



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SINCRONIZACIÓN Y
SECUENCIA DE ARRANQUE DE DOS MOTORES TRIFÁSICOS
JAULA DE ARDILLA COMANDADO POR RELÉS
PROGRAMABLES Y VARIADORES DE FRECUENCIA”**

**YUQUILEMA TRUJILLO RICARDO XAVIER
RODRÍGUEZ BUENAÑO JHONNY SANDRO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2019**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2019-07-11

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

RICARDO XAVIER YUQUILEMA TRUJILLO

Titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SINCRONIZACIÓN Y SECUENCIA DE ARRANQUE DE DOS MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA COMANDADO POR RELÉS PROGRAMABLES Y VARIADORES DE FRECUENCIA”.

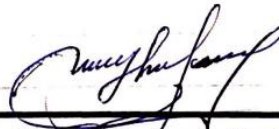
Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos
DIRECTOR



Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2019-07-11

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

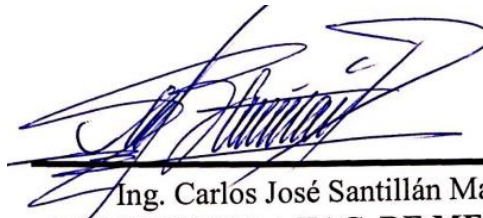
JHONNY SANDRO RODRÍGUEZ BUENAÑO

Titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SINCRONIZACIÓN Y SECUENCIA DE ARRANQUE DE DOS MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA COMANDADO POR RELÉS PROGRAMABLES Y VARIADORES DE FRECUENCIA”.


Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO



Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos
DIRECTOR



Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

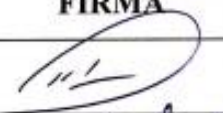
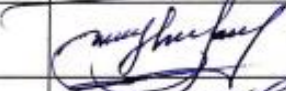

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: RICARDO XAVIER YUQUILEMA TRUJILLO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SINCRONIZACIÓN Y SECUENCIA DE ARRANQUE DE DOS MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA COMANDADO POR RELÉS PROGRAMABLES Y VARIADORES DE FRECUENCIA”.

Fecha de Examinación: 2019-07-11


RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO PRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Antonio Haro Medina PRESIDENTE TRIB.DEFENSA	✓		
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos DIRECTOR	✓		
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Dr. Marco Antonio Haro Medina
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

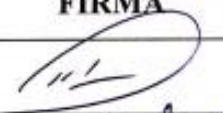


EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JHONNY SANDRO RODRÍGUEZ BUENAÑO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SINCRONIZACIÓN Y SECUENCIA DE ARRANQUE DE DOS MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA COMANDADO POR RELÉS PROGRAMABLES Y VARIADORES DE FRECUENCIA”

Fecha de Examinación: 2019-07-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO PRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Antonio Haro Medina PRESIDENTE TRIB.DEFENSA	✓		
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos DIRECTOR	✓		
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

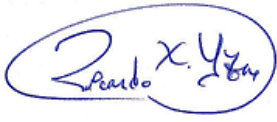
El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



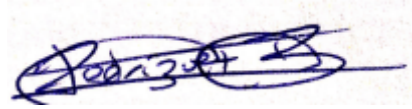
Dr. Marco Antonio Haro Medina
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El presente trabajo de titulación que presentamos es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Yuquilema Trujillo Ricardo Xavier
C.I.:060323054-1

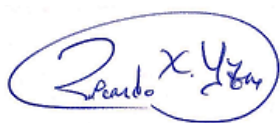


Rodríguez Buenaño Jhonny Sandro
C.I.: 060393538-8


DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Yuquilema Trujillo Ricardo Xavier y Rodríguez Buenaño Jhonny Sandro, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



Yuquilema Trujillo Ricardo Xavier
C.I.: 060323054-1



Rodríguez Buenaño Jhonny Sandro
C.I.: 060393538-8

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Lizandro Rodríguez y Rosa Buenaño quienes siempre me apoyaron desde el inicio de mi educación con sacrificio a lo largo de la carrera, a mis hermanos por su apoyo incondicional y confianza prestada, al resto de familia que siempre supieron estar ahí cuando se los necesitaba. A María Fernanda Pilco quien supo brindarme su tiempo, apoyo incondicional, consejos, su amor y ha estado siempre que la necesitaba. A mis amigos, docentes, compañeros y a todas aquellas personas que estuvieron acompañándome durante todos estos años de estudio.

Jhonny Sandro Rodríguez Buenaño

Este trabajo de titulación va dedicado a mi Dios, por brindarme su protección y permitirme culminar sin inconvenientes mi carrera profesional.

A mis padres Segundo y María, que con su amor y sacrificio supieron apoyarme en cada instante de mi vida, inculcando en mí, valores que me llevaron a ser una persona honesta, responsable y respetuosa con los demás.

A mis hermanos por sus palabras de aliento y motivación para no desfallecer y seguir luchando todos los días por alcanzar mis metas anheladas.

Ricardo Xavier Yuquilema Trujillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme siempre fortaleza para seguir adelante e iluminar mi camino en la vida como lo hizo también en mis estudios, por ponerme en mi camino personas que fueron mi fortaleza. A mis padres, por su amor, apoyo y toda su confianza depositada en mí.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento los cuales por medio de sus docentes impartieron sus conocimientos a lo largo de todos estos años de estudio.

Agradezco a mi Director y Miembro que con sus conocimientos me orientaron durante el proceso para finalizar con éxito el trabajo de titulación.

Jhonny Sandro Rodríguez Buenaño

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento por brindarme la oportunidad de estudiar y obtener una profesión, y así de ésta manera ser una persona útil para la sociedad.

A mis familiares, amigos, compañeros, docentes y demás personas que de alguna manera me apoyaron en la culminación de mi etapa de vida estudiantil.

Un especial agradecimiento para nuestro Director y Miembro de Tesis por compartir sus conocimientos y guíarnos en el desarrollo del presente trabajo.

Ricardo Xavier Yuquilema Trujillo

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Sincronización de motores de inducción	5
2.2 Arranque secuencial de motores trifásicos.....	5
2.3 Motor trifásico asíncrono	6
2.4 Métodos de arranque de motores asíncronos	7
2.4.1 <i>Arranque directo</i>	7
2.4.2 <i>Arranque a tensión reducida</i>	7
2.4.3 <i>Arranque por autotransformador</i>	7
2.4.4 <i>Arranque mediante dispositivos electrónicos</i>	7
2.5 Tipos de control de velocidad en motores asíncronos	7
2.5.1 <i>Variación por el número de polos</i>	7
2.5.2 <i>Variación del deslizamiento</i>	8
2.5.3 <i>Variación de la frecuencia de alimentación</i>	8
2.6 El variador de frecuencia	8
2.7 Control de velocidad con el variador de frecuencia.....	9
2.8 Principales funciones de los variadores de frecuencia.....	9

2.9	Variador de frecuencia como método de frenado del motor asíncrono	10
2.10	Tipos de variadores de frecuencia eléctricos – electrónicos	11
2.11	Ventajas de un variador de frecuencia	13
2.12	Desventajas del variador de frecuencia.....	13
2.13	Como afecta el variador de frecuencia a las características del motor.	14
2.14	Aplicaciones del variador de frecuencia	14
2.15	El relé programable.....	15
2.15.1	<i>Estructura del relé programable</i>	15
2.15.2	<i>Propiedades que tiene el relé programable</i>	16
2.15.3	<i>Ventajas del relé programable</i>	16
2.15.4	<i>Desventajas del relé programable</i>	17
2.16	Software LOGO!Soft Comfort.....	17
2.16.1	<i>Ventajas de LOGO! Soft Comfort</i>	17
2.17	Sensor inductivo.....	18
CAPÍTULO III		20
3.	MONTAJE Y CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO	20
3.1	Selección de dispositivos y materiales.....	20
3.1.1	<i>Relé programable y módulo de expansión</i>	21
3.1.2	<i>Variadores de frecuencia SINAMICS V20</i>	23
3.1.3	<i>Fuente de alimentación</i>	24
3.1.4	<i>Sensores inductivos</i>	25
3.1.5	<i>Potenciómetro</i>	25
3.1.6	<i>Breaker</i>	26
3.1.7	<i>Fusibles</i>	26
3.1.8	<i>Motores trifásicos jaula de ardilla</i>	27
3.1.9	<i>Software LOGO! Soft Comfort V8</i>	27
3.2	Construcción del módulo	28
3.2.1	<i>Estructura</i>	28
3.2.2	<i>Montaje de dispositivos al módulo</i>	28
3.3	Instalación del circuito de alimentación.....	28
3.4	Procedimiento para la conexión de entradas del relé programable.....	29
3.5	Procedimiento para la conexión de salidas del relé programable.	30
3.6	Procedimiento para la conexión de las borneras de usuario.	30
3.7	Procedimiento para la conexión de los sensores inductivos.	31

3.8	Procedimiento para la conexión de los motores.....	31
3.9	Reseteo del variador de frecuencia SINAMICS V20.	31
3.10	Pasos para la programación de los variadores de frecuencia SINAMICS V20. .	32
3.11	Programación del módulo	33
3.11.1	<i>Elementos que intervienen en la programación</i>	33
3.11.2	<i>Funciones de LOGO! Soft Comfort V8</i>	35
3.11.3	<i>Programación del módulo de sincronización y secuencia</i>	36
3.12	Transferencia de la programación al LOGO 8.....	40
3.13	Plan de mantenimiento.....	41
	CAPÍTULO IV	43
4.	RESULTADOS	43
4.1	Sistema de control.....	43
4.2	Estudio de costos.....	44
4.2.1	<i>Costos directos</i>	44
4.2.2	<i>Costos Indirectos</i>	45
4.2.3	<i>Costos Totales</i>	45
	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES.....	46
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3 Especificaciones generales del relé programable	22
Tabla 2-3 Especificaciones generales del módulo de expansión	23
Tabla 3-3 Especificaciones generales del variador de frecuencia SINAMICS V20	24
Tabla 4-3 Especificaciones generales de la fuente de alimentación 24 V DC.....	24
Tabla 5-3 Especificaciones generales del sensor inductivo	25
Tabla 6-3 Especificaciones generales de los motores trifásicos jaula de ardilla.....	27
Tabla 7-3 Pasos para la programación de los variadores de frecuencia	32
Tabla 8-3 Plan de mantenimiento	42
Tabla 1-4 Costos directos.....	45
Tabla 2-4 Costos indirectos	45
Tabla 3-4 Costos totales.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2 Motor trifásico de inducción	6
Figura 2-2 Variador de frecuencia	9
Figura 3-2 Rampa de aceleración y deceleración	10
Figura 4-2 Relé programable	15
Figura 5-2 LOGO!Soft Comfort V8	17
Figura 6-2 Sensor inductivo.....	18
Figura 7-2 Funcionamiento del sensor inductivo	19
Figura 1-3 Dispositivos utilizados	21
Figura 2-3 Diseño y armado de la estructura.....	21
Figura 3-3 Montaje de relé programable y módulo de expansión.....	22
Figura 4-3 Variador de frecuencia SINAMICS V20.....	23
Figura 5-3 Fuente de alimentación	24
Figura 6-3 Sensor inductivo IM18-D1PA08	25
Figura 7-3 Esquema de conexión Cn002.....	26
Figura 8-3 Breaker	26
Figura 9-3 Fusibles	26
Figura 10-3 Motores asíncronos	27
Figura 11-3 Montaje de dispositivos al módulo	28
Figura 12-3 Alimentación de los dispositivos	28
Figura 13-3 Conexión de entradas del relé programable.....	29
Figura 14-3 Conexión de salidas del relé programable	30
Figura 15-3 Cable de red e interfaz Ethernet.....	33
Figura 16-3 Pantalla principal de software LOGO! Comfort V8.0.....	34
Figura 17-3 Funciones básicas (GF).....	35
Figura 18-3 Funciones especiales (SF).....	35
Figura 19-3 Constantes y conectores (CO).....	35
Figura 20-3 Puesta en marcha.....	36
Figura 21-3 Inversión de giro	36
Figura 22-3 Regulación de velocidad del motor 1.....	36
Figura 23-3 Lectura de pulsos del sensor inductivo	37

Figura 24-3	Secuencia de arranque del motor 2	38
Figura 25-3	Sincronización de velocidad del motor 2.....	38
Figura 26-3	Normalizado de frecuencia	39
Figura 27-3	Visualización de datos	39
Figura 28-3	Transferencia de datos PC-LOGO	40
Figura 29-3	Interfaz	40
Figura 30-3	Modo de operación en STOP.....	41
Figura 31-3	Transferencia de datos en curso.....	41
Figura 32-3	Modo de operación en RUN	41
Figura 1-4	Módulo didáctico	43
Figura 2-4	Control de velocidad	44
Figura 3-4	Parámetros de funcionamiento.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ACD	Entrada analógica
BOP	Basic operator panel
CA	Corriente alterna
CO	Constantes y conectores
CPU	Unidad central de procesamiento
DC	Corriente directa
DIN	Entrada digital
GF	Funciones generales
IGBT	Isolated Gate Bipolar Transistors
IP	Protocolo de internet
NA	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
RPM	Revoluciones por minuto
SF	Funciones especiales

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.- MACRO DE CONEXIÓN Cn002

ANEXO B.- BASIC OPERATOR PANEL (BOP)

ANEXO C.- BORNES DE USUARIO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

ANEXO D.- CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN

ANEXO E.- CIRCUITO DE CONEXIÓN DE ENTRADAS DEL RELÉ PROGRAMABLE

ANEXO F.- CIRCUITO DE CONEXIÓN DE SALIDAS DEL RELÉ PROGRAMABLE

ANEXO G.- CIRCUITO DE CONEXIÓN DE BORNERAS DE USUARIO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

ANEXO H.- CIRCUITO PARA LA CONEXIÓN DE LOS MOTORES.

