

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DESARROLLO DE MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO PARA MÁQUINAS
ROTATIVAS ELÉCTRICAS, UTILIZANDO EL PLC MICROLOGIX LOGO SIEMENS, EN
EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE LA ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE
TACNA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bachiller Verónica Fabiola HOYOS YAILE

Bachiller Guido André ORTIZ PAREDES

TACNA – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis

"Desarrollo de módulos de control electrónico para máquinas rotativas eléctricas, utilizando el PLC Micrologix LOGO SIEMENS, en el laboratorio de automatización y control de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica de la universidad privada de Tacna"

Tesis sustentada y aprobada el 25 de junio del 2018, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE: DR. ABEL OBIDIO ARGUMÉ SOTOMAYOR
SECRETARIO: MAG. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA
VOCAL : ING. MARCO ANTONIO COLOMA YUNGANINA
ASESOR : ING. ALFREDO ESTABAN CALIZAYA CRUZ



Handwritten signatures of the jury members, corresponding to the names listed on the left. The signatures are written in black ink and are somewhat stylized.

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, VERÓNICA FABIOLA HOYOS YAILE y GUIDO ANDRÉ ORTIZ PAREDES, en calidad de Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70444033 y 46000706 respectivamente.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

“DESARROLLO DE MÓDULOS DE CONTROL ELECTRÓNICO PARA MÁQUINAS ROTATIVAS ELÉCTRICAS, UTILIZANDO EL PLC MICROLOGIX LOGO SIEMENS, EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA”

La misma que presentamos para optar:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

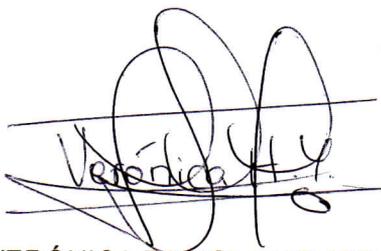
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, no hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de

nuestras acciones se deriven, sometiéndome a la normatividad de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 24 de agosto de 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Verónica H.Y.', with a horizontal line drawn through it.

VERÓNICA FABIOLA HOYOS YAILE
DNI. 70444033

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guido A. Ortiz Paredes', with a horizontal line drawn through it.

GUIDO ANDRÉ ORTIZ PAREDES
DNI. 46000706

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestro querido hijo, por su paciencia y por el tiempo que nos ha concedido, un tiempo robado a nuestra historia familiar, ya que de otra forma este trabajo nunca se habría concluido, por tanto, este trabajo es también el suyo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a nuestro asesor de tesis Ing. Alfredo Calizaya por su orientación, atención a nuestras consultas sobre metodología, la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas, por la revisión cuidadosa que ha realizado de este texto y sus valiosas sugerencias en momentos de duda. Le estaremos siempre muy agradecidos.

Asimismo, queremos agradecerles a los Ingenieros que estuvieron alentándonos a seguir con nuestra tesis ya que sin su apoyo para facilitarnos los ambientes adecuados para nuestro trabajo no habiéramos podido avanzar de manera adecuada.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestro más sincero agradecimiento a los Ing. César Guzmán Jiménez e Ing. Jesús Esquivés Velásquez, de la Universidad Privada de Tacna, con cuyo trabajo estaremos siempre en deuda ya que nos dio un punto de partida.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Finalmente y con mucho cariño, reconocer la el gran apoyo que nuestras familias han puesto en nuestra formación profesional, su aliento permanente no supo dar las fuerzas para seguir y su consejo nos apoyó en momentos de confusión, estaremos a ustedes siempre agradecidos.

A todos, muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	01
<u>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	02
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	02
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	03
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	03
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	03
1.5. OBJETIVOS	04
1.5.1. Objetivo general	04
1.5.2. Objetivos específicos	04
1.6. HIPÓTESIS	04
<u>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</u>	05
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	05
2.1.1. Análisis para la implementación de módulos de entrenamiento	05
2.2. BASES TEORICAS	06
2.2.1. Introducción a las maquinas eléctricas	06
2.2.1.1. <u>Maquinas eléctricas rotativas</u>	07
2.2.1.2. <u>Constitución de una máquina eléctrica rotativa</u>	09
2.2.2. Los motores de inducción	09
2.2.2.1 <u>Tipos de motor de inducción</u>	11
2.2.2.2 <u>Motor Trifásico</u>	13
2.2.2.3 <u>Conexiones trifásicas del estator para motores trifásicos</u>	15
2.2.2.4 <u>Simbología de máquinas eléctricas rotativas</u>	18
2.2.3. PLC: Controlador Lógico Programable	18
2.2.3.1 <u>Estructura general de un PLC</u>	18
2.2.3.2 <u>Tipos de PLC's</u>	21
2.2.3.3 <u>Lenguajes de Programación</u>	26
2.2.3.4 <u>Criterios para la selección de un PLC</u>	27
2.3. ANALISIS DEL DISEÑO DEL MODULO DE CONTROL ELECTRONICO	28

2.4.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE CONTROL	29
2.4.1.	El controlador industrial LOGO! SIEMENS 230RC	29
2.4.2.	Dispositivos de maniobra	30
2.4.2.1.	Contactador	30
2.4.2.2.	Relé de sobrecarga térmico	30
2.4.2.3.	El guardamotor	32
2.4.2.4.	Interruptor termo-magnético	32
2.4.2.5.	Dispositivo de parada de emergencia	33
2.4.2.6.	Pulsadores (Caja pulsador con 2 pulsadores NA y NC)	33
2.4.3.	Dispositivos de conexión	35
2.4.3.1.	Carril DIN	35
2.4.3.2.	Borneras industriales	36
2.4.3.3.	Cable CPT	36
2.4.3.4.	Terminales (chaquetillas)	36
2.4.3.5.	Canaleta de PVC	37
2.5.	DEFINICION DE TERMINOS	38

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO **39**

3.1.	ALCANCE	39
3.2.	DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS	39
3.3.	METODOLOGIA	40
3.3.1.	Tipos de Investigación	40
3.3.2.	Diseño de investigación	40
3.3.3.	Ámbito de estudio	40
3.3.4.	Diagrama de Conexión	40

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL POR PLC DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS **42**

4.1	MÓDULO 1: ARRANQUE ESTRELLA - DELTA	43
4.1.1	Diagrama de mando	43
4.1.2	Diagrama de fuerza	44
4.1.3	Lógica de programación en LADDER	45
4.1.4	Diagrama de programación en lenguaje FUP	46
4.2	MÓDULO 2: INVERSIÓN DE GIRO, ARRANQUE TEMPORIZADO	47
4.2.1	Diagrama de mando	47

4.2.2	Diagrama de fuerza	48
4.2.3	Lógica de Programación en LADDER	49
4.2.4	Diagrama de Programación en lenguaje FUP	50
4.3	PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN	51
4.4	PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO	63
4.4.1	Evaluación de la operatividad de los módulos de entrenamiento	64
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	66
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXO I: SIMBOLOGIA DE LOS COMPONENTES ELECTRICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO	69

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Módulo PLC Micrologix	06
Figura 2. Clasificación de las máquinas eléctricas rotativas	07
Figura 3. Esquema Generador Eléctrico	07
Figura 4. Esquema Motor eléctrico	08
Figura 5. Constitución de una máquina eléctrica rotativa	08
Figura 6. Operación de una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna	09
Figura 7. Velocidad de sincronismo y par motor	10
Figura 8. Motor de jaula de ardilla	11
Figura 9. Motor por inducción con devanado	12
Figura 10. Rotor con doble jaula de ardilla.	13
Figura 11. Partes del motor de inducción trifásico	14
Figura 12. Símbolo conexión estrella	15
Figura 13. Esquema de conexión y placa de conexión estrella.	15
Figura 14. Conexión estrella de las bobinas y de la placa de bornes	16
Figura 15. Esquema eléctrico conexión estrella	16
Figura 26. Desfase de tensiones, conexión estrella.	16
Figura 37. Esquema de conexión y placa de bornes de conexión delta	17
Figura 48. Conexión delta con sus intensidades y voltajes	17
Figura 59. Conexión del arrancador delta desde motor a bornes	18
Figura 20. Estructura de un PLC	19
Figura 21. Ejemplos de PLC's compactos	21
Figura 22. Ejemplos de PLC's modulares	22
Figura 23. Ejemplos de PLC's tipo montaje de rack	23
Figura 24. Ejemplo de un OPLC	23
Figura 25. Ejemplos de PLC's con ordenador industrial	24
Figura 26. Ejemplo de PLC tipo ranura	25
Figura 27. Ejemplo de PLC de tipo máquina virtual	25
Figura 28. Los lenguajes de programación basados en el estándar IEC 61131-3	26
Figura 29. Contactor y símbolos eléctricos	30
Figura 30. Relé termo-magnético	30
Figura 31. Relé electromagnético	31

Figura 32. Guardamotor	32
Figura 33. Interruptor termo-magnético	33
Figura 34. Pulsador de emergencia	34
Figura 35. Botonera, pulsadores NC y NA	34
Figura 36. Tipos de riel DIN	35
Figura 67. Riel DIN 35mm	35
Figura 38. Bornera industrial	36
Figura 39. Cable CPT	36
Figura 40: Terminales tipo tubo 16	37
Figura 41: Canaleta PVC ranurada	37
Figura 42: Esquema general de conexión	40
Figura 43: Diagrama de bloques de un sistema de control abierto de motores	42
Figura 44: Diagrama de mando, arranque Estrella – Delta	43
Figura 45: Diagrama de fuerza, arranque Estrella – Delta	44
Figura 46: Lógica de programación LADDER, arranque Estrella – Delta	45
Figura 47: Diagrama de programación en lenguaje FUV, arranque Estrella–Delta	46
Figura 48: Diagrama de mando, inversor de giro	47
Figura 49: Diagrama eléctrico inversor de giro	48
Figura 50: Lógica de programación LADDER, inversión de giro	49
Figura 51: Diagrama de programación en lenguaje FUP, inversión de giro	50
Figura 52: Cableado de módulos LOGO!	51
Figura 53: Módulo LOGO I y II	51
Figura 54: Módulo LOGO! III y IV	52
Figura 55: Cableado en borneras industriales	52
Figura 56: Cableado en canaleta ranurada	53
Figura 57: Cableado en botonera NC y NA	53
Figura 58: Implementación de contactores en Modulo LOGO!	54
Figura 59: Implementación de Modulo LOGO! III	54
Figura 60: Pruebas de marcha Modulo LOGO! I y II	55
Figura 61: Conexión a conectores tipo banana	55
Figura 62: Preparación de cable CPT, con terminales de 16mm	56
Figura 63: Conexión desde guardamotor Schneider	56
Figura 64: Materiales adicionales para módulos LOGO!	57
Figura 65: Herramientas para preparación de cables	57

Figura 66: Conexión a botón de emergencia tipo hongo	58
Figura 67: Implementación cableada Modulo LOGO! I	58
Figura 68: Conexión suministro eléctrico Modulo LOGO! III y IV	59
Figura 69: Puenteo de ITM de Modulo I y II	59
Figura 70: Implementación de PLC en Módulo I	60
Figura 71: Cableado de PLC LOGO! módulo III	60
Figura 72: Implementación de bornera industrial en módulo II	61
Figura 73: Implementación de contactores en módulo III	61
Figura 74: Conexión de relé térmico y botón NC y NA	62
Figura 75: Cableado final de módulos III y IV	62
Figura 76: Módulo de entrenamiento arranque estrella-delta.	63
Figura 77: Módulo de entrenamiento inversión de giro.	63

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La presente tesis ha sido estructurada en cuatro capítulos, en el capítulo I denominado Planteamiento del Problema, se desarrolla la parte metodológica de la investigación. En el capítulo II denominado Marco Teórico, presenta los fundamentos teóricos de los sistemas a implementar basados en el diseño de módulos de entrenamiento para el control automático electrónico de máquinas eléctricas. En el capítulo III, denominado consideraciones de implementación de los módulos de entrenamiento para el laboratorio de máquinas eléctricas en la escuela profesional de ingeniería electrónica. En el capítulo IV, denominado desarrollo e implementación del proyecto de tesis. En el que se muestran los resultados y objetivos planteados en la propuesta de plan de tesis. En el capítulo V se muestran las conclusiones y recomendaciones.

Es conveniente tener en cuenta la siguiente terminología a fin de la correcta lectura del presente documento:

- PLC ; Controlador Lógico Programable
- LOGO; Modulo lógico universal SIEMENS
- Ladder; Lenguaje programación
- FUP ; Lenguaje programación mediante bloques

SUMMARY AND KEYWORDS

The present thesis has been structured in four chapters, in the Chapter I denominated Approach of the Problem, the methodological part of the investigation is developed. In chapter II called Theoretical Framework, it presents the theoretical foundations of the systems to be implemented based on the design of training modules for the electronic automatic control of electrical machines. In Chapter III, called considerations of implementation of the training modules for the laboratory of electrical machines in the professional school of electronic engineering. In chapter IV, called development and implementation of the thesis project. In which the results and objectives stated in the thesis plan proposal are shown. Chapter V shows the conclusions and recommendations.

It is convenient to take into account the following terminology in order to correctly read this document:

- PLC; Programmable Logic Controller
- LOGO; Universal logic module SIEMENS
- Ladder; Programming language
- FUP; Programming language by blocks

INTRODUCCION

El control electrónico de máquinas rotativas (motores), requiere de dispositivos capaces de realizar acciones de control basado en una arquitectura capaz de adaptar, procesar y dar respuestas a las necesidades del proceso a controlar de una manera flexible y dinámica. Estos controladores programables utilizados en los procesos de automatización, son ampliamente instalados por su simplicidad y fácil adaptación a las necesidades de los actuadores a controlar. La pequeña y mediana industria requiere que estos dispositivos se adapten a las necesidades del proceso de manera masiva y con alto grado de confiabilidad.

Aquí se propone realizar el diseño, la implementación y operación de elementos de conexión y dispositivos de control que conformarán de módulos de entrenamiento empleados para el control electrónico de máquinas eléctricas utilizando autómatas programables denominados PLC (programador Lógico Controlable), los que serán instalados en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

La presente Tesis ha sido estructurada en cinco capítulos: El Capítulo I denominado Planteamiento del Problema, desarrolla la parte metodológica de la investigación. El Capítulo II denominado Marco Teórico, presenta los antecedentes de la Tesis y los fundamentos teóricos de los sistemas a implementar basados en el diseño de módulos de entrenamiento para el control automático de máquinas eléctricas. El Capítulo III denominado Consideraciones para el diseño de los módulos, presenta los criterios a seguir para la selección de los elementos que componen los módulos de entrenamiento y se propone el diseño de los módulos. El Capítulo IV denominado Desarrollo e Implementación de los módulos de entrenamiento, presenta la metodología desarrollada para la implementación y la operatividad de los módulos de entrenamiento. El Capítulo V se presenta el análisis de los resultados obtenidos y se verifican los objetivos planteados en el presente Proyecto. Se finaliza con la presentación de las conclusiones, las recomendaciones, la bibliografía y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica cuenta con controladores de características industriales empleados para el control de procesos de plantas industriales y aplicaciones complejas, mas no para el control de procesos en aplicaciones de pequeña y mediana industria.

Los módulos de entrenamiento para máquinas eléctricas rotativas se encuentran instalados en el actual laboratorio de Electrónica y han sido implementados con PLC de gama media para aplicaciones industriales.

En la actualidad se ha proyectado la implementación del laboratorio de Máquinas Eléctricas, el cual se encontrará ubicado en el nuevo local de la Facultad de Ingeniería. Ello ha generado la necesidad de desarrollar módulos de entrenamiento para para el control de máquinas eléctricas rotativas, tales como arranque de motores eléctricos, inversión de giro de motor, etc.

Considerando que las máquinas eléctricas rotativas que se emplearán en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas son de baja potencia, se requiere utilizar PLC de gama baja para la implementación de los módulos de entrenamiento. . Uno de los controladores lógicos programables que se encuentra en el mercado de la marca SIEMENS y que cumple con las características deseadas para la implementación en el laboratorio de máquinas eléctricas es el modelo LOGO.

Asimismo para la implementación de los módulos de entrenamiento para el control automático electrónico de máquinas eléctricas rotativas, se requiere que los controladores PLC cuenten con las siguientes características:

- Control
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación
- Fuente de alimentación
- Interfaz para módulos de ampliación
- Interfaz para módulo de programación (Card) y cable para PC

- Funciones básicas habituales pre programadas, por ejemplo para conexión retardada, desconexión retardada, relés de corriente, e interruptor de software Temporizador.
- Marcas digitales y analógicas
- Entradas y salidas en función del modelo.

1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

El laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna, no cuenta con módulos de entrenamiento que empleen PLC de gama baja, para el control electrónico de máquinas eléctricas rotativas (motores). Dichos módulos de entrenamiento son necesarios para complementar las capacidades que demandan la industria regional y nacional de los egresados en la especialidad de control y automatización industrial de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA

La formulación del problema queda planteado haciéndonos la siguiente interrogante ¿Los módulos de control electrónico de la maquinas eléctricas rotativas, mejorará y ampliara el entendimiento de los estudiantes de la EPIE, en el control de los procesos industriales aplicando sus habilidades y destrezas? ¿Quiénes harán uso de los cursos de su programación curricular en su formación profesional de pre grado?, Esta interrogante nos llevara a plantearnos las siguientes preguntas de manera puntual:

- ¿Es necesario implementar módulos de entrenamiento para el control electrónico de máquinas eléctricas rotativas?
- ¿Es necesario implementar dispositivos diseñados para controlar maquinas eléctricas rotativas?

1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

El laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, contará con 04 módulos de entrenamiento basado en el PLC LOGO Siemens con características industriales para el control automático electrónico de máquinas eléctricas, lo que permitirá a los

alumnos de pre grado entender la enormes ventajas respecto a los módulos de control automático eléctrico de los que se disponen actualmente.

Además, la implementación de los módulos de entrenamiento permitirán el desarrollo de múltiples aplicaciones, las cuales estarán concatenadas con las aplicaciones de control electrónico desarrollados en el Laboratorio de Automatización y Control.

1.5. OBJETIVOS

Se desarrollaran los siguientes objetivos:

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar módulos de control electrónico por medio de PLC LOGO SIEMENS para el control de máquinas rotativas (motores) eléctricas en el laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna.

1.5.2. Objetivos específicos

- Familiarizar el uso de programación por medio de diagramas FUP, de programación directa en el PLC, por medio de configuración en su botonera.
- Implementar los módulos de entrenamiento con dispositivos de control (PLC), dispositivos de maniobra (contactores, disyuntores, interruptores termo-magnéticos, etc.); y dispositivos de conexión.
- Desarrollar aplicaciones de laboratorio entre ellos estrella-delta, inversión de giro, encendido temporizado y otros en los módulos de control electrónico por medio del PLC 230rc de SIEMENS.

1.6. HIPÓTESIS

Si al desarrollar módulos de entrenamiento basado en el control electrónico por medio de PLC LOGO SIEMENS, entonces se contribuirá a la formación profesional de los alumnos de ingeniería electrónica de la Universidad Privada de Tacna en el Área de Automatización y Control de máquinas rotativas eléctricas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Nuestra región tiene como un eje principal para su desarrollo la explotación minera, y procesamiento industrial de materias primas, los que conllevan a un alto grado de tecnificación y automatización de sus plantas. En este sentido es de importancia conocer las posibilidades que el control automatizado ofrece para la industria, considerando este aspecto una necesidad inherente al desarrollo profesional, de los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería electrónica, en la especialidad de control y automatización de procesos industriales.

En el año 2013, se presentó el trabajo: “**Diseño e Implementación de Módulos de PLC – Básico para controlar motores eléctricos para el laboratorio de automatización y control de la EPIE**”, realizado por el Bach. Cesar Edwin Guzmán Jiménez y el Bach. Jesús Eduardo Esquivés Velásquez, que consideran en sus palabras su objetivo principal: “Diseñar e implementar módulos de PLC – Básico para controlar motores eléctricos para el laboratorio de automatización y control de la EPIE”.

