



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**Diseño y construcción de una mini planta de control de motores
basado en microcontrolador para mejorar la práctica y
aprendizaje universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería
Electrónica - UNPRG**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADO POR

Bach. Bayona Paredes Gerson Brandon

Bach. Chávez Huamán Jorge Luis

ASESOR

Ing. Chaman Cabrera, Lucia Isabel

LAMBAYEQUE – PERÚ

2018

TESIS

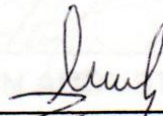
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI-PLANTA DE CONTROL DE MOTORES
BASADO EN MICRO-CONTROLADOR PARA MEJORAR LA PRACTICA Y
APRENDIZAJE UNIVERSITARIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA-UNPRG

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

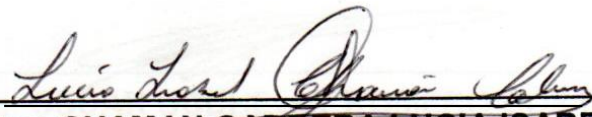
ELABORADO POR LOS SIGUIENTES TESISTAS:



Bach. BAYONA PAREDES GERSON BRANDON



Bach. CHAVEZ HUAMAN JORGE LUIS



**Ing. CHAMAN-CABRERA LUCIA ISABEL
ASESORA**

TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINI-PLANTA DE CONTROL DE MOTORES
BASADO EN MICRO-CONTROLADOR PARA MEJORAR LA PRACTICA Y
APRENDIZAJE UNIVERSITARIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA-UNPRG


TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:



Ing. MANUEL RAMIREZ CASTRO
PRESIDENTE



Mg. MARTIN AUGUSTO NOMBERRA LOSSIO
SECRETARIO



Mg. OSCAR UCCELLEY ROMERO CORTEZ
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO
Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 026-2019-D/FACFyM

(Sustentación Autorizada por Resolución N° 499-2019-D/FACFyM)

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:30 del día 30 de Mayo de 2019 se reunieron en la sala de sustentaciones del laboratorio de EPIC los miembros del Jurado designados mediante Resolución N° 442-2018-D/FACFyM, los docentes:

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro Presidente

Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio Secretario

Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez Vocal

Para recibir la tesis titulada:

"Diseño y Construcción de una Mini-Planta de Control de Motores Basado en Micro-Controlador para mejorar la Práctica y Aprendizaje Universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica - UNPRG"

desarrollada por los Bachilleres en Ingeniería Electrónica, **Bayona Paredes Gerson Brandon y Chavez Huaman Jorge Luis.**

Después de escuchar la exposición y las respuestas a las preguntas formuladas por los miembros del Jurado, se acordó APROBAR el trabajo por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO.

En consecuencia, los Bachilleres en referencia quedan aptos para recibir el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico**, de acuerdo a la Ley Universitaria, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Observaciones:

Para constancia del hecho firman.


Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
Presidente


Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio
Secretario


Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez
Vocal

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios quien siempre me protege, ayuda y fortalece para seguir creciendo profesionalmente y cumplir mis metas trazada, también quiero dedicar este logro a mis padres, hermanos y familiares que me apoyaron siempre, a mi novia que siempre me impulso a seguir adelante.

GERSON BRANDON BAYONA PAREDES

Quiero dedicar este proyecto de tesis a Dios y a mi familia que siempre estuvo apoyándome en lo largo de mi carrera profesional y logros personales, quienes siempre han sabido inculcarme valores morales y éticos que me ayudan a ser una mejor persona y profesional.

JORGE LUIS CHÁVEZ HUAMÁN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos bendecido y guiado a lo largo del desarrollo de nuestra carrera, por acompañarnos en aquellos momentos de inestabilidad, por permitirnos gozar de experiencias gratificantes en nuestra vida universitaria.

A nuestros amados padres por creer en nosotros, por brindarnos su apoyo incondicional no solo económicamente sino espiritualmente, sus consejos para el bien de nosotros, gracias por ayudarnos a lograr nuestro objetivo.

A todos nuestros amigos que nos brindaron su amistad incondicional durante tantos años, por aquellas risas de experiencias inolvidables, por ayudarnos a ser mejores personas y compartir su tiempo con nosotros.

A nuestros profesores por impartirnos sus conocimientos a lo largo de nuestra formación académica que nos permitieron desenvolvemos en el mundo profesional, por su tiempo y su valiosa amistad.

RESUMEN

Este proyecto de tesis consiste en el diseño e implementación de una mini planta basada en un microcontrolador PIC que permita controlar la marcha, parada e inversión de giro de un motor trifásico de 3HP. Además, el microcontrolador tendrá la capacidad de activar o desactivar lámparas de señalización para indicar el estado del motor.

En el Capítulo I se plantea la realidad problemática de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica (EPIE) respecto a la deficiencia de equipos de laboratorio e instrumentación que permitan la experimentación por parte de los estudiantes.

En el Capítulo II se presenta el fundamento teórico, el cual trata principalmente a los motores trifásicos y a los microcontroladores PIC. En cuanto a los motores trifásicos, los temas tratados son: su principio de funcionamiento, sus partes, tipos de arranque y sus aplicaciones en la industria. Respecto a los microcontroladores, los temas tratados son: su arquitectura, recursos especiales y los criterios a tener en cuenta para seleccionar uno de acuerdo al tipo de aplicación.

En el Capítulo III se encuentra el diseño de la mini planta. Este capítulo describe a detalle los pasos seguidos para diseñar e implementar la mini planta: empezando por el cálculo del calibre de los cables de cobre, la selección de los componentes adecuados para la mini planta, la simulación de los circuitos de control y potencia, el diseño del PCB, la programación y simulación de programa del microcontrolador y el ensamblaje de la mini planta.

El Capítulo IV está destinado a mostrar los costos necesarios para implementar la mini planta. Mediante tablas, se presentan los costos del circuito de control, del circuito de potencia y de los elementos adicionales que conforman la mini planta.

El Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de finalizar la implementación de la mini planta.

Finalmente, se muestra la bibliografía utilizada para elaborar el fundamento teórico y para obtener los criterios de selección de los componentes de la mini planta.

ABSTRACT

This thesis project consists in the design and implementation of a mini plant based on a PIC microcontroller that allows to control the running, stop and reversal of a three-phase motor of 3HP. In addition, the microcontroller will have the ability to activate or deactivate signaling lamps to indicate the status of the motor.

Chapter I it raises the problematic reality of the Professional School of Electronic Engineering (EPIE) regarding the deficiency of laboratory equipment and instrumentation that allow experimentation on the part of the students.

Chapter II presents the theoretical foundation, which deals mainly with three-phase motors and PIC microcontrollers. Regarding the three-phase motors, the topics discussed are: its operating principle, its parts, types of start-up and its applications in the industry. Regarding microcontrollers, the topics covered are: its architecture, special resources and the criteria to be taken into account to select one according to the type of application.

Chapter III is the design of the mini plant. This chapter describes in detail the steps taken to design and implement the mini plant: starting with the caliber calculation of the copper cables, the selection of the appropriate components for the mini plant, the simulation of the control and power circuits, the design of the PCB, programming and simulation of the microcontroller program and the assembly of the mini plant.

Chapter IV is intended to show the costs necessary to implement the mini plant. Using tables, the costs of the control circuit, power circuit and additional elements that make up the mini plant are presented.

Chapter V presents the conclusions and recommendations obtained after completing the implementation of the mini plant.

Finally, the bibliography used to elaborate the theoretical foundation and to obtain the selection criteria for the components of the mini plant is shown.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Aspecto informativo	3
1.1.1. Título	3
1.1.2. Personal investigador	3
1.1.3. Área de la investigación	3
1.1.4. Lugar de ejecución	3
1.1.5. Duración	3
1.2. Aspecto de la investigación	3
1.2.1. Situación problemática	3
1.2.2. Antecedentes bibliográficos	5
1.2.3. Formulación del problema científico	6
1.2.4. Objetivos	6
1.2.4.1. Objetivo general	6
1.2.4.2. Objetivos específicos	6
1.2.5. Justificación e importancia de la investigación	6
1.2.6. Hipótesis	7
1.2.7. Diseño y contrastación de la hipótesis	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Mini plantas de control	9
2.2. Motores trifásicos	10
2.2.1. Partes del motor de inducción	10
2.2.2. Principio de funcionamiento	11

2.2.3. Tipos de conexiones	12
2.2.4. Tipos de arranque	14
2.2.4.1. Arranque directo	14
2.2.4.2. Arranque Estrella – Triángulo	16
2.2.4.3. Arrancadores suaves	19
2.2.4.4. Convertidores de frecuencia	23
2.3. Automatismos eléctricos	26
2.3.1. Cables conductores	26
2.3.2. Interruptor termomagnético	29
2.3.3. Pulsadores y lámparas de señalización	31
2.3.4. Contactor	33
2.3.5. Relé térmico bimetálico	38
2.3.6. Temporizadores	41
2.4. Microcontroladores PIC	44
2.4.1. Criterios de selección	45
2.4.2. Estructura del microcontrolador	47
2.4.2.1. Arquitectura	47
2.4.2.2. El procesador o CPU	48
2.4.2.3. Memoria	49
2.4.2.4. Puertos de entrada o salida	51
2.4.2.5. Reloj principal	51
2.4.2.6. Recursos especiales	52
2.4.2.7. Herramientas para el desarrollo de aplicaciones	54
2.5. LDMicro	55
CAPITULO III: DISEÑO DE LA MINI PLANTA	64
3.1. Situación actual de las mini plantas de la EPIE	65
3.2. Cálculo del calibre para los cables conductores	66
3.3. Selección de elementos para el diseño de la mini planta	67

3.3.1. Elementos del circuito de control	67
3.3.2. Elementos del circuito de potencia	73
3.4. Simulación del funcionamiento de la mini planta.....	78
3.5. Diseño del PCB	83
3.6. Programación y simulación del programa del microcontrolador	84
3.7. Ensamblaje de la miniplanta	95
CAPITULO IV: COSTOS	100
4.1. Costos del circuito de control	101
4.2. Costos del circuito de potencia	101
4.3. Costos adicionales	101
4.4. Costos de instalación y mano de obra.....	102
4.5. Costos totales	102
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1. Conclusiones	104
5.1. Recomendaciones	104
ANEXOS.....	105
ENCUESTA	106
BIBLIOGRAFIA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Mini planta de control de velocidad de motor trifásico de la EPIE	9
Figura 2.2: Motor de inducción trifásico	10
Figura 2.3: Estator	11
Figura 2.4: Rotor	11
Figura 2.5: Campo magnético giratorio	12
Figura 2.6: Conexión en estrella	13
Figura 2.7: Conexión en delta	13
Figura 2.8: Placa de bornes de conexión	14
Figura 2.9: Arranque directo	15
Figura 2.10: Arranque Estrella – Delta	18
Figura 2.11: Control del ángulo de cada fase en media onda sinusoidal	20
Figura 2.12: Tiempo de aceleración en un arrancador suave	21
Figura 2.13: Arrancador suave	22
Figura 2.14: Convertidor de frecuencia	25
Figura 2.15: Cable conductor	26
Figura 2.16: Tipos de calibre de cables conductores	27
Figura 2.17: Relación entre el calibre del cable y su área	28
Figura 2.18: Ampacidad de un cable conductor	29
Figura 2.19: Interruptor termomagnético	30
Figura 2.20: Pulsador NO	32
Figura 2.21: Lámparas de señalización	32
Figura 2.22: Contactor	33
Figura 2.23: Partes de un contactor	34
Figura 2.24: Contactor con bobina activada	35
Figura 2.25: Contactor con bobina desactivada	36
Figura 2.26: Símbolo del contactor	37
Figura 2.27: Comportamiento de los bimetales	38
Figura 2.28: Parte interna de un relé térmico bimetálico	39
Figura 2.29: Parte externa de un relé térmico bimetálico	40
Figura 2.30: Símbolo del relé térmico bimetálico	41

Figura 2.31: Temporizador a la conexión	41
Figura 2.32: Temporizador a la desconexión	42
Figura 2.33: Temporizador térmico	42
Figura 2.34: Temporizador neumático	43
Figura 2.35: Temporizador de motor síncrono	43
Figura 2.36: Temporizador electrónico	44
Figura 2.37: Microcontrolador PIC	45
Figura 2.38: Arquitectura Von Neumann.....	48
Figura 2.39: Arquitectura Harvard	48
Figura 2.40: Puertos de entrada y salida de un microcontrolador PIC	51
Figura 2.41: Cristal de cuarzo	52
Figura 2.42: Programa en LDMicro	55
Figura 2.43: Selección de un microcontrolador en LDMicro	56
Figura 2.44: Configuración de la frecuencia de reloj de un microcontrolador en LDMicro	57
Figura 2.45: Selección de contactos en LDMicro	58
Figura 2.46: Configuración de contactos como entradas en LDMicro	59
Figura 2.47: Configuración de contactos como salidas en LDMicro	59
Figura 2.48: Asignación de pines de entrada y salida en LDMicro	60
Figura 2.49: Tabla de variables de entrada y salida en LDMicro	60
Figura 2.50: Inicio de simulación en LDMicro	61
Figura 2.51: Activación de salidas en LDMicro	61
Figura 2.52: Enclavamiento en LDMicro	62
Figura 2.53: Fin de la simulación en LDMicro	62
Figura 2.54: Generación de archivo .HEX en LDMicro	63
Figura 3.1: Mini planta de control de velocidad de la EPIE	65
Figura 3.2: Mini planta de control de nivel de la EPIE	65
Figura 3.3: Selección de calibre para cables de cobre y aluminio	67
Figura 3.4: Regulador LM2596	68
Figura 3.5: Optoacoplador 4N25	69
Figura 3.6: PIC 16F628	71
Figura 3.7: Driver ULN2803	71
Figura 3.8: Circuito interno del Driver ULN2803.....	72

Figura 3.9: Curvas de disparo magnético.....	73
Figura 3.10: Interruptor termomagnético Schneider Electric modelo Easy9.....	74
Figura 3.11: Relé de 5 VDC y 10A	75
Figura 3.12: Placa de características del contactor STRONGER ALF1 – D2510	77
Figura 3.13: Motor trifásico de 3HP marca Siemens	78
Figura 3.14: Circuito de la mini planta.....	79
Figura 3.15: Simulación del arranque del motor	80
Figura 3.16: Simulación del paro del motor.....	81
Figura 3.17: Simulación del cambio en el sentido de giro del motor	82
Figura 3.18: Diseño del PCB de la mini planta	83
Figura 3.19: Máscara de componentes del PCB	84
Figura 3.20: Selección del microcontrolador para la mini planta.....	85
Figura 3.21: Selección de la frecuencia de reloj	86
Figura 3.22: Programa para el microcontrolador	87
Figura 3.23: Asignación de variables de entrada y salida	87
Figura 3.24: Inicio de la simulación: Motor detenido	88
Figura 3.25: Motor en marcha.....	89
Figura 3.26: Motor en marcha por el enclavamiento	90
Figura 3.27: Motor detenido	91
Figura 3.28: Lam lámpara “LAMP_PARO” indica que el motor se detiene	92
Figura 3.29: Motor con inversión de giro	93
Figura 3.30: Motor con el giro invertido debido al enclavamiento.....	94
Figura 3.31: Limpieza de la placa de control.....	95
Figura 3.32: Finalización, quemado del diseño en la placa.....	95
Figura 3.33: Colocación de los elementos de control en la placa	96
Figura 3.34: Finalización de la placa de control con sus respectivos componentes	97
Figura 3.35: Colocación de os elementos de potencia sobre el riel DIN	98
Figura 3.36: Prueba de pulsadores y pilotos luminosos	98
Figura 3.37: colocación de los elementos de control y potencia sobre riel en el tablero	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Parámetros eléctricos de los motores de la EPIE.....	66
Tabla 4.1: Costos del circuito de control	101
Tabla 4.2: Costos del circuito de potencia	101
Tabla 4.3: Costos de los elementos adicionales	102
Tabla 4.4: Costos de instalación y mano de obra	102
Tabla 4.5: Costo total de la miniplanta	102

INTRODUCCIÓN

La importancia de los equipos de laboratorio tanto en la enseñanza de las ciencias como en la investigación y en la industria es indiscutible. No se puede negar que el trabajo práctico en laboratorio proporciona la experimentación y el descubrimiento y evita el concepto de “resultado correcto” que se tiene cuando se aprenden de manera teórica, es decir, sólo con los datos procedentes de los libros.