ANEXO I.- GUÍA DE LABORATORIO PRÁCTICA N° 1

ANEXO J.- GUÍA DE LABORATORIO PRÁCTICA N° 2

ANEXO K.- GUÍA DE LABORATORIO PRÁCTICA N° 3

ANEXO L.- GUÍA DE LABORATORIO PRÁCTICA N° 4

RESUMEN

Se implementó un módulo de sincronización y secuencia de arranque de dos motores trifásicos jaula de ardilla comandado por un relé programable y variadores de frecuencia, para lo cual se investigó acerca de la sincronización y secuencia de motores, los variadores de frecuencia, los relés programables, y el software que nos permitirá realizar la comunicación entre el relé programable y un ordenador. Una vez montado los dispositivos a utilizarse en el módulo se realizó la conexión entre el relé programable y los dispositivos que enviarán una señal a éste y al que las recibirá. Finalmente se procedió a programar cada uno de los dispositivos para que funcionen de acuerdo al alcance del módulo implantado. El módulo está diseñado con el fin de que dos motores jaula de ardilla se sincronicen, a partir de una velocidad de encendido y por un tiempo de conexión del segundo motor programado con el software. Se configuró exitosamente la interconexión entre los dispositivos y la transmisión de datos y señales entre el ordenador y el relé programable, además se realizó las pruebas correspondientes con cada programación realizada en el software. Podemos concluir que la sincronización de las velocidades de los motores y el arranque secuencial se logró con éxito gracias a una adecuada selección y programación de los dispositivos electrónicos de control que conforman el módulo. Se recomienda que, para manipular los dispositivos, primero se deben familiarizar con sus manuales técnicos los cuales son de acceso público y se los puede encontrar de manera digital.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <SINCRONIZACIÓN Y SECUENCIA>, <PROGRAMACIÓN LOGO! SOFT COMFORT (SOFTWARE)>, <REGULACIÓN DE VELOCIDAD>, <AUTOMATIZACIÓN>, <AUTÓMATA PROGRAMABLE>.



ABSTRACT

A synchronization module and starting sequence of two three-phase squirrel-cage motors commanded by a programmable relay and frequency variators were implemented, for which the synchronization and sequence of motors, frequency inverters, programmable relays, was investigated. and the software that will allow us to make the communication between the programmable relay and a computer. Once the devices to be used in the module were assembled, the connection was made between the programmable relay and the devices that will send a signal to it and the one that will receive them. Finally, each of the devices was programmed to work according to the scope of the implanted module. The module is designed so that two squirrel-cage motors are synchronized, starting at an ignition speed and for a connection time of the second motor programmed with the software. The interconnection between the devices and the transmission of data and signals between the computer and the programmable relay was successfully configured, and the corresponding tests were performed with each programming made in the software. We can conclude that the synchronization of the speeds of the motors and the sequential start was successfully achieved thanks to an adequate selection and programming of the electronic control devices that make up the module. It is recommended that, in order to manipulate the devices, they must first familiarize themselves with their technical manuals, which are publicly available and can be found digitally.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <SYNCHRONIZATION AND SEQUENCE>, <LOGO PROGRAMMING! SOFT COMFORT(SOFTWARE)>,< SPEED ADJUSTMENT>, <AUTOMATION>, <AUTOMATIC PROGRAMMABLE>.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad el campo industrial está dejando de lado los elementos de control manuales, para ingresar al mundo de la automatización mediante controles electrónicos de potencia, ya que mediante éstos se disminuye proporcionalmente y progresivamente el mantenimiento y sus gastos además de que optimizan notablemente los procesos industriales.

Mediante la técnica de sincronización y secuencia de motores trifásicos a través de un relé programable y variadores de frecuencia se logra tener velocidades controladas a través de la variación de frecuencia de los motores jaula de ardilla los cuales son los mayormente utilizados por las industrias debido a las ventajas que presentan, además de ser posible automatizar su funcionamiento.

En el laboratorio de máquinas eléctricas y control industrial existen varios módulos en los cuales se encuentran montados dispositivos que se pueden utilizar para controlar las velocidades de un motor jaula de ardilla y con los cuales es posible efectuar la simulación de sincronización y secuencia de motores para que los estudiantes pongan en práctica lo aprendido durante su carrera, capacitándose en automatización lo cual les será de utilidad en la vida profesional.

Esta propuesta tecnológica está dirigida hacia la implementación de un módulo de sincronización y secuencia de motores trifásicos usando un relé programable y variadores de frecuencia, al ser uno de los dispositivos que hoy en día es muy utilizado por las industrias por ser controladores de velocidad que no causan disturbios en las redes de alimentación, además de reducir mantenimientos en los motores ya que la vida útil de las piezas mecánicas y propiamente del motor empleado pueden llegar con mayor facilidad a ser cumplidas, por esta razón se ha visto la necesidad de que los estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento adquieran mayor conocimiento en estos dispositivos abriéndose campo en la automatización.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Hoy en día el campo industrial está dejando de lado los elementos de control como relés y contactores, actualizando sus procesos de producción con la implementación de controles electrónicos de potencia, y así a un corto plazo puedan beneficiarse de una reducción en costos por mantenimiento y además la optimización de los procesos para los cuales fueron determinados.

En la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica no se ha contado con un módulo didáctico propiamente destinado a la sincronización y secuencia de arranque de motores trifásicos, el mismo que esté basado en la comunicación de variadores de frecuencia y relés programables como material didáctico para los estudiantes. Aunque sí existen módulos en el cual se emplean variadores de frecuencia y relés programables, éstos no son explotados al máximo ya que no se utilizan sus entradas y salidas analógicas y digitales para simular velocidades controladas en procesos industriales.

1.2 Planteamiento del problema

Las industrias buscan mejorar el rendimiento energético para reducir sus gastos generados por los procesos productivos, siendo uno de los problemas el arranque de los motores ya que éstos absorben una gran cantidad de corriente, elevando así el consumo de energía eléctrica y el deterioro de sus componentes.

La Facultad de Mecánica cuenta con un laboratorio de Máquinas Eléctricas y Control Industrial el cual es de mucha ayuda para que los estudiantes puedan reforzar la parte teórica con la práctica de diferentes materias, pero al momento la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento no dispone de un módulo que ayude a los estudiantes a comprender de mejor manera la sincronización y secuencia en el arranque de motores, esto dificulta a que los estudiantes puedan familiarizarse con los procesos industriales de automatización.

En la actualidad se puede evidenciar que el ámbito industrial se encuentra en constante innovación en sus diferentes procesos productivos, es por este motivo que se requiere que

los estudiantes adquieran conocimientos en cuanto al manejo del LOGO y variadores de frecuencia.

1.3 Justificación

El motor trifásico jaula de ardilla actualmente es sin duda uno de los equipos más utilizados en las industrias al ser robusto, fácil de encontrar en el mercado y con un bajo costo de adquisición y mantenimiento, con un gran campo de aplicación. Estos motores pueden ser maniobrados por elementos de control como el logo y el variador de frecuencia.

El logo es un autómatas programable de bajo costo de adquisición, de fácil instalación y programación, ocupa poco espacio, no necesita mayor mantenimiento y tiene un menor consumo de energía, está diseñado para tareas de automatización básicas tales como sistemas de riego, parking, arranque de motores, alumbrado, calefacción, ventilación, entre otras.

El variador de frecuencia es un dispositivo que nos permite regular la frecuencia de entrada al motor, el cual controla su velocidad de giro permitiendo tener un arranque suave con un menor consumo de energía.

La finalidad del presente trabajo de titulación es ayudar mediante, la implementación de un módulo didáctico a que los estudiantes se familiaricen con elementos de control programables, que se asemejen a los que se puede encontrar en la industria papelera, cementera, minera, alimenticia, etc., en donde se necesita una buena sincronización y secuencia de arranque de motores trifásicos.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Implementar un módulo de sincronización y secuencia de arranque de dos motores trifásicos jaula de ardilla comandado por relés programables y variadores de frecuencia.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Desarrollar un módulo para la sincronización y secuencia del arranque de motores.

Establecer una comunicación entre variador de frecuencia, LOGO y motor.

Demostrar de una manera práctica la sincronización y secuencia del arranque de motores.

Desarrollar una guía práctica de laboratorio para el manejo y programación del variador de frecuencia y el relé programable.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Sin duda existen varios accionamientos de tareas industriales a base de motores eléctricos, siendo los más comunes los motores asíncronos por características que se verá posteriormente. Un gran problema al implementar estos motores en los procesos industriales es poder mantener una velocidad requerida o variarlos a diferentes velocidades, pero gracias a los avances tecnológicos de la electrónica de potencia, ahora es posible variar la velocidad de estos motores mediante variadores de frecuencia logrando a la vez automatizar procesos en conjunto con relés programables, PLC, entre otros dispositivos de control y automatización.

A continuación, se detallan conceptos necesarios para una mejor comprensión de la sincronización y secuencia de arranque de motores jaula de ardilla por medio de un relé programable y variadores de frecuencia.

2.1 Sincronización de motores de inducción

La sincronización de motores es una concepción utilizada para describir cuando dos o más movimientos, de un proceso o subproceso se desarrollan de manera simultánea en un determinado tiempo.

El propósito de la sincronización de motores es contar con un sistema que permita obtener movimientos simultáneos y repetitivos de una máquina que realiza un proceso de producción.

Los motores asíncronos pueden ser sincronizados mediante el uso de autómatas programables y variadores de frecuencia, favoreciendo así un proceso secuencial a través de una serie de estados de funcionamiento y operación (Aguilera Alvarez & Orozco Mendoza, 2015, p. 394).

2.2 Arranque secuencial de motores trifásicos

Se denomina un arranque secuencial al proceso de puesta en marcha de máquinas eléctricas, de manera que se pueda establecer un orden de arranque o de paro de dichas máquinas. En el caso de los motores asíncronos, para que esta maniobra se pueda llevar

a cabo, es necesario utilizar algún tipo de dispositivo de control electrónico, y así controlar la secuencia de arranque de cada uno de los motores que se empleen en un determinado proceso industrial.

El control de los motores para la secuencia de arranque se basa en un control primario y uno secundario, es decir el motor secundario se pondrá en funcionamiento siempre y cuando el motor primario este en operación.

2.3 Motor trifásico asíncrono

El motor trifásico asíncrono o motor de inducción, cumple la función de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, denominado asíncrono debido a que su velocidad de giro no será igual a la velocidad de sincronismo propio de la frecuencia de red. Su estructura consta de una parte fija (Estator) y una parte móvil. (Rotor) (Pacheco Navas & García Pozo, 2003, p. 160).

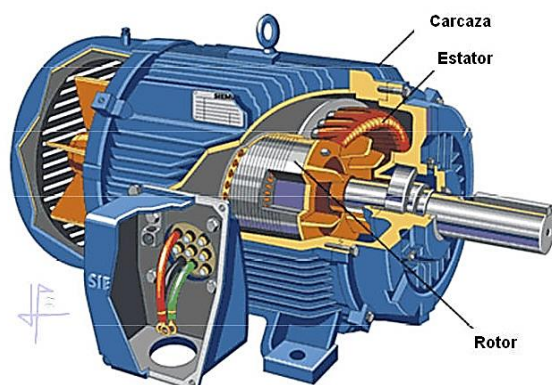


Figura 1-2 Motor trifásico de inducción

Fuente: (Andres, 2010)

El motor asíncrono trifásico basa su funcionamiento en las propiedades electromagnéticas, al alimentar los bobinados del estator a la red trifásica crean un campo magnético giratorio y constante en su interior, mientras que el rotor reacciona al campo magnético debido a que éste corta sus conductores, creando su propio campo magnético.

Hay que recalcar que de acuerdo al diseño del rotor, existen dos tipos de motores asíncronos, el motor con rotor bobinado y el motor jaula de ardilla.

Motor de rotor bobinado: el devanado del rotor de estos motores está formado por un bobinado trifásico similar al del estator, con un número igual de polos.

Motor jaula de ardilla: el devanado del rotor está conformado por barras de aluminio o cobre puestos en cortocircuito por dos anillos que se unen por medio de soldadura o fundición.

2.4 Métodos de arranque de motores asíncronos

2.4.1 Arranque directo

Un motor asíncrono arranca de forma directa cuando se aplica directamente a los bornes la tensión nominal de la red (Arana Suarez, 2017).

2.4.2 Arranque a tensión reducida

Este método consiste en aplicar una tensión inferior a la nominal a los devanados del motor, es así que se reduce proporcionalmente la corriente, la intensidad del campo magnético y el par motriz (Arana Suarez, 2017).

2.4.3 Arranque por autotransformador

Este método consiste en intercalar un autotransformador entre la red y el motor, así la tensión aplicada en el arranque solo será una fracción de la suministrada por la red (Arana Suarez, 2017).

2.4.4 Arranque mediante dispositivos electrónicos

Para este arranque se emplea un convertidor estático, generalmente de tiristores, permitiendo el arranque de motores asíncronos con aplicación progresiva de la frecuencia de la red y limitando así la corriente y par de arranque (Arana Suarez, 2017).

2.5 Tipos de control de velocidad en motores asíncronos

Los motores asíncronos tienen una característica de par-velocidad muy rígida, por lo que son utilizados en tareas donde se necesitan que trabajen a una velocidad constante. Para el control de la velocidad de los motores asíncronos tenemos tres métodos esenciales que se mencionan a continuación.

2.5.1 Variación por el número de polos

Este método es análogo y se lo obtiene variando el número de polos del estator.

Para modificar el número de polos se colocan distintos bobinados en el estator del motor y luego se los interconecta para así conseguir una variación en el campo giratorio y obtener la velocidad deseada (Palacios Mera, 2016).