2.1.1. Análisis para la implementación de módulos de entrenamiento

El laboratorio de automatización y control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica cuenta con módulos de entrenamiento con características industriales de las marcas SIEMENS modelo S7 1200 y ALLEN BRADLEY modelo MICROLOGIX 1200. De ellos solo los modelos MICROLOGIX 1200, en cantidad de 04, cuentan con salidas para tensión alterna de 220 VAC, y entradas digitales en 24 VDC.

El modelo MICROLOGIX, permite conexión a la salida de 220 VAC de actuadores con esta característica de salida y entradas con dispositivos de maniobra solo para 24 VDC. A continuación en la Tabla 1, se muestra el controlador MICROLOGIX 1200 y sus características técnicas.

En la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica se dictan 04 cursos en la especialidad de automatización industrial y los módulos de entrenamiento con los que se cuentan no son suficientes para realizar prácticas de laboratorio en horarios simultáneos. En la actualidad el laboratorio de control y automatización cuenta con 04 módulos de

entrenamiento con el modelo 1762-L40BWA. Estos se muestran en la siguiente figura.

Tabla 1
Alimentación de entrada y E/S incorporadas del controlador

Número de catálogo	Descripción		
	Alimentación de entrada	Entradas	Salidas
1762-L24AWA	120/240 VCA	(14) 120 VCA	(10) relé
1762-L24BWA	120/240 VCA	(10) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC	(10) relé
1762-L24BXB	24 VCC	(10) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC	(5) relé, (4) 24 VCC, FET (1) de alta velocidad, de 24 VCC, FET
1762-L40AWA	120/240 VCA	(24) 120 VCA	(16) relé
1762-L40BWA	120/240 VCA	(20) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC	(16) relé
1762-L40BXB	24 VCC	(20) 24 VCC (4) rápidas de 24 VCC	(8) relé, (7) 24 VCC, FET (1) de alta velocidad, de 24 VCC, FET

Fuente: Manual Micrologix 1200 1762-um001b-es-pt



Figura 1. Módulo PLC Micrologix
(fuente: propia)

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Introducción a las maquinas eléctricas

Considérese como máquina eléctrica aquel dispositivo con la capacidad de convertir energía eléctrica a otro tipo de energía y viceversa. Es posible diferenciar 2 tipos de máquinas eléctricas:

2.2.1.1. Máquinas Eléctricas Rotativas

Comprendemos por máquina eléctrica rotativa a sistema de mecanismos que poseen la capacidad de transformar, generar y aprovechar la energía eléctrica. Tipificando por el tipo de conversión los clasificamos en:

- Generador Eléctrico
- Motor eléctrico

A continuación se muestra la gráfica que indica la clasificación general de las máquinas rotativas.

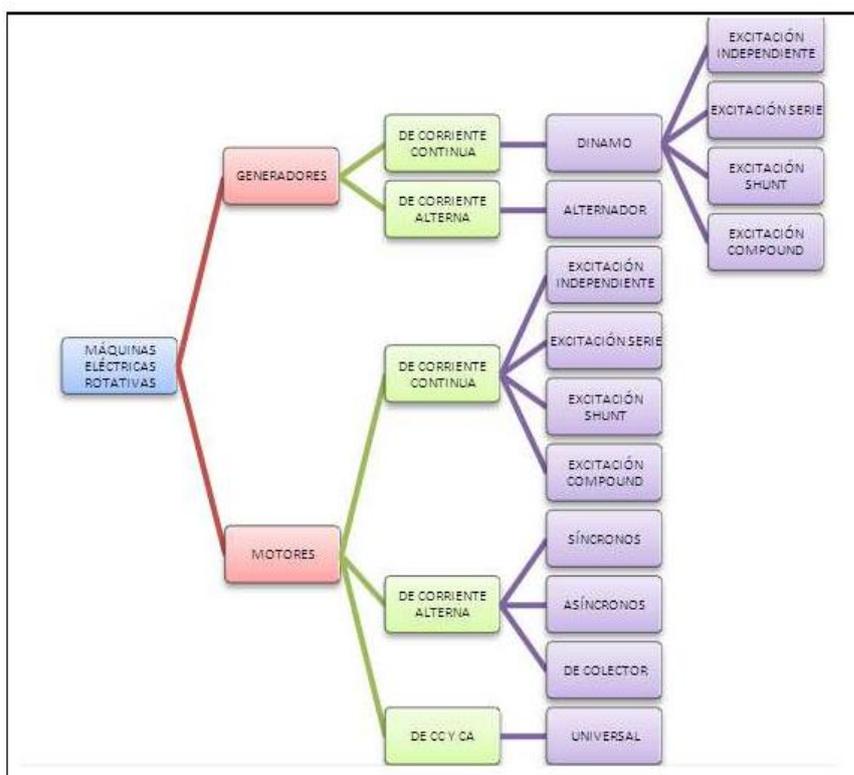


Figura 2. Clasificación de las máquinas eléctricas rotativas
(fuente: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3016/html/22_clasificacin_de_las_mquinas_rotativas.html)

- **Generador Eléctrico:** cuando la máquina rotativa realiza la conversión de energía mecánica a eléctrica.



Figura 3. Esquema Generador Eléctrico
(fuente: propia)

- **Motor Eléctrico:** cuando la máquina rotativa realiza la conversión de energía eléctrica a mecánica.



Figura 4. Esquema Motor eléctrico
(fuente: propia)

UN CIRCUITO MAGNÉTICO

- **Estator.** Parte fija.
- **Rotor.** Parte móvil que gira dentro del estator.
- **Entrehierro.** Se define como el espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento. La recomendación es que debe ser lo más reducido posible.
- **Colectores y escobillas:** las escobillas realizan la conexión de los circuitos del rotor con los del estator. Son elaborados de grafito. Las escobillas friccionan sobre unas láminas conductoras (delgadas) que están acopladas a un dispositivo cilíndrico denominado colector.

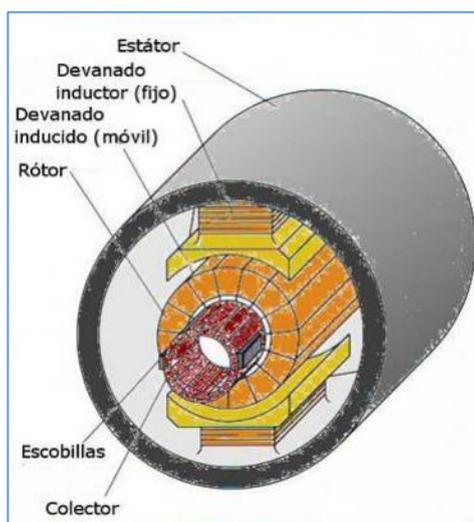


Figura 5. Constitución de una máquina eléctrica rotativa
(fuente: http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/22012011/b2/es-an_2011012213_9133957/ET2_U4_T2_Contenidos_v02.pdf)

DOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

- **Bobina de excitación o inductor.** Uno de los devanados, al ser recorrido por una corriente eléctrica produce una fuerza magnetomotriz que crea un flujo magnético.
- **Bobina de Inducido.** El otro devanado, en el que se induce una f.e.m. que da lugar a un par motor (si se trata de un motor) o en el que se induce una f.c.e.m. que da lugar a un par resistente (si se trata de un generador).

2.2.1.2. Máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna

El principio fundamental de operación de las máquinas de corriente alterna es la generación de un campo magnético rotatorio, el cual hace que el rotor gire a una velocidad que depende de la velocidad de rotación de dicho campo.

Para generar un campo magnético rotatorio en el estator y en el entrehierro de una máquina de corriente alterna, por medio de corrientes alternas, se utiliza la estructura básica mostrada en la siguiente figura, correspondiente al esquema de una máquina sincrónica trifásica de 2 polos:

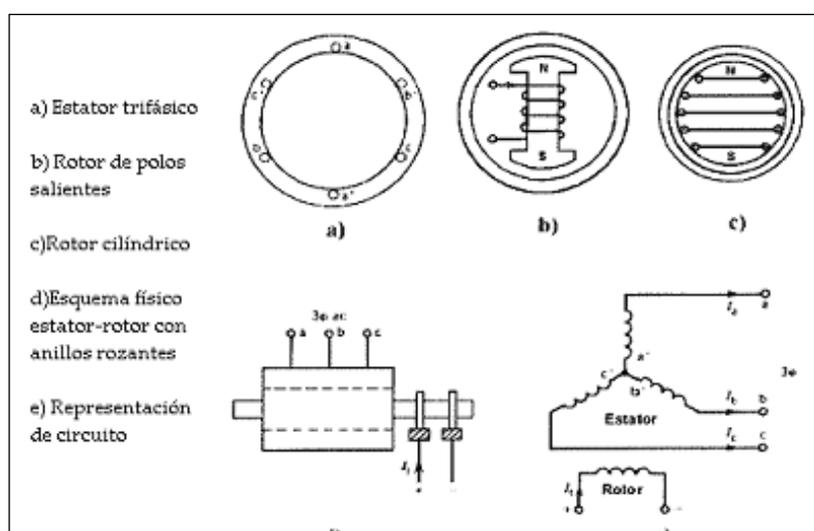


Figura 6. Operación de una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna
 (Fuente: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

2.2.2. Los motores de inducción

Los motores asíncronos o de inducción, por ser robustos y más baratos, son los motores más ampliamente utilizados en la campo industria.

En estos motores, el campo giratorio tiene la velocidad síncrona de acuerdo a la frecuencia de la línea de alimentación.

Teóricamente, para el motor de inducción girando en vacío y sin pérdidas, el rotor tendría también la velocidad síncrona. Pero al ser aplicado el par externo al motor o par motor, su rotor disminuirá la velocidad en la justa proporción necesaria para que la corriente inducida por la diferencia de rotación entre el campo giratorio (síncrono) y el rotor, pase a producir un par electromagnético igual y opuesto al par externamente aplicado.

PAR MOTOR

Las fuerzas electromotrices se generan a partir de cortar el campo magnético de las barras de rotor, esto da lugar a corrientes que circulan en sentido representado usualmente por puntos y ceros, siendo sometidas a fuerzas que las mueven de forma tangencial a la circunferencia de rotación, generando el par motor.

PAR DE GIRO

El valor del par de giro del motor viene dado por:

$$M = K \cdot \phi \cdot I_f$$

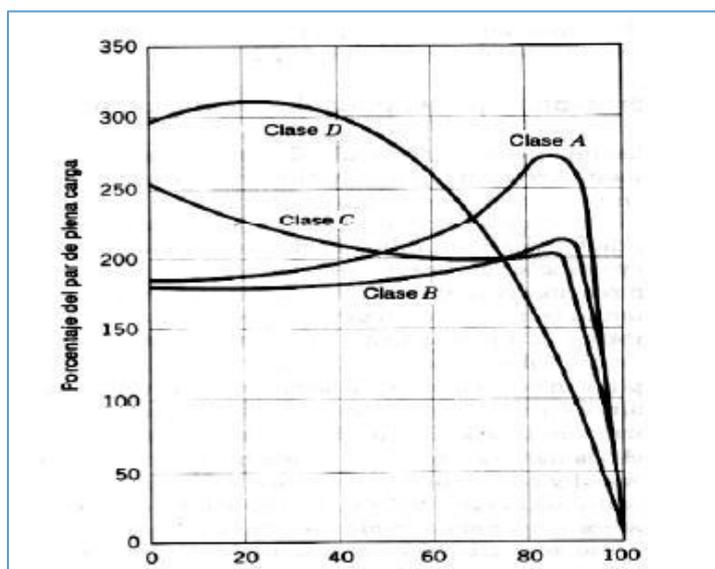


Figura 7. Velocidad de sincronismo y par motor

(Fuente: <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/>

1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

Siendo:

K = constante

Φ = Flujo magnético del campo giratorio

I_r = Intensidad de corriente del motor

DESLIZAMIENTO

Para definir el deslizamiento es preciso mencionar que la velocidad rotor tiene que ser menor a la velocidad del flujo magnético, considere en caso tuvieran la misma velocidad, las barras del rotor no podrían cortar las líneas de flujo por lo que no se podría generar en ellas la fem, resultando que la corriente en el rotor sería nula.

Finalmente considerando la resistencia inherente del aire y el rozamiento, el rotor no consigue alcanzar la velocidad del flujo, siendo la diferencia entre estos últimos lo que se denomina deslizamiento.

La intensidad y par motor son directamente proporcionales al deslizamiento tanto en vacío como a plena carga.

2.2.2.1. Tipos de motor de inducción

MOTOR DE INDUCCIÓN CON ROTOR DE ALTA RESISTENCIA

Los motores de este tipo también son comúnmente llamados de motores de JAULA DE ARDILLA, pues su enrollamiento rotórico en forma de barras tiene la característica de ser corto-circuitado.

Está constituido por barras de cobre o de aluminio y unidas en sus extremos a dos anillos del mismo material



Figura 8. Motor de jaula de ardilla

(Fuente:https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

MOTOR DE INDUCCIÓN CON ROTOR DEVANADO

El rotor de este motor está constituido por tres devanados de hilo de cobre conectados en un punto común. Los extremos pueden estar conectados a tres anillos de cobre que giran con el eje (anillos rozantes). Haciendo contacto con estos tres anillos se encuentran unas escobillas que permiten conectar a estos devanados unas resistencias que permiten regular la velocidad de giro del motor. Son más caros y necesitan un mayor mantenimiento.

En arranque la impedancia se encuentra en el mismo circuito, reduciéndose gradualmente a medida que el motor adquiere velocidad.

Considerando que el motor con jaula de ardilla posee velocidad constante, si se requiere operatividad con variaciones de velocidad es recomendable utilizar este tipo de motor, ya que permite tener un margen de velocidades amplio.

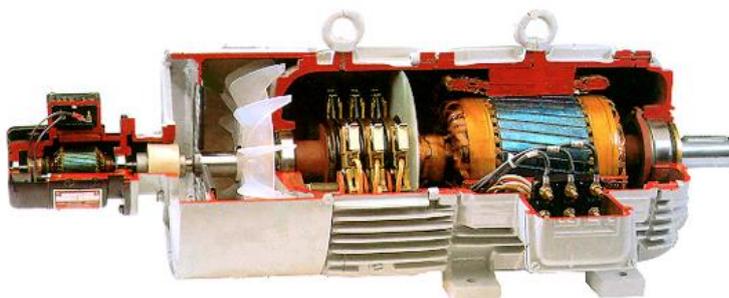


Figura 9. Motor por inducción con devanado

Fuente:https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

MOTOR CON DOBLE JAULA DE ARDILLA

Utilizar un rotor devanado con doble jaula de ardilla es otra forma que nos permite obtener una alta resistencia en arranque y baja en operación.

La reactancia elevada a la frecuencia de la red de las barras gruesas que se encuentran al interior del rotor, origina que circule muy poca corriente en un rotor estacionario. Siendo todo lo contrario para las barras delgadas que posee la superficie del rotor.

Por lo tanto el comportamiento del motor en arranque corresponde a uno con rotor de alta resistencia, esto debido a que en este momento la corriente solo se transporta por medio de las barras de alta resistencia.

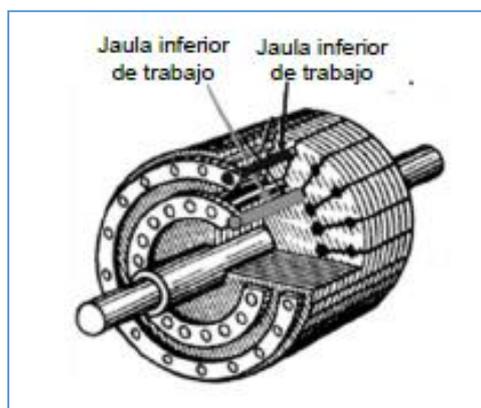


Figura 10. Rotor con doble jaula de ardilla.

(Fuente:https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

Cuando el motor alcanza velocidad la situación cambia, debido a que las barras gruesas pierden reactancia, considerando además que la corriente total del rotor aumenta hasta que prácticamente iguala la corriente que circula por las barras delgadas, siendo la resistencia pequeña en funcionamiento.

2.2.2.2. Motor Trifásico

En un sistema trifásico, los motores se alternan entre generar, transmitir y distribuir la energía, estos poseen hasta 3000 kW y velocidades entre los 900 y 3600 RPM, son muy usados en el sector industrial ya que posee una potencia mayor de 150% que un motor monofásico. Asimismo, la energía eléctrica trifásica es el método más común utilizado por las redes eléctricas en todo el mundo debido a que transfieren más potencia.-

Es oportuno aclarar que con respecto a los motores monofásicos, los trifásicos poseen diferencias a nivel de construcción siendo la conexión de los bobinados una de las más resaltantes:

PARTES DEL MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Todos los motores convierten energía eléctrica en mecánica, se pueden reconocer las siguientes partes fundamentales:

1. El estator

Está constituido por un enchapado de hierro de silicio, introducido generalmente a presión, entre una carcasa de hierro colado. El

enchapado es ranurado, lo cual sirve para insertar allí las bobinas, que a su vez se construyen con alambre de cobre, esto de diferentes calibres o diámetros.

2. El rotor

Es la parte móvil del motor, está formado por el eje, el enchapado y unas barras de cobre o aluminio unidas en los extremos con tornillos. A este tipo de rotor se le llama jaula de ardilla o en cortocircuito porque el anillo y las barras que son de aluminio, forman en realidad una jaula.

3. La carcaza

Fabricados generalmente a partir de hierro colado. Tiene en el centro cavidades donde se incrustan cojinetes de bolas sobre los cuales descansa el eje del rotor. Los escudos deben estar siempre bien ajustados con respecto al estator, porque de ello depende que el rotor gire libremente, o que tenga “arrastres” o “fricciones”.

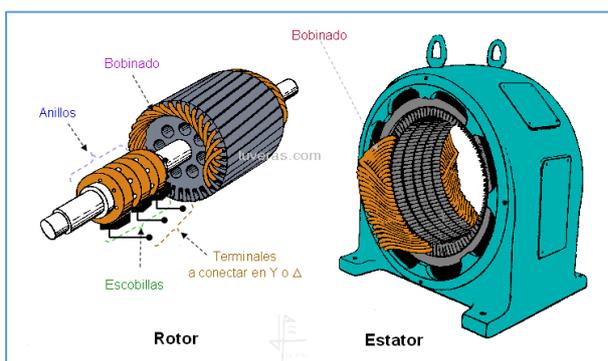


Figura 11. Partes del motor de inducción trifásico

(Fuente: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040 Máquinas Eléctricas Rotativas)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La corriente aplicada en los bobinados por cada fase da origen que a la reacción con el flujo del campo magnético del estator, esto motivara el movimiento del rotor. El movimiento continuo lo llamamos deslizamiento.

Después de ese momento vendrá un nuevo empuje y un nuevo deslizamiento, así sucesivamente. De esta manera se comprende que el rotor nunca logre alcanzar la misma velocidad del campo magnético giratorio. Este es el motivo por el cual se denomina motor asincrónico.