Sin embargo, el uso de los equipos de laboratorio requiere de tiempo adicional al de una clase convencional, por ejemplo, para descubrir y aprender de los propios errores.

En términos generales, un laboratorio es un lugar equipado con diversos instrumentos de medición, entre otros, donde se realizan experimentos o investigaciones diversas, según la rama de la ciencia a la que se enfoque. Dichos espacios se utilizan tanto en el ámbito académico como en la industria y responden a múltiples propósitos, de acuerdo con su uso y resultados finales, sea para la enseñanza, para la investigación o para la certificación de la industria.

Es importante recordar que los motores eléctricos en el campo industrial generan los medios necesarios para convertir energía eléctrica en una producción significativa y medible. No obstante, su gran capacidad para intervenir en distintos procesos industriales es justamente lo que lo vuelve vulnerable a distintos problemas de funcionamiento. Por ese motivo su mantenimiento es un tema clave y recurrente entre los profesionales que intervienen en el campo industrial. Es por ello que los estudiantes deben estar capacitados para resolver todo tipo de problemas relacionados con motores industriales. Esto se puede lograr permitiendo que los estudiantes realicen prácticas y experimenten con mini plantas que simulen el funcionamiento de un motor en la industria.

ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPITULO I

1.1 Aspecto informativo

1.1.1 Título

Diseño y construcción de una mini planta de control de motores basado en microcontrolador para mejorar la práctica y aprendizaje universitario en la escuela profesional de ingeniería electrónica – UNPRG.

1.1.2 Personal Investigador

1.1.2.1 Autor

Bach. Bayona Paredes Gerson Brandon.

1.1.2.2 Autor

Bach. Chávez Huamán Jorge Luis.

1.1.2.3 Asesor

Ing. Chamán Cabrera Lucía Isabel.

1.1.3 Área de Investigación

Control y automatización.

1.1.4 Lugar de ejecución

Laboratorio de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo – Lambayeque.

1.1.5 Duración

04 meses.

1.2 Aspecto de la investigación científica

1.2.1 Situación Problemática

El avance de la tecnología ha sido muy recurrente desde hace algunos años en nuestro país. La tecnología es un gran complemento en la educación de diversas escuelas, colegios y universidades de la región Lambayeque, como la UNPRG. Sin embargo, la falta de equipos y herramientas para el control de procesos industriales en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica sigue siendo una deficiencia que aun no se ha solucionado. Además, la UNPRG es la única universidad de la región que cuenta con la carrera universitaria de ingeniería electrónica, por lo que es muy demandada por las empresas en diversos campos industriales.

El plan de estudios curricular asignado a la EPIE es de 103 horas académicas, de las cuales 14 horas pertenecen a los cursos de Máquinas Eléctricas, Electrónica de Potencia, Instrumentación Industrial, Control y Automatización 1, Control y Automatización 2, Sistemas de Control Industrial 1, Sistemas de Control Industrial 2, los cuales están relacionados con el tema tratado en este proyecto de tesis. (Oficina Central de Asuntos Académicos - UNPRG, 2017)

Según La ley Universitaria N° 30220 2014 Cap. XI (Arts. 110 al 114), las universidades publicas pueden contar con fondos del estado para el cumplimiento de objetivos de gestión, de infraestructura y equipamiento para su mejoramiento y modernización, de acuerdo al plan de inversiones de cada universidad. Pero a la falta de esto, se ha pensado en diseñar y construir una mini planta de control de motores basado en microcontrolador digital con el cual se puede mejorar la forma de aprendizaje de una manera más práctica y complementaria a la que actualmente existe. (Ministerio de Educación, 2014)

1.2.2 Antecedentes

1) Guatemala, 2014, Universidad de San Carlos, Escuela de Ingeniería Mecánica Electrónica, “Diseño de variador de frecuencia electrónico utilizando microcontrolador PIC 18F4520 para variar la velocidad de motores AC trifásicos síncronos de 1 A 5 HP”.

Proyecto realizado por Allan Javier Hernández Yela para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Microcontrolador utilizado PIC 18F4520 - PDIP de 40 pines programado en lenguaje C. Se diseñó con un sistema de control digital y elementos actuadores de estado sólido, con el objetivo de que tenga una larga vida y bajo mantenimiento. Se diseñaron ciclo convertidores que fueron utilizados como variadores de frecuencia con los cuales se obtienen valores de frecuencia bajos, para cumplir con las funciones básicas de operación de un motor trifásico síncrono de hasta 5 HP.

2) México, 2011, Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería Mecánica y Eléctrica. “Diseño de un sistema de Control PID para un Motor CA Trifásico Mediante LABVIEW”.

Proyecto realizado por Nanci Juerez Ramírez para la obtención del título de Ingeniero en Robótica Industrial.

Microcontrolador utilizado PIC 16F877 programado en lenguaje ensamblador. El proyecto se encarga de controlar la velocidad de un motor trifásico Siemens por medio de un variador de velocidad de la marca ABB, el variador recibe las señales de control del PIC, el cual esta comunicado mediante puerto USB a la computadora que almacena un instrumento virtual desarrollado en LabVIEW.

3) Perú, 2013, PUCP, Facultad de Ciencias e ingeniería. “Implementación de un controlador Embebido para controlar una mesa XY”.

Proyecto realizado por Diego Bustamante Varillas para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Microcontrolador utilizado ATmega128-16AU programado en lenguaje C. El objetivo de la mesa de posicionamiento XY es que el portaobjetos que se encuentra montado sobre el eje Y, se ubique en la posición indicada por el usuario con el mínimo error posible controlado mediante algoritmo PID utilizando LabVIEW. El usuario ingresará desde una PC, a través de una interfaz diseñada en el software LabVIEW, las coordenadas de posición X e Y a las cuales quiere que se dirija el portaobjetos de la mesa XY.

4) Perú, 2010, PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería. “Diseño de un Controlador lógico de un Ascensor para un edificio de cuatro pisos usando un microcontrolador de propósito general”

Proyecto realizado por Félix Alonso Agapito Córdova para la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Microcontrolador utilizado ATmega8 utilizando el lenguaje de ensamblador. Se utilizó el Simulador VMLAB, el esquema mecánico es pertinente en concordancia con lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como lo referido en el Código Nacional de Electricidad y las Normas Técnicas Peruanas. Motor utilizado AC, sugiriendo un variador de velocidad CFW-09 de la marca WEG.

1.2.3 Formulación del problema científico

¿De qué manera el diseño y construcción de una mini planta de control de motores basado en microcontrolador permitirá mejorar la práctica y aprendizaje universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – UNPRG?

1.2.4 Objetivos

1.2.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir una mini planta de control de motores basado en microcontrolador para mejorar la práctica y aprendizaje universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – UNPRG.

1.2.4.2 Objetivos específicos

- 1) Evaluar la situación actual de las mini plantas en la EPIE para determinar cuáles están aptas para que los estudiantes realicen prácticas.
- 2) Determinar todos los conceptos y parámetros necesarios para establecer los criterios de diseño de una mini planta de control de motores.
- 3) Seleccionar los dispositivos y el lenguaje de programación más adecuado para realizar el diseño de la mini planta.
- 4) Simular el funcionamiento de la mini planta utilizando el software Proteus y el software LDMicro para comprobar el buen funcionamiento de la Mini Planta.
- 5) Ensamblar la mini planta para realizar las pruebas finales.

1.2.5 Justificación e importancia de la investigación

Esta investigación está enfocada en beneficiar a los alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional

Pedro Ruiz Gallo, debido a la poca cantidad de mini plantas presentes en sus laboratorios. Esta deficiencia genera dificultades cuando un grupo de estudiantes desea trabajar en forma independiente.

El desarrollo de diseños tecnológicos de gama industrial sirven de guía para los alumnos de la escuela de ingeniería electrónica y como incentivo para que ellos pueda mejorar el diseño propuesto e incluso crear sus propios proyectos electrónicos.

Además de incrementar la motivación y el interés de alumnos, se pretende mejorar la práctica en el campo de los sistemas de control, específicamente en el control de motores trifásicos.

Se realizaron 40 encuestas a estudiantes que cursan el VIII, IX y X ciclo para saber su nivel de satisfacción respecto a la implementación de Mini Plantas. Los resultados obtenidos demuestran que el 80% de los encuestados ha realizado prácticas en las Mini Plantas del Laboratorio Nº2, mientras que al 100% les gustaría que se implementen más Mini plantas debido a que consideran que las que existen en laboratorio no son suficientes para todos los alumnos.

1.2.6 Hipótesis

Si se diseña y construye una mini planta de control de motores basado en microcontrolador entonces se mejorará la práctica y aprendizaje universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – UNPRG.

1.2.7 Diseño y contrastación de la hipótesis

Si se diseña una mini planta de control de motores con una interfaz amigable, con un lenguaje de programación adecuado, con un microcontrolador de gama industrial, sencillo de usar, que cubra las necesidades de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica se logrará mejorar la práctica y la calidad educativa que se le puede brindar a los alumnos.

MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

2.1. Mini plantas de control

Una mini planta es la adaptación de una planta productiva industrial a escala reducida cuyo objetivo es permitir la experimentación, con la finalidad de obtener resultados sobre algún proceso físico o químico. Mediante los resultados obtenidos con una planta piloto es posible comprobar si la implementación de una planta de mayor tamaño es factible y económicamente viable. Adicionalmente, la planta piloto permite probar nuevos productos, verificar alguna hipótesis o comprobar el buen funcionamiento de un prototipo especial de planta en ingeniería.

Las plantas piloto necesitan estar monitorizadas y controladas para tener un buen funcionamiento. Para lograr este propósito se utilizan componentes de automatización que permitan realizar el control, monitoreo y supervisión de las plantas. (UPC, s.f.)

El tener una planta piloto en un centro de estudios superior facilita a estudiantes y docentes el desarrollo de prácticas de instrumentación industrial, sistemas de control y automatización industrial de procesos. Además, permite el desarrollo de prácticas en forma independiente cuando el estudiante lo requiera, permitiendo así el acercamiento de las universidades o institutos técnicos a la industria. (García Guerra & Ormeño Terreros, 2013)



Figura Nº 2.1: Mini planta de control de velocidad de motor trifásico de la EPIE.

Fuente: Elaboración propia.

El control de un motor trifásico es una de las aplicaciones que más se presentan en los procesos industriales. Dicho control se puede realizar de diferentes maneras,

desde un control en lazo abierto con contactores hasta un control con variador en lazo cerrado haciendo que el proceso sea más eficiente. (Rosales Fernández, s.f.)

2.2. Motores trifásicos

En términos generales, un motor es una máquina rotatoria que convierte energía eléctrica en energía mecánica.

Actualmente, en la industria se utilizan los motores asíncronos de inducción alimentados por corriente alterna trifásica. Esto se debe a su sencillez y fácil manejo, sin dejar de lado lo barato que resulta darle mantenimiento en comparación con otro tipo de motores. (De Vandelvira, 2011)



Figura Nº 2.2: Motor de inducción trifásico.

Fuente: http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf

2.2.1. Partes del motor de inducción

Un motor de inducción trifásico está esquemáticamente constituido por una parte fija (denominada estator) formada por tres devanados, los cuales están dispuestos entre sí 120° . En la parte interna, al centro de los devanados, se encuentra situado el rotor, constituido por un circuito eléctrico cerrado por sí mismo. (Enriquez Harper, El ABC de las máquinas eléctricas, Volumen 2, 2004)

- **El estator:** Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se conectarán a la red eléctrica.



Figura N° 2.3: Estator.

Fuente: <https://www-elec.inaoep.mx/cidcsver/spanish/magistrales/APLICACIONES.pdf>

- **El rotor:** Es la parte móvil del motor. Se encuentra situado en el interior del estator y está formado por un eje que soporta un juego de bobinas arrolladas sobre un núcleo que gira dentro del campo magnético creado por el estator.



Figura N° 2.4: Rotor.

Fuente: <https://www-elec.inaoep.mx/cidcsver/spanish/magistrales/APLICACIONES.pdf>

A este tipo de motores se les conoce como motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas (Ley de Faraday).

2.2.2. Principio de funcionamiento

El funcionamiento del motor de inducción se basa en la acción del campo magnético giratorio generado en el estator sobre las corrientes inducidas por dicho campo en el rotor. El campo magnético giratorio creado por el bobinado del estator corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. La acción mutua del campo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

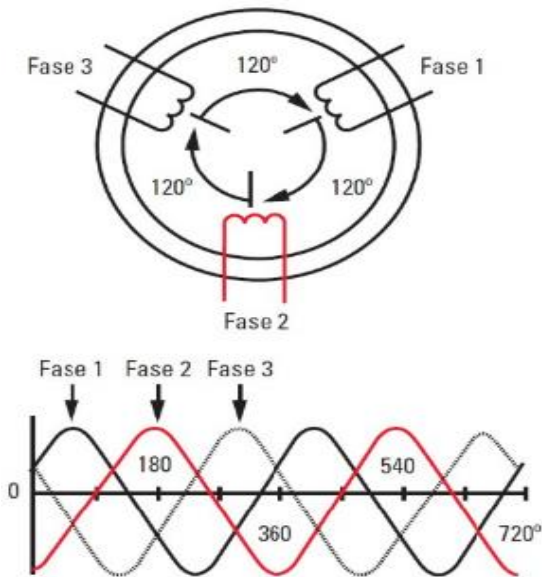


Figura N° 2.5: Campo magnético giratorio.

Fuente: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/asincronas%20caminos.pdf>

La velocidad de rotación del rotor en los motores de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del campo magnético giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir movimiento relativo entre los conductores y el campo magnético. A la diferencia entre la velocidad del campo magnético y del rotor se le llama deslizamiento. Con un variador de frecuencia se puede regular la velocidad del motor y amortiguar el arranque e incluso frenarlo. (Rodríguez Pozueta, 2008)

2.2.3. Tipos de conexiones

Todo bobinado trifásico se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto común, alimentando al sistema por los extremos libres) o bien en triángulo (conectando el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando al sistema por los puntos de unión). (Rodríguez, 2012)

En la conexión estrella, la intensidad que recorre cada fase coincide con la intensidad de línea, mientras que la tensión que se aplica a cada fase es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea. (Rodríguez, 2012)

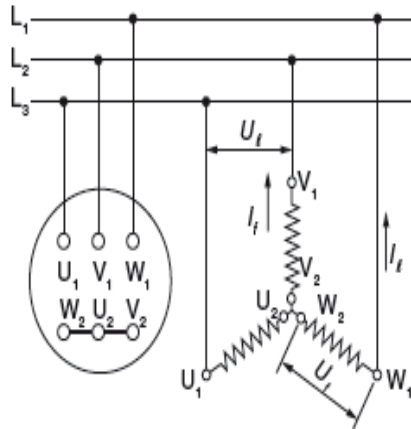


Figura N° 2.6: Conexión en estrella.