2.5.2 Variación del deslizamiento

Este método se lo consigue modificando el voltaje de alimentación, en otras palabras, al disminuir el voltaje de entrada la velocidad también disminuye, generando una reducción en el torque del motor. La velocidad del motor es controlada de forma limitada por este método variando el voltaje de línea de un par al primario del estator y así provocando un incremento en el deslizamiento. Este método es empleado en su mayoría para motores pequeños (Palacios Mera, 2016).

2.5.3 Variación de la frecuencia de alimentación

Este método consiste en controlar la velocidad de un motor por medio de dispositivos electrónicos que puedan cambiar la frecuencia de línea, y que ésta al llegar a los bornes del motor sea distinta a la que fue entregado por la red. Estos dispositivos son conocidos como drivers o inversores, debido a que el voltaje es modificado simultáneamente con la frecuencia (Palacios Mera, 2016).

2.6 El variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son equipos capaces de controlar la velocidad rotacional de motores eléctricos de inducción, llevan un control de frecuencia de alimentación lo que permite que se realice un arranque y parada suave de estas máquinas eléctricas. (QuimiNet, 2011).

Los variadores de frecuencia son utilizados para resolver dificultades en la industria, en los cuales se tenga la necesidad de variar velocidades a los motores eléctricos, ya que debido a la fuente de alimentación de la red, los cambios de velocidad son muy restringidos puesto que la frecuencia y el voltaje hace que los motores giren prácticamente a una velocidad fija.

Las diferentes entradas y salidas del variador de frecuencia permiten que pueda ser integrado a redes industriales, la conexión de las entradas y salidas de control pueden ser digitales de tipo todo o nada en el cual pueden incluirse contactos, pulsadores,

conmutadores, etc., y en las conexiones analógicas mediante valores de tensión de 0 a 10V o similares, incluyendo además terminales de alarmas o de averías, etc, (Sanabria Betancur & Sánchez Ramos, 2016, p. 22).



Figura 2-2 Variador de frecuencia
Fuente (SIEMENS, 2013, p. 23)

2.7 Control de velocidad con el variador de frecuencia

Estos dispositivos electrónicos permiten variar la velocidad en dos direcciones, es decir, al arrancar y al realizar la inversión de giro. Se convierte las magnitudes fijas de frecuencia en magnitudes variables, teniendo de esta forma un arranque suave y no uno de manera abrupta.

En (1) se muestra la expresión de velocidad de giro del motor, en la cual se expone que si variamos la frecuencia también variaremos la velocidad de motor, ya que la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de giro, por esta razón este dispositivo es llamado variador de frecuencia o de velocidad.

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} \quad (1)$$

Donde:

- n es la velocidad a la que gira el motor
- f es la frecuencia
- P es el número de par de polos

2.8 Principales funciones de los variadores de frecuencia

Aceleración controlada: Éste parámetro es controlado mediante la rampa de aceleración lineal o en “S” que ofrece el variador de frecuencia mediante un tiempo controlado (Clenet, 2004, p. 5).

Variación de velocidad: La velocidad de giro de un motor eléctrico se da de fábrica ya que esta se define mediante la tensión de ingreso. Ésta velocidad puede variar si existe perturbación en la red, al igual que si existe una carga excesiva o una temperatura elevada (Clenet, 2004, p. 5).

Deceleración controlada: Esta función puede ser controlada de igual manera que en la aceleración, ya que mediante una rampa línea o en “S”, y esta puede ser independiente del tiempo definido en la aceleración. Este tiempo puede ser trazado para pasar de la velocidad a la cual está trabajando a una velocidad intermedia o nula para su paro total (Clenet, 2004, p. 6).

Inversión del sentido de giro: Ésta función consiste en la inversión de la secuencia de fases de alimentación de forma automática, la cual es realizada por la mayoría de variadores actuales (Clenet, 2004, p. 6).

Protecciones integradas: Los variadores cuentan con protecciones térmicas para los motores y para el propio variador. Esto se logra a través de la cantidad de corriente y de la información brindada al variador sobre la velocidad, la cual le permite suministrar una señal de alarma o detención (Clenet, 2004, p. 6).

2.9 Variador de frecuencia como método de frenado del motor asíncrono

Gracias al variador de frecuencia es posible insertar parámetros configurables de tiempos de aceleración y desaceleración, creando una rampa estable con el fin de eliminar inconvenientes en el arranque y parada de los motores asíncronos. El frenado que se utilizará en este trabajo de titulación es mediante el variador de frecuencia con una desaceleración controlada de velocidad, disminuyendo la frecuencia de alimentación al motor hasta detenerlo por completo de manera natural.

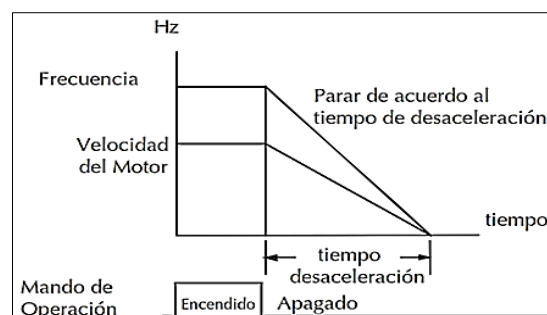


Figura 3-2 Rampa de aceleración y deceleración
Fuente (SIEMENS, 2013)

Además, los motores asíncronos pueden ser frenados de manera eléctrica y mecánica por medio del variador de frecuencia, pero sin controlar su rampa de desaceleración.

Freno por DC: “Éste tipo de freno aplicado al motor es la más económica haciendo que el motor se detenga rápidamente al inyectar corriente de frenado de DC en el devanado del estator que provoca un par significativo para detener al motor asíncrono” (SIEMENS, 2013, p. 82).

Frenado combinado: “Éste frenado es logrado sin la intervención de dispositivos adicionales optimizando el tiempo de desaceleración. El frenado por DC se combina con el frenado regenerativo, en el cual, el variador de frecuencia regenera la alimentación de la interconexión de DC a medida que frena a lo largo de una rampa, logrando así un resultado efectivo al momento de la detención del motor asíncrono” (SIEMENS, 2013, p. 85).

Frenado dinámico: “Se aprovecha de la energía de regeneración liberada en el momento de la desaceleración del motor, transformándola en calor. Para este tipo de frenado es necesario contar con una chopper de frenado interno o un módulo de frenado externo, el cual controlará la resistencia de frenado externa requerida” (SIEMENS, 2013, p. 86).

Freno de mantenimiento del motor: “Este freno se logra con la incorporación de un relé adicional al incorporado en el variador permitiendo que las salidas digitales DO 1/DO 2 active o desactive el freno de mantenimiento del motor” (SIEMENS, 2013, p. 89).

2.10 Tipos de variadores de frecuencia eléctricos – electrónicos

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo es práctica común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico (ACADEMIC, 2010).

Los primeros variadores de esta categoría emplearon la tecnología de los tubos de vacío. Con los años después se han ido incorporando dispositivos de estado sólido, lo cual ha reducido significativamente el volumen y costo, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los dispositivos (ACADEMIC, 2010).

Variadores para motores de corriente continua: Su función es la de controlar la velocidad de giro de los motores de corriente continua en serie, paralelo, compuesta y de imanes permanentes. A continuación, se muestra la expresión para el voltaje terminal, (ACADEMIC, 2010).

$$V_t = K.FM.Nm \quad (2)$$

Donde:

- V_t es el voltaje terminal (V)
- K es la constante de la máquina.
- FM es el flujo magnético producido por el campo (Wb)
- Nm es la velocidad mecánica (rpm)

Despejando la velocidad mecánica, se obtiene:

$$Nm = \frac{V_t}{K.FM} \quad (3)$$

En esta ecuación se puede observar que la velocidad mecánica es directamente proporcional al voltaje terminal e inversamente proporcional al flujo magnético. Se debe tomar en cuenta que el flujo magnético depende de la corriente de campo, siendo así como el variador puede controlar la velocidad de un motor de corriente continua bien sea controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo, (ACADEMIC, 2010).

Variadores por corrientes de Eddy. Posee un embrague acoplado al motor y un rotor de velocidad variable, separados por un pequeño entrehierro, con una bobina de campo que permite regular la corriente, produciendo un campo magnético que establecerá el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se realiza por medio de lazo cerrado, utilizando como elemento de retroalimentación un tacómetro CA (ACADEMIC, 2010).

Variadores de deslizamiento: Los variadores de esta categoría son de manera exclusiva para motores de inducción de rotor devanado. En cualquier motor de inducción, la velocidad mecánica (Nm) puede determinarse mediante la siguiente expresión (ACADEMIC, 2010):

$$Nm = \frac{120 \cdot f \cdot (1-s)}{p} \quad (4)$$

Donde:

- Nm es la velocidad mecánica.
- S es el deslizamiento del motor, cuyo valor oscila entre 0 y 1.
- f es la frecuencia.
- p es el par de polos.

Variadores para motores de corriente alterna: Estos variadores de frecuencia permiten el control de velocidad en motores de inducción siendo los más comunes los jaula de ardilla, así como también de motores de rotor devanado y de los motores síncronos, mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor (ACADEMIC, 2010).

2.11 Ventajas de un variador de frecuencia

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión es muy sencilla.
- Permite un arranque suave con una rampa regulable en el tiempo de aceleración y deceleración de una manera progresiva y sin saltos.
- Reduce la corriente de arranque.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.
- Posee parámetros que permiten proteger al motor detectando las pérdidas de fase a la entrada y salida de un equipo.
- Puede ser controlado a través de elementos de control industrial y automatización como los relés programables, autómatas o micro procesadores.
- Ayuda a que el motor funcione de mejor manera aumentando su rendimiento y permitiendo reducir los mantenimientos.
- Las variables de (tensión, frecuencia, rpm, etc...) pueden ser visibles en la pantalla (Llacta Robles, 2013, p. 41).

2.12 Desventajas del variador de frecuencia

- Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.

- Requiere un tiempo para realizar la programación (Llacta Robles, 2013, p. 41).

2.13 Como afecta el variador de frecuencia a las características del motor.

Los motores asíncronos presentan inconvenientes que surgen durante su arranque, como las perturbaciones que provoca en el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red por su pico de corriente al momento de arrancar, así como los movimientos mecánicos abruptos que se producen durante el arranque y la parada del motor provocando riesgos e incomodidad para los operadores, además de ser fabricados para funcionar a una velocidad de trabajo establecida, (Llacta Robles, 2013, p. 40).

Todos estos inconvenientes pueden ser controlados con los variadores de frecuencia ya que garantizan un arranque suave y controlado con una aceleración y desaceleración progresiva evitando los arranques, paradas abruptas, y los picos de corriente elevados adaptando al motor a velocidades precisas y requeridas por el proceso en el cual se encuentre, esto gracias a la opción de tiempos de aceleración y deceleración controlada que nos brindan los parámetros de ajuste del variador de frecuencia llegando a la velocidad máxima requerida y a la velocidad mínima para su paro en un tiempo establecido (Llacta Robles, 2013, p. 40).

2.14 Aplicaciones del variador de frecuencia

Cintas transportadoras: El variador controla y sincroniza la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, con el fin de dosificar, evitar ruidos y golpes, por ejemplo, en el transporte de objetos de vidrio como botellas, teniendo un arranque suave y evitar la caída del producto que se transporta (Llacta Robles, 2013).

Bombas centrífugas: El variador es de utilidad en sistemas de presión constante y volúmenes variables, controlando el caudal (Llacta Robles, 2013).

Compresores: Con el variador de frecuencia se obtienen arranques suaves con máximo par de arranque y menor consumo de energía del pozo (Llacta Robles, 2013).

Extrusoras: Se logra obtener una variedad de velocidades y así el control total del par de fuerza del motor (Llacta Robles, 2013).

2.15 El relé programable

(SIEMENS, 2017) Afirma que es un controlador compacto, que posee un módulo básico y módulos de expansión seleccionados en base a los requerimientos de cada aplicación. Este concepto modular lo convierte en una solución flexible, económica y fácil de usar para tareas de mando simple. Además, es un equipo robusto y compacto capaz de poder ser utilizado de manera universal, es decir, se puede usarlo en industrias tal como para residencias. El LOGO presenta una completa gama de módulos lógicos básicos, que permiten implementar una gran cantidad de soluciones de automatización básicas.



Figura 4-2 Relé programable
Fuente (SIEMENS, 2017, p. 151)

2.15.1 Estructura del relé programable

- Fuente de alimentación: Se puede conectar la fuente de alimentación ya sea de 12-24VDC o 120-220VAC.
- Entradas: Entradas para los diferentes pulsadores, sensores, etc., cuenta con 8 entradas sin expansión y 24 entradas máximo con expansión.
- Salidas: Salidas para la carga de potencia, cuenta con 4 salidas sin expansión y 16 salidas máximo con expansión.
- Borne FE para conectar la toma de tierra.
- Interfaz RJ45 para la conexión a Ethernet (10/100 Mbits/s).
- LED de estado de la comunicación Ethernet
- Ranura para módulo con tapa: Se puede conectar el cable de programación en versiones 6 o para la tarjeta micro SD versiones 8.
- Panel de control: Botones de mando para controlar el menú del LOGO.

- LCD: Pantalla que permite visualizar el funcionamiento del LOGO.
- Interfaz de ampliación: Conector para incorporar el módulo de expansión.
- Conectores hembra de codificación mecánica. (SIEMENS, 2016)

2.15.2 Propiedades que tiene el relé programable

- 12/24: versión de 12/24 V DC
- 230: versión de 115 V AC/DC a 240 V AC/DC
- R: salidas de relé (sin R: salidas de transistor)
- C: reloj en tiempo real integrado
- E: interfaz Ethernet
- o: versión sin display ("LOGO! Pure")
- DM: módulo digital
- AM: módulo analógico
- TDE: visualizador de textos con interfaces Ethernet (SIEMENS, 2016).