En general todos los motores se rigen al fundamento que todo conductor por el que atraviesa una corriente eléctrica generará un campo

magnético, el que se desplazara de forma perpendicular a las líneas de flujo del campo magnético mencionado. Por lo tanto este conductor funciona como un electroimán que al interactúa con el campo magnético originado por el mismo devanado en ángulos distintos, esto motiva que el rotor del motor, obtenga el movimiento angular del mismo

2.2.2.3. Conexiones trifásicas del estator para motores trifásicos

CONEXIÓN TIPO ESTRELLA

En una conexión tipo estrella las bobinas se encuentran conectadas de tal manera que cada una se comportará como si fueran monofásicas y así producen un voltaje simple. Estas tensiones serían U_1 , U_2 y U_3 , donde la tensión compuesta es la que aparecerá entre 2 fases. Estas serán U_{12} , U_{13} y U_{23} , de manera que: $U_{12} = U_1 - U_2$

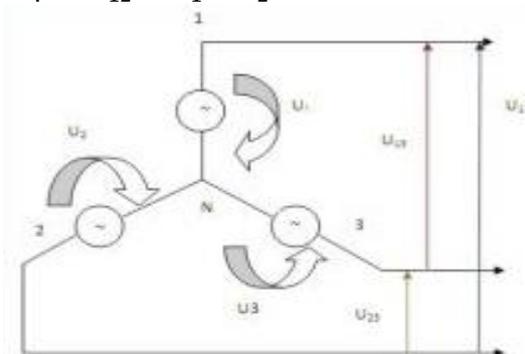


Figura 12. Símbolo conexión estrella

(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

Normalmente a una conexión estrella la representamos de esta forma:

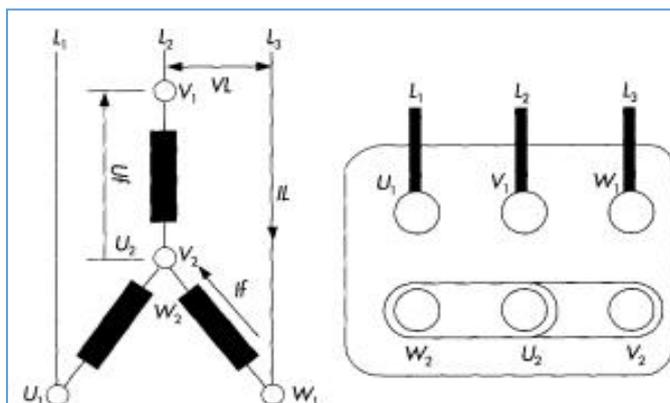


Figura 13. Esquema de conexión y placa de conexión estrella.

(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

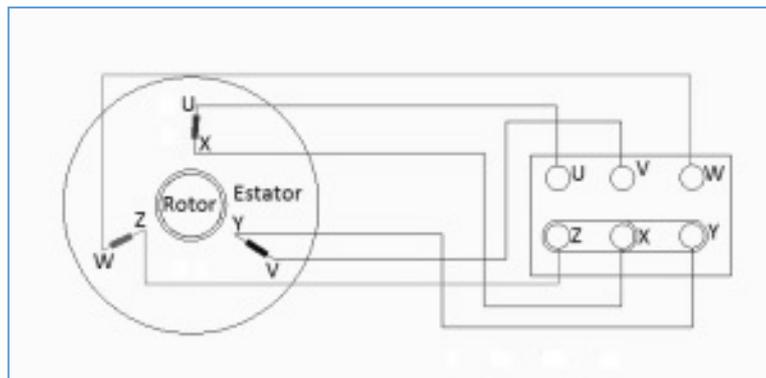


Figura 14. Conexión estrella de las bobinas y de la placa de bornes
(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

CONEXIÓN ESTRELLA DESDE LAS BOBINAS A LOS BORNES.

El esquema visualizado es una interpretación general de un esquema tipo estrella, también tenemos otra interpretación la cual se puede decir que es como un tipo de esquema de fuerza:

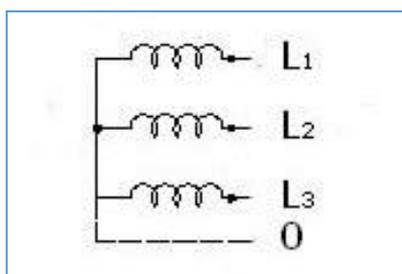


Figura 15. Esquema eléctrico conexión estrella
(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

Cada una de las tensiones va a estar adelantadas 30° , respecto a la tensión de fase.

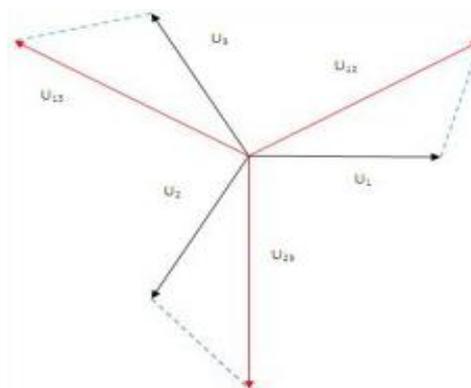


Figura 26. Desfase de tensiones, conexión estrella.
(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

CONEXIÓN TIPO DELTA

En una conexión delta, las fases o bobinas estarán conectadas de diferente manera ya que en esta fase o secuencia será un voltaje más desfasado, también podemos ver que la conexión que van a tener será diferente que la de estrella.

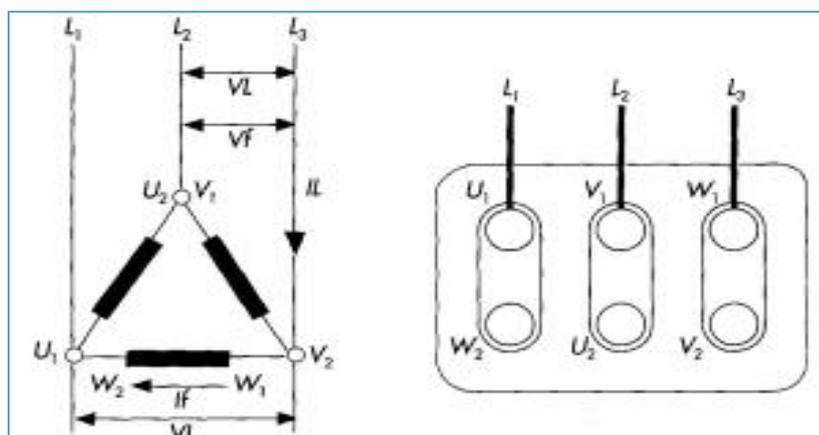


Figura 37. Esquema de conexión y placa de bornes de conexión delta
(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

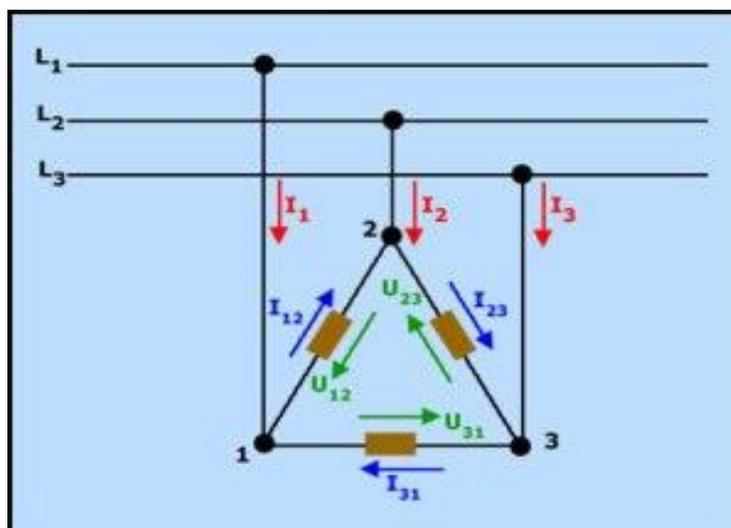


Figura 48. Conexión delta con sus intensidades y voltajes
(Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

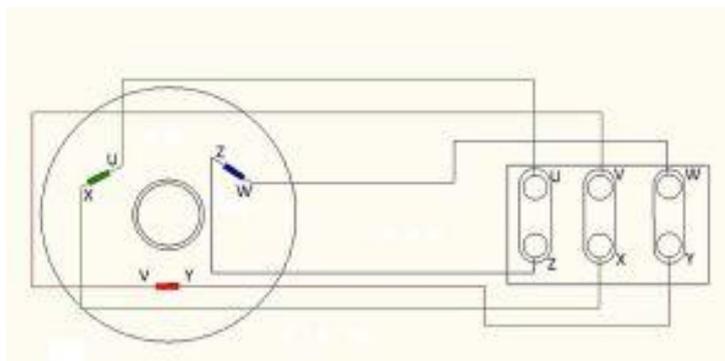


Figura 59. Conexión del arrancador delta desde motor a bornes
 (Fuente: <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>)

2.2.2.4. Simbología de máquinas eléctricas rotativas

La simbología eléctrica de las máquinas eléctricas rotativas se muestra en la sección de Anexo, ítem 1.

2.2.3. **PLC: Controlador Lógico Programable**

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de un controlador lógico programable, utilizada en la automatización industrial. Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”

2.2.3.1. Estructura general de un PLC

La estructura básica de un PLC está compuesta por los siguientes elementos:

- La CPU.
- Las interfases de entradas.
- Las interfases de salidas.

Esta estructura se puede observar en la figura siguiente:

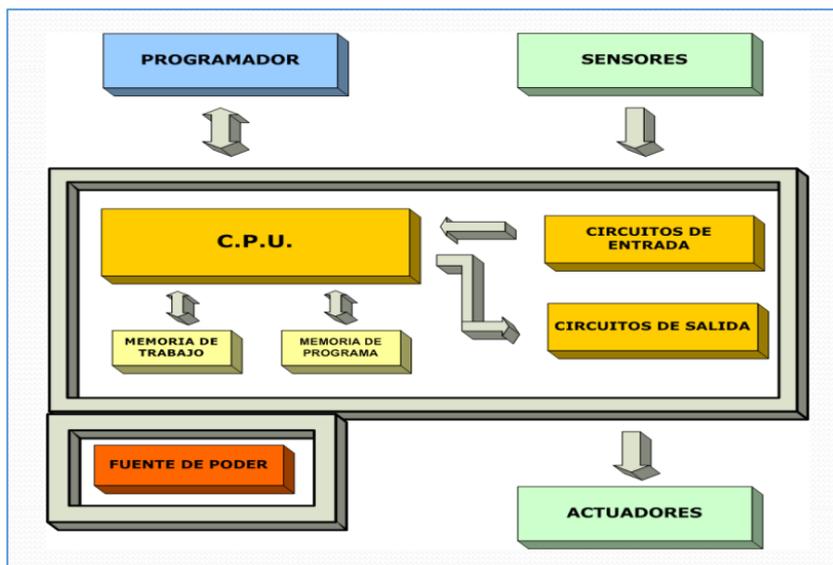


Figura 20. Estructura de un PLC

(Fuente:<http://m.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/B3n%20P.L.C.pdf>)

CPU

A la parte principal de un PLC se le denomina “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones.

La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs se produce a través de cuatro tipos de buses:

- El bus de datos, utilizado para la transferencia de datos de los componentes individuales.
- El bus de direcciones, para las transferencias entre celdas donde se habían guardado datos.
- El bus de control, para las señales de control de los componentes internos del CPU.
- El bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

MEMORIAS

Los PLCs utilizan los dispositivos electrónicos de almacenamiento denominados “memorias”, que son capaces de almacenar y eliminar información. Las memorias son miles de cientos de celdas semiconductoras donde la información puede ser almacenada. Estas celdas están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar:

Datos del Proceso:

- Señales de entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.

Datos de Control

- Instrucciones de usuario, programa.
- Configuración del autómeta.

Los diferentes tipos de memorias semiconductoras están asociadas tanto el sistema operativo como al programa de aplicación, las tablas o registros de entradas/ salidas y los registros de variables.

Existen dos tipos de memoria

- **La memoria de datos:** Es utilizada tanto para grabar datos necesarios para la ejecución del programa, así como para almacenar datos durante su ejecución y/o retenerlos luego de haber terminado la aplicación. Este tipo de dispositivos semiconductores contiene la información sobre el estado presente de los dispositivos de entrada y salida. Si un cambio ocurre en los dispositivos de E/S, ese cambio será registrado inmediatamente en esta memoria.
- **La memoria del usuario:** Es el dispositivo semiconductor utilizado para guardar el programa. El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, además debe ser fácil de leer, escribir o borrar. Se utilizan para su almacenamiento memorias semiconductoras tipo RAM, o EEPROM. A estas memorias se la llama memoria del usuario o memoria de programa.

ENTRADAS Y SALIDAS

- **Dispositivos de entrada:** Son aquellos equipos que intercambian (o envían) señales con el PLC. Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras. Entre estos dispositivos podemos encontrar: sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termoresistencias, encoders, etc.

- **Dispositivos de salida**: Son aquellos que responden a las señales que reciben del PLC, cambiando o modificando su entorno. Entre los dispositivos típicos de salida podemos hallar: contactores de motor, electroválvulas, indicadores luminosos o simples relés de contactos.

2.2.3.2. Tipos de PLCs

Debido a la gran variedad de PLCs que se encuentran en el mercado, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías:

PLC COMPACTOS

“Son aquellos que incorporan CPU, PS, módulos de entrada y salida en un único paquete. A menudo existe un número fijo de E/Ss digitales (no mayor a 30), una o dos canales de comunicación (para programar el PLC y la conexión de los buses de campo) y HMI. Además, puede haber una entrada para el contador de alta velocidad y una o dos E/Ss analógicas. Para aumentar el número de las E/Ss de una PLC compacta individual se incrementa (además) los módulos que pueden ser conectados. Estos se colocan en un paquete, similar al del mismo PLC. Estos PLCs de tipo compacto se utilizan en automoción como substitutos de los relés” **(Millor 2011)**.



Figura 21: Ejemplos de PLCs compactos.

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC MODULAR

“Es el tipo de PLC más potente y tiene más funciones que los PLC compactos. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran generalmente en paquetes separados en un riel DIN o en un riel con una forma especial y que se comunica con la CPU a través de un sistema bus. Tiene un número limitado de lugares para los módulos pero, en la mayoría de los casos, este puede aumentarse. Además, los PLCs modulares pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. Normalmente se utilizan para el control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, manipulación, comunicación, monitorización, servicios-web, etc” **(Millor 2011)**.



Figura 22. Ejemplos de PLCs modulares

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC DE TIPO MONTAJE EN RACK

“Son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se colocan los módulos del PLC. El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor” **(Millor 2011)**.

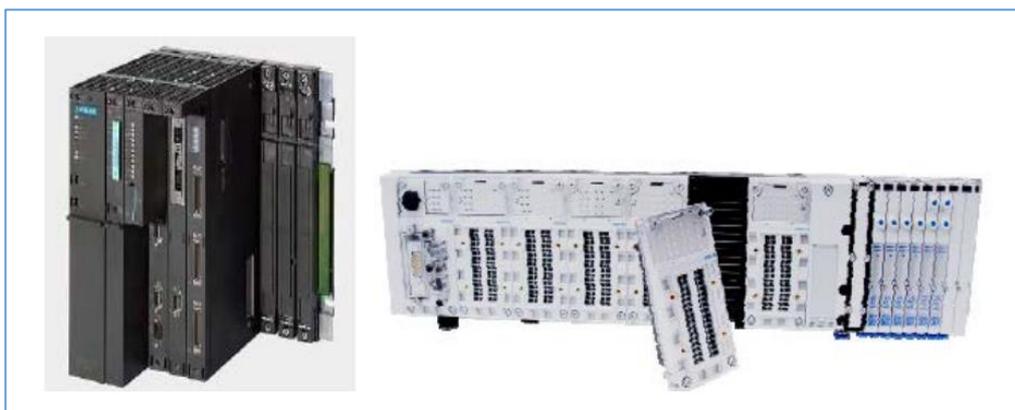


Figura 23. Ejemplos de PLCs tipo montaje de rack

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC CON PANEL OPERADOR Y CONTROLADOR LÓGICO (OPLC)

“Posee una interfaz HIM para su funcionamiento y una monitorización de los procesos automáticos y las máquinas. La HMI consiste principalmente en un monitor y un teclado o una pantalla táctil. El monitor puede ser bien de tipo texto o gráfico. La ventaja principal de este sistema respecto a un PLC con un panel operador aparte es que no es necesario programar el panel de forma separada. Toda la programación se realiza por medio de una herramienta software, lo que permite economizar los gastos del desarrollo del sistema” (Millor 2011).



Figura 24. Ejemplo de un OPLC

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC CON ORDENADOR INDUSTRIAL (PC INDUSTRIAL)

“Son aquellos que combina un PC normal y un PLC en un único sistema. La parte de PLC puede estar basada en hardware (PLC de tipo slot) o basadas en un PLC con software virtual (PLC de tipo software). Los ordenadores industriales que se utilizan son de tamaño medio y tienen una gran cantidad de aplicaciones en la automatización donde se requiere un control rápido de los procesos, así como una recopilación rápida de los datos y un intercambio con el OPC y/o el servidor SQL (estos pueden estar integrados en el PC), y existe también el requerimiento de un fácil funcionamiento y monitorización y un ciclo de vida largo. Los PCs industriales utilizan, a menudo, un bus de campo para el control de los procesos y/o maquinaria automatizada.” **(Millor 2011).**



Figura 25. Ejemplos de PLCs con ordenador industrial

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC DE TIPO DE RANURA

“Se trata de una tarjeta especial, que posee todas las funciones de cualquier CPU de un PLC normal. Se sitúa en el (en una ranura vacía de la placa base), que permite intercambiar directamente la información entre las aplicaciones-HIM del PC existente y/u otras aplicaciones software. La ranura de la tarjeta del PLC tiene por lo menos un canal de comunicación para conectar con el bus de campo (para conectar con unas entradas/salidas remotas o con otros dispositivos PLC)” **(Millor 2011).**



Figura 26. Ejemplo de PLC tipo ranura

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

PLC DE TIPO SOFTWARE

“Se trata de un PLC virtual, que trabaja en un ordenador personal. Para controlar las máquinas o procesos se utilizan los puertos de comunicación del PC (Ethernet, COM) o unas tarjetas especiales del tipo del bus del sistema (que se sitúan en el PC) que permiten realizar una comunicación remota con las entradas/salidas de otros dispositivos para la automatización. La desventaja de los PLC de este tipo es la falta de memoria individual para guardar los datos y la pérdida de los datos sobre el control de los procesos cuando se interrumpe el suministro de potencia. Además, existen ciertos riesgos de que al cambiar el OS el PLC virtual no sea compatible con el nuevo sistema“(Millor 2011).

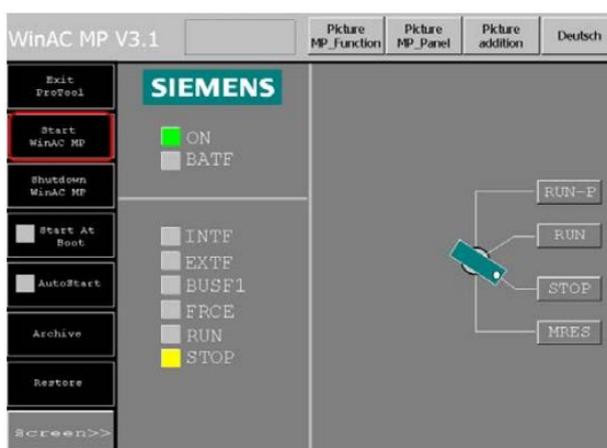


Figura 27. Ejemplo de PLC de tipo máquina virtual

(Fuente: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

2.2.3.3 Lenguajes de Programación

El estándar internacional abierto IEC 61131-3 para controladores lógicos programables

“definen 4 lenguajes de programación. Esto es, se definen su sintaxis y semántica. Los lenguajes de programación basados en este estándar son 2 de tipo textual y 2 de tipo gráfico:

TEXTUALES

- Lista de Instrucciones (Instruction List – IL)
- Texto estructurado (Structured Text – ST)

GRÁFICOS

- Diagrama de Escalera (Ladder Diagram – LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (Function Block Diagram – FBD)”

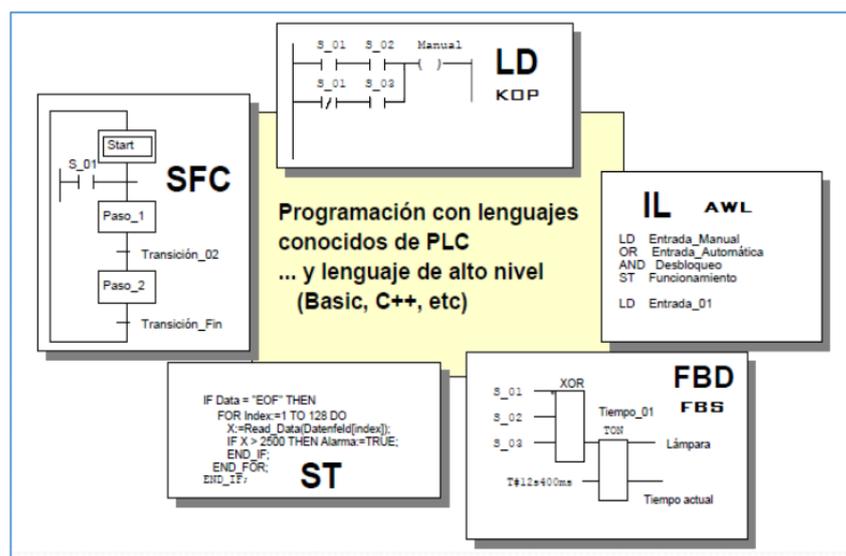


Figura 28. Los lenguajes de programación basados en el estándar IEC 61131-3
(Fuente: <http://m.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C..pdf>)

Según el estándar internacional abierto IEC 61131-3, la Figura 28 muestra

“los cuatro lenguajes de programación describen la misma parte simple de un programa. La elección del lenguaje de programación depende de:

- La formación y experiencia del programador.
- El problema que se atiende (la aplicación particular).
- El nivel de descripción del problema.
- La estructura del Sistema de Control.