Fuente: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>

En la conexión delta o triángulo la intensidad que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ veces menor que la intensidad de línea, mientras que la tensión a la que está sometida cada fase coincide con la tensión de línea. (Rodríguez, 2012)

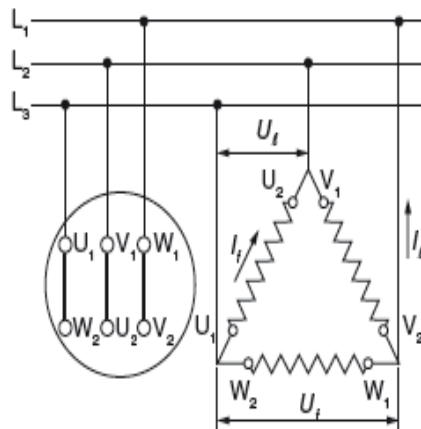


Figura N° 2.7: Conexión en delta.

Fuente: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>

Si un motor está diseñado para aplicarle 230 VAC a cada fase, lo podremos conectar en a la red de 230 VAC en triángulo y a la red de 400 VAC en estrella. En ambos casos, la tensión que se le aplique a cada fase es de 230 VAC. En una y otra conexión, permanecen invariantes los parámetros de potencia, par motor y velocidad. La conexión estrella o triángulo se realiza sobre la placa de bornes mediante puentes. (Rodríguez, 2012)

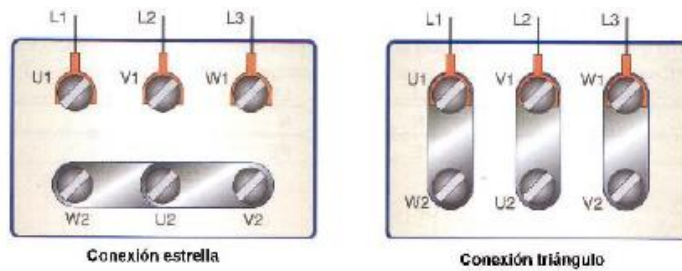


Figura N° 2.8: Placa de bornes de conexión.

Fuente: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>

2.2.4. Tipos de arranques

2.2.4.1. Arranque directo

El arranque directo es el método más sencillo para arrancar un motor trifásico asíncrono. Los devanados del estator están conectados directamente a la red eléctrica por un proceso de conmutación simple.

Como resultado de esta aplicación obtendremos altas corrientes de arranque (corriente de sobrecarga) que a su vez causan molestas caídas en la tensión de red. Por este motivo, las compañías eléctricas suelen limitar la potencia nominal de los motores conectados a la red. Este valor límite puede variar de una red a otra. En redes eléctricas públicas, estas limitaciones por lo general se cumplen cuando en el arranque la potencia aparente del motor trifásico no excede de 5.2kVA o cuando es de mayor potencia aparente pero la corriente de arranque no excede de 60 A. (EATON, s.f.)

En motores que ocasionalmente sobrepasan los 60 A de corriente de arranque y motores con una intensidad de arranque de más de 30 A que causan alteraciones en la red pública (arranques pesados, alta frecuencia de conmutación o variación en el consumo como ascensores o sierras de corte), se deben tomar medidas alternativas para las variaciones disruptivas de tensión. Los motores con potencias de más de 4 kW y tensiones nominales de 400/690 V pueden arrancarse usando una configuración estrella – triángulo. (EATON, s.f.)

El arranque directo crea un estrés térmico en los devanados del motor y, solo brevemente, fuerzas electrodinámicas momentáneas. Con frecuencia,

el arranque directo reduce la vida de los devanados de un motor estándar. (Rodríguez, 2012)

El bloqueo del rotor (rotor bloqueado) es un fallo grave que puede llevar a la destrucción térmica del motor trifásico asíncrono. Cada devanado del motor debe estar protegido por un dispositivo de protección para evitar que ocurran este tipo de sobrecargas térmicas. Una solución económica es el uso de relés de sobrecarga, más conocidos como relés térmicos o relés bimetálicos. (Bahamonde Gordillo, s.f.)

Estos relés de sobrecarga se conocen como interruptores protectores de motor. En la alimentación del motor, este protege la conmutación (contactador), la acometida y los devanados del motor contra su destrucción debido a una sobrecarga térmica (rotor bloqueado) y cortocircuito, aun cuando hay una pérdida de fase (L1, L2, L3). Para este propósito, debemos establecer en el interruptor protector de motor la corriente nominal del motor y los cables de conexión deben de estar calculados para este valor. (Bahamonde Gordillo, s.f.)

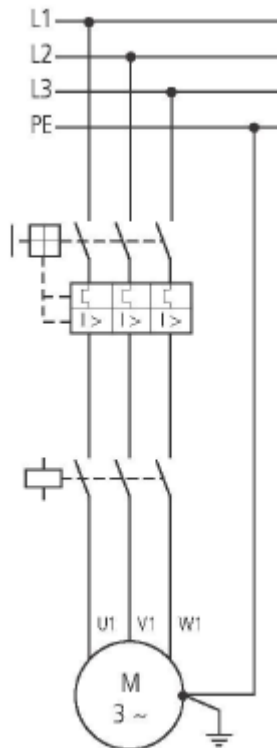


Figura Nº 2.9: Arranque directo.

El diseño de los componentes en el circuito principal del motor se lleva a cabo de acuerdo con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-3 (Norma IEC/EN60947-4-1), AC-3 = motores de jaula de ardilla: arranque, paro durante la operación. (EATON, s.f.)

2.2.4.2. Arranque Estrella – Triángulo

Con un arranque de motor estrella – triángulo, la puesta en marcha del motor trifásico asíncrono se realiza mediante una transición entre los devanados. Los puentes en el cajetín de bornes del motor se omiten, y las 6 conexiones de los devanados se conectarán a la red eléctrica mediante una conmutación llamada estrella – triángulo (conmutación manual o automática de los contactores). (EATON, s.f.)

Durante el funcionamiento, los devanados del motor están conectados en triángulo. Por lo tanto, voltaje del devanado (U_w) debe ser igual a la tensión de fase (U_{LN}) del sistema trifásico. Por ejemplo, en una tensión de red de 400 V, el voltaje en la placa de características del motor debe estar especificado como 400/690 V. (EATON, s.f.)

En una conexión en estrella, la tensión de red (U_{LN}) de los devanados individuales del motor se reduce por un factor de $1/\sqrt{3}$. Por ejemplo: $400\text{ V} * 1/\sqrt{3} = 230\text{ V}$. El par de arranque y la corriente de entrada (en la conexión en estrella) se reduce a un tercio de los valores de la conexión en triángulo, mientras que la corriente de arranque típica es 2 o 2.5 I_e . (Rodríguez, 2012)

Debido a la reducción del par en el arranque, la configuración en estrella – triángulo sólo es adecuada para aparatos con un par de carga baja o un par de carga que aumenta con la velocidad, como es el caso de bombas y ventiladores (ventiladores / extractores). También se utilizan en unidades que solo están sujetas a una carga después de haber acelerado de velocidad, por ejemplo, con prensas y centrífugas. (EATON, s.f.)

Con el cambio de configuración de estrella a triángulo, la corriente cae a cero, y la velocidad del motor se reduce en función de la carga. El paso a triángulo provoca un aumento espectacular de la corriente, así como la aplicación de toda la tensión de red en los devanados del motor. Esto provocará caídas de tensión en sistemas de suministro de red poco fiables o débiles. El par motor también sube a un valor más alto durante la transición, lo que causa una carga adicional sobre todo el sistema. Si, por ejemplo, las bombas funcionan con arrancadores estrella – triángulo, a menudo se utiliza un freno mecánico para proporcionar una amortiguación en el sistema y evitar los llamados "golpes de ariete". (EATON, s.f.)

La transición automática de estrella a triángulo generalmente se realiza mediante un relé temporizador en el contactor de línea. El tiempo requerido para el arranque en estrella depende de la carga del motor y debe continuar hasta que el motor haya alcanzado cerca del 75 al 80% de su velocidad de funcionamiento para garantizar la post-aceleración necesaria para el cambio a triángulo. Esta post-aceleración de la configuración en triángulo está asociada con altas corrientes como en el caso del arranque directo. (Morales Cabrera, 2015)

Una conmutación demasiado rápida entre la estrella y el triángulo puede dar lugar a la desconexión del arco (en los contactos de los contactores) y puede causar un corto circuito. El intervalo de tiempo de transición debe ser tal, que sea suficiente para eliminar los arcos. Al mismo tiempo, la velocidad de la unidad se debe reducir lo menos posible. Existen relés temporizadores especiales para cumplir con la transición estrella – triángulo. (Manrique, s.f.)

La secuencia de fases correcta para el paso de estrella a triángulo se debe tener en cuenta al conectar los conductores del motor y el arrancador, así como la dirección de funcionamiento del motor. Una conexión incorrecta de las fases puede provocar altas corrientes de pico en el arranque, a causa de la ligera disminución en la velocidad durante el intervalo del cambio. Los picos de corriente ponen en peligro los bobinados del motor y los contactos de conmutación innecesariamente. (EATON, s.f.)

Cuando arrancamos con la conexión en estrella, en primer lugar el contactor de estrella puentea los terminales U2, V2, W2. A continuación, el contactor principal aplica la tensión de red (U_{LN}) en los terminales U1, V1, W1. Después de transcurrir el tiempo programado, el relé temporizador desconecta el contactor de estrella y conecta el contactor de triángulo aplicando la tensión de red a los terminales U2, V2 y W2. (Manrique, s.f.)

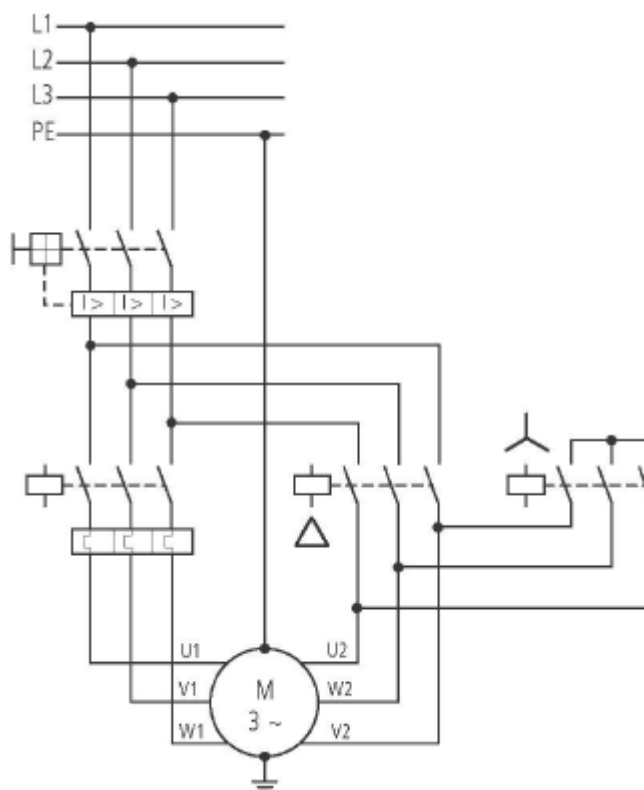


Figura Nº 2.10: Arranque Estrella – Delta.

Fuente: www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf

La elección de los componentes para la conexión del motor se lleva a cabo en concordancia con la corriente de funcionamiento del motor y con la categoría de empleo AC-3 (Norma IEC/EN60947-4-1), AC-3 = motores de jaula de ardilla: arranque, paro durante la operación. El relé térmico se colocará aguas abajo del contactor principal. Estableceremos por tanto un factor de corriente $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58 I_e$) por debajo de la corriente nominal del motor. El contactor principal y el de triángulo también se seleccionan con este factor de reducción ($\sim 0,58 I_e$). El contactor estrella para un arranque de no más de 15 segundos debe seleccionarse con un factor de un tercio

($\sim 0,33 I_e$) de la corriente nominal del motor. En tiempos de arranque de hasta 60 segundos, el contactor de estrella debe seleccionarse de la misma magnitud que el contactor principal. (EATON, s.f.)

2.2.4.3. Arrancadores suaves

En muchos casos, el arranque directo o el arranque estrella – triángulo del motor trifásico asíncrono no es la mejor solución ya que altas corrientes de pico pueden influir en el suministro eléctrico y un aumento repentino del par puede inducir a los componentes mecánicos de la maquina o al sistema a altos niveles de estrés. (Rodríguez, 2012)

El arrancador suave proporciona un remedio. Permite un aumento continuo y lineal del par y ofrece la posibilidad de una reducción selectiva de la corriente de arranque. La tensión del motor se incrementa a partir de una tensión inicial y un tiempo de rampa de aceleración, elegidos mediante selectores hasta llegar a la tensión nominal del motor. El arrancador también puede controlar la rampa de parada mediante la reducción de la tensión. (EATON, s.f.)

La curva característica del motor asíncrono trifásico sólo se aplica cuando la tensión del motor es igual a la tensión de red (U_{LN}). Si aplicamos una tensión inferior, obtendremos una reducción cuadrática en el par. Cuando lo comparamos, por ejemplo, con un arranque estrella – triángulo, la tensión del motor se reduce hasta el 58% ($\sim 1/\sqrt{3}$), y el par se reduce a alrededor del 33%. (EATON, s.f.)

La diferencia entre las características de la carga y las características del par motor, y por consiguiente la fuerza de aceleración, puede estar influida por medio del ajuste del voltaje del motor. El arrancador debería ser preferido para todas las aplicaciones con un arranque con carga (la carga no se puede conectar después de la puesta en marcha) que la configuración estrella – triángulo. Es una buena alternativa a la configuración en estrella – triángulo por razones económicas y también por razones de ahorro de energía, en particular para unidades de alta potencia. (EATON, s.f.)

La tensión del motor en un arrancador se modifica por el control del ángulo de cada fase en media onda sinusoidal. Con este fin, dos tiristores en cada una de las fases están conectados en antiparalelo, uno de ellos para la media onda positiva y el otro para la media onda negativa. (Rodríguez, 2012)

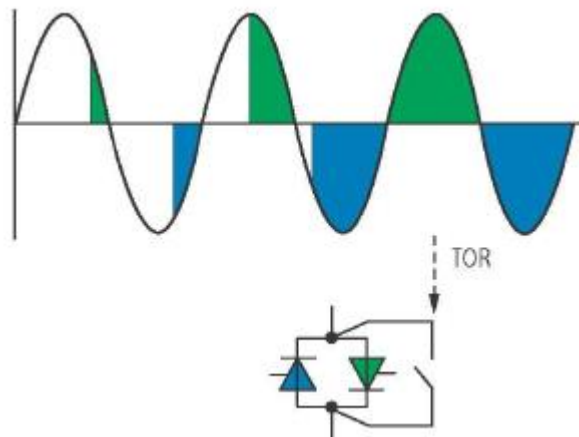


Figura Nº 2.11: Control del ángulo de cada fase en media onda sinusoidal.

Fuente: www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf

Cuando la rampa de aceleración (t_{start}) ha finalizado, los tiristores están completamente controlados (media onda sinusoidal completa => fin de rampa: TOR). (EATON, s.f.)

Como los tiristores sólo están activos durante la fase de aceleración o durante la fase de desaceleración, pueden pasar a través de los contactos de Bypass durante la operación continua. Las pérdidas en el arrancador suave se pueden reducir gracias a la resistencia inferior que ofrecen los contactos mecánicos de conmutación. (EATON, s.f.)

El tiempo de aceleración de una unidad con un arrancador suave es el resultado de la configuración de la tensión de arranque (U_{start}) y el tiempo de rampa (t_{start}) para el aumento lineal hasta la tensión de red (U_{LN}). La tensión inicial determina el par de arranque del motor. Una alta tensión de inicio y un tiempo de rampa corto corresponde aproximadamente a un arranque directo. En la práctica, la tensión de arranque necesario (U_{start}) y el tiempo de rampa (t_{start}) se configuran de acuerdo a los requisitos del arranque. (EATON, s.f.)