2.15.3 Ventajas del relé programable

- Es de gran utilidad para tareas de automatización básicas o de mando simple.
- Ofrece una capacidad de comunicación ampliada gracias a su puerto de comunicación Ethernet integrado.
- Incorpora el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP en su puerto integrado Ethernet, otorgándole mayor flexibilidad y funcionalidad, permitiéndole comunicarse con medidores de energía que incorporan este protocolo.
- El servidor web incorporado permite realizar tareas de visualización y control desde una web browser de manera sencilla.
- El módulo lógico LOGO puede ser maestro de hasta 8 módulos lógicos adicionales.
- Una de las nuevas funciones es poder cambiar el color de fondo del display, permitiendo alertar al operador sobre algún aviso o condición peligrosa de funcionamiento en el proceso.
- Gracias al módulo de comunicación GSM/GPRS CMR2020, es posible enviar mensajes SMS de estado y alarma desde el LOGO a un teléfono celular. Asimismo, es posible enviar mensajes SMS desde el celular para que el LOGO ejecute comandos preestablecidos (SIEMENS, 2017).

2.15.4 Desventajas del relé programable

- Su capacidad de procesamiento es menor con respecto a otros PLCs, así como el número de entradas y salidas digitales y analógicas.
- El LOGO no es compatible con módulos de expansión de versiones anteriores.
- Para una rápida y una mejor programación del relé programable, se requiere del software LOGO! Soft Comfort V8 (SIEMENS, 2017).

2.16 Software LOGO!Soft Comfort

Para programar el relé programable de una manera más sencilla se utiliza el software LOGO! Soft Comfort el cual es propio de SIEMENS, permitiendo configurar y programar los módulos lógicos. Además presenta funciones adicionales que posibilitan la implementación de redes de comunicación Ethernet de manera muy sencilla (SIEMENS, 2017).

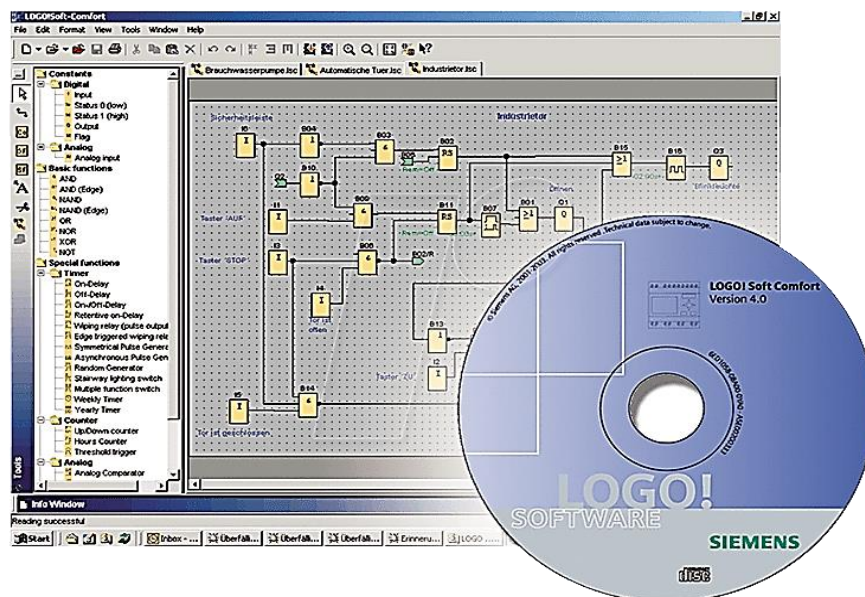


Figura 5-2 LOGO!Soft Comfort V8
Fuente (SIEMENS, 2017, p. 70)

2.16.1 Ventajas de LOGO! Soft Comfort

- Puede crear un programa en el PC.
- Puede simular el programa en el PC verificando sus funciones antes de transferirlo al sistema.
- Puede insertar comentarios en el programa y realizar copias impresas.
- Puede guardar una copia del programa en la PC para modificarlo.

- Pulsando unas pocas teclas puede transferir el programa al LOGO (SIEMENS, 2016).

2.17 Sensor inductivo

En la actualidad es muy común encontrar estos tipos de sensores en las fábricas, los cuales sirven para detectar objetos metálicos a corta distancia sin la necesidad de entrar en contactos con éstos, lo cual evita que sufran de desgaste, logrando tener mayor vida eléctrica y mecánica, y disminuyendo el mantenimiento, además de optimizar el espacio y ser sencillo de instalar.

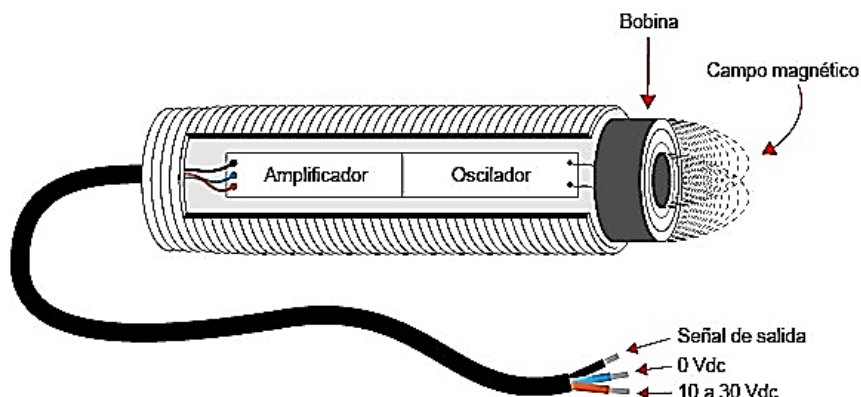


Figura 6-2 Sensor inductivo
Fuente (Contaval, 2017)

Los colores estándar de la conexión del sensor inductivo son del color marrón para el terminal positivo, azul para el terminal negativo y color negro para su señal de salida, y se los puede encontrar en versiones NA y NC.

En este caso se utilizará un sensor NC lo cual permitirá su activación al presenciar el metal a detectar, enviando la señal al relé programable.

Existen una gran variedad de sensores inductivos según el área de detección del metal, el área es creada gracias a la alimentación que se realiza a la bobina del sensor el cual induce el campo magnético que detectará el metal generando un nuevo campo magnético de diferente dirección (Ingeniería Mecafenix, 2018).

Es decir, el sensor genera una onda senoidal de amplitud constante, que, al detectar el objeto metálico, éste genera una corriente de Foucault. La corriente de Foucault se puede observar en la Figura 7-2 el cual es una corriente parasita generada por el campo magnético del sensor y el metal detectado. (Ingeniería Mecafenix, 2018)

El sensor contiene en su interior varios elementos electrónicos, como el oscilador que genera la onda senoidal de amplitud constante, el rectificador de media onda a una señal DC pulsante, el comparador de voltaje el cual reduce o incrementa la salida del sensor dependiendo de la salida del rectificador y el indicador de estado de salida del sensor al entrar en contacto el área del campo magnético con el metal (Ingeniería Mecafenix, 2018).

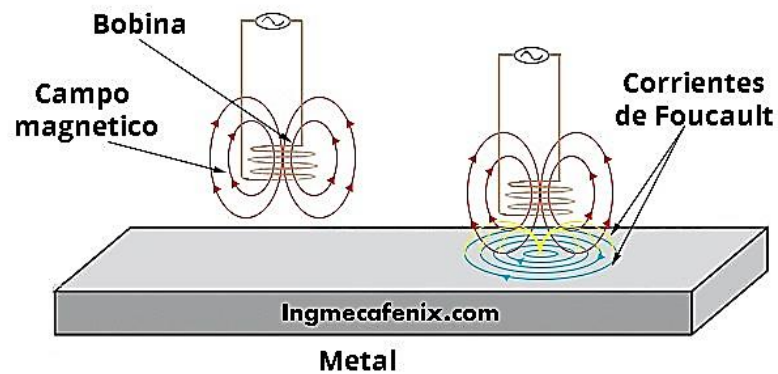


Figura 7-2 Funcionamiento de sensor inductivo

Fuente <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/sensor-inductivo/>

CAPÍTULO III

3. MONTAJE Y CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO

El presente trabajo de titulación fue desarrollado con el fin de cumplir con las expectativas de los estudiantes, pudiendo ser controlado y manipulado por ellos en el laboratorio adquiriendo así práctica en el campo de la automatización, fortaleciendo lo aprendido y reforzando su intelecto. Si bien es cierto el módulo tiene un funcionamiento sencillo de manipular, pero como en cualquier módulo eléctrico se debe tener cuidado con el manejo de los elementos que lo conformen.

Para la construcción del módulo de sincronización y secuencia de arranque de motores eléctricos trifásicos, se utilizó dos variadores de frecuencia para poder controlar la velocidad de los motores, dos sensores inductivos que nos permitirá enviar una señal que será visualizada en el relé programable el cual cuenta con entradas digitales y analógicas para el control de las señales emitidas por este sensor y demás dispositivos, el software LOGO! Soft Comfort V8 nos permitirá realizar la programación correspondiente y varios elementos de protección, maniobra y señalización que nos ayudará a conformar el módulo.

3.1 Selección de dispositivos y materiales

La estructura del módulo fue diseñada para que pueda sostener a los variadores de frecuencia, al relé programable y a los demás elementos que ayudan a conformarlo.

El módulo está diseñado de tal manera que los estudiantes puedan visualizar los dispositivos que lo conforman y tengan acceso directo a la manipulación de éstos, además se consideró el tamaño de los dispositivos y el espacio de trabajo para dimensionar correctamente el módulo de tal forma que se lo pueda modificar, corregir o incrementar elementos a futuro, de acuerdo a las necesidades que se desee alcanzar con el módulo.

Los dispositivos y materiales que se ubicarán en la estructura del módulo son:

- Variadores de frecuencia SINAMICS V20
- Relé programable y módulo de expansión
- Fuente de poder
- Sensores inductivos

- Elementos de protección
- Elementos de maniobra
- Elementos de señalización
- Material eléctrico



Figura 1-3 Dispositivos utilizados
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Una vez tomadas en cuenta la dimensión de cada dispositivo se procede al diseño y armado de la estructura para la ubicación ergonómica y estética de los mismos, de manera que sean de agrado del estudiante.

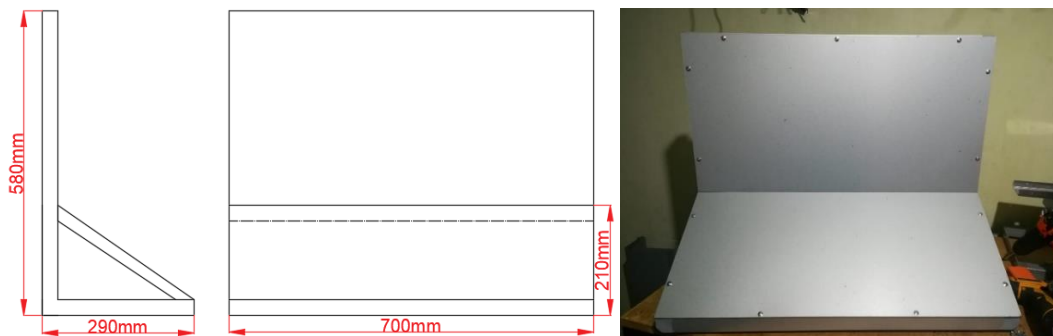


Figura 2-3 Diseño y armado de la estructura
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.1 Relé programable y módulo de expansión

El relé programable es el equip principal del presente trabajo de titulación, ya que éste controlará a los demás dispositivos y elementos que conforman el módulo. Éste cuenta con entradas digitales y analógicas los cuales reciben las señales de los elementos de maniobra y los sensores inductivos, se procesa la señal y de acuerdo a la programación ingresada al relé, éste envía una señal a los actuadores (variadores de frecuencia).

La instalación mecánica de este microcontrolador se lo realiza en un perfil soporte, de forma que se lo pueda ubicar en el centro del módulo para poder visualizarlo y

manipularlo sin inconvenientes, desde ahí recibirá las señales y controlará a los actuadores.

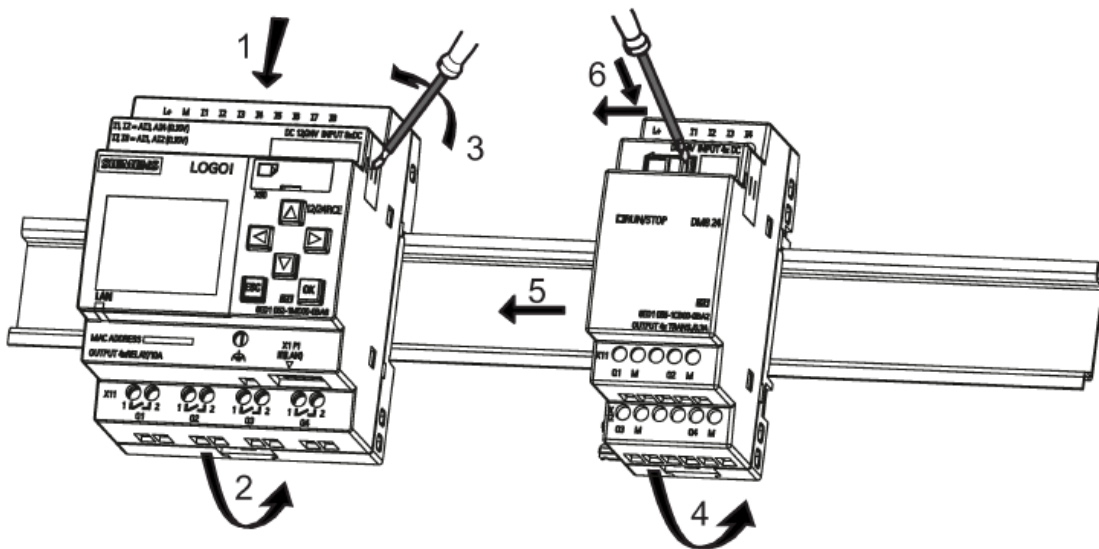


Figura 3-3 Montaje de relé programable y módulo de expansión

Fuente (SIEMENS, 2016, p. 36)

El módulo de expansión fue adquirido por la falta de salidas necesarias, este elemento adicional se lo acopla al relé programable deslizándolo de derecha a izquierda por el perfil soporte, se procede a retirar la tapa del conector del relé y con un destornillador se empuja la corredera del módulo de ampliación hacia el lado izquierdo hasta que se enclava con el relé programable.