- La Interfaz con otras personas o departamentos.”

Según el estándar IEC 61131-3, todos los 4 lenguajes de programación están interrelacionados y

“forman un conjunto común relacionado con la experiencia existente. De esta manera, también proporcionan una forma de comunicación a personas con diferente especialidad.

El **Diagrama de escalera** (LD) tiene sus raíces en USA. Está basado en la representación gráfica de la lógica de relevadores.

La **Lista de Instrucciones** (IL) tiene su origen en Europa y se asemeja a los programas en ensamblador.

El **Diagrama de Bloques de Función** (FBD) es común en la industria de proceso y representa el comportamiento del programa mediante un conjunto de bloques de funciones a la manera de los diagramas de circuitos de electrónica. Esto es: miran al sistema en términos de flujo de señales entre elementos de procesamiento.

El **Texto estructurado** (ST), es un lenguaje poderoso de alto nivel, con sus raíces en Ada, Pascal y C. Contiene todos los elementos esenciales de un lenguaje de programación moderno, incluyendo selección del flujo de ejecución (IF-THENELSE y CASE OF) y lazos de iteración (FOR, WHILE y REPEAT), que pueden ser anidados. Este lenguaje resulta excelente para la definición de bloques de función complejos que pueden ser usados en cualquiera de los otros lenguajes.”

2.2.3.4 Criterios para la selección de un PLC

A continuación se muestran algunos criterios que se toman en cuenta para la selección de un PLC:

- Capacidad de entradas y salidas
- Módulos funcionales (análogos, digitales, comunicación,..)
- Cantidad de programas que puede ejecutar al mismo tiempo (multitarea).
- Cantidad de contadores, temporizadores, banderas y registros.
- Lenguajes de programación.
- Capacidad de realizar conexión en red de varios PLC.
- Respaldo de la compañía fabricante del PLC, servicio y repuestos.
- Compatibilidad con equipos de otras Gamas

2.3. ANALISIS DEL DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL ELECTRONICO

Se analizó las características técnicas de los módulos de entrenamiento implementados en el laboratorio de automatización y control de la EPIE. El laboratorio cuenta con módulos de entrenamiento en el que se instalaron controladores industriales de las marcas SIEMENS y ROCKWELL AUTOMATION. A continuación se realiza un análisis a los módulos de entrenamiento existentes y su utilidad en el control de máquinas eléctricas con características de funcionamiento en tensión y corriente alterna, el laboratorio de automatización y control cuenta con los siguientes módulos de entrenamiento:

- 03 módulos de entrenamiento implementado con controladores de la marca SIEMENS modelo S7 1200, estos tienen interfaces para entradas y salidas en corriente continua. Tarjetas de entrada y salida análogas en corriente y tensión. Estos módulos no cuentan con interfaces para el control electrónico de máquinas eléctricas que soporten tensión y corriente alterna de 220 VAC.
- 03 módulos de entrenamiento implementado con controladores de la marca SIEMENS modelo S7 200, y cuentan con interfaces para entradas y salidas en corriente continua de 24 VCC. Estos módulos no cuentan con interfaces para el control electrónico de máquinas eléctricas que soporten tensión y corriente alterna de 220 VAC.
- 04 módulos de entrenamiento implementado con controladores de la marca ROCKWELL AUTOMATION modelo MICROLOGIX 1200, implementados con interfaces para entradas y salidas en corriente continua de 24VCC. El modelo MICOROLGIX 1200 si soporta el control de máquinas eléctricas a la salida en tensión y corriente alterna de 220 VAC, mas no a las entradas del controlador.
- 05 tableros para el control automático eléctrico de máquinas eléctricas. Estos si bien es cierto permiten realizar prácticas de laboratorio para el control electrónico de máquinas eléctricas, necesitan de los módulos MICROLOGIX 1200, como se afirmó que en el ítem 3.1.3 estos módulos solo permiten el accionamiento de dispositivos de tensión y corriente 220VAC a la salida.
- Del análisis realizado a los módulos de entrenamiento existentes en el laboratorio de automatización y control de la EPIE, se propone la implementación de 04 módulos de entrenamiento para el control

electrónico automático de máquinas eléctricas rotativas (motores). Que serán implementados con el controlador industrial de la marca SIEMENS, modelo 230RC, como dispositivo de control principal.

- Los módulos de entrenamiento a implementar contarán con dispositivos de maniobra y actuación con características industriales, estas características permitirán a los alumnos realizar una gran variedad experiencias de laboratorio. Diseñados para superar los inconvenientes que se presentan en la actualidad en el montaje de experiencias de laboratorio.
- Los módulos en su diseño serán implementados con el fin de que al momento de realizar las experiencias de laboratorio permitan a los alumnos realizar nuevos diseños en cuanto a configuración de cableado para los dispositivos de entrada y salida, según la aplicación a implementar.

2.4. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MODULO DE CONTROL

En el diseño de los módulos a implementar en el laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica contará con los siguientes dispositivos:

2.4.1. El controlador industrial LOGO! SIEMENS 230RC

LOGO! es el módulo lógico universal de Siemens, el cual cuenta con características particulares de interés para esta investigación:

- Control
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación
- Fuente de iluminación
- Interfaz para módulos de ampliación
- Interfaz para módulos de programación y cable PC
- Funciones básicas habituales pre-programadas
- Temporizador
- Marcas digitales y analógicas
- Entradas y salidas en función del modelo

2.4.2. Dispositivos de maniobra

2.4.2.1. Contactor

El contactor es un dispositivo electromecánico que establece o interrumpe el paso de corriente en un circuito de potencia o en un circuito de mando y está formado internamente por una bobina y unos contactos que puede estar cerrados o abiertos. A su vez están comandados por una tensión y a diferencia de los relés tienen la capacidad de soportar cargas grandes en sus contactos principales.

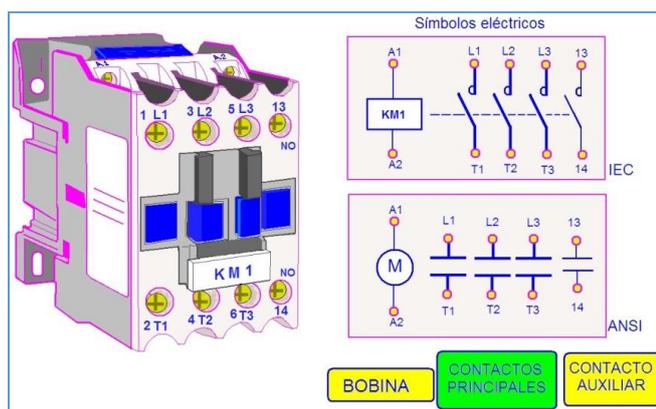


Figura 29. Contactor y símbolos eléctricos

(Fuente: <http://coparoman.blogspot.pe/2015/07/contactor-electromagnetico.html>)

2.4.2.2. Relé de sobrecarga térmico:

Es un dispositivo que sirve como elemento de protección del motor (impide que el bobinado se queme) se basa en el comportamiento del efecto Joule el cual al superar cierta temperatura las placas internas bimetálicas con sus respectivas bobinas que tienen, se abren.



Figura 30. Relé termo-magnético

(Fuente: https://www.ecured.cu/images/1/12/Rel%C3%A9_t%C3%A9rmico.JPG)

Similar a un interruptor, no sirve para abrir y cerrar el paso de la corriente eléctrica, pero accionado eléctricamente. El relé permite abrir o cerrar contactos mediante un electroimán, por ello se llaman relés electromagnéticos o relevador.

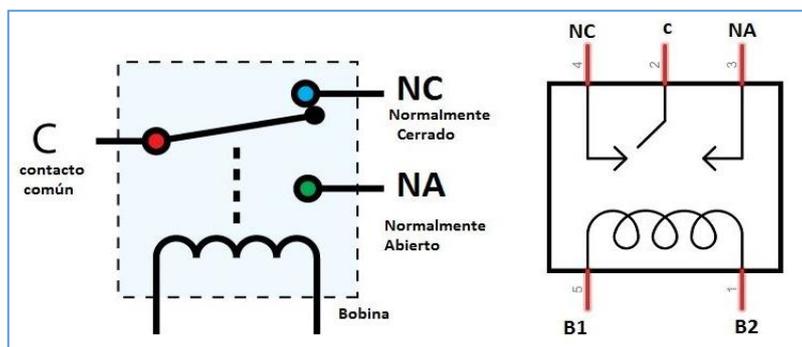


Figura 31. Relé electromagnético

(Fuente: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>)

FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ

Al inyectar un flujo de corriente por la bobina interna del relé, ésta crea un campo magnético creando un electroimán que atrae los contactos, haciendo que de esta forma se cierre el circuito.

Siempre habrá un circuito que active la bobina, llamado de control, y otro que será el circuito que activa los elementos de salida a través de los contactos, llamado circuito secundario o de fuerza.

Los relés pueden tener varios contactos de salida y estos pueden ser NA o NC.

SÍMBOLOGÍA DE RELÉS Y MANDOS ELECTROMAGNÉTICOS

Los relés son dispositivos de conmutación activados por señales. La mayoría de las veces se utiliza tensión o corriente para conmutar otras tensiones o corrientes mayores.

Los mandos electromagnéticos se activan gracias a campos generados eléctricamente.

La simbología eléctrica de ambos dispositivos se muestra en la sección de Anexo, ítem I.2.

SÍMBOLOGÍA DE RELÉS DE MEDIDA

La simbología eléctrica de los relés de medida se muestra en la sección de Anexo, ítem I.3.

SÍMBOLOGÍA DE ELECTROIMANES/ MANDO ELECTROMAGNÉTICO

La simbología eléctrica de los electroimanes y mandos electromagnéticos se muestra en la sección de Anexo, ítem I.4.

SÍMBOLOGÍA DE CONTACTOS DEL RELÉ

La simbología eléctrica de los contactos del relé se muestra en la sección de Anexo, ítem I.5.

2.4.2.3. El guardamotor

Elemento útil que garantiza la protección de los motores gracias a los dispositivos magneto-térmicos incorporados en ellos.

Estos elementos magnéticos (protección contra los cortocircuitos) tienen un umbral de disparo no regulable. Es igual a aproximadamente 13 veces la intensidad de reglaje máxima de los disparadores térmicos.

Los guardamotores se insertan en cualquier configuración gracias a su fijación mediante tornillos o mediante enganches en perfiles simétricos, asimétricos o combinados



Figura 32. Guardamotor

(fuente: <https://www.eecol.cl/productos-venta-online/1637-guardamotor-magnetotermico-mando-por-pulsador-3-polos-2432a-schneider.html>)

2.4.2.4. Interruptor termo-magnético

Interruptor magneto-térmico o llave térmica es un instrumento eléctrico que puede interrumpir la corriente eléctrica cuando los límites máximos en valores son sobrepasados y está basado en el efecto Joule por lo que cuenta con dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica conectados en serie.



Figura 33. Interruptor termo-magnético

(fuente: <http://storetech.pe/soluciones.php?idCategoria=1&idMarca=14&idSerie=24>)

2.4.2.5. Dispositivo de parada emergencia

La función de dicho dispositivo es que ante una situación adversa ya sea que pueda poner en peligro la integridad de las personas o dañar las maquinas con las cuales estaremos trabajando, reduzca el daño o los riesgos latentes. Este dispositivo tiene que activarse con una sola maniobra, por lo que contaremos con un pulsador tipo champiñón rojo con fondo amarillo (según norma EN ISO 13850) y será una medida de seguridad complementaria a las funciones de protección.



Figura 34. Pulsador de emergencia

(fuente: <http://www.eissaonline.com/equipo-contra-incendios/232-boton-de-paro-de-emergencia.html>)

2.4.2.6. Pulsadores (Caja pulsador con 2 pulsadores NA y NC)

Los pulsadores son dispositivos de accionamiento que sirven para cerrar o abrir un circuito existen 3 tipos de pulsador:



Figura 35. Botonera, pulsadores NC y NA

(fuente: <https://conelectric.cl/10596-osmbotonera-partirparar-arm-legrand-cod-ref-024230.html>)

Es un dispositivo simple con dos posiciones, encendido y apagado. Una clase de interruptor de la luz. Cuando conecta, dentro del interruptor, dos cables son unidos, lo que permite fluir a la corriente que sirve para encender los dispositivos eléctricos.

Es en definitiva un mecanismo simple, constituido por un par de contactos eléctricos que se unen o separan por medios mecánicos. En electricidad, estos falsos contactos que se originan al ser utilizados normalmente, en algunos casos producen una chispa debido a la corriente que atraviesa los contactos, provocando que quemen en parte los contactos eléctricos, lo que a la larga acaba deteriorándolos. La chispa que se produce siempre al separar los contactos, en ocasiones parece que también salta al conectarlos, eso es debido a los rebotes mecánicos que se producen al cambiar de estado.

Este fenómeno en electricidad se considera normal, sin embargo en electrónica es un verdadero nido de problemas, debido a dichos falsos contactos. Se reproducen sin control, se generan rebotes que alteran el funcionamiento de los circuitos eléctricos.

FUNCIONAMIENTO Y SIMBOLOGÍA DEL INTERRUPTOR

Funciona generalmente como interruptor eléctrico, es decir en su interior tiene dos contactos, al ser pulsado uno, se activará la función inversa de la que en ese momento este realizando, si es un dispositivo NA (normalmente abierto) será cerrado, si es un dispositivo NC (normalmente cerrado) será abierto.

La simbología eléctrica de los interruptores de medida se muestra en la sección de Anexo, ítem I.6.

2.4.3. Dispositivos de conexión

2.4.3.1. Carril DIN

También llamado Rail DIN o Riel DIN (por las normas DIN) es una barra que está hecha de diferentes tipos de aleaciones metálicas y sirve para montar diferentes dispositivos eléctricos ya sea de control y/o protección.

Se tiene diferentes tipos de Carril DIN y son los siguientes:

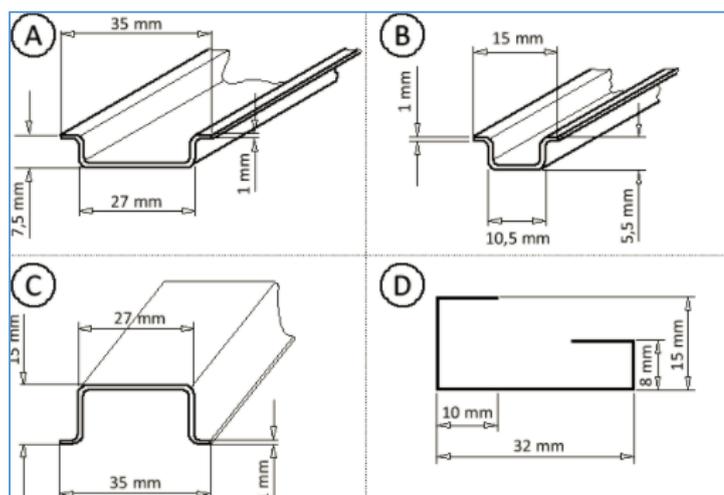


Figura 36. Tipos de riel DIN

(fuente: http://www.cablematic.com/Accesorios-para-armario-rack-19_quotes_/Adaptador-de-carril-DIN-de-3U-sin-orificio-para-armario-rack-19/?pag=22)

Para el presente trabajo de Tesis, usaremos el Carril DIN del tamaño de 35mm.



Figura 67. Riel DIN 35mm

(fuente: <https://modisel.com/es/carril-din-35mm-15m-simetrico-perforado-modisel-193.html>)

2.4.3.2. Borneras industriales:

Los bornes son elementos que podemos encontrar en diferentes circuitos eléctricos los cuales nos ayudaran a conectar los distintos dispositivos que conformen dichos circuitos. Las borneras son un conjunto de bornes que van a estar ubicados en nuestro Carril DIN que serán empleados para diversas aplicaciones según su tipo (simple, de varios pisos, con seccionador, con fusible, porta diodo y de puesta a tierra).

Para esta investigación estamos usando borneras tipo industrial:



Figura 38. Bornera industrial

(fuente: <https://pt.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=conectores-industriales&file=Carril-DIN-Bloques-y-Terminales-Bornes-de-Carril-DIN.html>)

2.4.3.3. Cable PT

Cable para puesta a tierra (siglas CPT) es un conductor de cobre flexible con su respectivo aislamiento. Tiene alta resistencia dieléctrica resistente a la humedad grasa y a cualquier condición de corrosión que pueda existir. En este proyecto usaremos cable CPT calibre 16

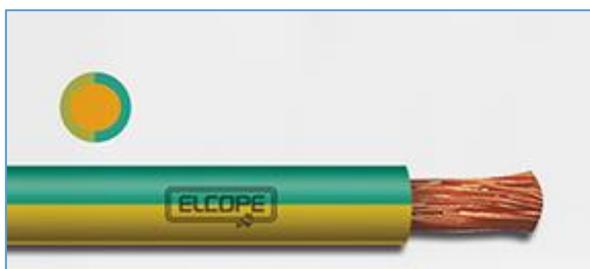


Figura 39. Cable CPT

(fuente: [https://www.lgtsolar.com/cable-para-puesta-a-tierra-\(tipo-cpt\).html](https://www.lgtsolar.com/cable-para-puesta-a-tierra-(tipo-cpt).html))

2.4.3.4. Terminales (Chaquetillas)

Son terminales para empalmarlos con el cable y tenemos de diferentes tipos:

- Horquilla
- Punta
- Redondo
- Plano/Lengüeta
- Empalme

En nuestro trabajo utilizaremos los Terminales de Punta (calibre 16) ya que son los más adecuados para introducir en los bornes.



Figura 40: Terminales tipo tubo 16

(fuente: <https://es.aliexpress.com/item/1000PCS-E2518-18-0mmx14-AWG-2-5mm2-European-tube-type-terminal-pin-type-terminal-pipe-type/32829607665.html>)

2.4.3.5. Canaleta de PVC

Las Canaletas son, como su nombre lo dice, canales por los cuales podemos pasar cables eléctricos y los usamos a modo de seguridad y de supervisión.