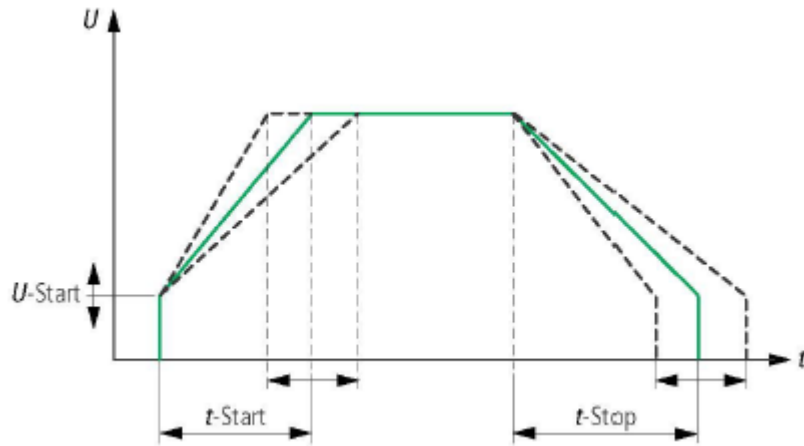


Figura Nº 2.12: Tiempo de aceleración en un arrancador suave.

Fuente: www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf

El tiempo de rampa ajustado (t_{start}) no es el tiempo real de aceleración de la unidad. Esto depende de la carga y el par de arranque. El tiempo de rampa sólo controla el cambio en la tensión. En el proceso, la corriente aumenta al máximo y luego cae a la corriente nominal, después se consigue la velocidad nominal del motor. La corriente máxima entonces se fija para adaptarse a la unidad (motor más carga) y no puede determinarse de antemano. Como resultado, las unidades sometidas a altas cargas en relación con tiempos de rampa largos pueden conducir a una excesiva carga térmica en los tiristores. (EATON, s.f.)

Si no se puede superar un determinado nivel de corriente, se debe seleccionar un arrancador suave con limitación de intensidad. Esta variante de arranque está con frecuencia estipulada por las compañías de suministro eléctrico cuando unidades de gran tamaño están conectadas a la red pública (por ejemplo, bombas de elevación, ventiladores para sistemas de ventilación de túneles). (INDUCOR, 2012)

Los arrancadores también permiten controlar el tiempo de reducción de tensión del motor y por lo tanto controlar la rampa de parada de los motores. (EATON, s.f.)

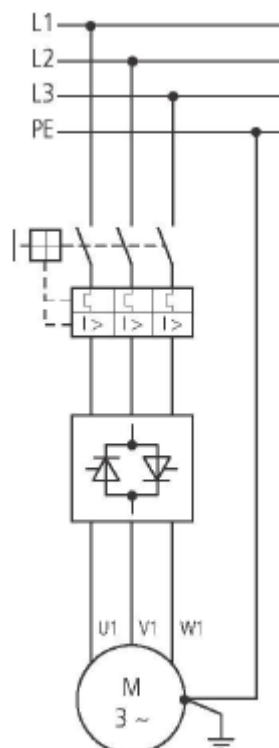


Figura Nº 2.13: Arrancador suave.

Fuente: www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf

El tiempo de parada establecido (t_{stop}) debe ser más largo dependiendo de la carga o usar una parada sin tiempo de la carga. Los tiristores del arrancador suave también están sujetos a las mismas tensiones térmicas que estuvieron presentes durante el proceso de arranque. Si, por ejemplo, el arrancador está preparado para soportar 10 arranques por hora, estarán permitidos 5 arranques por hora (más 5 paradas por hora). (EATON, s.f.)

El tiempo de rampa de parada (t_{stop}) puede seleccionarse independientemente del tiempo de arranque, se requiere con frecuencia en bombas para evitar ondas de presión (golpes de ariete). También se pueden prevenir movimientos que en una parada libre pueden provocar un mayor desgaste en correas o cadenas de transmisión y rodamientos. (EATON, s.f.)

El diseño del circuito de conmutación y protección (componentes electromecánicos) del circuito principal debe llevarse a cabo en concordancia con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-3 (norma IEC 60947-4-1). El diseño del arrancador se lleva a

cabo de acuerdo con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-53a o AC-53b (norma IEC/EN60947-4-2) (Mamani Roque, s.f.):

- AC-3 = Motores de jaula de ardilla: arranque – paro durante la operación.
- AC-53a = Control de motores de jaula de ardilla: funcionamiento continuo con arranques de procesos, maniobras, operaciones.
- AC-53b = Control de motores de jaula de ardilla: funcionamiento intermitente.

2.2.4.4. Convertidores de frecuencia

El convertidor de frecuencia es en última instancia, la mejor solución para un arranque continuo y sin escalones de motor asíncrono trifásico. La limitación de corriente ajustable evita los picos de corriente en el suministro de red eléctrica y repentinas cargas en las partes mecánicas de la máquina y en los sistemas. (EATON, s.f.)

Además del arranque suave, el convertidor de frecuencia también permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor. Considerando que los motores estando conectados directamente a la red eléctrica sólo pueden lograr las condiciones ideales de funcionamiento en el punto de estado de funcionamiento constante (indicación de la placa de características), pueden ser utilizados en todo el rango de velocidades con el control de frecuencia, por ejemplo, desde 4V a 0,5 Hz hasta 400V a 60 Hz. La relación constante de voltaje / frecuencia (V/f) garantiza puntos independientes que operan con el par nominal de la carga. (EATON, s.f.)

En comparación con las soluciones anteriormente descritas, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista. El mayor coste de adquisición y las medidas adicionales sobre la instalación (cables blindados y filtro RFI para la compatibilidad electromagnética, EMC) son las principales razones. Pero durante una operación a largo plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos. Esto es especialmente cierto para bombas y ventiladores. Por

la adecuación de la velocidad de rotación del proceso de producción y la compensación de interferencias externas, el convertidor de frecuencia garantiza una vida útil más larga y una mejor seguridad funcional. (EATON, s.f.)

Otras ventajas de los convertidores de frecuencia incluyen la estabilidad a altas velocidades con fluctuaciones en la carga (fluctuaciones por debajo de un 1%) y la opción de cambio en el sentido de giro. A medida que se genera el campo de rotación del convertidor de frecuencia, un simple comando de control es todo lo que se requiere para cambiar la secuencia de fases y la dirección de giro del motor. La protección electrónica del motor integrada en los convertidores de frecuencia también asegura un funcionamiento sin la necesidad de medidas adicionales de seguridad (relés de sobrecarga). Dependiendo del método de aplicación, parametrizar los rangos de temperatura en el convertidor de frecuencia proporcionan un mayor nivel de protección térmica del motor. La completa protección del motor también es posible en combinación con termistores. La detección de sobrecarga y sub carga también pueden mejorarla seguridad operacional de la unidad. (Enriquez Romero, 2014)

El convertidor de frecuencia funciona como un convertidor de energía de la alimentación de un motor. El convertidor obtiene la corriente activa desde la red eléctrica a través del rectificador y suministra al motor corriente activa y reactiva a través del inversor. La potencia reactiva necesaria para el funcionamiento del motor es proporcionada por los condensadores del circuito intermedio. En cuanto a la red eléctrica se refiere, el convertidor de frecuencia se comporta prácticamente como una carga resistiva ($\cos\phi \sim 1$). (Enriquez Harper, Aplicaciones de la electronica de potencia en los sistemas electricos, s.f.)

La conversión de energía y los tipos actuales asociados se deben considerar en el diseño de los dispositivos de conmutación y de protección de la derivación a motor. A tal efecto, los componentes electromecánicos (por ejemplo, fusibles, reactores de línea, contactores de red) aguas arriba del convertidor de frecuencia se dimensionan de acuerdo con la corriente

A horizontal number line with a single point marked by a solid black dot. The point is labeled "L1" above it.



Fuente: www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf

25

automáticamente a las características del motor (individual) asíncrono trifásico a través del llamado “auto-tuning”. (EATON, s.f.)

2.3. Automatismos eléctricos

2.3.1. Cables conductores

Son los elementos que proveen la trayectoria para el flujo de corriente en las instalaciones eléctricas. Con los conductores eléctricos se hace la distribución de la energía eléctrica para el control y consumo de los equipos de la instalación. (Faradayos, 2013)

Las partes de un cable conductor son las siguientes (Faradayos, 2013):

- **Alma conductora:** Es la parte que lleva toda la corriente de consumo. Los materiales comúnmente utilizados son el cobre y el aluminio, pero con más frecuencia de cobre.
- **Aislante:** Se encarga de separar o aislar el flujo de corriente del exterior, para evitar cortocircuitos y la electrocución. Este se fabrica de un material termoplástico o en hule.
- **Cubierta protectora:** Esta se encarga de proteger el material aislante y el arma conductora contra daños físicos y químicos. Se construye generalmente de nylon, pero varía según el ambiente en el que se vaya a utilizar.

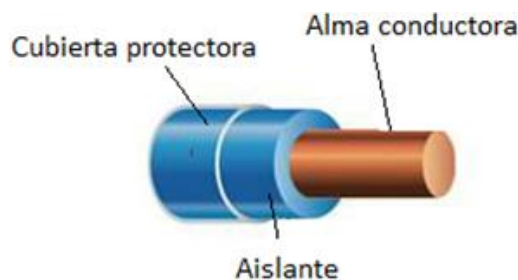


Figura Nº 2.15: Cable conductor.

Fuente: <http://faradayos.blogspot.com/2013/12/caracteristicas-cables-conductores.html>

El calibre define el tamaño de la sección transversal del conductor. El calibre puede estar expresado en mm² o bajo la normalización americana en AWG

(American Wire Gauge). Cuando se expresa en AWG, el más grueso es el 4/0, siguiendo en orden descendente: 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 16 y 18, el cual es el más delgado y se usa en instalaciones eléctricas. En este caso, mientras más grande es el número más pequeña es la sección transversal del conductor. Para conductores con un área mayor del designado como 4/0, se hace una designación en función de su área en pulgadas, denominada CM (circular mil). (Casseres Salinas, s.f.)

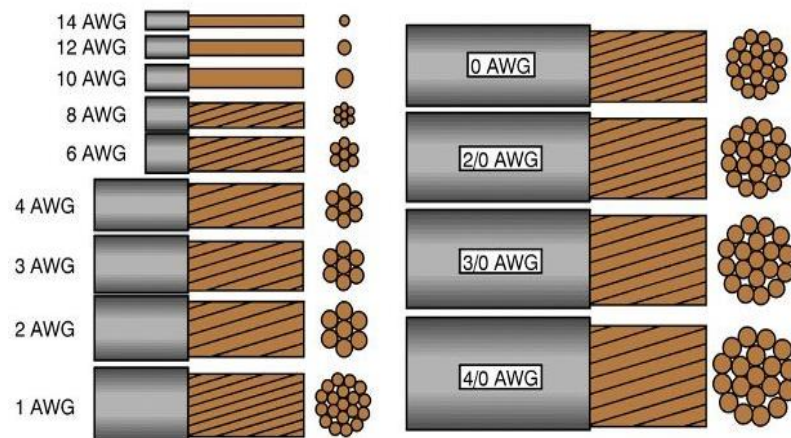


Figura Nº 2.16: Tipos de calibre de cables conductores.

Fuente: http://www.academia.edu/31683656/CALIBRE_DE_CONDUCTORES_ELECTRICOS

Calibre (AWG o kcmil)	Área	
	mm ²	Circular mils
18	0.823	1620
16	1.31	2580
14	2.08	4110
12	3.31	6530
10	5.261	10380
8	8.367	16510
6	13.3	26240
4	21.15	41740
3	26.67	52620
2	33.62	66360
1	42.41	83690
1/0	53.49	105600
2/0	67.43	133100
3/0	85.01	167800
4/0	107.2	211600
250	127	—
300	152	—
350	177	—
400	203	—
500	253	—
600	304	—

Figura Nº 2.17: Relación entre el calibre del cable y su área.

Fuente: http://www.academia.edu/31683656/CALIBRE_DE_CONDUCTORES_ELECTRICOS

La ampacidad de un cable conductor se define como la capacidad de conducción continua de corriente bajo condiciones específicas. La ampacidad de un conductor depende de su calibre, así como la temperatura ambiente a la que se encuentre. Existen tablas que especifican la ampacidad de los conductores según el material aislante y la máxima temperatura ambiente a la que pueden estar expuestos. Mientras más grande es la sección del conductor más corriente puede conducir sin que se sobrecaliente. (Centelsa, s.f.)

Calibre AWG o kcmil	Temperatura máxima en conductor						Calibre AWG o kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	(140°F)	(167°F)	(194°F)	(140°F)	(167°F)	(194°F)	
	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	
	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	
Cobre				Aluminio			
18	----	----	14	----	----	----	----
16	----	----	18	----	----	----	----
14	15	20	25	----	----	----	----
12	20	25	30	15	20	25	12
10	30	35	40	25	30	35	10
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400

Figura N° 2.18: Ampacidad de un cable conductor.

Fuente: <http://www.centelsa.com.co/archivos/11b912de.pdf>

2.3.2. Interruptor termomagnético

El interruptor termomagnético es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes en condiciones anómalas, como en caso de cortocircuito. (Telemecanique, s.f.)



Figura Nº 2.19: Interruptor termomagnético.

Fuente: <http://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

La función del interruptor termomagnético es proteger la instalación eléctrica y los equipos conectados a ella contra eventuales sobrecargas y cortocircuitos que puedan afectarlos, minimizando sus consecuencias (ABB, s.f.):

- **Sobrecargas:** Se pueden originar, por ejemplo, por la conexión simultánea de varias cargas mayores a las consideradas en el proyecto original. Un caso típico se da por el uso de adaptadores triples en los enchufes.
- **Cortocircuito:** Se puede originar, por ejemplo, por el mal estado de los componentes eléctricos, o por el deterioro de los cables.

Los interruptores termomagnéticos tienen un elevado número de maniobras, lo que le permite ser utilizado nuevamente después de una falla, a diferencia del fusible, que sólo sirve una vez. (Osinergmin, s.f.)

Su rápido accionamiento frente a una falla se debe a dos tipos de protección: térmica y magnética (Osinergmin, s.f.):

- La protección térmica ocurre cuando hay sobrecargas en el circuito conectado al interruptor termomagnético. Este tipo de protección se logra mediante un bimetálico, que al calentarse por el aumento de la corriente nominal, se dilata y empieza a curvarse para activar el mecanismo de disparo del interruptor. La curvatura que se origina en el

bimetal es regulada para que sea proporcional a la corriente que circula a través del circuito.

- La protección magnética ocurre cuando hay un cortocircuito. Esto provoca un gran aumento en la corriente nominal que circula por la bobina del interruptor logrando que ésta actúe como un electroimán y atraiga su núcleo móvil para activar el mecanismo de disparo.

Tanto en el caso en que se produce sobrecarga como en el caso del cortocircuito, el interruptor debe cerrarse en forma manual, pues no tiene mecanismo automático de cierre. (Osinermin, s.f.)

Para la correcta selección de un interruptor termomagnético debemos tener en cuenta algunas definiciones (Telemecanique, s.f.):

- **U_n (tensión nominal):** es la tensión normal de la instalación, y su valor está estandarizado en las normas vigentes.
- **I_n (corriente nominal):** es la corriente máxima que puede conducir el interruptor en forma permanente sin actuar, a una dada temperatura ambiente; se usa para determinar el calibre del interruptor.
- **I_{cu} (capacidad de apertura última):** es la máxima corriente de cortocircuito que puede abrir un interruptor dos veces, sin tener que conservar luego de este ciclo su capacidad de conducir su corriente nominal.
- **I_{cs} (capacidad de apertura de servicio):** es la máxima corriente de cortocircuito que puede abrir un interruptor tres veces, conservando luego de este ciclo su capacidad de conducir su corriente nominal.

2.3.3. Pulsadores y lámparas de señalización

El pulsador es un elemento que permite el paso o interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no se actúa sobre él, vuelve a su posición de reposo. En su posición de reposo, el contacto del pulsador puede ser normalmente cerrado (NC) o normalmente abierto (NO). (Espazo Abalar, s.f.)



