 – 400 Hz

Funciones de protección

El variador cuenta con diferentes sistemas de protección integrados para garantizar la seguridad del equipo y del motor conectado. Entre las principales protecciones se encuentran:

- Protección contra sobrecorriente
- Protección contra sobrevoltaje
- Protección contra bajo voltaje
- Protección contra sobrecarga del motor
- Protección contra sobrecalentamiento

Funciones de control

El equipo permite configurar diferentes parámetros de operación que facilitan el control del motor eléctrico, entre los cuales destacan:



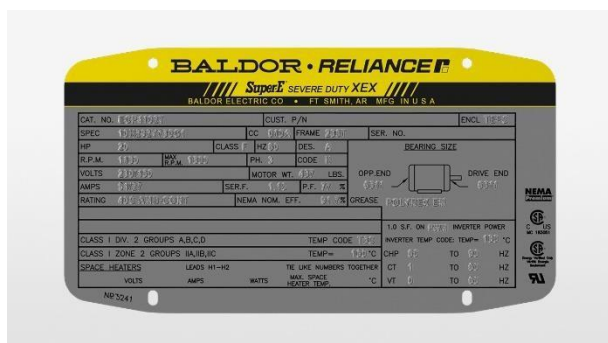
- Programación de rampas de aceleración y desaceleración
- Ajuste de frecuencia de operación
- Control mediante teclado integrado
- Control mediante dispositivos externos como botones y sensores

Gracias a estas características, el variador de velocidad permite un control eficiente del motor eléctrico, facilitando la realización de prácticas de laboratorio relacionadas con el estudio del control de motores y la automatización industrial.

ANEXO 2. Datos técnicos del motor trifásico utilizado

El motor eléctrico utilizado en el desarrollo del presente proyecto corresponde a un **motor de inducción trifásico**, el cual es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales debido a su alta eficiencia, bajo mantenimiento y confiabilidad en operación.

Este tipo de motor funciona mediante la interacción entre el campo magnético generado por el estator y el campo inducido en el rotor, lo que produce el movimiento rotatorio del eje. En el módulo



ANEXO 3. Diagrama general de conexión del sistema

El sistema desarrollado en el presente proyecto está conformado principalmente por un **variador de frecuencia**, un **motor trifásico** y los elementos de control necesarios para su operación. El objetivo de esta conexión es permitir el control de la velocidad del motor mediante la variación de la frecuencia suministrada por el variador.

El variador de velocidad recibe la alimentación eléctrica desde la red eléctrica y, posteriormente, regula el voltaje y la frecuencia de salida que se envían al motor trifásico. De esta manera, se puede controlar la velocidad de giro del motor de forma eficiente y segura.

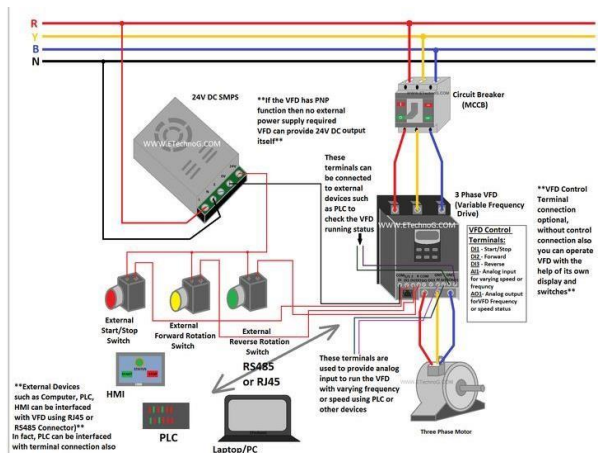
El sistema también puede incluir elementos de control como botones de arranque y paro, así como protecciones eléctricas para garantizar la seguridad del equipo y del usuario.

Elementos principales del sistema

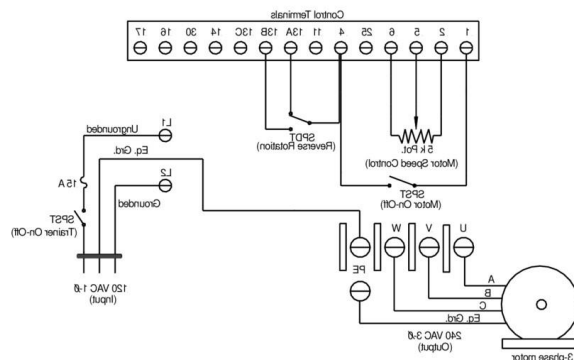
- Fuente de alimentación de corriente alterna (220 V)
- Variador de frecuencia
- Motor eléctrico trifásico
- Interruptor termomagnético de protección
- Botón de arranque (Start)
- Botón de paro (Stop)
- Cableado de conexión