Tenemos dos tipos de canaletas:

- Canaleta Lisa
- Canaleta Ranurada

Esta Última nos facilita una apertura y cierre de la tapa, a su vez nos facilita la salida de cables para los determinados elementos que tendremos en los módulos de máquinas rotativas

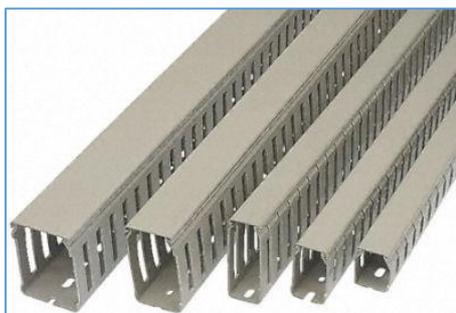


Figura 41: Canaleta PVC ranurada

(fuente: <https://telnetron.com/index.php/sv/cp-6101-canaleta-plastica-en-pvc-60x80-ranurada-tramo-2mts.html>)

2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- LOGO! : Modulo lógico universal de SIEMENS, Micro PLC.
- Menneke : Conector utilizado para sistemas de fuerza trifásico.
- ITM : Interruptor Termo Magnético
- Entrada : Entrada al circuito lógico de PLC
- Salida : Salida del circuito lógico del PLC
- NC : Normalmente cerrado
- NA : Normalmente abierto
- FUP : Programación basada en lógica "OR" "AND".

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ALCANCE

Con la presente tesis logramos implementar un sistema de control automático electrónico de máquinas eléctricas rotativas. Los que tendrán como sistema principal a los controladores lógicos programables de la marca SIEMENS y modelo LOGO.

Con este propósito se implementaron 04 módulos con las características descritas en el presente documento.

3.2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO DE TESIS

El proyecto de tesis estuvo enmarcado siguiendo los siguientes pasos:

- Se realizó el análisis en el laboratorio de automatización y control, a los controladores industriales de la marca SIEMENS modelo S7 1200, los que no cuentan con las interfases para integrar el control de máquinas eléctricas rotativas accionadas con corriente alterna.
- Se realizó el análisis a los controladores industriales ROCKWELL AUTOMATION, en particular el modelo Micrologix 1200. Estos si cuentan con puertos de salida para el control de máquinas eléctricas con tensión y corriente alterna. Más su cantidad es insuficiente para atender los cursos de especialidad de la carrera.
- El laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica cuenta con módulos de entrenamiento para el control automático eléctrico de máquinas eléctricas.
- El laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica no cuenta con módulos de entrenamiento para el control electrónico de máquinas eléctricas rotativas.
- Del análisis, se propuso implementar e instalar 04 módulos de entrenamiento para el control automático electrónico de máquinas eléctricas rotativas con características de accionamiento de tensión y corriente alterna.
- Diseñar e implementar 04 módulos de entrenamiento con características de alimentación trifásico para el control de procesos industriales y maquinas eléctricas.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tipos de Investigación

- Según el propósito : Tecnológico
- Según el nivel de conocimiento : Explicativo
- Según la naturaleza de la fuente : Teórica, experimental
- Según el tipo de información : cualitativa

3.3.2. Diseño de investigación.

- Teórico y experimental.

3.3.3. Ámbito del estudio

La implementación y desarrollo de la presente tesis se realizó en las instalaciones del laboratorio de control y automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna.

3.3.4. Diagrama de Conexión

A continuación se muestra el diagrama esquemático del Proyecto.

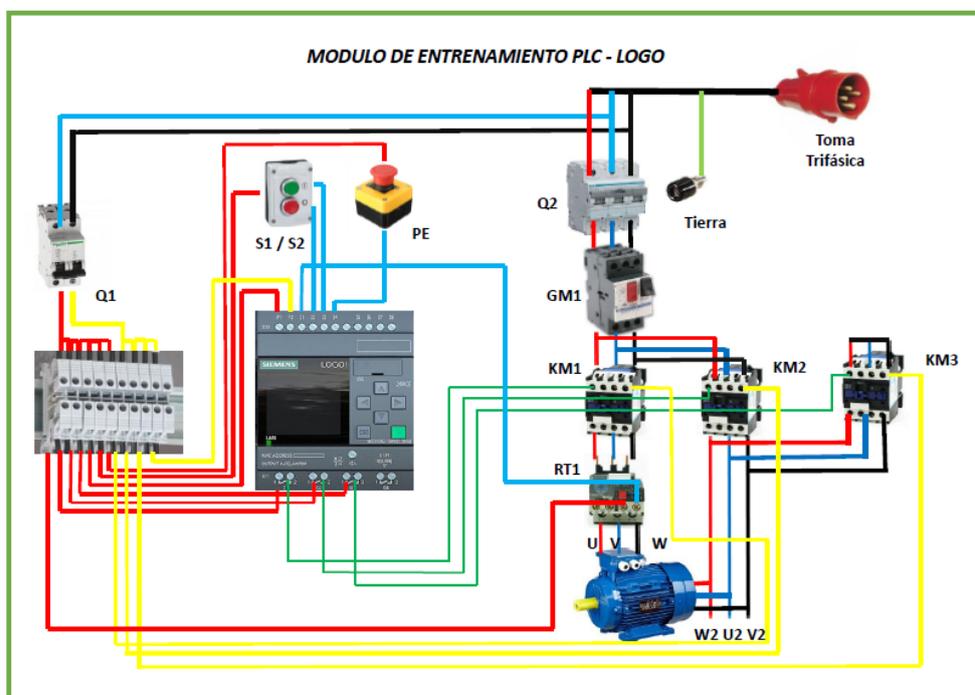


Figura 42: Esquema general de conexión
(fuente: propia)

Se completó el desarrollo de módulos de control electrónico por medio de PLC Logo Siemens para el control de máquinas rotativas eléctricas en el laboratorio de Automatización y Control de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Privada de Tacna.

CAPÍTULO IV

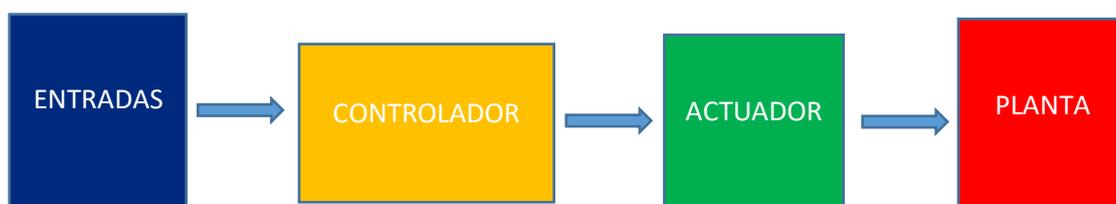
IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL POR PLC DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

El accionamiento de sistemas electromecánicos de producción en su mayoría se realiza con motores eléctricos. El arranque de los motores eléctricos en sus diferentes modalidades y potencias constituye una de las principales aplicaciones que se implementan con Controladores Programables o PLC. Los módulos a implementar obedecen en su diseño de ingeniería a un sistema de control abierto los que permitirán el control del motor y sus distintas opciones.

En total se implementaron cuatro módulos de entrenamiento:

- 03 módulos para arranque estrella - delta
- 01 módulo para inversión de giro

La técnica de control empleado para desarrollar los módulos estuvo basado en un sistema de control abierto de motores, tal como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 43: Diagrama de bloques de un sistema de control abierto de motores
(fuente: propia)**

Para cada módulo se presentará:

- Su diagrama de mando
- Su diagrama de fuerza
- Lógica de programación en LADDER
- Diagrama de programación en lenguaje FUP

4.1 MÓDULO 1: ARRANQUE ESTRELLA - DELTA

Se desarrolló el arranque típico estrella – delta el cual es extensivamente implementado para optimizar el rendimiento en motores polifásicos.

4.1.1 Diagrama de mando

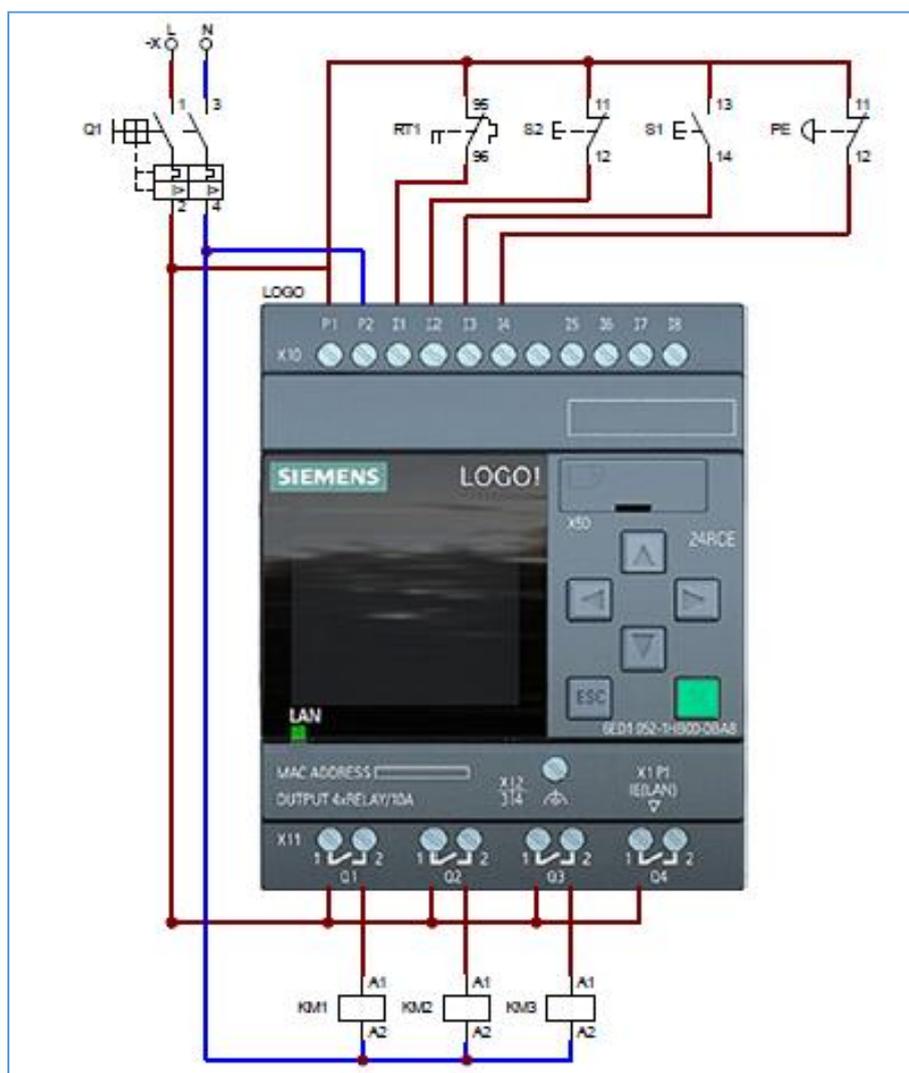


Figura 44: Diagrama de mando, arranque Estrella - Delta
(fuente: propia)

4.1.2 Diagrama de fuerza

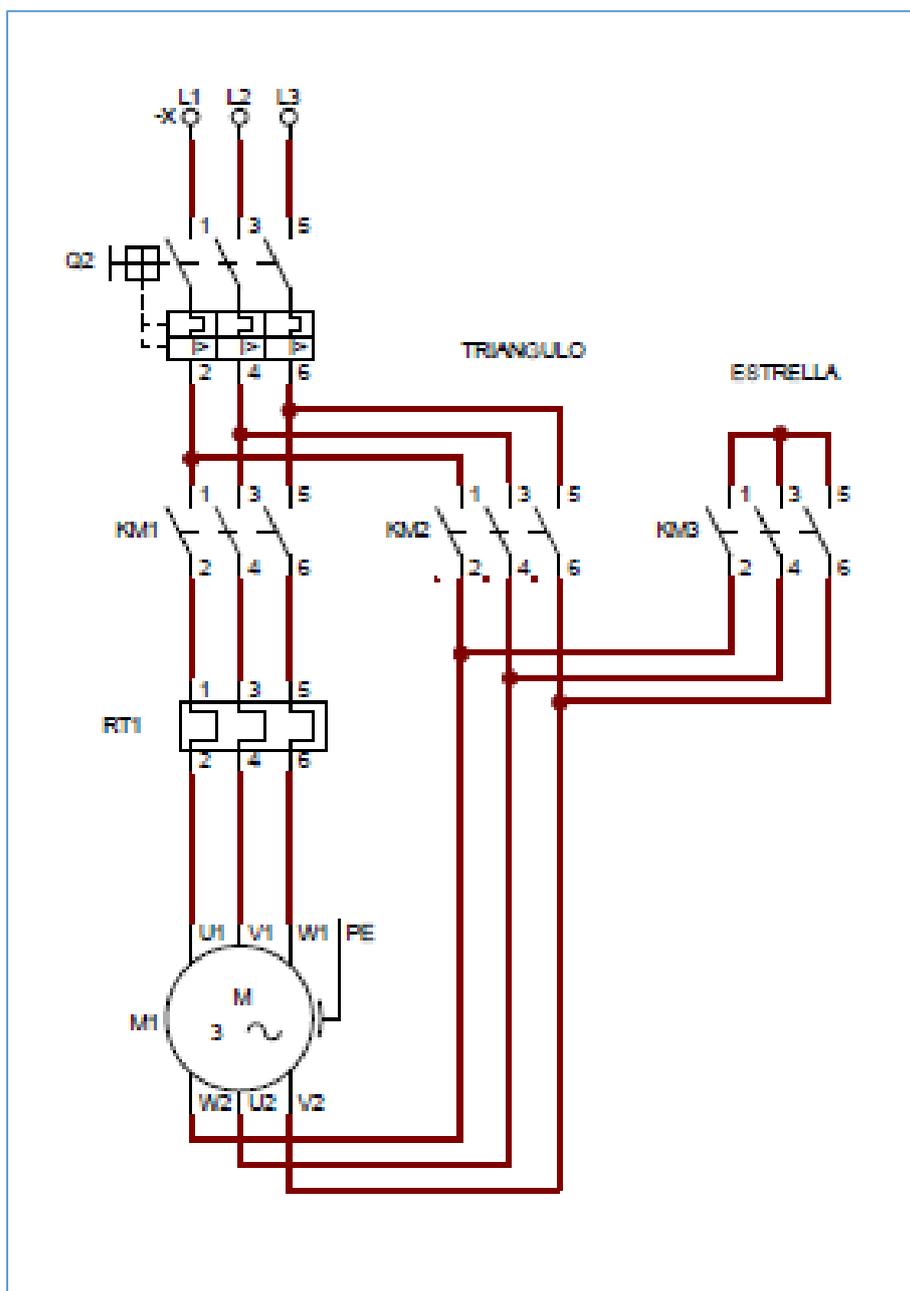


Figura 45: Diagrama de fuerza, arranque Estrella - Delta
(fuente: propia)

4.1.3 Lógica de programación en LADDER

En los módulos se implementó la lógica por medio del Software Logosoft, el lenguaje de programación es Ladder.

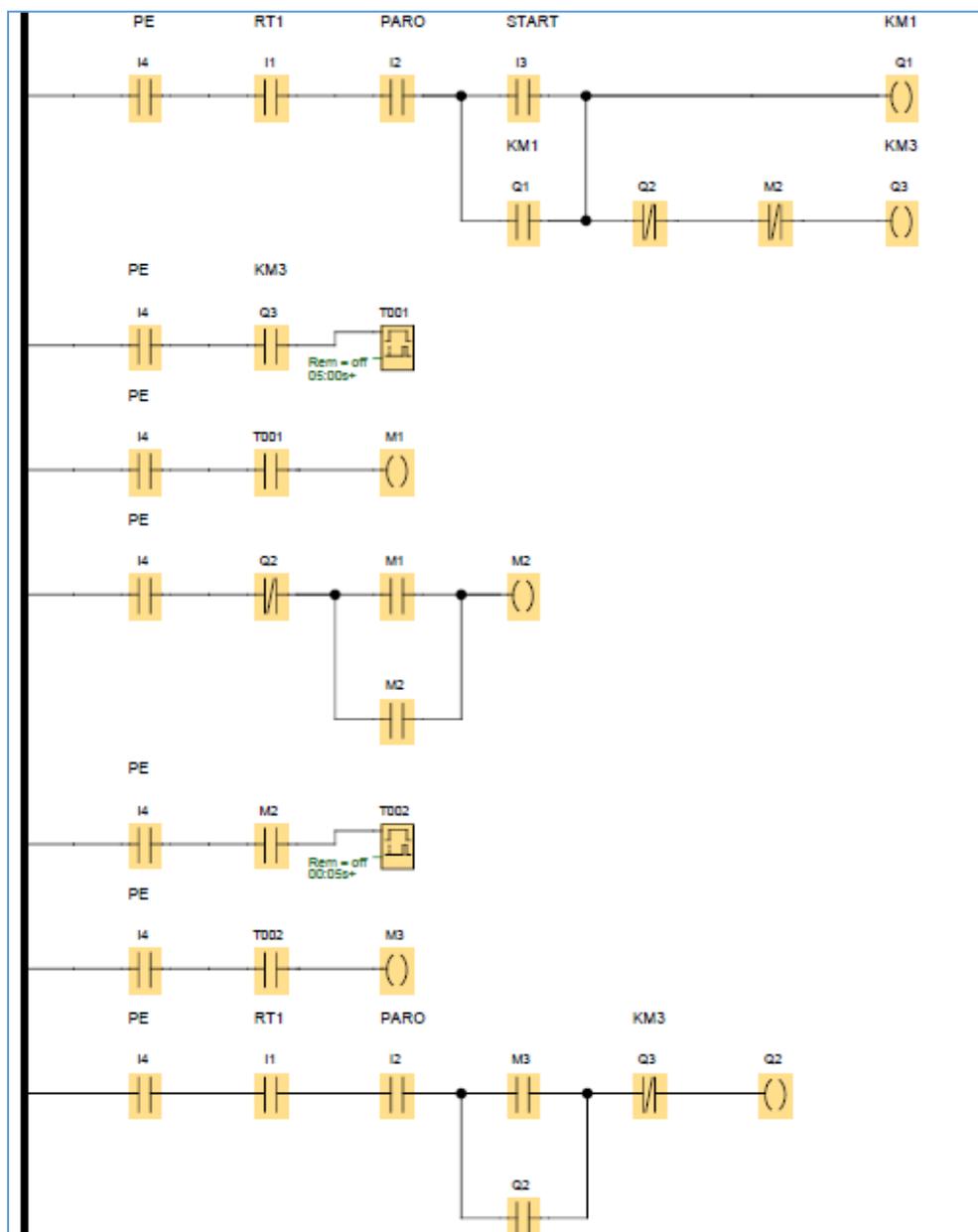


Figura 46: Lógica de programación LADDER, arranque Estrella - Delta
(fuente:propia)