Figura Nº 2.20: Pulsador NO.

Fuente:

https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/314_elementos_de_maniobra_y_control.html

Los equipos de señalización son dispositivos cuya función es llamar la atención sobre el correcto funcionamiento o paros anormales de las máquinas, aumentando así la seguridad del personal y facilitando el control y mantenimiento de los equipos. La señalización de los equipos consiste en testigos, generalmente luminosos, que se ponen en las instalaciones para poder disponer de información del estado del funcionamiento de la misma. (Medina García, s.f.)



Figura Nº 2.21: Lámparas de señalización.

Fuente:

http://www.infoplc.net/files/documentacion/instrumentacion_deteccion/infoPLC_net_Automatismos_Industriales_cap5.pdf

La norma UNE EN 60204 – 1 establece el código de colores para los visualizadores y los pilotos. Por ejemplo, un piloto rojo indica una señal de emergencia, uno amarillo alerta de un funcionamiento anormal, mientras que uno verde indica que existe operación normal. (Foro-Electricidad, s.f.)

2.3.4. Contactor

El contactor es un componente electromecánico de mando encargado de establecer o interrumpir el paso de corriente entre sus contactos, los cuales pueden abrirse o cerrarse gracias al accionamiento de una bobina eléctrica. Además, presenta dos estados de funcionamiento, uno estable o de reposo cuando la bobina no recibe acción alguna del circuito de mando, y el otro inestable, cuando actúa dicha acción. (Educar-Chile, s.f.)



Figura Nº 2.22: Contactor.

Fuente: <http://dinoalatele.blogspot.com/2013/07/como-funciona-el-contactor-electrico.html>

El contactor está formado por los siguientes elementos (Martinez, 2013):

- **Carcasa:** Es la parte externa o de soporte. Está fabricada con material aislante y en ella se fijan todos los componentes internos del contactor. En la carcasa también están serigrafiados los nombres de cada borne de conexión, como por ejemplo NO (Normal Open) y NC (Normal Close) que representan a los contactos auxiliares. A1 y A2 son los bornes de alimentación de la bobina, L1 y T1, L2 y T2, L3 y T3 representan las entradas y salidas de los contactos principales o de potencia.
- **Electroimán:** Es el elemento principal del contactor, se encarga de transformar la energía eléctrica en magnetismo, provocando mediante un movimiento mecánico la apertura o cierre de los contactos. El electroimán está compuesto por los siguientes elementos:
 - **Bobina:** Es un arrollamiento de alambre de cobre muy delgado con gran número de espiras, que al aplicarle electricidad genera un

campo electromagnético que vence la resistencia del resorte de retorno y que atrae fuertemente la armadura móvil (martillo) y por consiguiente uniendo o separando los contactos.

- **Núcleo:** Es un conjunto de láminas ferromagnéticas que tienen la forma de la letra “E” y aloja en su brazo central a la bobina del contactor. En el extremo de cada uno de sus brazos laterales tiene una bobina de sombra o “Espira Frager”, cada espira es un anillo de cobre que tiene por función evitar las vibraciones y zumbidos que podrían presentarse en el contactor, debido a las variaciones propias de la corriente alterna.
- **Armadura o Núcleo Móvil:** Es un elemento muy similar al núcleo, con la diferencia que la armadura es móvil y está separada inicialmente del núcleo por el resorte de retorno. Sobre el núcleo móvil se encuentran alojados los contactos principales y auxiliares del contactor.
- **Contactos principales:** Los contactos principales se conectan al circuito de potencia que se quiere manejar para asegurar el establecimiento y corte de las corrientes principales.
- **Contactos auxiliares:** Los contactos auxiliares son de dos clases, abiertos y cerrados. Estos forman parte del circuito auxiliar del contactor y aseguran las autoalimentaciones, los mandos, enclavamientos de contactos y señalizaciones en los equipos de automatismo.

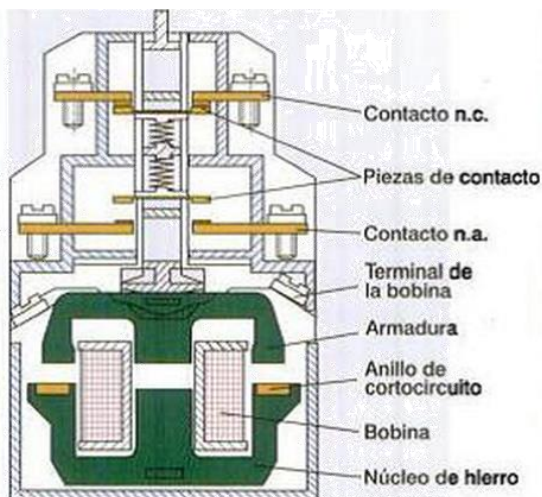


Figura Nº 2.23: Partes de un contactor.

Fuente: <http://dinoalatele.blogspot.com/2013/07/como-funciona-el-contactor-electrico.html>

Cuando la bobina del contactor es energizada por la circulación de corriente, genera un campo electromagnético que atrae a la armadura o núcleo móvil debido a que la fuerza de atracción generada es mayor que la fuerza del resorte que separa ambos núcleos. La unión de ambos núcleos logra que los contactos principales se cierren, estableciendo el paso de corriente hacia los receptores de potencia, además abrirá o cerrará, según el estado inicial, los contactos auxiliares que forman parte del circuito de control.

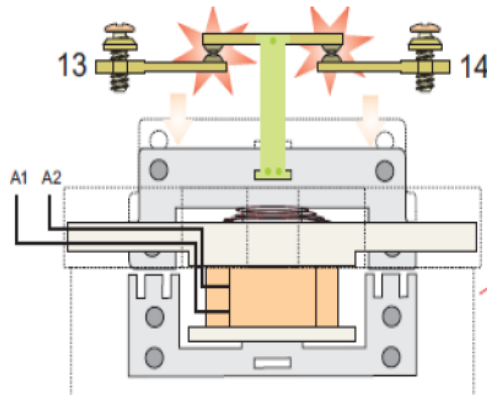


Figura N° 2.24: Contactor con bobina activada.

Fuente: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1468/RD-1103.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cuando la bobina deja de ser energizada, el campo electromagnético generado por ésta desaparece y la fuerza del resorte que une ambos núcleos será mayor. Esto logra que la armadura o núcleo móvil regrese a su posición inicial al igual que los contactos principales y los contactos auxiliares.

La bobina está concebida para resistir los choques mecánicos provocados por el cierre y la apertura de los contactos y los choques electromagnéticos debidos al paso de la corriente por sus espiras. Con el fin de reducir los choques mecánicos, la bobina se monta sobre amortiguadores. (Villarreal Rodríguez, 2011)

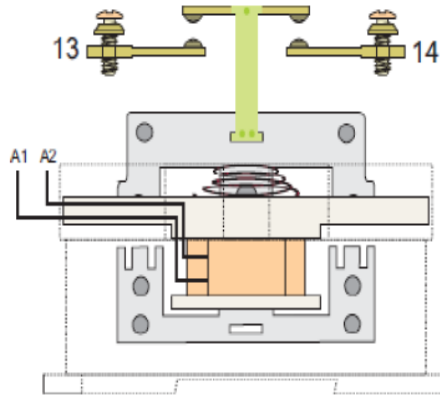


Figura Nº 2.25: Contactor con bobina desactivada.

Fuente: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1468/RD-1103.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Los bornes de conexión de los contactores se nombran mediante cifras o códigos de cifras y letras que permiten identificarlos, facilitando la realización de esquemas y las labores de cableado. (Martín Pérez & Martín Juan)

Los contactos principales se referencian con una sola cifra, del 1 al 16. Los contactos auxiliares están referenciados con dos cifras. Las cifras de unidades o cifras de función indican la función del contacto (Martín Pérez & Martín Juan):

- 1 y 2, contacto normalmente cerrado (NC).
- 4, contacto normalmente abierto (NA).
- 6, contacto de apertura temporizado.
- 7 y 8, contacto de cierre temporizado.

El contactor se denomina con las letras KM seguidas de un número de orden, mientras que los bornes de la bobina se referencian con las letras A1 y A2. (Martín Pérez & Martín Juan)

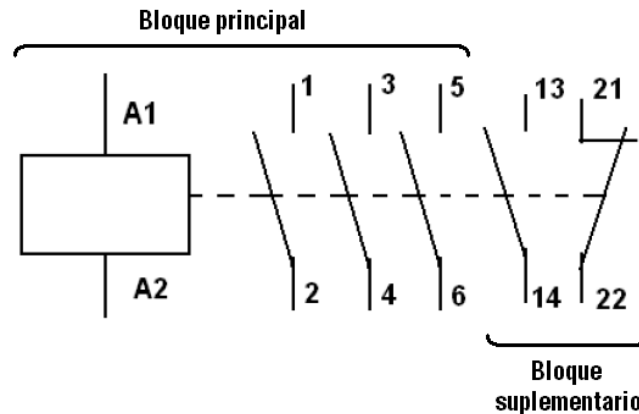


Figura N° 2.26: Símbolo del contactor.

Fuente: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1468/RD-1103.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

La categoría de utilización define las condiciones de establecimiento y corte de la corriente dependiendo de la corriente nominal y la tensión nominal. La categoría de utilización depende de la naturaleza de la carga a alimentar (motor jaula de ardilla, motor con rotor bobinado, resistencia, etc.) y de las condiciones en las que el establecimiento o el corte de la corriente se dan (motor en funcionamiento normal, corte durante el arranque, motor con rotor bloqueado, etc.). (Telemecanique, s.f.)

La norma IEC 947 las clasifica en (Telemecanique, s.f.):

- **AC1:** Corresponde a todo tipo de cargas AC con $\cos\phi \geq 0.95$
- **AC2:** Corresponde a la operación de motores de rotor bobinado. El contactor permite el paso de una corriente de arranque que es del orden de 2,5 veces la corriente nominal del motor. El contactor corta la corriente de arranque a un voltaje que no excede el voltaje de alimentación.
- **AC3:** Corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor en funcionamiento normal del motor. El contactor permite el paso de una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y puede cortarla con un voltaje entre bornes que será aproximadamente el 20% del voltaje de la fuente de alimentación.
- **AC4:** Corresponde a la operación de motores jaula de ardilla con apertura del contactor sobre la corriente de arranque del motor. El

contactor permite el paso de una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y puede cortarla con un voltaje entre bornes que será mayor cuanto menor sea la velocidad del motor, pudiendo llegar a ser de la misma magnitud que el voltaje de la fuente de alimentación .

- **DC1:** Cualquier carga que tenga una constante de tiempo $L/R \leq 1\text{ms}$.
- **DC2, DC3, DC4, DC5:** Corresponde a la operación de motores de corriente continua, con distintas constantes de tiempo y distintos regímenes de cierre y apertura del contactor.

2.3.5. Relé térmico bimetálico

Los relés térmicos bimetálicos están diseñados para proteger a los motores en prácticamente todas las condiciones de funcionamiento. El mecanismo de disparo de los relés está compuesto principalmente por un juego de tres bimetales que, al deformarse con la temperatura, provocan el disparo del relé. Los bimetales son láminas compuestas por dos metales soldados entre sí, como estos metales unidos tienen diferentes coeficientes de dilatación, al calentarse, el metal que más se deforma con la temperatura arrastra al otro provocando una deformación. La temperatura que deforma los bimetales es generada por arrollamientos calefactores diseñados para tal fin y por los cuales circula la corriente del motor. (Electrocomisiones, 2016)

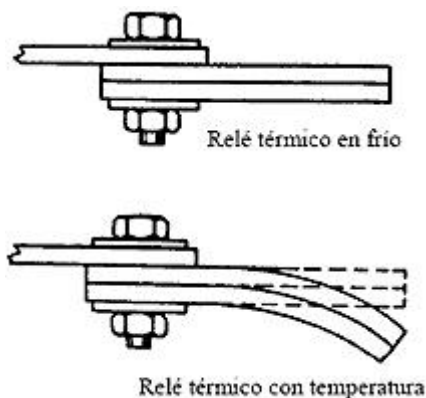


Figura N° 2.27: Comportamiento de los bimetales.

Fuente: <https://www.electromisiones.com.ar/blog/que-es-un-rele-termico-y-para-que-sirve/>

El relé no mide la temperatura de los bobinados del equipo en forma directa, sino que lo hace a través del sensado de la corriente representando la

temperatura que supuestamente tienen los bobinados. Por lo tanto, un relé térmico es un aparato diseñado para la protección de motores contra sobrecargas, fallo de alguna de las fases y diferencias de carga entre ellas. (Rivero, 2013)

La deformación de los bimetales, desplaza todo el conjunto de peines, y por lo tanto la palanca de disparo hace girar proporcionalmente al gatillo de disparo. Cuando el gatillo de disparo gira lo suficiente para alcanzar el resorte de posición, se produce el disparo que conmuta la posición del contacto móvil desde NC a NO (el contacto 95 – 96 pasa de cerrado a abierto y el 97 – 98 pasa de abierto a cerrado). Si este contacto NC 95 – 96 estaba accionando la bobina de un contactor asociado en el momento del disparo, al conmutar esa posición la bobina dejará de recibir alimentación y el contactor abrirá el circuito. Es decir, que el relé térmico no es capaz de interrumpir el circuito de potencia por sí mismo, sino que necesita de un contactor que cumpla esa función. (Electrocomisiones, 2016)

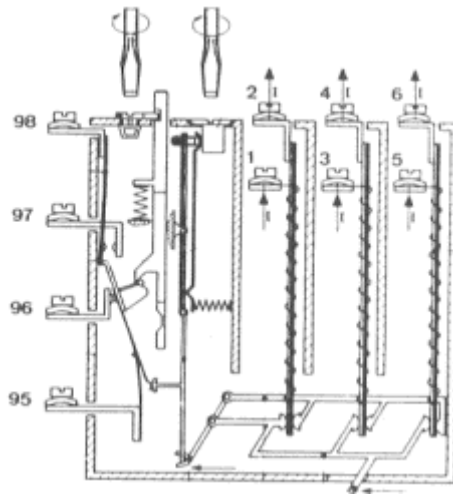


Figura Nº 2.28: Parte interna de un relé térmico bimetálico.

Fuente: https://issuu.com/mariangelesrv/docs/sistemas_de_proteccion

Los relés térmicos incorporan los siguientes elementos (Electrocomisiones, 2016):

- Dos contactos auxiliares (NO-97-98 y NC-95-96), para su uso en el circuito de control.
- Dispone de un botón regulador de la intensidad de protección.

- incorpora un botón de prueba (STOP).
- Además presenta un botón para RESET.

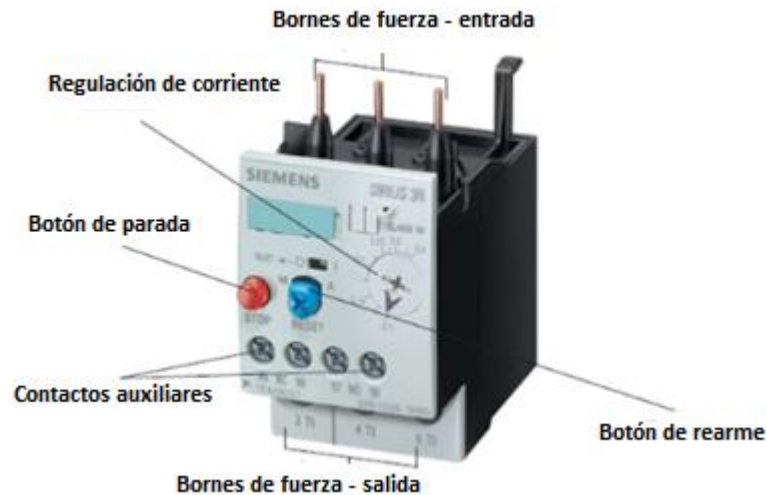


Figura N° 2.29: Parte externa de un relé térmico bimetálico.