Tabla 1-3 Especificaciones generales del relé programable

Especificaciones generales del relé programable	
Tensión de entrada	12/24 V DC
Consumo de corriente 12 V DC 24 V DC	De 50 mA a 165 mA De 25 mA a 90 mA
Entradas digitales	8
Tensión de entrada L+ Señal 0 Señal 1	< 5 V DC > 8,5 V DC
Corriente de entrada en Señal 0 Señal 1	< 0,88 mA (I3 a I6) < 0,07 mA (I1, I2, I7, I8) > 1,5 mA (I3 a I6) > 0,12 mA (I1, I2, I7, I8)
Entrada analógicas	4 (I1=AI3, I2=AI4, I7=AI1, I8=AI2)
Rango	0 V DC a 10 V DC
Salidas digitales	4

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez

Fuente (SIEMENS, 2016, p. 338)

Tabla 2-3 Especificaciones generales del módulo de expansión

Especificaciones generales módulo de expansión AM2 AQ	
Tensión de entrada	24 V DC
Rango admisible	De 20,4 V DC a 28,8 V DC
Consumo de corriente	De 30 mA a 82 mA
Salidas analógicas	2
Tensión de la salida analógica	0 V DC a 10 V DC
Salida de corriente	0/4 mA a 20 mA

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez

Fuente (SIEMENS, 2016, p. 343)

3.1.2 Variadores de frecuencia SINAMICS V20

Al igual que el relé programable, este equipo es de igual importancia para el trabajo de titulación, ya que permitirán que los motores tengan una rampa de arranque y desaceleración progresiva, pudiéndose variar la velocidad a la conveniencia y alcance del módulo, además de ser controlado por el relé programable.

Para la instalación mecánica del variador de frecuencia se ha tomado en cuenta las especificaciones de orientación y espacio libre especificadas por el fabricante, fijando el convertidor con cuatro tornillos de manera que éste no presente ningún juego con el módulo.

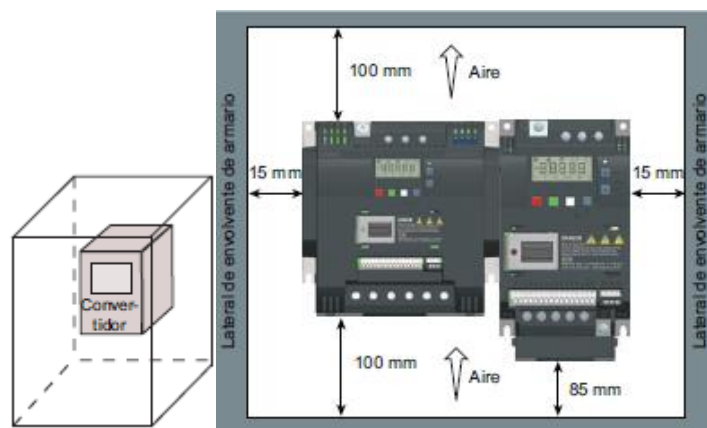


Figura 4-3 Variador de frecuencia SINAMICS V20

Fuente (SIEMENS, 2013, p. 19)

Por las especificaciones del fabricante mostradas en la Figura 4-3 y por ser uno de los equipos principales del módulo didáctico, los variadores de frecuencia fueron instalados a los extremos de los demás dispositivos con el propósito de evitar sobrecalentamiento de los mismos, además de poder diferenciar el variador primario del secundario, mejorando así la visualización, el funcionamiento, la manipulación y el mantenimiento.

Tabla 3-3 Especificaciones generales del variador de frecuencia SINAMICS V20

Especificaciones generales variador de frecuencia SINAMICS V20	
Marca	SIEMENS
Modelos	SINAMICS V20
INPUT	
Voltaje	200-400 V CA +/- 10%
Intensidad	10 A
Frecuencia	50/60 Hz
OUTPUT	
Voltaje	0 – input V
Intensidad	4.2 A
Frecuencia	0 – 550 Hz
Motor	1 HP / 0.75 KW

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.3 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación nos ayudará a tener una salida de voltaje DC de 24 V que nos permitirá la alimentación del relé programable y demás elementos que necesitan de este voltaje.

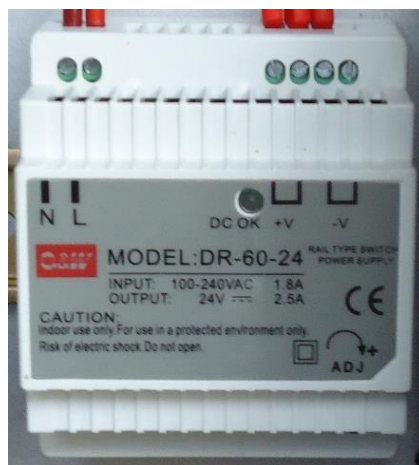


Figura 5-3 Fuente de alimentación
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Tabla 4-3 Especificaciones generales de la fuente de alimentación 24 V DC

Especificaciones generales de fuente de alimentación	
Marca	Q&W
Modelo	MODEL:DR-60-24
INPUT	100-240 V AC
Corriente de entrada	1.8 A
OUTPUT	24 V DC
Corriente de salida	2.5 A

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.4 Sensores inductivos

Estos sensores nos permitirán enviar una señal de impulsos al relé programable en el cual se visualizará la velocidad de giro de los motores.

El sensor del motor primario controlará la apertura o cierre de la señal ya que, si este no se encuentra censando el giro del motor primario, el motor secundario no arrancará ni podrá seguir la secuencia del motor primario.



Figura 6-3 Sensor inductivo IM18-D1PA08
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Tabla 5-3 Especificaciones generales del sensor inductivo

Especificaciones generales del sensor inductivo	
I	Sensor inductivo de proximidad
M	Tipo cilíndrico de metal
18	Diámetro externo (mm)
D1	10 – 30 V DC
PA	PNP PO
08	Distancia de detección estándar

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.5 Potenciómetro

El elemento que controlará la velocidad del motor 1 es el potenciómetro. El potenciómetro utilizado es de 10 k Ω , el cual al ser manipulado variará la frecuencia del variador y por ende la velocidad el motor. Esto se logrará mediante la conexión del potenciómetro a las entradas analógicas.

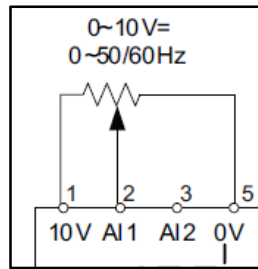


Figura 7-3 Esquema de conexión Cn002
Fuente (SIEMENS, 2013, p. 53)

3.1.6 Breaker

Estos elementos serán los encargados de proteger a los variadores de frecuencia y a los motores trifásicos.



Figura 8-3 Breaker
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.7 Fusibles

Los fusibles son elementos de seguridad que protegerán al circuito de sobrecorrientes que se presenten en la red.



Figura 9-3 Fusibles
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.8 Motores trifásicos jaula de ardilla

Los motores utilizados para la sincronización y secuencia de arranque son de iguales características, como se muestra en las siguientes especificaciones.



Figura 10-3 Motores asíncronos
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Tabla 6-3 Especificadores generales de los motores trifásicos jaula de ardilla

Especificaciones generales de los motores trifásicos	
Marca	SIEMENS
Modelo	1LA7 073-4YA60
Voltaje	220 YY / 400Y V
Intensidad	3.3 A
Potencia	0.75 HP
Frecuencia	60 Hz
RPM	1075

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.1.9 Software LOGO! Soft Comfort V8

Para la programación del módulo fue necesario adquirir el software LOGO! Soft Comfort V8, con las funciones necesarias para poder transferir el proyecto al relé programable mediante el cable Ethernet.

Las funciones necesarias para la programación son (GF) funciones básicas con elementos lógicos del algebra booleana como AND, NAND, OR, NOR, XOR, y NOT; y (SF) funciones especiales la cual contiene funciones de temporización, remanencia y diversas opciones de parametrización que permitirán explotar al módulo hasta los alcances del trabajo de titulación.

3.2 Construcción del módulo

3.2.1 Estructura. Para el montaje de los diferentes dispositivos, la estructura fue construida en perfil de aluminio y alucobond, la selección del tamaño de la estructura fue elaborado de acuerdo a la dimensión de cada dispositivo a utilizarse, de manera que cumpla con lo sugerido por el fabricante.

3.2.2 Montaje de dispositivos al módulo. Todos los dispositivos se los acopló de manera estética y ergonómica de manera que se facilite la visualización, manipulación y mantenimiento de estos.



Figura 11-3 Montaje de dispositivos al módulo

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.3 Instalación del circuito de alimentación



Figura 12-3 Alimentación de los dispositivos

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

1. Una vez montado los equipos en la regleta del módulo, se procede a realizar las conexiones eléctricas de alimentación a cada uno de ellos.
2. Alimentar las entradas de los breaker bifásicos de 10 A con las líneas L1 y L2, y alimentar a las entradas del portafusibles.
3. De la salida del breaker bifásico 1 conectar a las entradas del variador de frecuencia 1 (L1, L2N).
4. De la salida del breaker bifásico 2 conectar a las entradas del variador de frecuencia 2 (L1, L2N).
5. De la salida del portafusibles conectar a las entradas de la fuente de alimentación de 24 V DC (N, L).
6. De la salida de la fuente de alimentación de 24 V DC se conecta al pulsador de emergencia y de la salida de éste a las entradas de alimentación del relé programable (L+, M) y al módulo de expansión.
7. Finalmente se alimenta a cada uno de los elementos de maniobra Ver ANEXO D.

3.4 Procedimiento para la conexión de entradas del relé programable



Figura 13-3 Conexión de entradas del relé programable

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

1. En la entrada digital I1 se conectará el selector de arranque del motor 1.
2. En la entrada digital I2 conectamos el selector de tres posiciones el cual al estar en su posición NORM estará habilitado el selector de inversión de giro del motor 1 y al estar en su posición SF se habilitará el relé del variador 2.
3. En la entrada digital I3 se conectará el sensor de inducción 1.
4. En la entrada digital I4 se conectará el sensor de inducción 2.
5. En la entrada digital I5 se conectará el selector de arranque del motor 2.
6. En la entrada digital I6 conectamos el selector de inversión de giro del motor 2.
7. En la entrada analógica I7 conectamos el común del potenciómetro del motor 1.
8. En la entrada analógica I8 conectamos el común del potenciómetro del motor 2 Ver ANEXO E.

3.5 Procedimiento para la conexión de salidas del relé programable.



Figura 14-3 Conexión de salidas del relé programable

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

1. Alimentar las salidas digitales con 24 V DC.
2. De la salida digital Q1 se conecta a la entrada del borne 8 del variador 1 (DI1).
3. De la salida digital Q2 se conecta a la entrada del borne 9 del variador 1 (DI2).
4. De la salida digital Q3 se conecta a la entrada del borne 8 del variador 2 (DI1) el cual permitirá el encendido y apagado del motor 2, según la macro de conexión Cn002, ver ANEXO A.
5. De la salida digital Q4 se conecta a la entrada del borne 9 del variador 2 (DI2) el cual permitirá el cambio de giro del motor 2, según la macro de conexión Cn002, ver ANEXO A.
6. De la salida 1 del módulo de expansión se conecta U1+ a la entrada de la bornera 2 y M1 a la entrada de la bornera 5 del variador 1.
7. De la salida 2 del módulo de expansión se conecta U2+ a la entrada de la bornera 2 y M2 a la entrada de la bornera 5 del variador 2 Ver ANEXO F.

3.6 Procedimiento para la conexión de las borneras de usuario.

1. El positivo del potenciómetro 1 se conectará al borne 1 (10V) del variador 1, el borne 2 (AI1) se conectará al U1+ y el borne 5 (0V) se conectará al M1 del módulo de expansión, cerrando así el circuito para la regulación de velocidad del motor 1.
2. El mismo procedimiento se realizará para el potenciómetro 2 el cual regulará la velocidad del motor 2.
3. El borne 8 (DI1) del variador 1 estará conectado con Q1 el cual permitirá el encendido y apagado del motor 1, según la macro de conexión Cn002.
4. El borne 9 (DI2) del variador 1 estará conectado con Q2 el cual permitirá el cambio de giro del motor 1, según la macro de conexión Cn002.

5. El borne 8 (DI1) del variador 2 estará conectado con Q3 el cual permitirá el encendido y apagado del motor 1, según la macro de conexión Cn002.
6. El borne 9 (DI2) del variador 2 estará conectado con Q4 el cual permitirá el cambio de giro del motor 1, según la macro de conexión Cn002.
7. Según el macro de conexión Cn002 PNP se alimentará el borne 14 (0V) con 0V el cual a la vez se conectará al borne 12 (DI C) cerrando así el circuito de las entradas digitales, esto se realizará para los dos variadores.
8. El borne 18 (DO2 NO) del variador 1 estará conectado con la lámpara y el borne 19 (DO2 C) será alimentada por 24 voltios.
9. El borne 18 (DO2 NO) del variador 2 estará conectado con la lámpara y el borne 19 (DO2 C) será alimentada por 24 voltios Ver ANEXO G.