4.1.4 Diagrama de programación en lenguaje FUP

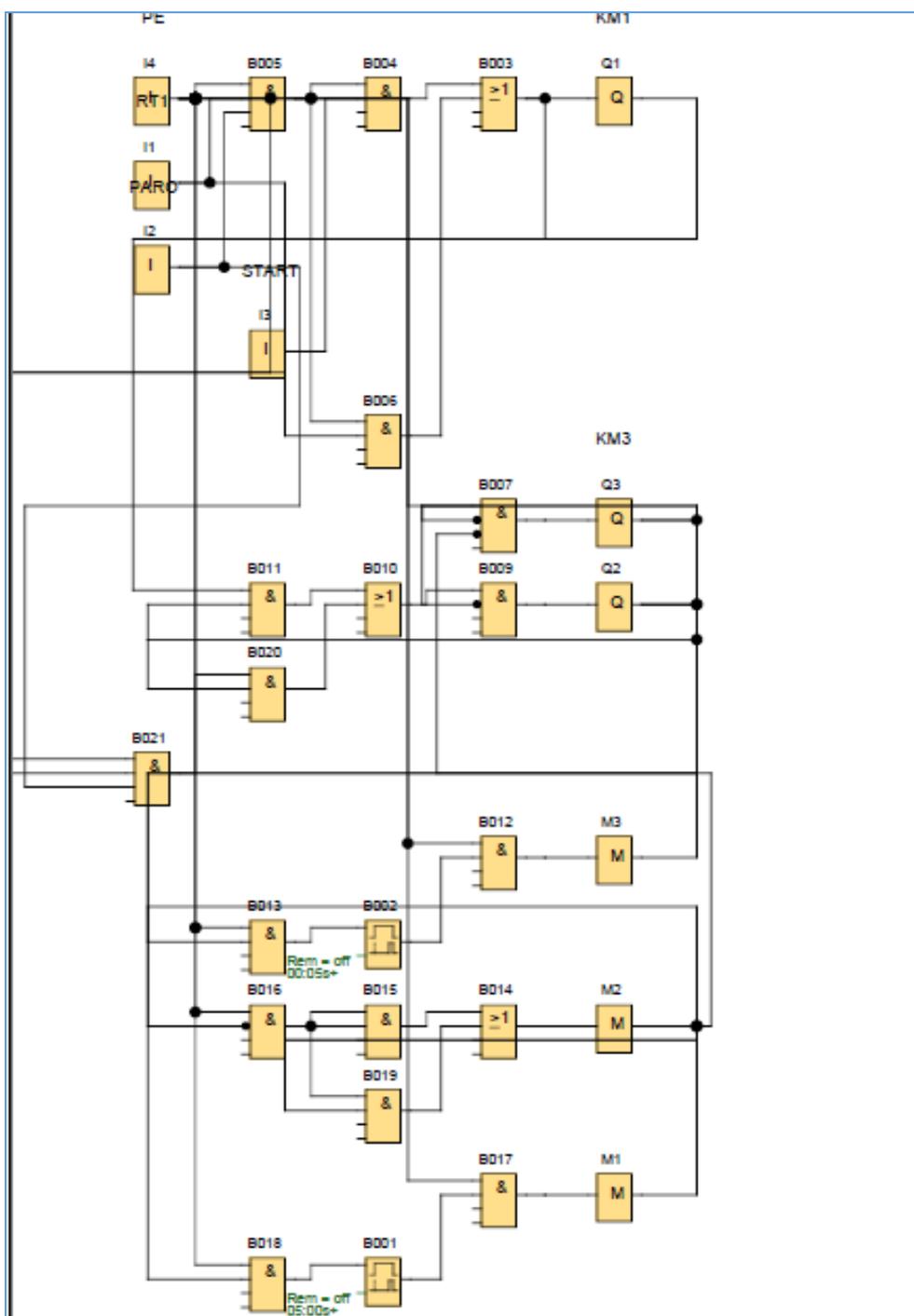


Figura 47: Diagrama de programación en lenguaje FUP, arranque Estrella - Delta (fuente: propia)

4.2 MÓDULO 2: INVERSIÓN DE GIRO, ARRANQUE TEMPORIZADO

Este módulo se utiliza para ensayar las posibilidades de programación LOGO! por medio de sus botoneritas, así como la implementación de un sistema con inversión de giro.

4.2.1 Diagrama de mando

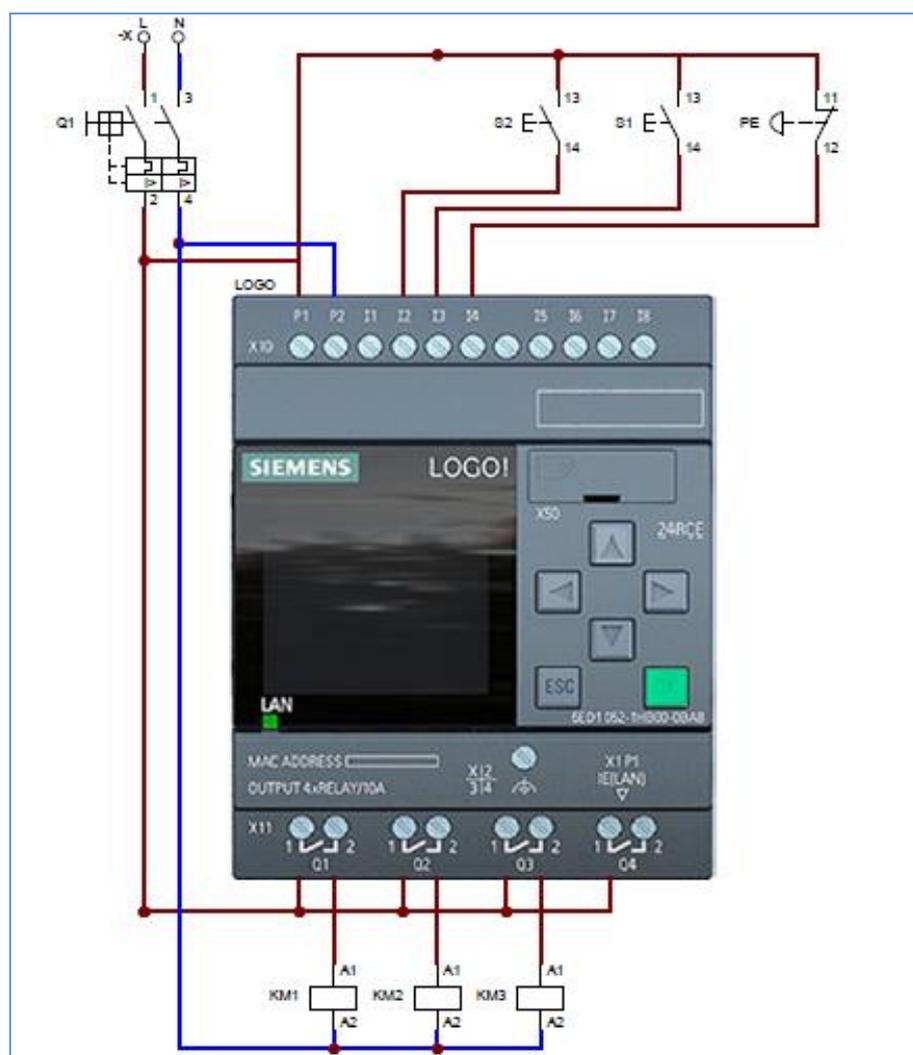


Figura 48: Diagrama de mando, inversor de giro
(fuente: propia)

4.2.2 Diagrama de fuerza

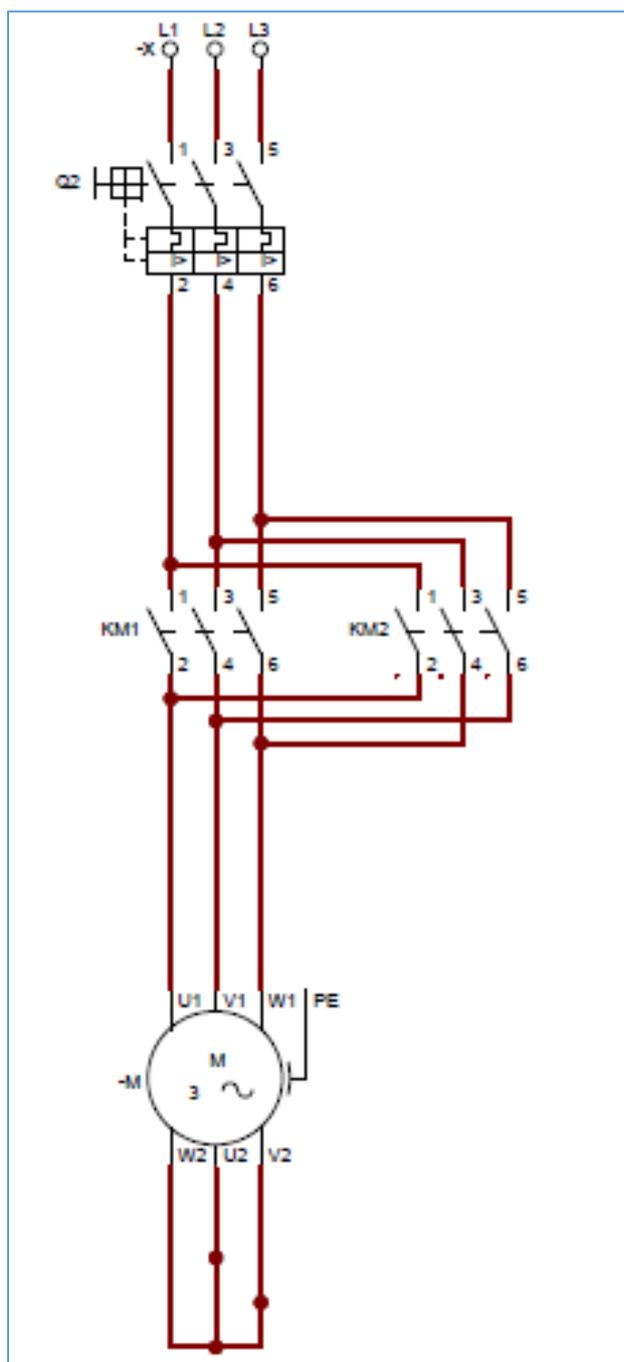


Figura 49: Diagrama eléctrico inversor de giro
(fuente: propia)

4.2.3 Lógica de Programación en LADDER

En los módulos se implementó la lógica por medio del Software Logosoft, el lenguaje de programación es Ladder. Así como la programación FUP para la implementación de forma directa en el LOGO!

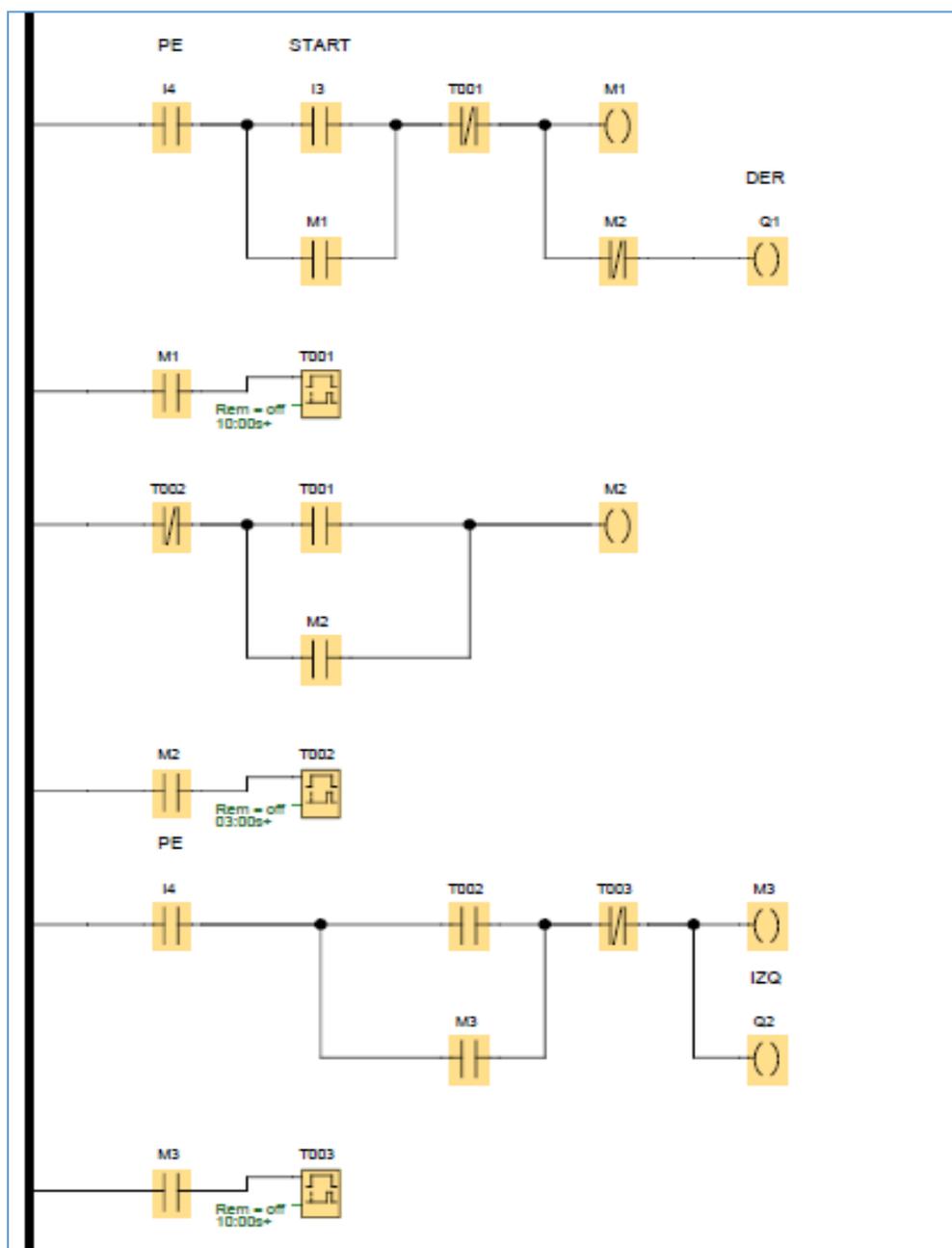


Figura 50: Lógica de programación LADDER, inversión de giro
(fuente: propia)

4.2.4 Diagrama de Programación en lenguaje FUP

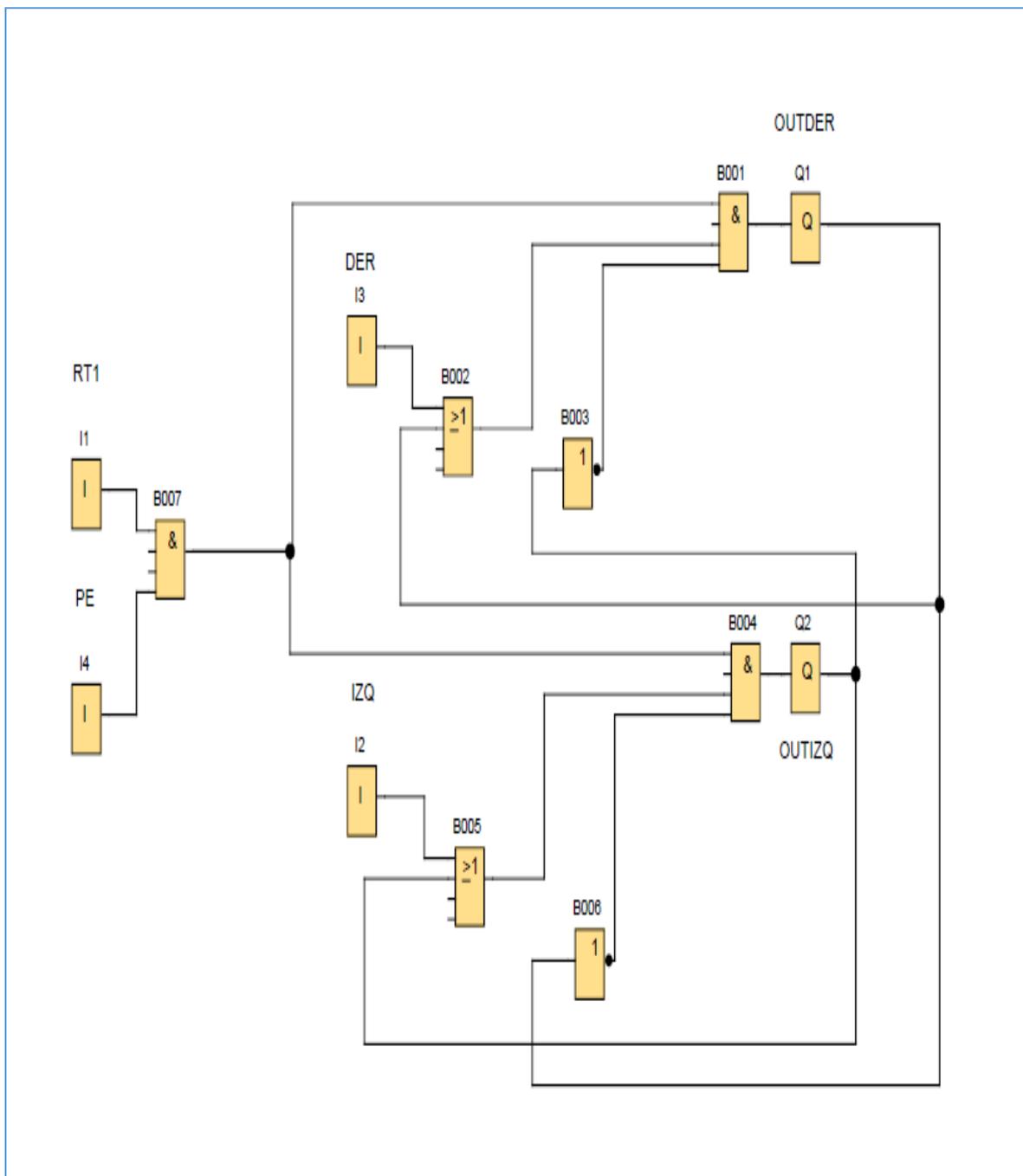


Figura 51: Diagrama de programación en lenguaje FUP, inversión de giro (fuente: propia)

4.3 PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

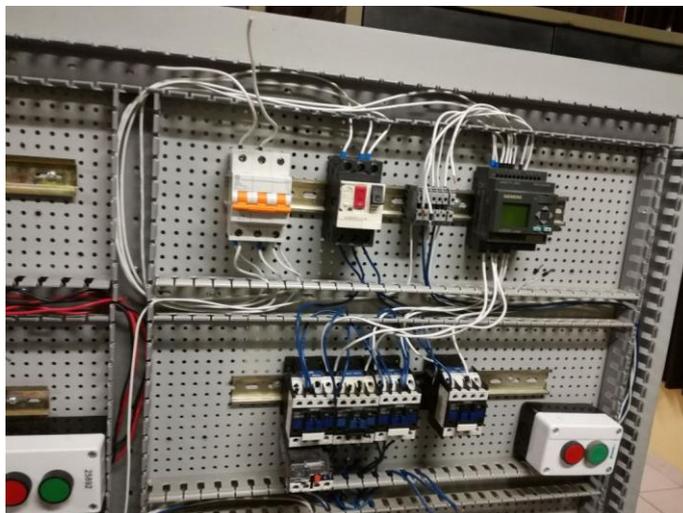


Figura 52: Cableado de módulos LOGO!
(fuente: propia)