Fuente: https://issuu.com/mariangelesrv/docs/sistemas_de_proteccion

Una vez que el relé se disparó, y las láminas bimetálicas se enfriaron en un determinado grado, con el pulsador de Reset podremos llevar el contacto nuevamente a su posición original. Si el pulsador de Reset está en posición automático, este retorno a la posición original se produce automáticamente, conectando nuevamente el contactor asociado, por lo que debe tenerse muy en cuenta el peligro que esto implica, utilizando únicamente este modo en circuitos con pulsadores, donde se demande un nuevo pulsado para que el circuito arranque. En general se recomienda siempre utilizar el modo manual. (Rivero, 2013)

El pulsador Test sirve para simular un disparo y verificar si todo el circuito funciona correctamente, en este caso, el contacto NC 95 – 96, conmutará a abierto y quedará en esa posición, por lo que para que retorne a la posición de trabajo deberá presionarse el pulsador Reset. Los relés térmicos cuentan con un indicador de disparo color verde que informa al usuario si el relé se disparó o no. (Electrocomisiones, 2016)

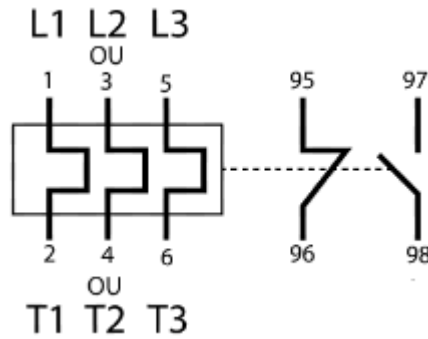


Figura Nº 2.30: Símbolo del relé térmico bimetálico.

Fuente: https://issuu.com/mariangelesrv/docs/sistemas_de_proteccion

2.3.6. Temporizadores

En muchas ocasiones se hace necesario introducir un retardo entre dos fases de un proceso. La importancia de los temporizadores eléctricos para el sector industrial radica en su eficiencia como dispositivos que regulan la conexión o desconexión de un circuito eléctrico por un tiempo determinado. (Ingeniería-Mecafenix, 2017)

De acuerdo a su funcionamiento se pueden clasificar de la siguiente manera (Ingeniería-Mecafenix, 2017):

- **Temporizador a la conexión:** Es un tipo particular de relé cuyo contacto de salida conecta después de un cierto retardo de tiempo a partir de la conexión de los bornes de su bobina a la red; es decir, funciona para la activación de un elemento después del tiempo ordenado o programado.

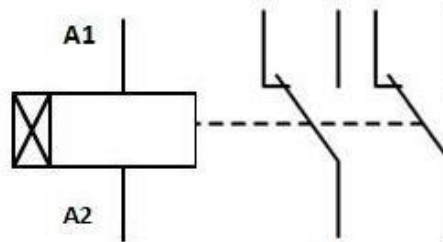


Figura Nº 2.31: Temporizador a la conexión.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

- **Temporizador a la desconexión:** En estos dispositivos se genera una conmutación de contactos después de un tiempo de haberse recibido la

tensión. Este temporizador funciona al contrario del anterior, ya que realiza la desactivación del aparato después del tiempo asignado.

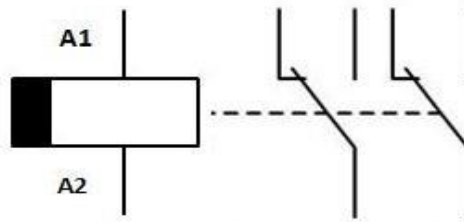


Figura N° 2.32: Temporizador a la desconexión.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

Pese a que los temporizadores se clasifican por su funcionamiento, existen diversos tipos y cada uno sirve para una aplicación específica (Eparra, 2012):

- **Temporizadores Térmicos:** Los temporizadores térmicos actúan por calentamiento de una lámina bimetálica, el tiempo viene determinado por el curvado de la lámina. Constan de un transformador cuyo primario se conecta a la red, pero el secundario, que tiene pocas espiras y está conectado en serie con la lámina bimetálica, siempre tiene que estar en cortocircuito para producir el calentamiento de dicha lamina, por lo que cuando realiza la temporización se tiene que desconectar el primario y deje de funcionar.



Figura N° 2.33: Temporizador térmico.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

- **Temporizadores Neumáticos:** El funcionamiento del temporizador neumático está basado en la acción de un fuelle que se comprime al ser accionado por el electroimán del relé. Al tender el fuelle a ocupar su posición de reposo la hace lentamente, ya que el aire ha de entrar por

un pequeño orificio, que al variar de tamaño cambia el tiempo de recuperación del fuelle y por lo tanto el temporizador.



Figura N° 2.34: Temporizador neumático.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

- **Temporizadores de motor síncrono:** Son los temporizadores que actúan por medio de un mecanismo de relojería accionado por un pequeño motor con embrague electromagnético. Al cabo de cierto tiempo de funcionamiento, entra en acción el embrague y se produce la apertura o cierre del circuito.



Figura N° 2.35: Temporizador de motor síncrono.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

- **Temporizadores electrónicos:** El principio básico de este tipo de temporización, es la carga o descarga de un condensador mediante una resistencia. Por lo general se emplean condensadores electrolíticos, siempre que su resistencia de aislamiento sea mayor que la resistencia de descarga, en caso contrario el condensador se descargaría a través de su insuficiente resistencia de aislamiento.



Figura Nº 2.36: Temporizador electrónico.

Fuente: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>

2.4. Microcontroladores PIC

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de un coche, etc. Y otras aplicaciones más complejas como la instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos a través de un procesador central más potente para compartir información y coordinar sus acciones, como ocurre habitualmente en cualquier PC. (Guerrero Castellanos, s.f.)

Existe una gran diversidad de microcontroladores. Quizá la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 o 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros. Uno de los sectores que más tira del mercado del microcontrolador es el mercado automovilístico. De hecho, algunas de las familias de microcontroladores actuales se desarrollaron pensando en este sector, siendo modificadas posteriormente para adaptarse a sistemas más genéricos. El mercado del automóvil es además uno de los más exigentes: los componentes electrónicos

deben operar bajo condiciones extremas de vibraciones, choques, ruido, etc. y seguir siendo fiables. (Hernandez Garcia, s.f.)

En cuanto a las técnicas de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido. (Grayeb, 2008)

La distribución de las ventas según su aplicación es la siguiente:

- Una tercera parte se absorbe en las aplicaciones relacionadas con los computadores y sus periféricos.
- La cuarta parte se utiliza en las aplicaciones de consumo (electrodomésticos, juegos, TV, vídeo, etc.)
- El 16% de las ventas mundiales se destinó al área de las comunicaciones.
- Otro 16% fue empleado en aplicaciones industriales.
- El resto de los microcontroladores vendidos en el mundo, aproximadamente un 10%, fueron adquiridos por las industrias de automoción.

También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más interés el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los dispositivos de almacenamiento masivo de datos. (Sanchez Olea, 2015)



Figura N° 2.37: Microcontrolador PIC.

Fuente: <http://itt13401117.wixsite.com/microcontroladores/single-post/2015/12/01/MICROCONTROLADORES-EN-LA-ACTUALIDAD>

2.4.1. Criterios de selección

Si sólo se dispone de un modelo de microcontrolador, éste debería tener muy potenciados todos sus recursos para poder adaptarse a las exigencias de las diferentes aplicaciones. Esta potenciación supondría en muchos casos un despilfarro. En la práctica cada fabricante de microcontroladores oferta un

elevado número de modelos diferentes, desde los más sencillos hasta los más poderosos. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar. (Frino, s.f.)

A la hora de escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto hay que tener en cuenta multitud de factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.). (Frino, s.f.)

- **Costos:** Si el fabricante desea reducir costes debe tener en cuenta las herramientas de apoyo con que va a contar: emuladores, simuladores, ensambladores, compiladores, etc. Es habitual que muchos de ellos siempre se decanten por microcontroladores pertenecientes a una única familia.
- **Procesamiento de datos:** Puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso se debe seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar. Si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 o 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante.
- **Entradas/Salidas:** Para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.
- **Consumo:** Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero

que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.

- **Memoria:** Para detectar las necesidades de memoria de nuestra aplicación debemos separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.
- **Ancho de palabra:** El criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costes, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado coste, deben reservarse para aplicaciones que requieran altas prestaciones.
- **Diseño de la placa:** La selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales: procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente. (Del sol, s.f.)

2.4.2. Estructura del microcontrolador

2.4.2.1. Arquitectura

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de Von Neumann, en el presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma

indistinta. A dicha memoria se accede a través de un único sistema de buses (direcciones, datos y control). (Atlantic-International-University, 2008)

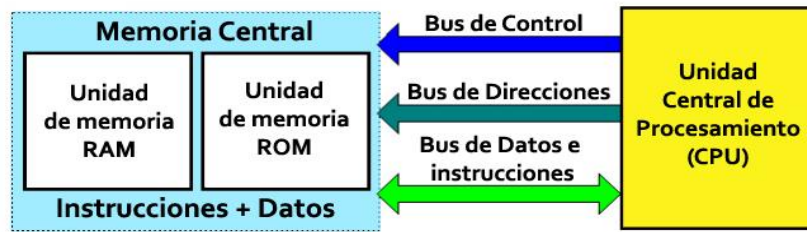


Figura Nº 2.38: Arquitectura Von Neumann.

Fuente:

<https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias. (Atlantic-International-University, 2008)

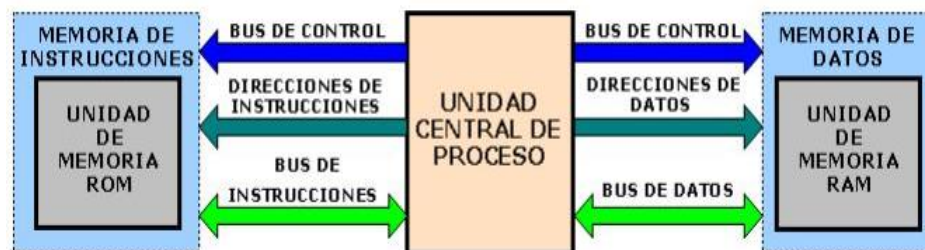


Figura Nº 2.39: Arquitectura Harvard.

Fuente:

<https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>

2.4.2.2. El procesador o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado. (A. Pavon, s.f.)

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales (A. Pavon, s.f.):

- **CISC:** Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.
- **RISC:** Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.
- **SISC:** En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es “específico”, o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

2.4.2.3. Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos. (Del sol, s.f.)

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales (Del sol, s.f.):

- No existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes.

- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM. (Developer, 2012)

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado (Developer, 2012):

- **ROM con máscara:** Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.
- **OTP:** El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura “programable una sola vez” por el usuario llamada OTP (One Time Programmable).
- **EPROM:** Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si posteriormente se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos.
- **EEPROM:** Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Tanto la programación como el borrado se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC.

- **FLASH:** Se trata de una memoria no volátil de bajo consumo que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM, pero consume menos y es más pequeña.

2.4.2.4. Puertos de entrada y salida

La principal utilidad de las patillas que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores. (Perso, s.f.)

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control. (Perso, s.f.)

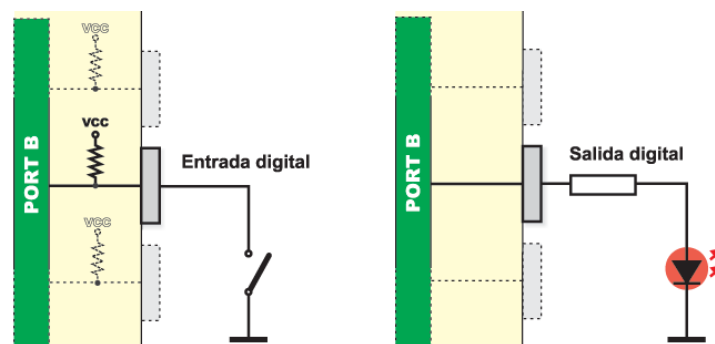


Figura Nº 2.40: Puertos de entrada y salida de un microcontrolador PIC.

Fuente: <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.html>

2.4.2.5. Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema. (Coreano, 2016)

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red RC. (Manrique Lozano, s.f.)

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones, pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía. (Manrique Lozano, s.f.)

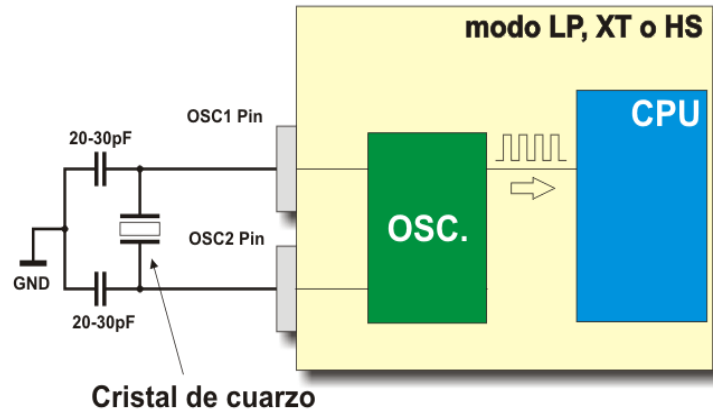


Figura Nº 2.41: Cristal de cuarzo.

Fuente: <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.html>

2.4.2.6. Recursos especiales

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software. (Denos Quispe, 2014)

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores PIC son los siguientes (Denos Quispe, 2014):

- **Temporizadores o “Timers”:** Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).
- **Perro guardián o “Watchdog”:** El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.
- **Protección ante fallo de alimentación o “Brownout”:** Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo (“Brownout”).

Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de Brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

- **Estado de reposo o de bajo consumo:** Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que le pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos.
- **Conversor A/D (CAD):** Los microcontroladores PIC que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del circuito integrado.
- **Conversor D/A (CDA):** Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.
- **Comparador analógico:** Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por uno de los pines del PIC. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 o 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.
- **Modulador de ancho de pulso o PWM:** Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de ancho variable, que se ofrecen al exterior a través de las patillas del encapsulado.
- **Puertos de comunicación:** Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan: UART, USART Puerto USB (Universal Serial Bus), Bus I2C.

2.4.2.7. Herramientas para el desarrollo de aplicaciones

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador es el soporte tanto de software como hardware del cual dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto. (Perso, s.f.)

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son las siguientes (Perso, s.f.):

- **Lenguaje ensamblador:** La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema.
- **Compiladores:** La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador.
- **Depuración:** Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.
- **Simuladores:** Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos.
- **Placas de evaluación:** Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc.
- **Emuladores en circuito:** Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es

ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo.