3.7 Procedimiento para la conexión de los sensores inductivos.


1. El cable de color marrón del sensor 1 y 2 se conectará al positivo de la fuente de 24 V DC.
2. El cable de color azul del sensor 1 y 2 se contará a 0V.
3. Finalmente, el cable de salida de señal de color negro de los sensores 1 y 2 se conectará a las entradas I3 y I4 respectivamente del relé programable.












3.8 Procedimiento para la conexión de los motores.

1. Una vez realizada las conexiones del módulo se procederá a la conexión de los motores.
2. El motor 1 será alimentado desde el variador de frecuencia, las salidas U, V, W, del variador se conectará a las entradas U1, V1, W1, del motor.
3. Este mismo procedimiento se realizará para el motor 2 Ver ANEXO H.

3.9 Reseteo del variador de frecuencia SINAMICS V20.

Antes de iniciar con un nuevo proceso es recomendable el reseteo del variador, para lo cual se seguirán los siguientes pasos.

1. Para ingresar al menú de configuración se debe mantener presionar un instante  hasta que se visualice r0000.

2. Con  nos desplazaremos hasta el parámetro P0003, nuevamente empleando  nos ubicamos en 1 para tener acceso de usuario estándar al variador y pulsamos  para confirmar.
3. Seguidamente pulsamos  hasta llegar al parámetro P0010, utilizando  o  nos ubicamos en el valor 30 para el ajuste de fábrica y  para confirmar.
4. Finalmente pulsamos  para ubicarnos en el parámetro P0970, utilizando  o  nos ubicamos en el valor 21 para el restablecimiento de los parámetros de fábrica y  para confirmar

3.10 Pasos para la programación de los variadores de frecuencia SINAMICS V20.

Tabla 7-3 Pasos para la programación de los variadores de frecuencia

Parámetros	Pasos
P0003	La opción 3 nos da acceso a niveles del usuario y a juegos de parámetros estándar, ampliado y experto.
P0010	Seleccionando la opción 1 de éste parámetro nos permite iniciar una puesta en marcha de servicio rápido.
P0100	Éste parámetro se configuró en la opción 1 para poder utilizar la unidad de medida de potencia del motor en hp, 60Hz.
P0304	Éste parámetro nos permite ingresar la tensión nominal de los motores, por lo cual se selecciona 220 V de acuerdo a los datos de sus placas.
P0305	Éste parámetro nos permite ingresar la corriente nominal de los motores, por lo cual se selecciona 3.3 A de acuerdo a los datos de sus placas.
P0307	Éste parámetro nos permite ingresar la potencia nominal de los motores, por lo cual se selecciona 0.75 HP de acuerdo a los datos de sus placas.
P0310	Éste parámetro nos permite ingresar la frecuencia nominal de los motores, por lo cual se selecciona 60 Hz de acuerdo a los datos de sus placas.
P0311	Éste parámetro nos permite ingresar las rpm de los motores, por lo cual se selecciona 1075 rpm de acuerdo a los datos de sus placas.
P0700	Seleccionamos la opción 2 (Cn002 Macro de conexión).
P0701	Seleccionando la opción 1 se habilitará la entrada digital 1 (ON/OFF).
P1000	Seleccionando la opción 2 se habilitará la selección de frecuencia (Analógica como consigna de velocidad).
P1080	En este parámetro se definirá la frecuencia mínima de los motores (0 Hz)
P1082	En este parámetro se definirá la frecuencia máxima de los motores (60 Hz)
P1120	El tiempo máximo de aceleración definido es de 2 segundos.
P1121	El tiempo máximo de deceleración definido es de 2 segundos.

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.11 Programación del módulo

3.11.1 Elementos que intervienen en la programación

Para una adecuada programación del microcontrolador es necesario contar con elementos que faciliten la interacción entre los dispositivos, para lo cual se empleará:

- PC
- Software LOGO! Soft Comfort V8.0
- Cable de Ethernet
- Microprocesador

La programación del módulo se lo realizará desde un computador, el mismo que contendrá el software LOGO! Soft Comfort V8.0, el cual permitirá crear, modificar, guardar e imprimir los programas de manera rápida y sencilla.

Para la comunicación entre la PC y el LOGO se utilizará la interfaz Ethernet el cual para su conexión necesita un cable de red apantallado estándar de categoría 5 y de par trenzado Rj45 apantallado en cada extremo, además para que exista la comunicación entre éstos dos dispositivos deberán coincidir sus direcciones IP.

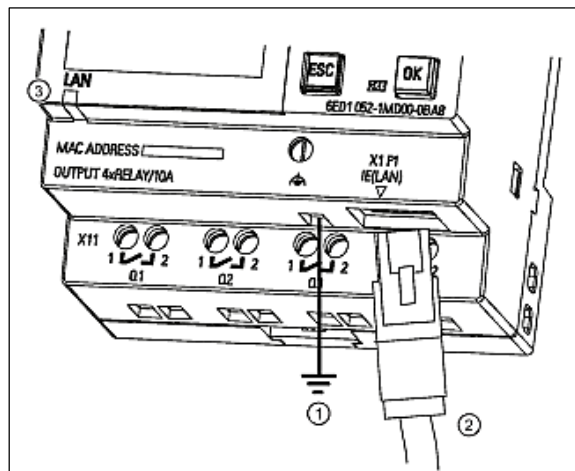


Figura 15-3 Cable de red e interfaz Ethernet
Fuente (SIEMENS, 2016)

Software LOGO! Soft Comfort V8.0

Una vez que se ingrese al programa se podrá visualizar la pantalla principal de programación, la cual muestra las barras de herramientas que nos permitirán realizar la programación de un determinado sistema de control.

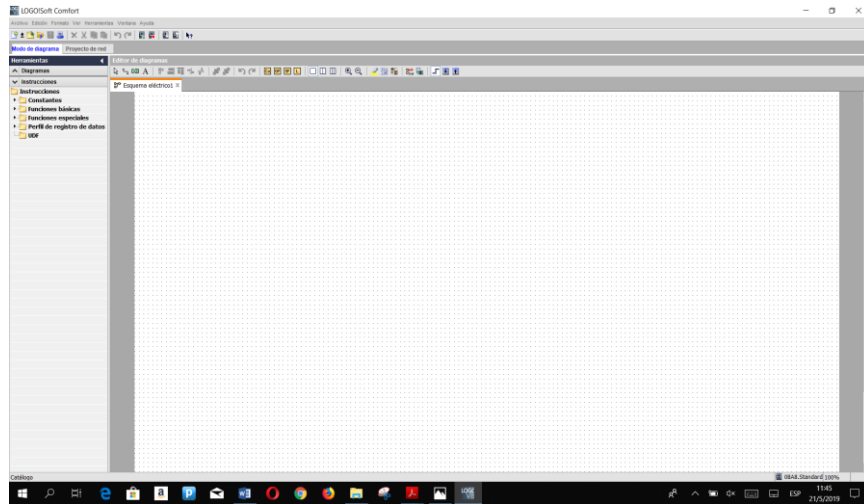


Figura 16-3 Pantalla principal de software LOGO! Comfort V8.0
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

- a) Barra de menú
- b) Barra de herramientas estándar
- c) Interfaz de programación
- d) Barra de estado
- e) Árbol de diagramas
- f) Árbol de instrucciones
- g) Editor de diagramas

Barra de herramientas estándar. - En esta barra de herramientas se encuentran las funciones de acceso rápido (crear nuevo proyecto, guardar, imprimir, abrir, copiar, iniciar LOGO, detener LOGO, cargar programa a LOGO, descargar programa a PC).

Interfaz de programación. - Es el espacio donde se realizará el diagrama de bloques de la programación.

Árbol de diagramas. – Aquí se visualiza los proyectos realizados mientras el software se encuentre abierto.

Árbol de instrucciones. – En este espacio se encuentran las funciones básicas, funciones especiales, constantes y perfil de registro de datos, con los cuales nos ayudaremos para la creación del programa.

Editor de diagramas. – Ésta es una barra de pruebas de simulación, la misma que permitirá observar en tiempo real el funcionamiento del programa y como éste se comporta con el cambio de estado en cada una de sus entradas.

3.11.2 Funciones de LOGO! Soft Comfort V8

Funciones básicas (GF). – son elementos lógicos de gran utilidad cuando se necesite conectar funciones sencillas del algebra booleana.

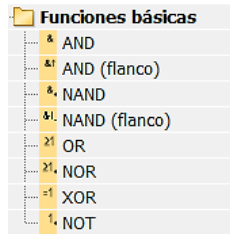


Figura 17-3 Funciones básicas (GF)

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Funciones especiales (SF). – Aquí se encuentran elementos de temporización, remanencia y opciones de parametrización que nos permitirán adaptar el programa a las exigencias del módulo.

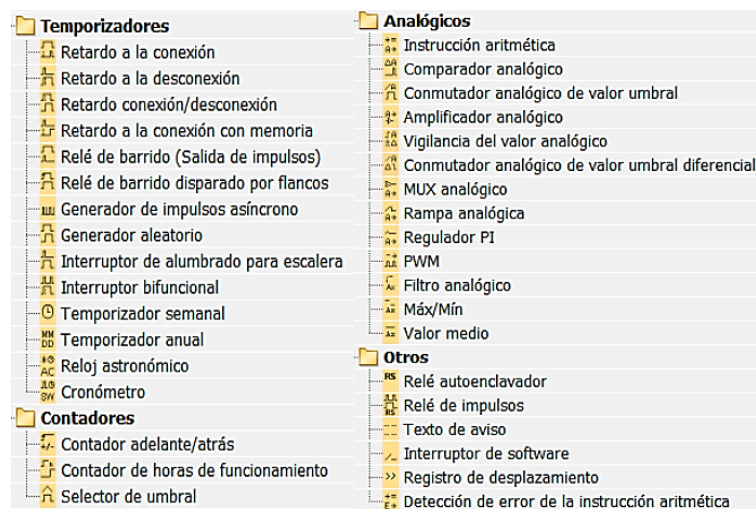


Figura 18-3 Funciones especiales (SF)

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Constantes y conectores (CO). – Son elementos que identifican entradas y salidas digitales/analógicas, marcas y constantes.

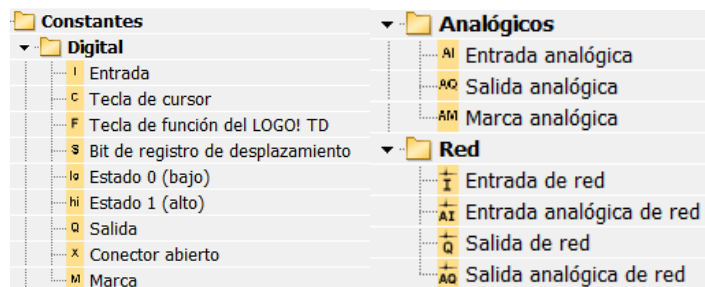


Figura 19-3 Constantes y conectores (CO)

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.11.3 Programación del módulo de sincronización y secuencia

Bloque 1: Puesta en marcha

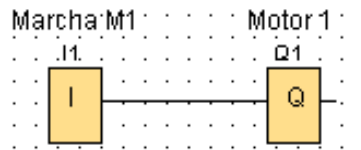


Figura 20-3 Puesta en marcha
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

La entrada I1 del relé programable recibe la señal del selector 1 el cual mediante la salida digital Q1 enciende el motor mediante su borne de conexión 8 (ON/OFF) del variador 1.

Bloque 2: Inversión de giro

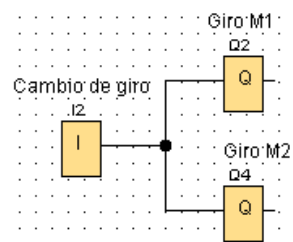


Figura 21-3 Inversión de giro
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

El selector 2 envía una señal a la entrada I2 del relé programable, el cual mediante las salidas Q2 y Q4 acciona los bornes de conexión 9 de cada variador haciendo que los motores cambien su sentido de giro.

Bloque 3: Regulación de velocidad del motor 1

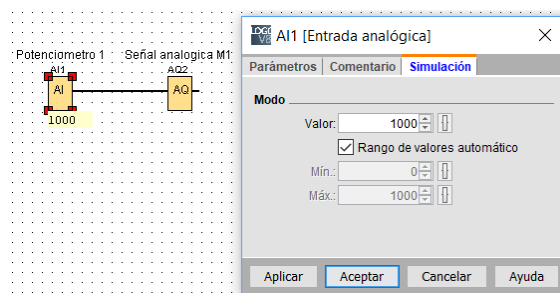


Figura 22-3 Regulación de velocidad del motor 1
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

Para el potenciómetro 1 se tomó el valor de 1000 el cual nos indica que enviará una señal de 0 a 10V, de ésta manera se regulará la frecuencia del convertidor y por ende la velocidad del motor. Este potenciómetro enviará la señal a la entrada analógica AI1 del relé programable el cual mediante la salida analógica AQ2 del módulo de expansión enviará la señal al borne de conexión 2 del variador de frecuencia 1.