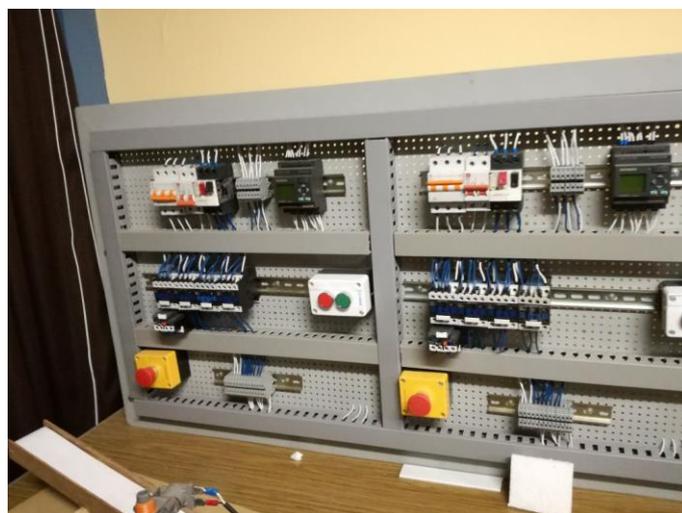
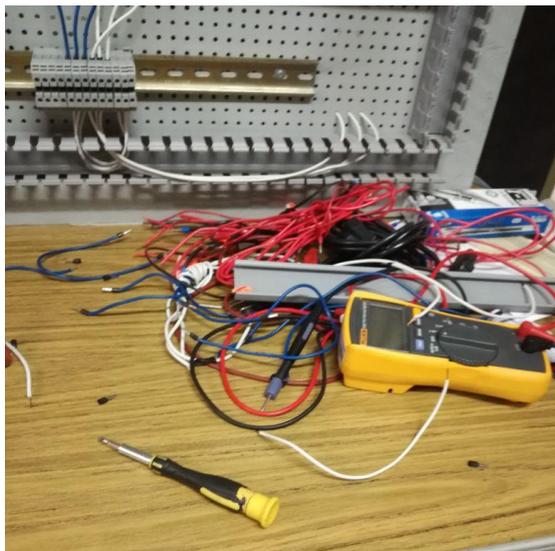
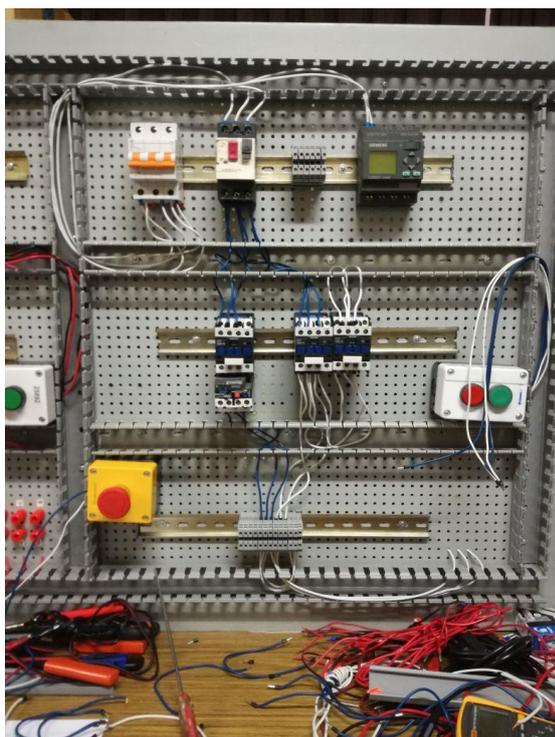


Figura 53: Módulo LOGO I y II
(fuente: propia)



**Figura 56: Cableado en canaleta ranurada
(fuente: propia)**



**Figura 57: Cableado en botonera NC y NA
(fuente: propia)**

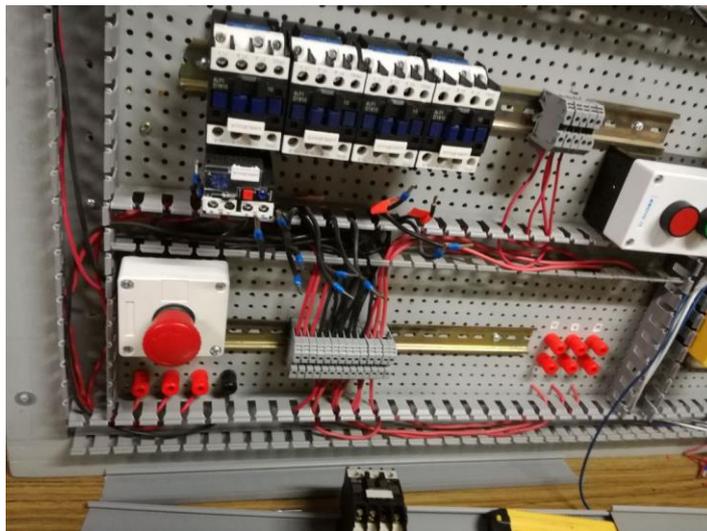


Figura 58: Implementación de contactores en Módulo LOGO!
(fuente: propia)

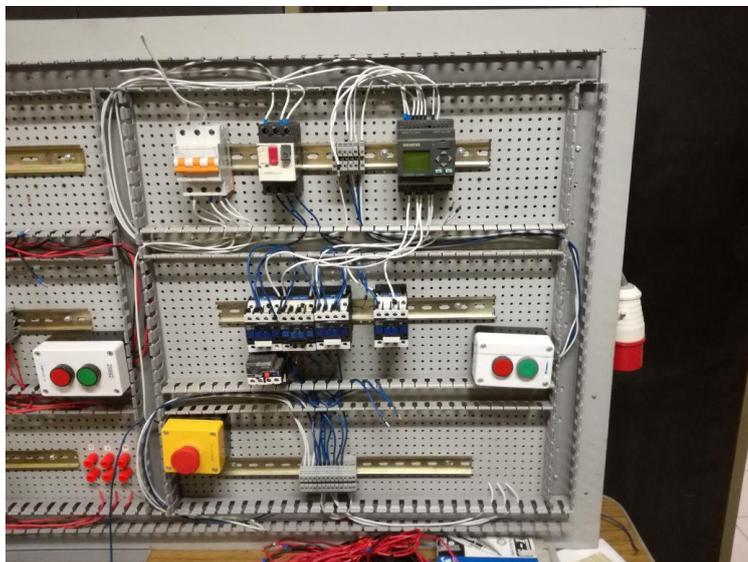
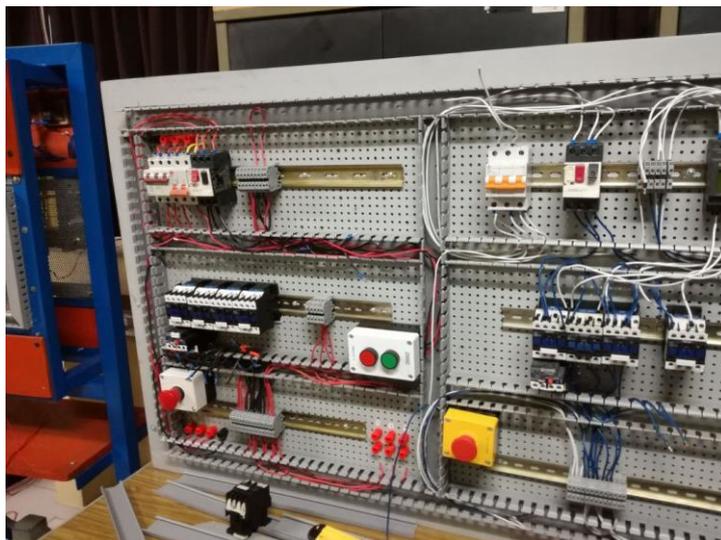


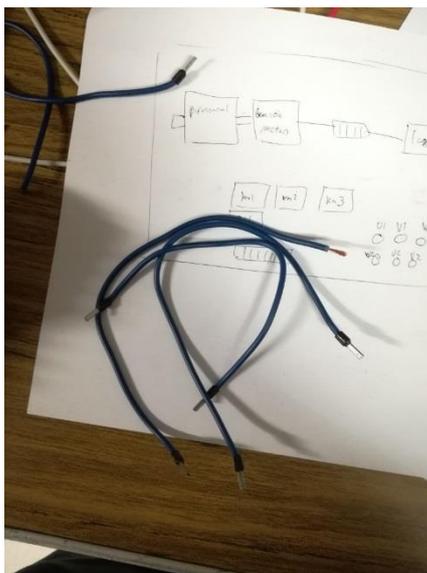
Figura 59: Implementación de Módulo LOGO!
(fuente: propia)



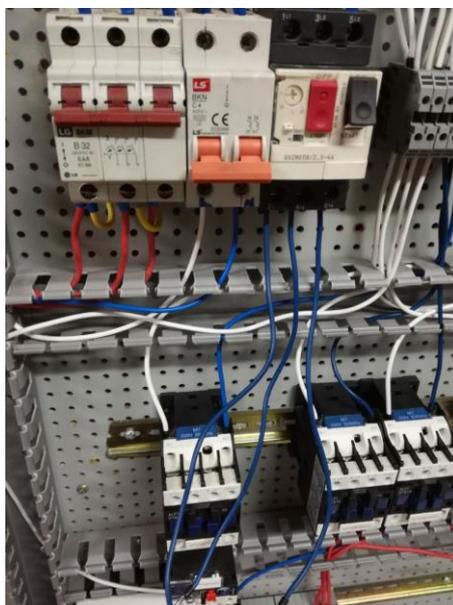
**Figura 60: Pruebas de marcha Módulo LOGO! I y II
(fuente: propia)**



**Figura 61: Conexión a conectores tipo banana
(fuente: propia)**



**Figura 62: Preparación de cable CPT, con terminales de 16mm
(fuente: propia)**



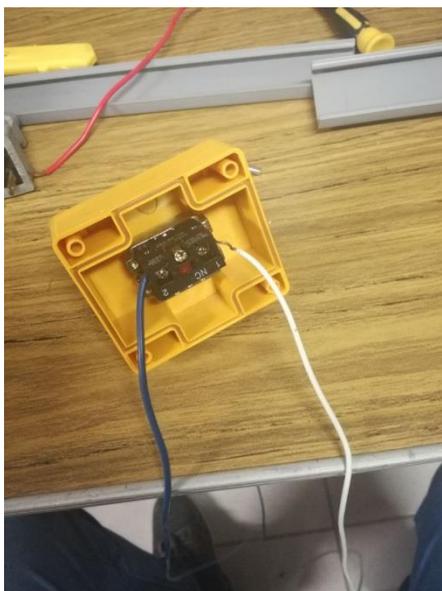
**Figura 63: Conexión del guardamotor Schneider
(fuente: propia)**



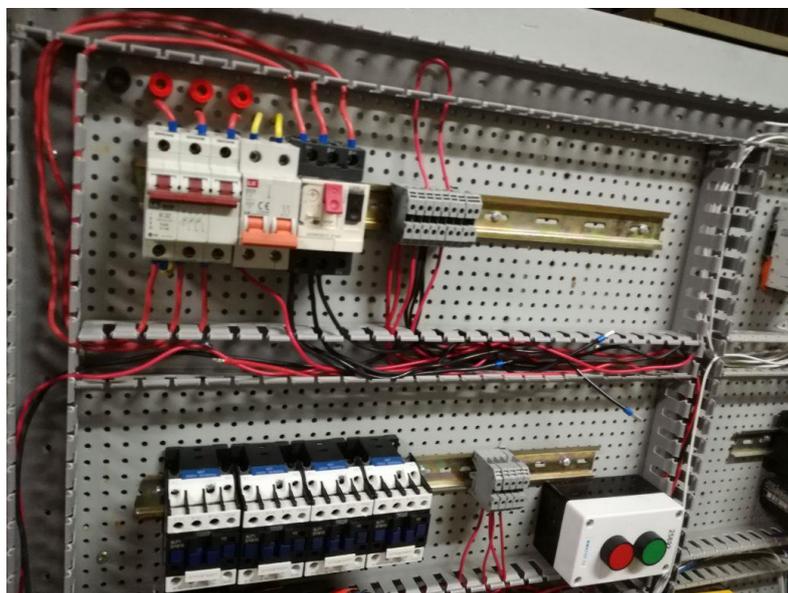
Figura 64: Módulo en construcción
(fuente: propia)



Figura 65: Herramientas para preparación de cables
(fuente: propia)



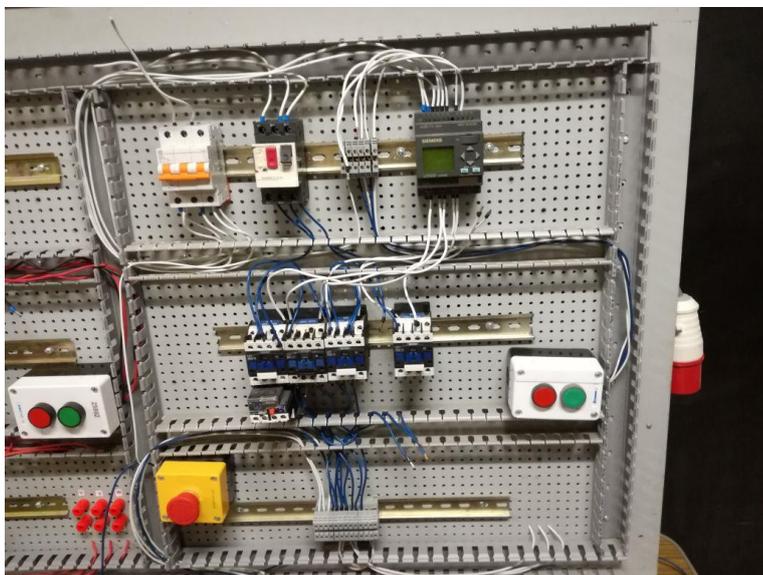
**Figura 66: Conexión a botón de emergencia tipo hongo
(fuente: propia)**



**Figura 67: Implementación cableada Módulo LOGO! I
(fuente: propia)**



**Figura 68: Conexión suministro eléctrico Módulo LOGO! III y IV
(fuente: propia)**



**Figura 69: Punteo de ITM de Módulo I y II
(fuente: propia)**

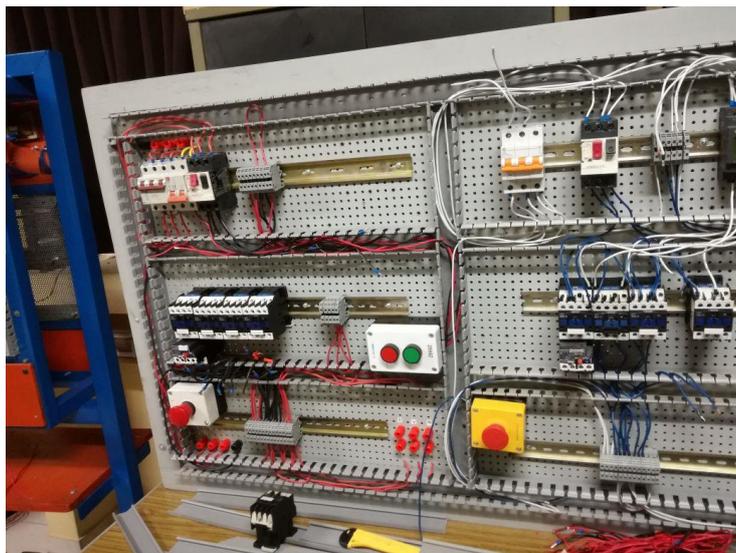


Figura 70: Implementación de PLC en Módulo I
(fuente: propia)

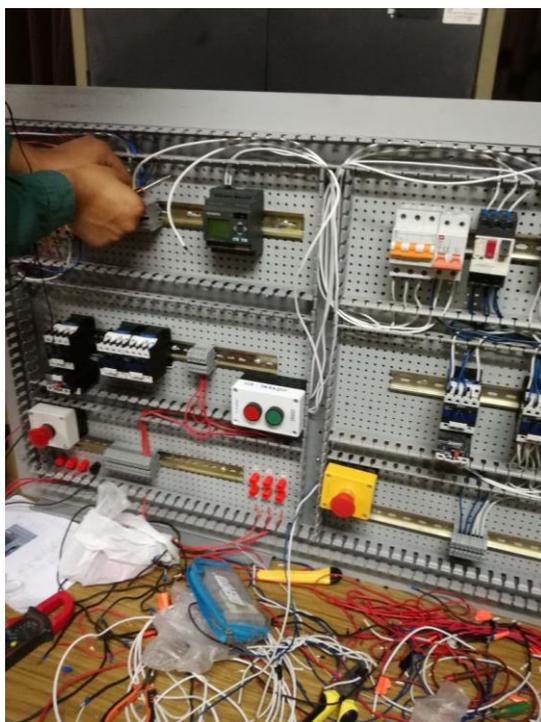
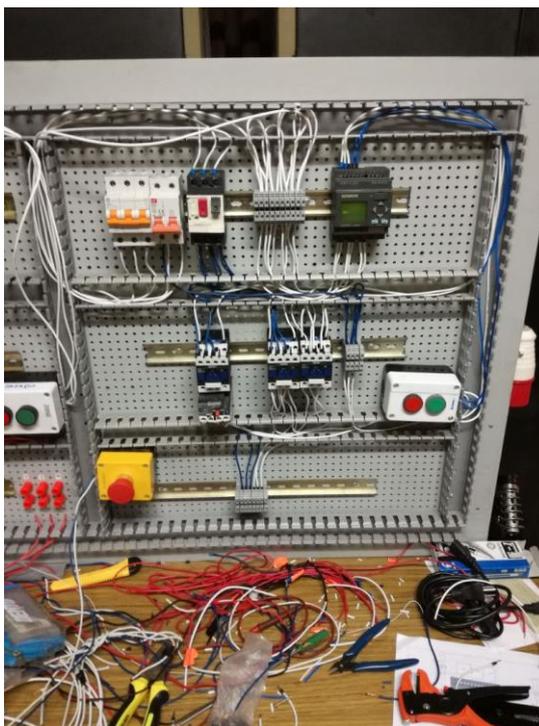
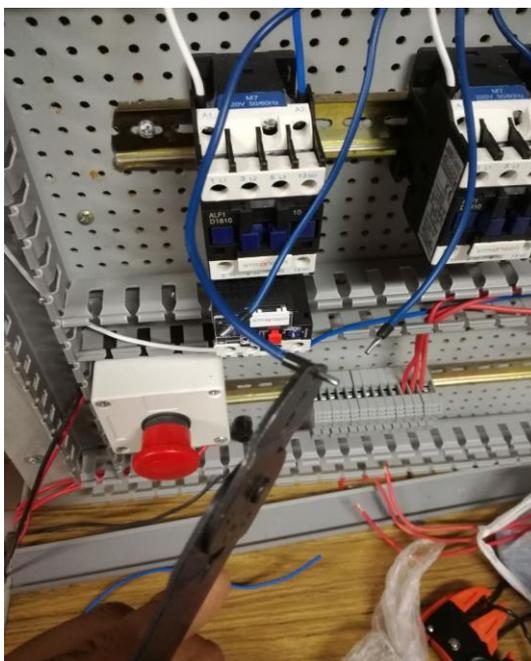


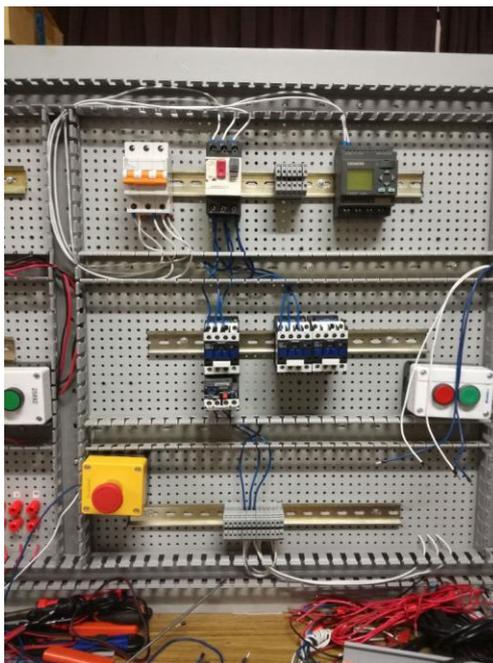
Figura 71: Cableado de PLC LOGO! módulo III
(fuente: propia)



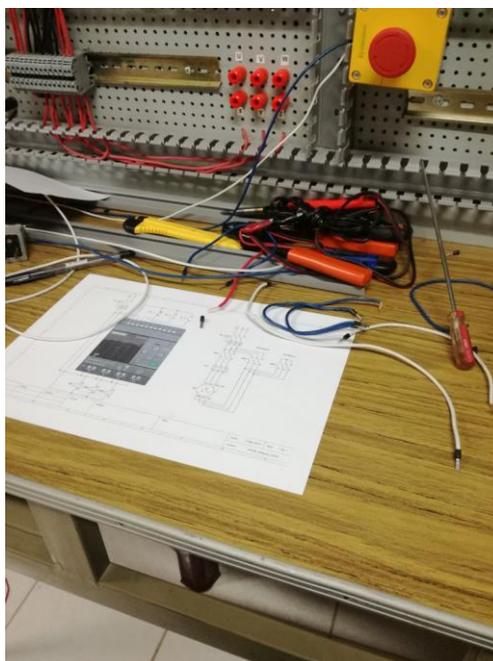
**Figura 72: Implementación de bornera industrial en módulo II
(fuente: propia)**



**Figura 73: Implementación de contactores en módulo III
(fuente: propia)**



**Figura 74: Conexión de relé térmico y botón NC y NA
(fuente: propia)**



**Figura 75: Cableado final de módulos III y IV
(fuente: propia)**

4.4 PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LOS MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO

A continuación se muestran las imágenes de los módulos de entrenamiento terminados, a los cuáles se le realizó las pruebas de operatividad de cada aplicación.