2.5. LDMicro

LDMicro genera código fuente para una determinada gama de microcontroladores PIC y AVR. Por lo general, el software para estos microcontroladores está escrito en un lenguaje de programación como ensamblador, C o BASIC. Estos lenguajes son potentes y bien adaptados a la arquitectura del procesador, que internamente ejecuta una lista de instrucciones. (Martin, 2017)

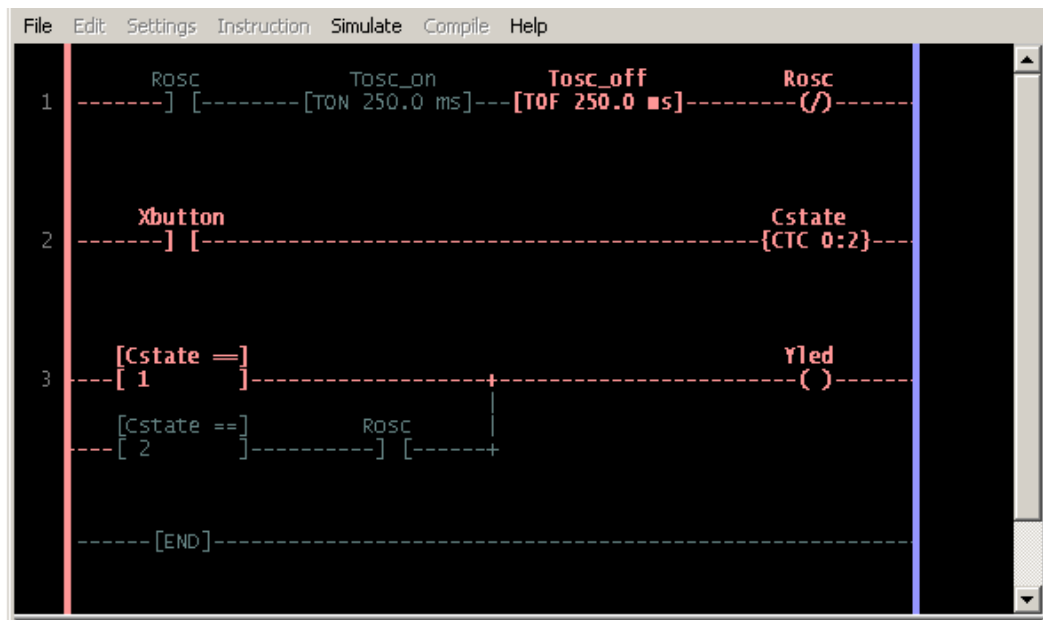


Figura N° 2.42: Programa en LDMicro.

Fuente: <http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2017/09/ldmicro-ladder-para-pic-y-avr.html>

Básicamente, los programas se ven como diagramas de circuitos con contactos de relé (entradas) y bobinas (salidas). Esto es intuitivo para programadores con conocimiento de la teoría de automatismos eléctricos. (Martin, 2017)

LDMicro compila lógica de escalera para los siguientes microcontroladores (Martin, 2017):

- PIC16F877
- PIC16F628
- PIC16F876
- PIC16F88

- PIC16F819
- PIC16F887
- PIC16F886
- ATmega128
- ATmega64
- ATmega162
- ATmega32
- ATmega16
- ATmega8

La salida del compilador es archivo un .hex que se puede cargar en el microcontrolador utilizando cualquier programador o Bootloader para PIC o AVR. (Martin, 2017)

Para crear un programa en LDMicro, primero se debe elegir el microcontrolador que se va a utilizar (**Configuraciones -> Microcontrolador**).

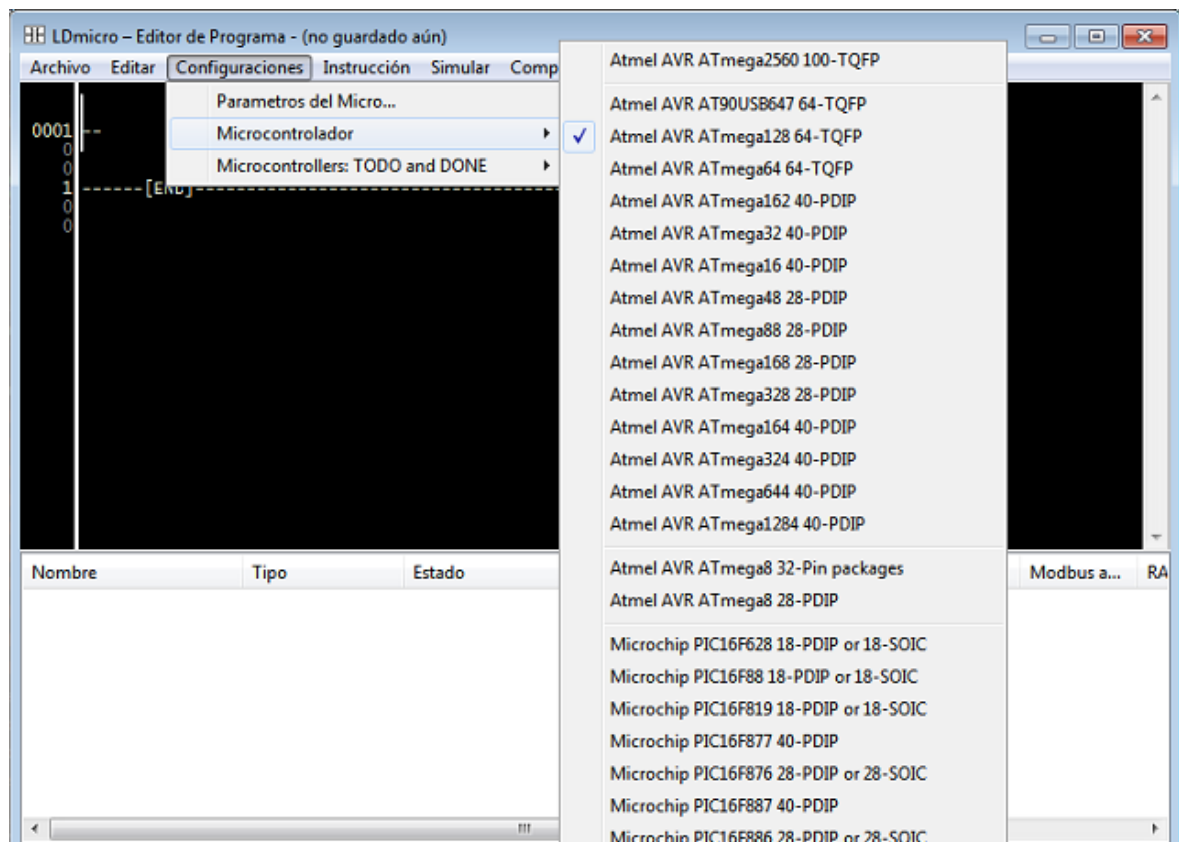


Figura N° 2.43: Selección de un microcontrolador en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es configurar la frecuencia de reloj del microcontrolador, como se muestra en la siguiente figura.

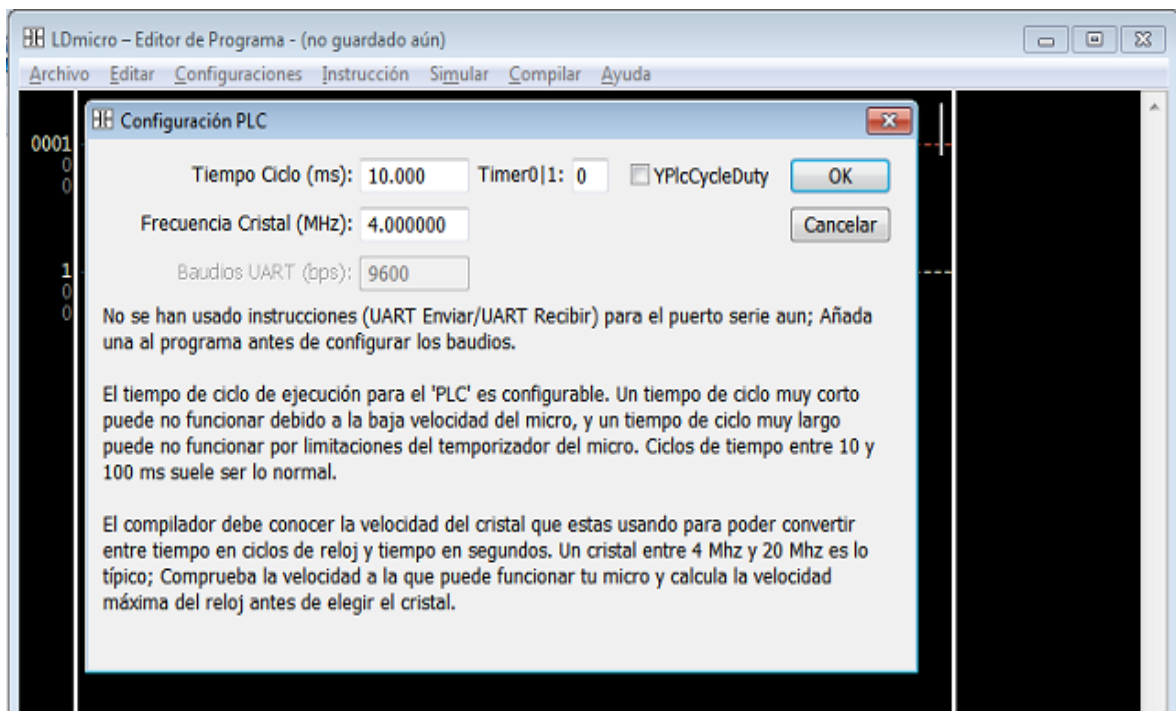


Figura Nº 2.44: Configuración de la frecuencia de reloj de un microcontrolador en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procede a crear el programa. Para esto, se deben incluir los contactos necesarios (**Instrucción -> Insertar Contacto**).

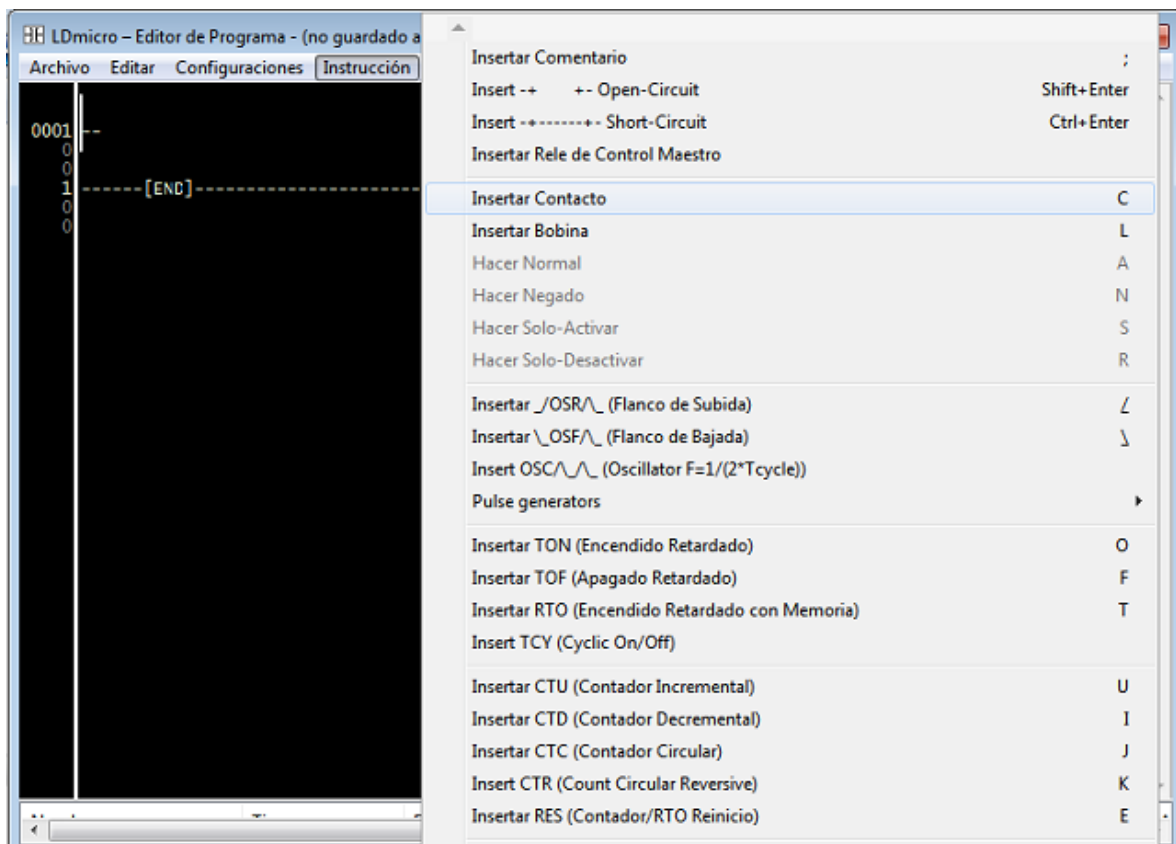


Figura Nº 2.45: Selección de contactos en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de ingresar los contactos, estos deben ser configurados para que el software sepa si pertenecen a un pin de entrada o salida del microcontrolador. En la siguiente figura se observa la configuración de una entrada, cuyo nombre será “PARO”.

Este proceso debe repetirse hasta que sean configurados todos los contactos agregados.

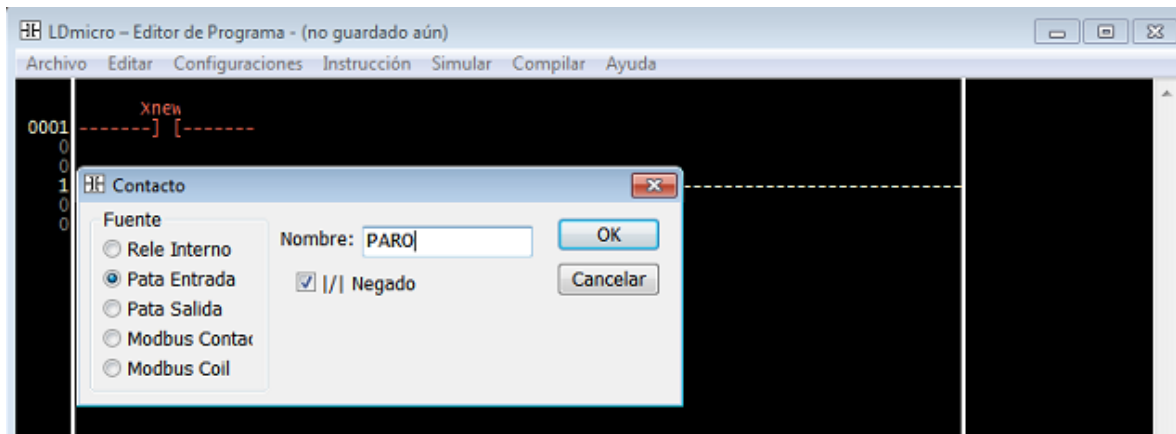


Figura Nº 2.46: Configuración de contactos como entradas en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se observa la configuración de una salida (Bobina), cuyo nombre será “MOTOR”.

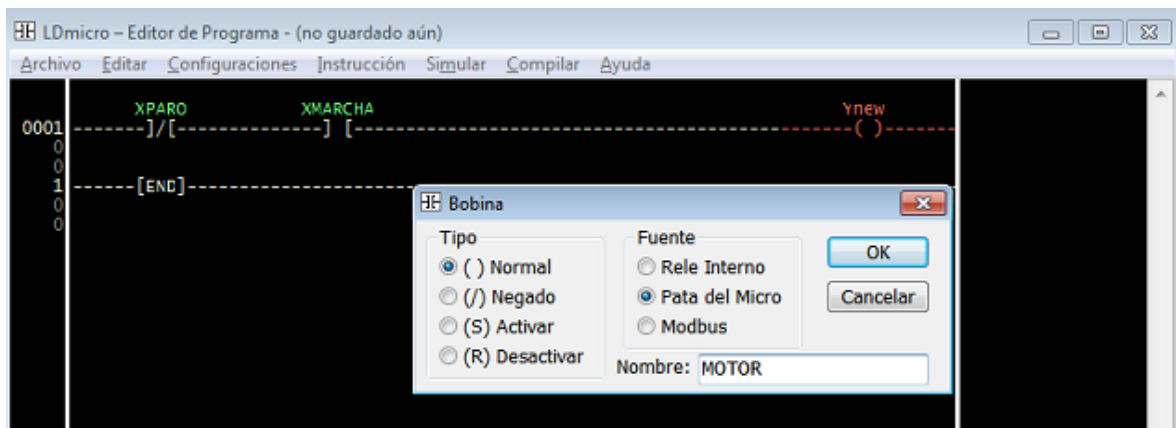


Figura Nº 2.47: Configuración de contactos como salidas en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se tiene el programa completo, se procede a la asignación de pines del microcontrolador.