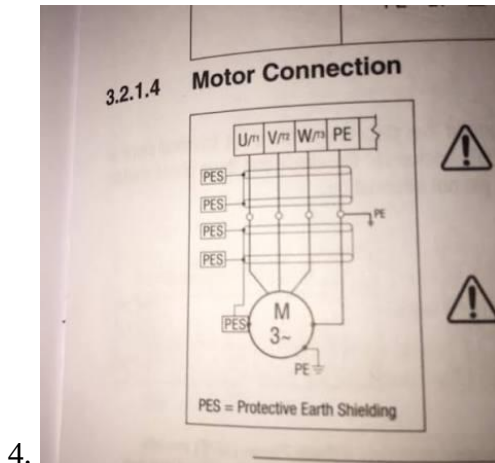
Descripción de la conexión

1. La alimentación eléctrica de **220 V CA** se conecta a las terminales de entrada del variado



2. 3.





4.

ANEXO 4. Evidencias del proceso de construcción del módulo didáctico

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron diversas actividades relacionadas con el diseño, construcción y montaje del módulo didáctico.

Las evidencias fotográficas incluyen:

Recolección de componentes eléctricos y electrónicos.

Construcción del gabinete del módulo.

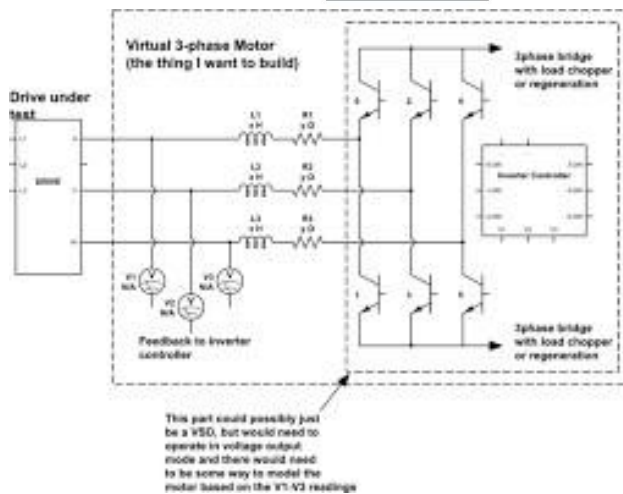
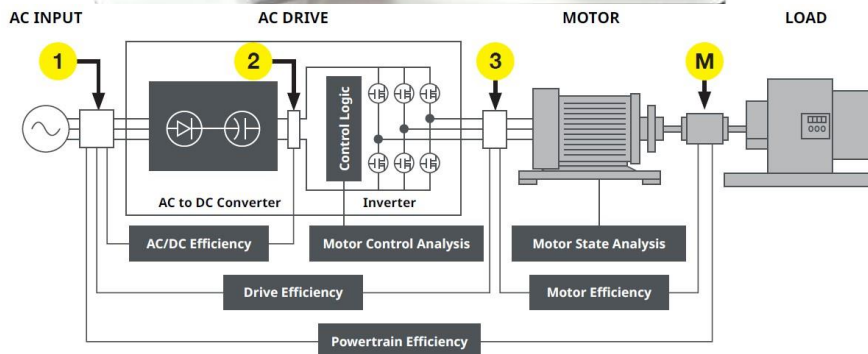
Montaje del variador de velocidad en el panel.

Instalación del motor trifásico.

Cableado del sistema de control y fuerza.

Pruebas de funcionamiento del módulo didáctico.

Estas evidencias permiten comprobar el proceso de desarrollo y construcción del prototipo presentado en este proyecto.



ANEXO 5. Pruebas de funcionamiento del módulo didáctico

Una vez finalizado el montaje del sistema, se realizaron diversas pruebas de funcionamiento con el objetivo de verificar el correcto desempeño del módulo didáctico.

Entre las pruebas realizadas se encuentran:

Verificación del cableado eléctrico.

Pruebas de continuidad en el circuito de control.

Arranque y paro del motor mediante el variador de velocidad.

Variación de velocidad del motor mediante el ajuste de frecuencia.

Los resultados obtenidos demostraron que el sistema funciona correctamente, permitiendo el control de velocidad del motor trifásico mediante el variador de frecuencia.