Bloque 4: Lectura de pulsos del sensor inductivo

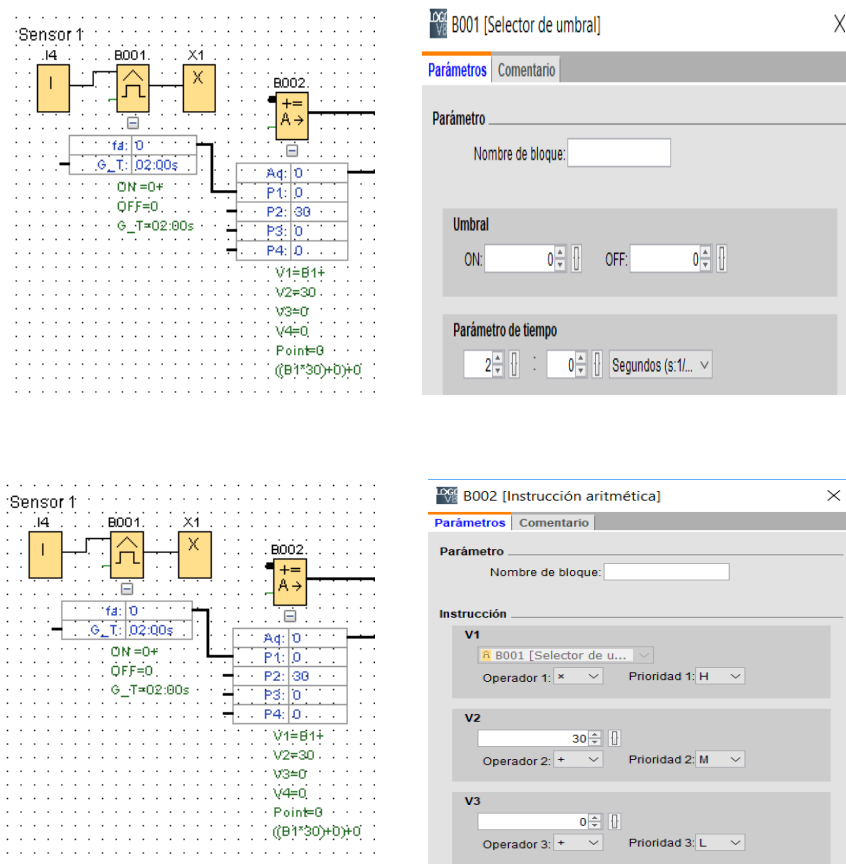


Figura 23-3 Lectura de pulsos del sensor inductivo

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

Este sensor se encarga de detectar el número de veces que gira el eje del motor, para lo cual nos valemos del selector umbral, el mismo que configuramos en 2 segundos en su parámetro de tiempo para tener una lectura inmediata de la velocidad. El bloque de instrucción aritmética B002 procesará el valor que nos entrega el bloque B001, y lo multiplicará por un valor de 30 para obtener las rpm del motor.

Bloque 5: Secuencia de arranque del motor 2

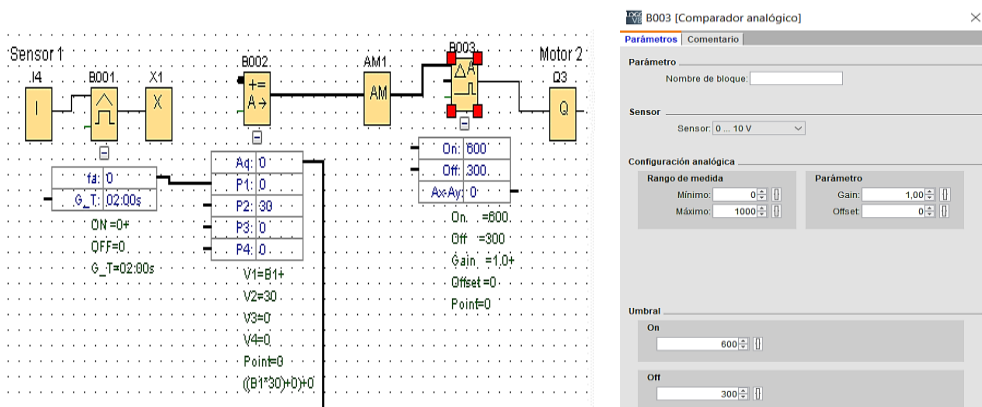


Figura 24-3 Secuencia de arranque del motor 2
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

Para tener un arranque secuencial a una determinada velocidad nos valdremos de un comparador analógico el mismo que se configuró en un valor de medida de 0 a 1000 para tener una salida de 0 a 10V al igual que el potenciómetro 1, el umbral se configuró para que se encienda cuando el motor 1 haya alcanzado las 600 rpm y a su vez al reducir la velocidad del motor 1 a un valor de 300 rpm el motor 2 se apagará.

Bloque 6: Sincronización de velocidad del motor 2

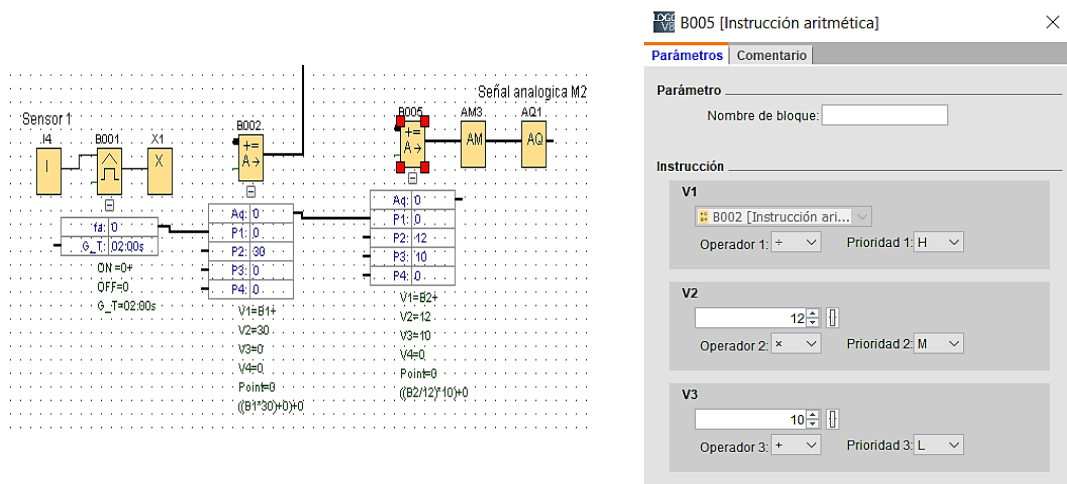


Figura 25-3 Sincronización de velocidad del motor 2
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

El bloque B005 tomará las rpm del bloque B002 operándola para obtener un valor de 1000 lo cual nos dará una señal de 0 a 10V enviándola mediante la salida analógica AQ1

del módulo de expansión accionando el bloque de conexión 2 del variador de frecuencia 2 haciendo que éste tome la velocidad detectada por el sensor del motor 1.

Bloque 7: Normalizado de frecuencia

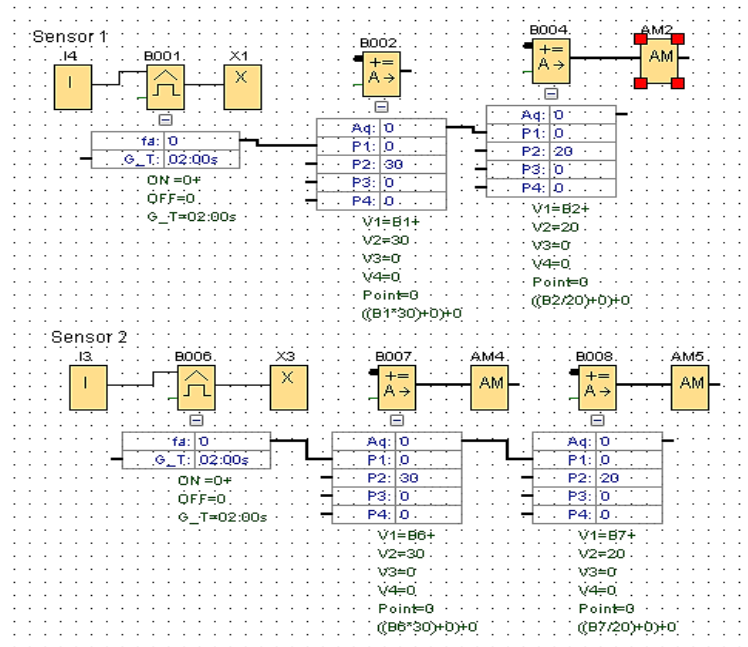


Figura 26-3 Normalizado de frecuencia
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

Los bloques B004 y B008 tomarán los valores de las rpm dado por los sensores 1 y 2 respectivamente realizando con éstos una operación aritmética que nos dará la frecuencia a la cual se encuentran los motores funcionando, además podrá ser variado por el potenciómetro.

Bloque 8: Visualización de datos

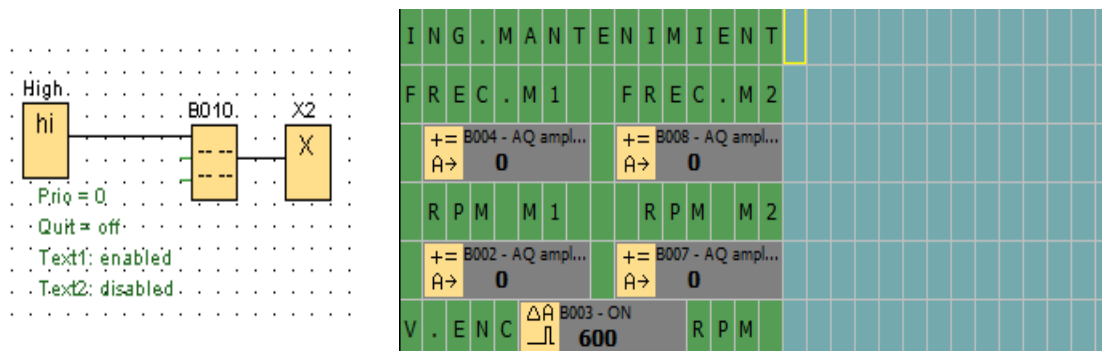


Figura 27-3 Visualización de datos
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Descripción

El bloque B010 nos permite configurar la pantalla del relé programable y poder visualizar los datos que se requiera por parte del usuario, para lo cual es necesario una señal de encendido que brinda el bloque High.

3.12 Transferencia de la programación al LOGO 8

Una vez realizada la programación, seleccionamos el ícono de transferencia ubicado en la barra de herramientas para establecer la comunicación del LOGO con el ordenador y pasamos el programa a través del cable Ethernet conectado a nuestro ordenador.

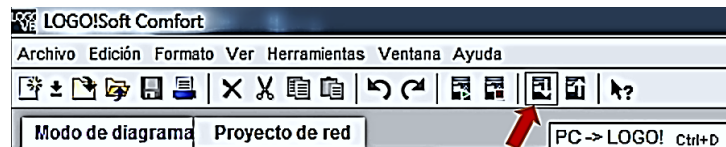


Figura 28-3 Transferencia de datos PC-LOGO

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Se abrirá una ventana en la cual elegimos el tipo de conexión Ethernet y además seleccionamos la tarjeta de red de nuestra PC, todo esto realizado en la parte señalada como “Interfaz”, luego pasamos a la parte de “Destino” y colocamos la dirección IP, la misma que deberá coincidir con la dirección IP del LOGO.

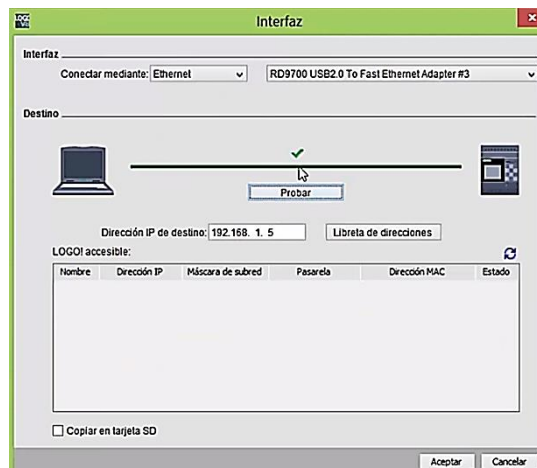


Figura 29-3 Interfaz

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Nos ubicamos en el botón “Probar” y verificamos que exista una comunicación entre el LOGO y la PC.

Una vez realizado este paso, procedemos a dar un clic en el botón “Aceptar” para transferir la programación al LOGO 8.

Aparecerá un cuadro que nos indica si deseamos cambiar al modo de operación STOP, con el cual al pulsar el botón **SI**, detenemos el programa que esté configurado en el LOGO.

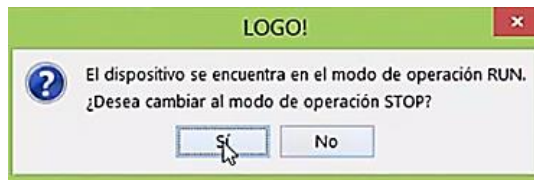


Figura 30-3 Modo de operación en STOP

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Luego aparecerá otro cuadro de transferencia de datos en curso, indicándonos que el programa se está transfiriendo correctamente.



Figura 31-3 Transferencia de datos en curso

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Por último se visualizará el cuadro pasar a modo de operación RUN y al dar clic en el botón **SI** el LOGO entrará en operación, finalizando así con la transferencia de la programación.

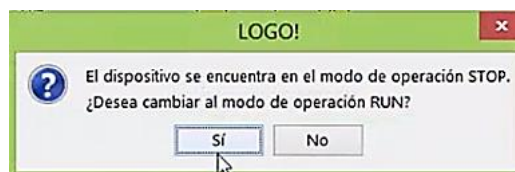


Figura 32-3 Modo de operación en RUN

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

3.13 Plan de mantenimiento

Dado que estos equipos a nivel industrial están en constante operación, se debe realizar una planificación del mantenimiento de los dispositivos que conforman el módulo, con el propósito de conservarlo en óptimas condiciones de seguridad y operación.