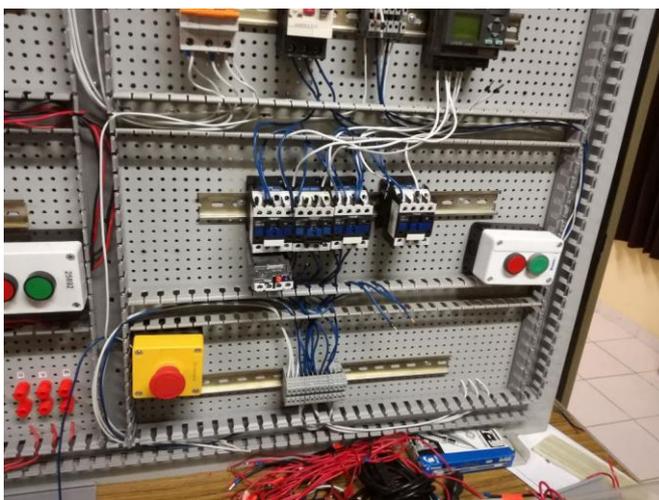


Figura 76: Módulo de entrenamiento arranque estrella-delta.
(fuente: propia)

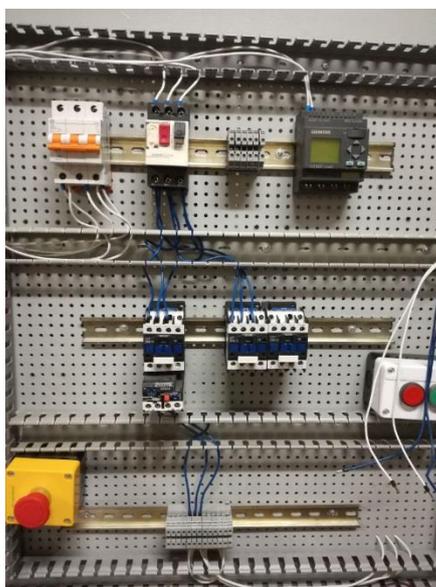


Figura 77: Módulo de entrenamiento inversión de giro.
(fuente: propia)

4.4.1 Evaluación de la operatividad de los módulos de entrenamiento

- Al momento de implementar el módulo hemos podido darnos cuenta que nos faltaban elementos de conexión por lo que hemos tenido que complementar con ciertos dispositivos.
- El modo de alimentación de los LOGO! en la presente investigación es de 230 voltios, no se hizo énfasis en la alimentación de 12v DC y 24v DC.
- Al armar el módulo de inversión de giro nos damos cuenta que si conectamos el relé térmico tendríamos mucha cantidad de conexiones. Por lo que se analizó la necesidad de tener un relé térmico para este módulo en específico y se llegó a la conclusión de que no se requiere ya que la exigencia de los motores en el laboratorio no supondrían un riesgo a los mismos.
- Al probar la botonera del PLC LOGO! nos damos cuenta de que si ya tenemos un programa en dicho PLC puede ser modificado mediante lenguaje de programación FUP.
- Nos damos cuenta que los módulos son funcionales y están a disposición de la imaginación del estudiante y/o docente ya que dependiendo de la aplicación que quieran darle solo es necesario cambiar la programación y adecuar las conexiones.
- Las dos aplicaciones de arranques (estrella-delta e inversión de giro) funcionan.
- La programación mediante la botonera en formato FUP para la aplicación de arranque (encendido) funciona.
- Tenemos 4 módulos operativos y con probabilidades de ser formateados para dar otro tipo de aplicaciones.

CONCLUSIONES

- Se concretó el diseño e implementación de los módulos con PLC LOGO! Siemens, de acuerdo al objetivo propuesto.
- Se verificó la operatividad de los 04 módulos de entrenamiento para el control automático electrónico de máquinas eléctricas, lo que permitirá que la carrera de ingeniería electrónica de la Universidad Privada de Tacna esté en condiciones de complementar la formación teórico práctico de los alumnos de pregrado en la especialidad de automatización y control de procesos industriales.
- Se ha mejorado las prestaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la carrera de ingeniería electrónica, mediante la integración de módulos de entrenamiento para el control de máquinas eléctricas con características de alimentación alterna.
- El desarrollo de experiencias de laboratorio con los módulos de entrenamiento, permitió verificar la facilidad en la configuración, programación y la operación de procesos de planteados.
- Se implementó el arranque delta estrella, ampliamente utilizado en la industria, como ejemplo principal demostrando la versatilidad de los dispositivos. Al utilizar el programa de la aplicación en lenguaje LADDER se pudo modificar cualquier instrucción al instante, ya que el PLC LOGO lo compila como formato FUP el cual podrá ser modificado en pantalla con la botonera.

RECOMENDACIONES

- Poner en práctica los conocimientos del LOGO! para otras aplicaciones que no sean máquinas rotativas.
- La presente tesis no considera los módulos adicionales LOGO! Los cuales prestan otras características que pueden ser de interés en futuras investigaciones
- Es necesario que la operación y configuración de los módulos de entrenamiento sea realizado por personal calificado.
- Si bien es cierto los dispositivos tienen características industriales, lo que garantiza robustez en cuanto a su funcionamiento, la mala operación de estos puede llevar a disminuir el tiempo de servicio de estos dispositivos.
- Queda pendiente también el uso de entradas analógicas para sistema de control en tiempo real, que en este diseño no considera, sin embargo pueden ser objeto de desarrollo e implementación posterior.
- La conexión de alimentación realizada a los LOGO!, considera una entrada de 230RCO, no se trabajó con sistema de alimentación a 12RC, por lo que el apartado también queda abierto a posibles desarrollos adicionales.
- Si tenemos una programación hecha en LADDER y cargada en el PLC se podría modificar mediante botonera para ver que limitaciones podría tener el presente módulo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Área Tecnología.** (2009). *“Relés”*.
Extraído el 15 de setiembre del 2017 desde <http://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>
2. **Área Tecnología.** (2009). *“Contactor”*. 2018, de Área de Tecnología.
Extraído el 15 de setiembre del 2017 desde <http://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>
3. **Biblioteca de la Universidad de Zaragoza.** Estilo APA: Cómo se redactan las referencias bibliográficas.
Extraído el 03 de Febrero del 2018 desde https://biblioteca.unizar.es/sites/biblioteca.unizar.es/files/documentos/estilo_apa_resumen.pdf
4. **Búa, M. T.** (Mayo 12, 2014). *“Elementos de maniobra y control”* de la Junta de Galicia, Consejería de Cultura, Educación y Ordenación Universitaria.
Extraído el 10 de Julio del 2017 desde https://www.edu.xunta.gal/centros/espazoAbalar/aulavirtual2/pluginfile.php/346/mod_resource/content/1/10_paquetes/Paquetes_web/6_electricidad/314_elementos_de_maniobra_y_control.html
5. **Centro Tecnológico Ucampus.** (2010). *“Máquinas eléctricas rotativas”*. 2018, de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
Extraído el 10 de Agosto del 2017 desde https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EL3003/1/material_docente/bajar?id_material=279040
Máquinas Eléctricas Rotativas
6. **E-DUCATIVA CATEDU.** (2016). *“Máquinas eléctricas rotativas. Conceptos básicos”*. de Plataforma e-ducative aragonea.
Extraído el 10 de Agosto del 2017 desde http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3016/html/21_introduccion.html
7. **García, V.** (Noviembre 13, 2010). *“Electrónica Práctica y Aplicada-Pulsadores”*. 2018, de Diario Electrónico Hoy.

Extraído el 22 de Julio del 2017 desde <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/pulsadores-sin-rebotes>

8. **Guzmán, C. & Esquivés, J.** (Abril, 2013). *“Diseño e Implementación de módulos de PLC básico para controlar Motores Eléctricos para el Laboratorio de Automatización y Control de la EPIE”*, Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
9. **Infoplac** (Febrero 2013). *“Introducción al estándar IEC 61131-3”*.
Extraído el 18 de Enero del 2018 desde http://www.infoplac.net/files/documentacion/estandar_programacion/infoPLC_net_Intro_estandar_IEC_61131-3.pdf
10. **Micro-automación** (2011). *“Curso 061: Controlador Lógico Programable (PLC)”*.
Extraído el 14 de Enero del 2018 desde <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>
11. **Millor N.** (2011). *“Controladores Lógicos Programables (PLCs)”*. UNED, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control.
Extraído el 11 de Enero del 2018 desde http://www.ieec.uned.es/investigacion/ipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf
12. **Molinero, A.** (1998). *“Símbolo de relés, electroimanes”*. 2018, de Símbolos Eléctricos & Electrónicos (S.E&E).
Extraído el 03 de Agosto del 2017 desde http://www.simbologiaelectronica.com/archivos_graficos_electronica/simbolos_pdf/Reles,%20electroimanes.pdf
13. **Molinero, A.** (1998). *“Símbolo de relés de Relés y Mandos Electromagnéticos”*. de Símbolos Eléctricos & Electrónicos (S.E&E).
Extraído el 03 de Agosto del 2017 desde <http://www.simbologiaelectronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>
14. **Motorex.** (Agosto 10, 2017). *“Motores eléctricos”*. 2018, de MOTOREX
Extraído el 10 de Agosto del 2017 desde <http://www.motorex.com.pe/blog/motor-electrico-monofasico-trifasico/>

- 15. Román P.** (Julio 5, 2015). "*Contactador electromagnético*", 2018, de Coparoman.
Extraído el 12 de Agosto del 2017 desde <http://www.coparoman.blogspot.pe/2015/07/contactador-electro-magnetico.html>
- 16. Unidad Educativa Técnico Salesiano.** (2009). "*Conexión estrella-triángulo*".
Extraído el 18 de Agosto del 2017 desde <https://automatismosuets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>

ANEXO I

SIMBOLOGÍA DE LOS COMPONENTES

ELÉCTRICOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

I.1 SIMBOLOGÍA DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

A continuación se muestran los símbolos de las máquinas eléctricas rotativas.

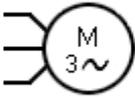
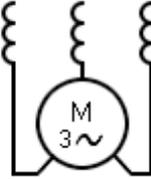
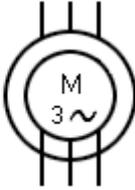
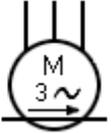
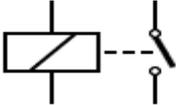
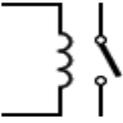
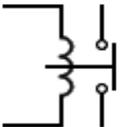
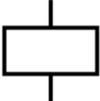
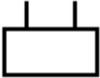
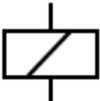
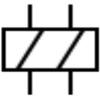
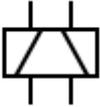
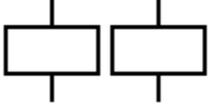
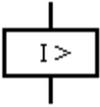
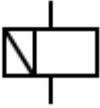
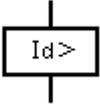
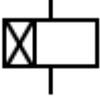
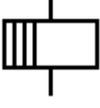
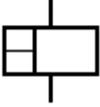
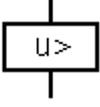
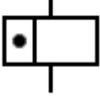
SIMBOLO	DESCRIPCION
	<p>Motor eléctrico trifásico Símbolo genérico</p>
	<p>Motor trifásico</p>
	<p>Motor serie trifásico</p>
	<p>Motor trifásico de conexión en estrella y con arranque automático</p>
	<p>Motor trifásico con rotor devanado</p>
	<p>Motor lineal trifásico con giro en un solo sentido</p>

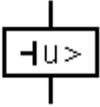
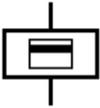
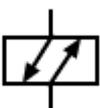
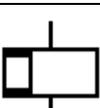
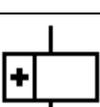
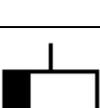
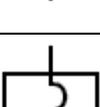
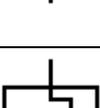
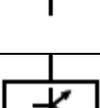
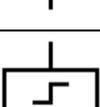
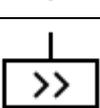
Figura 78. Simbología de máquinas eléctricas rotativas
(Fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-motores-electricos.htm>)

I.2 SÍMBOLOGÍA DE RELÉS Y MANDOS ELECTROMAGNÉTICOS

A continuación se muestran los símbolos de relés y mandos electromagnéticos.

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Relé / mando electro- magnético. Bobina e interruptor.
	Relé / mando electromagnético Bobina e interruptor
	Relé / mando electromagnético Bobina y conmutador
	Relé / mando electromagnético Bobina y pulsador
	Relé / Bobina Símbolo genérico
	Relé / Bobina
	Relé / Bobina
	Relé doble bobinado

	Relé doble bobinado
	Relé de dos bobinados operativos en sentido opuesto
	Relé doble bobinado
	Relé de máxima corriente
	Relé de desactivación rápida
	Relé de corriente diferencial
	Relé lento a la excitación Efecto retardado a la conexión
	Relé de desactivación lenta
	Relé de alta velocidad, tanto a la conexión como a la desconexión
	Relé de máxima tensión
	Relé rápido

	Relé accionamiento por tensión defectuosa
	Relé accionado por tarjeta
	Relé no afectado por la corriente alterna
	Relé diferencial
	Relé polarizado
	Relé polarizado magnéticamente
	Relé de efecto retardado a la desconexión
	Relé electromagnético
	Termo-relé - Termostato
	Relé electrónico
	Relé de paso a paso o impulsos
	Relé de mando a distancia por radiofrecuencia

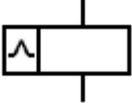
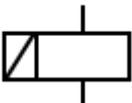
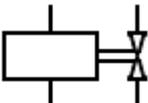
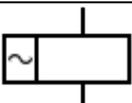
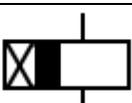
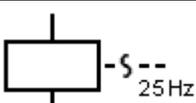
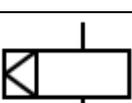
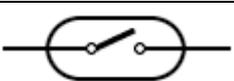
	Relé de impulsos
	Relé de remanente
	Electroválvula
	Relé de corriente alterna
	Relé de reposo con funcionamiento retardado
	Relé de resonancia mecánica Ejemplo: 25 Hz
	Telerruptor Relé de enclavamiento mecánico
	Relé de láminas - Reed

Figura 79. Símbolos de relés y mandos electromagnéticos
(Fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>)

I.3 SÍMBOLOGÍA DE RELÉS DE MEDIDA

A continuación se muestran los símbolos de Relés de Medida

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Relé de máxima tensión
	Relé de mínima tensión
	Relé de baja impedancia
	Relé de falta de tensión
	Relé de detección de conductor dividido
	Relé de baja potencia
	Relé detector de cortocircuito entre bobinas
	Relé de corriente inversa
	Relé detector de fallo en líneas trifásicas
	Relé de corriente máxima y mínima
	Relé detector de fallo en líneas trifásicas

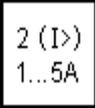
	Relé de frecuencia
	Relé de recierre automático
	Relé de sobre intensidad con dos elementos de medición y un rango de muestra Ejemplo: 1...5A rango de muestra
	Relé de sobre-intensidad de acción retardada
	Relé de medida. Se sustituye el asterisco por las letras o símbolos de la magnitud a medir

Figura 80. Símbolos de relés de medida

(Fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>)

I.4 SÍMBOLOGÍA DE ELECTROIMANES / MANDOS ELECTRO-MAGNÉTICOS

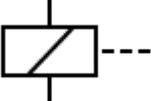
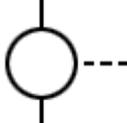
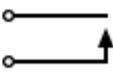
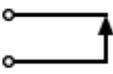
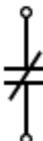
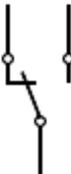
SIMBOLO	DESCRIPCION
	Electroimán Mando electromagnético
	Electroimán
	Electroimán Mando electromagnético Símbolo EEUU
	Contacto electromagnético con mecanismo de anclaje

Figura 81. Símbolos de electroimanes / mandos electromagnéticos
 (Fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>)

I.5 SÍMBOLOGÍA DE CONTACTOS DEL RELÉ

SIMBOLOS	DESCRIPCION
	Contactos abiertos
	Contactos cerrados
	Contactos abiertos
	Contactos cerrados
	Contactos abiertos
	Contactos cerrados
	Contactos de trabajo
	Contactos de reposo
	Contactos de conmutación

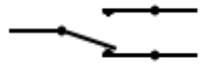
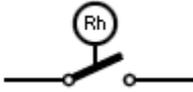
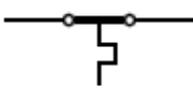
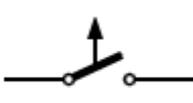
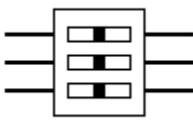
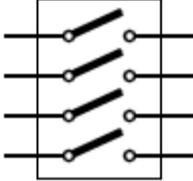
	Contactos del conmutador sucesivo
	Conmutador
	Conmutador

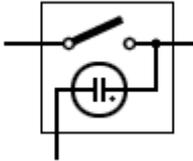
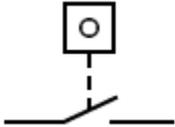
Figura 82. Símbolos de contactos del relé

(Fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-reles.htm>)

I.6 SIMBOLOGÍA DEL INTERRUPTOR

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Interruptor abierto Símbolo genérico
	Interruptor cerrado
	Interruptor con retardo al abrir
	Interruptor con retardo al abrir y al cerrar
	Interruptor con retardo al abrir
	Interruptor con retardo al abrir y al cerrar
	Interruptor doble - bipolar
	Interruptor doble - bipolar Uno cierra antes que el otro
	Interruptor fin de carrera
	Interruptor fin de carrera doble Cuando uno cierra otro abre

	<p>Interruptor de horario Temporizador</p>
	<p>Interruptor térmico</p>
	<p>Interruptor térmico abierto</p>
	<p>Interruptor térmico cerrado</p>
	<p>Interruptor de nivel de un fluido</p>
	<p>Interruptor diferencial</p>
	<p>Interruptor magneto térmico</p>
	<p>Limitador</p>
	<p>DIP (Dual in-line Package) Interruptores encapsulados</p>
	<p>Limitador electrónico</p>
	<p>DIP (Dual in-line Package) Interruptores encapsulados Ejemplo: 4 interruptores</p>

	<p>Interruptor con lámpara de Neón incorporada</p>
	<p>Interruptor de mercurio Detector de inclinación - movimiento</p>
	<p>Cebador</p>
	<p>Selector</p>
	<p>Contacto accionado por un contador de impulsos <u>+ símbolos</u></p>
	<p>Interruptor accionado por el pie</p>
	<p>Interruptor de horario Temporizador</p>
	<p>Pulsador abierto</p>
	<p>Pulsador cerrado</p>
	<p>Pulsador abierto</p>
	<p>Pulsador cerrado</p>
	<p>Pulsador fin de carrera</p>
	<p>Pulsador telegráfico</p>

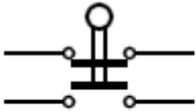
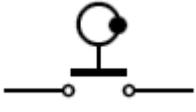
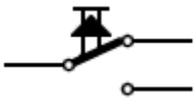
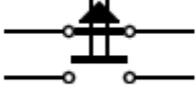
	<p>Pulsador doble fin de carrera Uno cierra y otro abre</p>
	<p>Joystick</p>
	<p>Pulsador conmutador</p>
	<p>Pulsador doble Uno cierra y otro abre</p>

Figura 83. Simbología y la descripción de los interruptores
(fuente: <http://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-interruptores-electricos.htm>)