Con el cumplimiento de éstas tareas se conseguirá que los dispositivos alcancen su vida útil, y puedan ser utilizados por los estudiantes sin ningún problema.

A continuación, se muestra una tabla para la realización del mantenimiento preventivo del módulo.

Tabla 8-3 Plan de mantenimiento

Ítem	Tarea	Herramientas y Materiales	Frecuencia			
			S	M	S M	A
1	Limpieza e inspección general del módulos.	Guaípe, Aire comprimido Aerosol, Limpiador de contactos, Brocha.	X			
2	Inspección de los elementos protección.	Multímetro				X
3	Comprobación de salidas de tensión de los dispositivos electrónicos.	Multímetro			X	
4	Inspección visual y limpieza de las borneras de conexión de los equipos y de la fuente de alimentación 24V.	Aerosol Limpiador de contactos, Guaípe			X	
5	Reajuste de los tornillos de sujeción de los dispositivos.	Destornillador plano Destornillador estrella			X	
6	Verificación de parámetros eléctricos de la fuente de alimentación.	Multímetro				X
7	Verificar continuidad eléctrica en los cables de conexión entre LOGO y variadores.	Multímetro			X	
8	Limpieza y revisión del estado de los sensores inductivos.	Aerosol, Multímetro		X		
Frecuencias:		S: Semanal. M: Mensual. SM: Semestral. A: Anual.				

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En este capítulo se describen puntos esenciales con respecto al funcionamiento adecuado del módulo y así determinar mejoras y ventajas para el beneficio del estudiante.

Una vez desarrollado el módulo, se efectuaron una serie de pruebas para ver el comportamiento de los dispositivos de control con sus respectivos motores, aplicándoles distintas consignas de velocidad.

Antes de poner en funcionamiento al módulo, se ajustaron los tiempos de la rampa de aceleración y desaceleración de los dos variadores, estos fueron fijados inicialmente en 5 segundos. Pero, al momento de poner en marcha el motor uno, se presentaba un retardo en la sincronización de la velocidad del motor dos, por lo que se tuvo que reducir los tiempos de rampa a 2 segundos, obteniendo de esta manera una mejor estabilidad en las revoluciones de los motores.

4.1 Sistema de control

El módulo tiene un control manual para el arranque del motor uno mediante el selector uno, mientras que el motor dos se pondrá en marcha dependiendo de la señal del sensor uno en la programación elaborada.

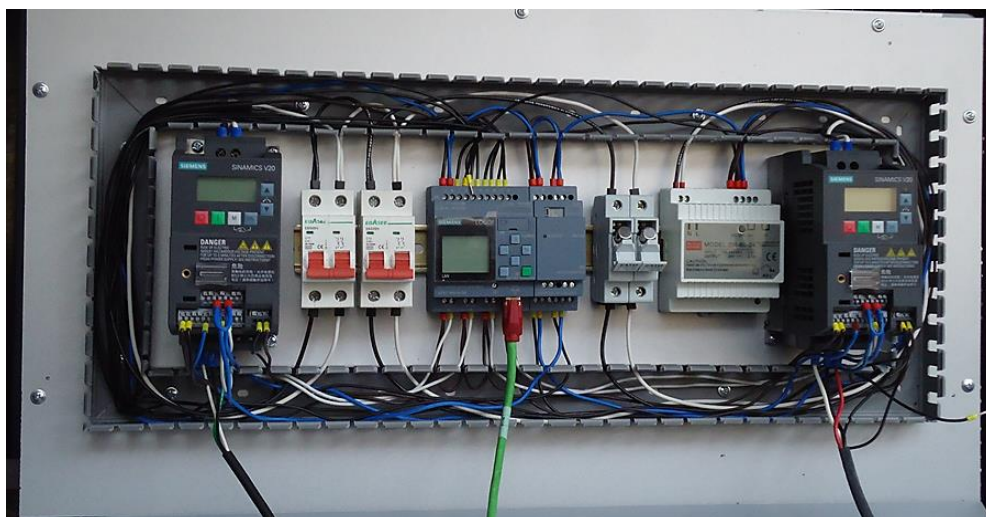


Figura 1-4 Módulo didáctico

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Una vez sincronizado los motores, la velocidad del motor uno podrá ser controlada a través del potenciómetro uno, y la velocidad del motor dos será determinada por el sensor.

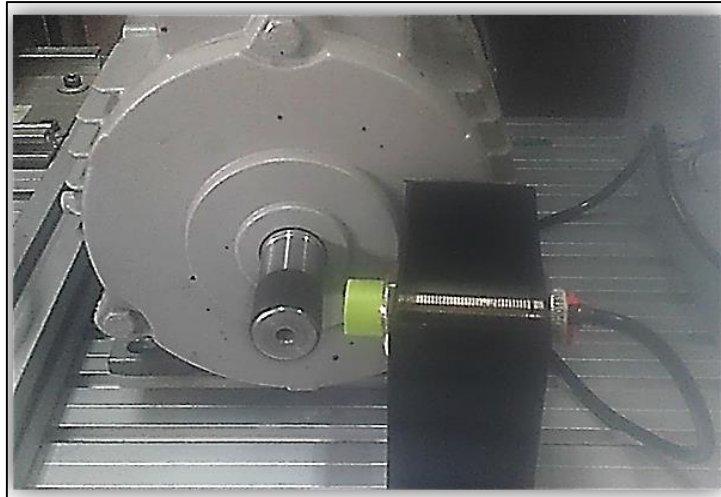


Figura 2-4 Control de velocidad
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

Para la validación de este sistema se lo hace por medio de envío de señales al controlador programable las cuales son visualizadas en la pantalla del mismo.

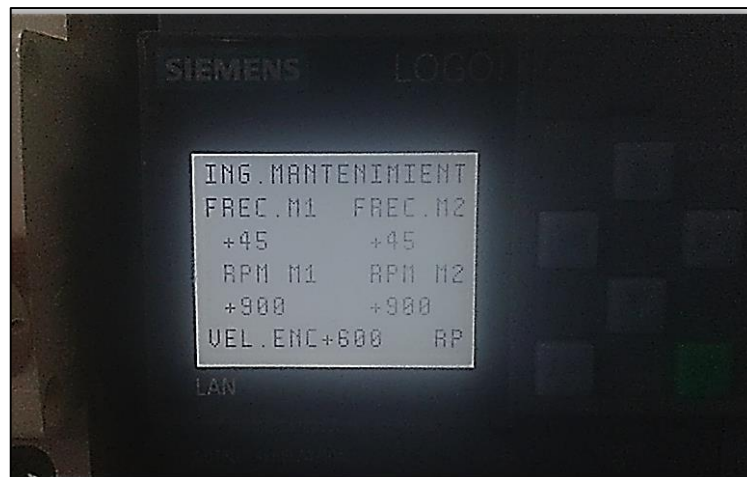


Figura 3-4 Parámetros de funcionamiento
Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

4.2 Estudio de costos

Para la construcción del módulo se consideró la utilización de productos nacionales con valores accesibles, siempre teniendo en cuenta la calidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos y materiales.

4.2.1 Costos directos

En la tabla se puede identificar la inversión realizada en la adquisición de los dispositivos, materiales y todo aquello tangible que forma parte del módulo.

Tabla 1-4 Costos directos

Costos directos			
Cantidad	Detalle	Valor unitario (USD)	Total (USD)
1	Logo 8 12/24 v dc	199,92	199,92
1	Módulo de expansión AM2 AQ	167,55	167,55
1	Fuente de poder 24 v dc	37,69	37,69
2	Breaker 2p 10 amp	5,16	10,32
2	Variador de frecuencia V20 1hp	293,75	587,5
2	Sensor inductivo 8mm	33,04	66,08
1	Pulsador hongo	2,43	2,43
2	Luz led verde	1,55	3,10
1	Material eléctrico	53,76	53,76
1	Otros	107,17	107,17
Total (USD)			1235,52

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

4.2.2 *Costos Indirectos*

En la tabla se muestra los costos adicionales que se realizan para el desarrollo del trabajo de titulación.

Tabla 2-4 Costos indirectos

Cantidad	Descripción	Costo (USD)
1	Transporte	60
1	Impresiones	100
1	Imprevistos	40
Total		200

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

4.2.3 *Costos Totales*

Con los costos directos e indirectos se calcula el costo total del trabajo de titulación, en el cual se considera lo invertido en el desarrollo del módulo e imprevistos.

Tabla 3-4 Costos totales

COSTOS TOTALES	
Costos Directos (USD)	1235,52
Costos Indirectos (USD)	200
Total (USD)	1435,52

Realizado por Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez

Fuente Xavier Yuquilema; Jhonny Rodríguez (2019)

CONCLUSIONES

Se desarrolló el módulo de sincronización y secuencia de arranque de motores trifásicos con éxito, con esto los estudiantes de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento tendrán a su disposición equipos de nueva tecnología y fácil manipulación para sus prácticas estudiantiles.

Se configuró exitosamente el envío y recepción de señales entre el computador, el relé programable, los variadores de frecuencia y los motores, de esta manera se logró una correcta simulación de la sincronización y secuencia de arranque de los motores.

El desarrollo de pruebas de sincronización y secuencia de arranque de los motores mediante el uso de este módulo, fueron realizadas con éxito logrando sincronizar las velocidades y dando un arranque del motor dos de manera secuencial partiendo de una velocidad del motor uno y otra en un periodo de tiempo determinado por el usuario.

Las guías de prácticas de laboratorio fueron desarrolladas y probadas con los equipos mencionados para la sincronización y secuencia de arranque de motores trifásicos, pudiendo ser utilizadas posteriormente por parte de los docentes y estudiantes de la carrera.

RECOMENDACIONES

Para la correcta manipulación del módulo es necesario identificar los dispositivos que se encuentran en éste y familiarizarse con cada uno de ellos mediante el empleo de documentación técnica, para garantizar el buen manejo del módulo y minimizar riesgos.

A partir de este trabajo de titulación continuar con otro tipo de aplicaciones en los cuales se puedan emplear los dispositivos de control utilizados en el módulo didáctico aprovechándolos al máximo.

El mantenimiento del módulo es fundamental para que el estado de los equipos no se deteriore rápidamente, por lo que es necesario realizar un mantenimiento preventivo de todos estos dispositivos como por ejemplo, la limpieza y ajuste de terminales.

BIBLIOGRAFÍA

- ACADEMIC.** *Variador de velocidad.* [En línea] Wikimedia foundation , 2010.
[Consulta: 29 Enero 2019.] Disponible en:
http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/31836#Tipos_de_variadores_de_velocidad.
- AGUILERA ALVAREZ, Juan; & OROZCO MENDOZA, Horacio.** *Sincronización y monitoreo de procesos.* [En línea] 10 de 2015. [Consulta: 01 Marzo 2019] Disponible en: <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/343/332>. 1405-1249.
- BRAVO, Andres.** *Refrigeración. blogspot.* [Blog]. [Consulta: 20 Enero 2019.]
Disponible en: <http://bravoandres.blogspot.com/2010/10/>.
- ARANA SUAREZ, Leonardo Xavier.** *Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla.* [En línea] (Trabajo de titulación). Univercidad Centra del Ecuador, Quito, Ecuador. 2017. pp. 9-14. [Consulta: 2019-06-27.] Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>
- CLENET, Daniel.** *Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos.* [En línea] 2004. [Consulta: 19 marzo 2019.] Disponible en:
<https://www.se.com/es/es/download/document/CT-208-Z002/>.
- CONTAVAL.** *Sensores Inductivos Vdc de 3 hilos.* [Blog]. [Consulta: 27 marzo 2019.]
Disponible en: <https://www.contaval.es/sensores-inductivos-vdc-3-hilos/>.
- LLACZA ROBLES, Hugo Florencio.** *Efectos de los armónicos en los motores eléctricos al controlar su velocidad.*[En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Callao, Callao, Perú. 2013. pp. 41-44 [Consulta: 019-01-29.] Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1946>
- PACHECO NAVAS, Carlos; & GARCÍA POZO, Tomas.** *Electrotecnia.* Barcelona-España: Grupo Edebé, 2003. ISBN. 84-236-5336-6. pág. 160
- PALACIOS MERA, Víctor Alfonso.** *Sistema electrónico para el control de posición angular del eje de un motor trifásico asíncrono.* [En línea] 2016. [Consulta: 16 Marzo

2019.] Disponible en:

http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19364/1/Tesis_t1100ec.pdf.

QUIMINET. *Qué es un variador de frecuencia y cómo es que funciona.* [En línea]

2011. [Consulta: 29 Enero 2019.] Disponible en:

<https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>.

SANABRIA BETANCUR, Estiven Andres, & SÁNCHEZ RAMOS, Juan David.

Sistema de control de velocidad de un motor trifásico mediante un variador de frecuencia y sistema scada [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2016. pp. 21. [Consulta: 2019-01-29]. Disponible en:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7003>

SIEMENS. *Convertidor SINAMICS V20.* [En línea] 2013. [Consulta: 25 Abril 2019.]

Disponible en:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/484/67267484/att_61462/v1/v20_OPI_es-SP_es-ES.pdf. A5E31842763.

—. *Listas de precios productos industriales eléctricos.* [En línea] 2017. [Consulta: 16 Abril 2019] Disponible en:

<https://www.industry.siemens.com/home/aan/es/ecuador/Documents/LISTA%20DE%20PRECIOS%20SIEMENS%20MAYO24%202017.pdf>.

—. *LOGO Manual de producto.* . [En línea] 2016. [Consulta: 14 Abril 2019] Disponible en:

https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/LOGO/Documents/logo_system_manual_es-ES_es-ES.pdf

SUMELEC INDUSTRIAL. *Sumelec Industrial.* [En línea] 2016. [Consulta: 29 Enero

2019.] Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/variadores-de-frecuencia-sumelec-industrial/>.