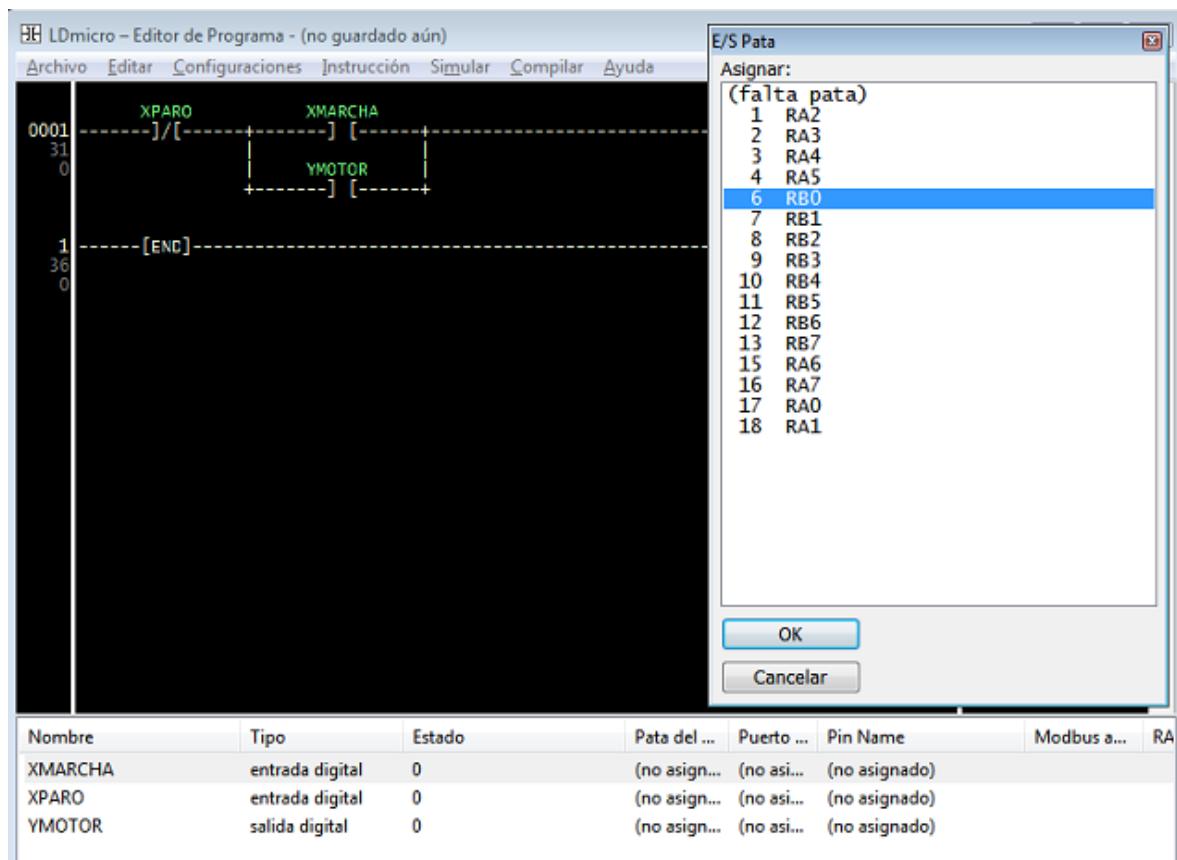


Figura Nº 2.48: Asignación de pines de entrada y salida en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra la asignación completa de pines de entrada y salida del microcontrolador.

Nombre	Tipo	Estado	Pata del ...	Puerto ...
XMARCHA	entrada digital	0	6	RB0
XPARO	entrada digital	0	7	RB1
YMOTOR	salida digital	0	8	RB2

Figura Nº 2.49: Tabla de variables de entrada y salida en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la configuración de pines, el siguiente paso es simular el programa para descartar errores.

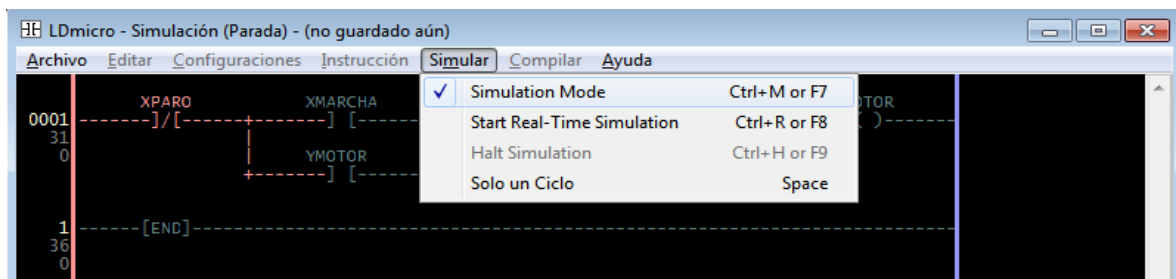


Figura N° 2.50: Inicio de simulación en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se puede observar que al forzar el estado del contacto “MARCHA”, se activa la salida “MOTOR”.

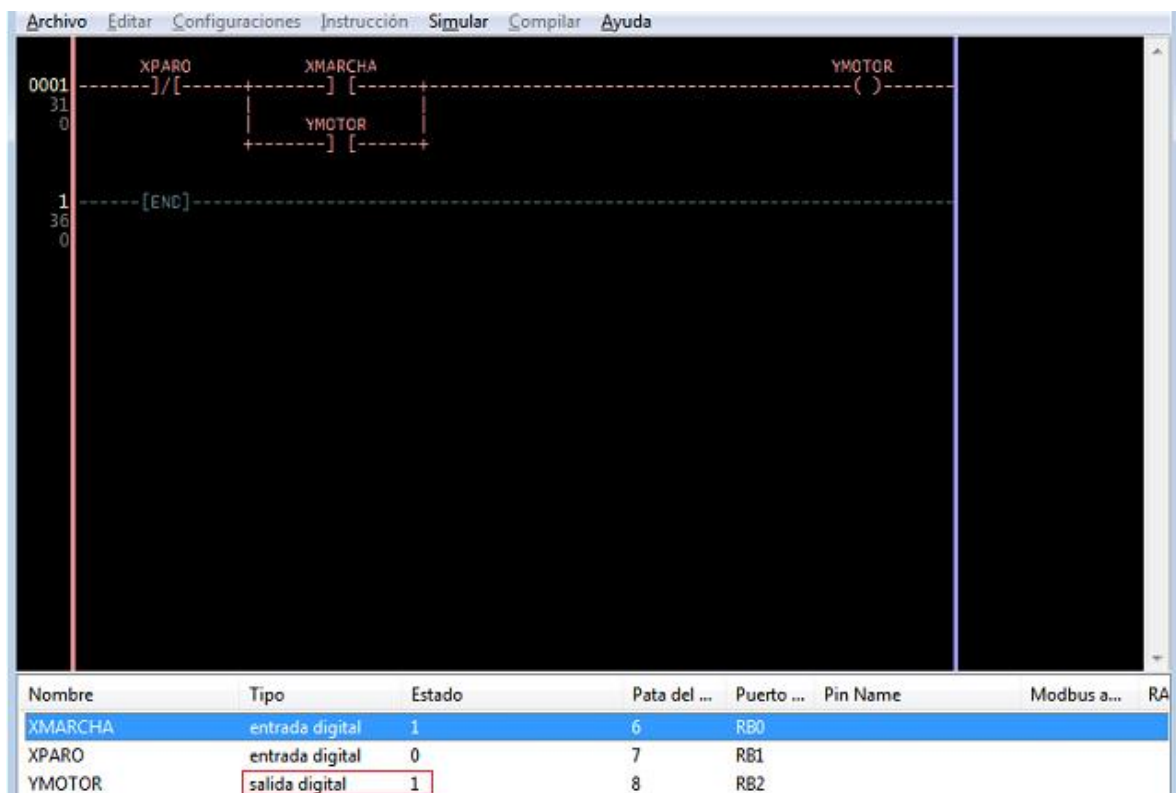


Figura N° 2.51: Activación de salidas en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Al desactivar el contacto “MARCHA”, la salida “MOTOR” sigue en estado activo.

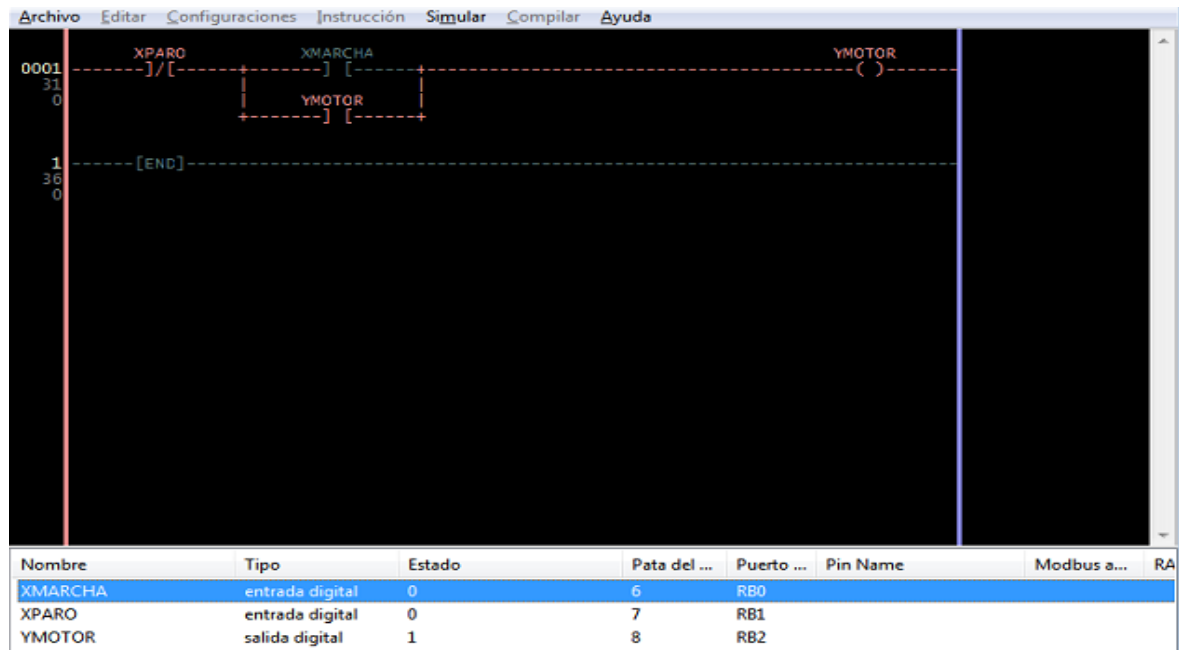


Figura Nº 2.52: Enclavamiento en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

Al activar el contacto “PARO”, la salida “MOTOR” quedará desactivada como se muestra en la siguiente figura.

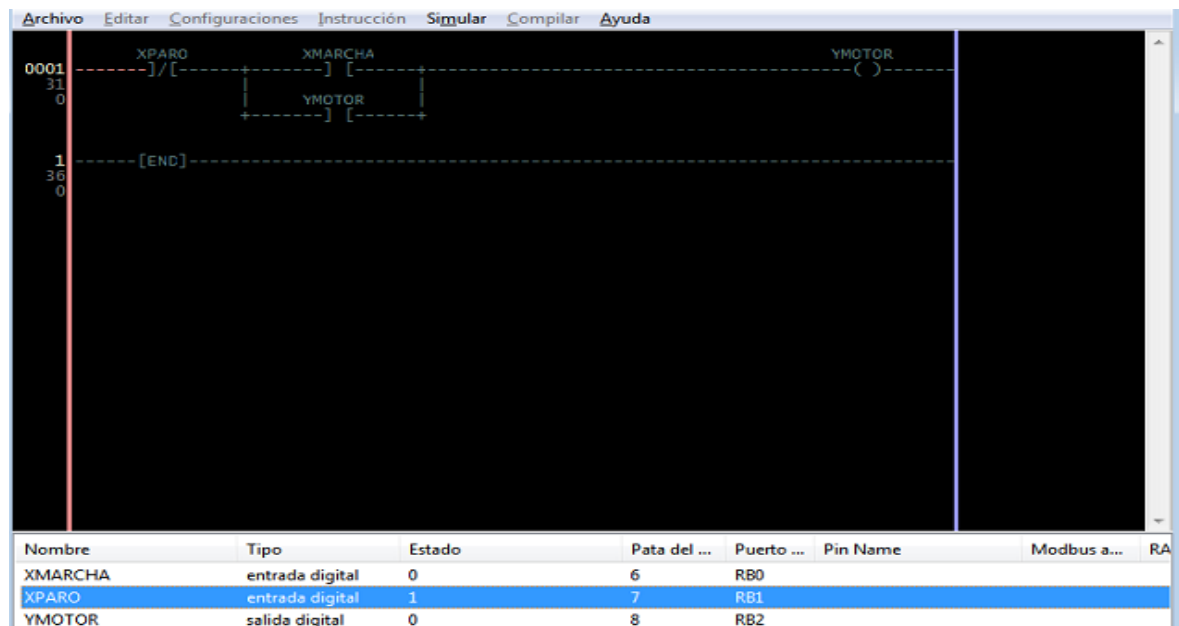


Figura Nº 2.53: Fin de la simulación en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

El último paso es compilar el programa para generar el archivo .hex, necesario para cargar el programa al microcontrolador.

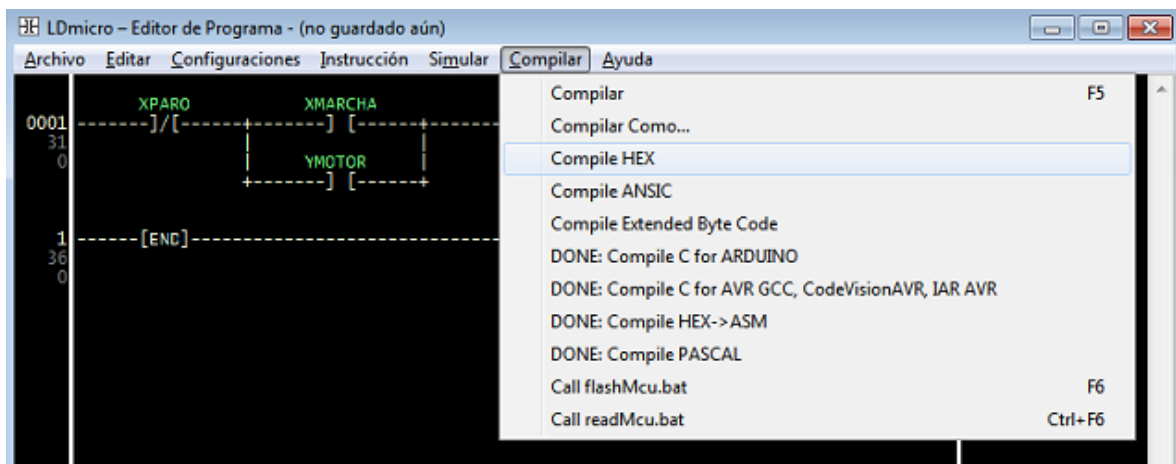


Figura Nº 2.54: Generación de archivo .HEX en LDMicro.

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE LA MINI PLANTA

CAPITULO III

3.1. Situación actual de las mini plantas de la EPIE

La Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica (EPIE) cuenta con 5 mini plantas para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas de laboratorio. Existen tres mini plantas para controlar la velocidad de motores trifásico, una mini planta para controlar el nivel de agua en un tanque y una mini planta para controlar la presión.

Sin embargo, se pudo comprobar que las cinco mini plantas están desconfiguradas, lo que dificulta el aprendizaje de los estudiantes al momento de realizar sus prácticas de laboratorio.



Figura Nº 3.1: Mini planta de control de velocidad de la EPIE.

Fuente: Elaboración propia.



Figura Nº 3.2: Mini planta de control de nivel de la EPIE.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Cálculo del calibre para los cables conductores

En este punto es importante resaltar que la mini planta estará diseñada para controlar un motor trifásico de 3HP, debido a que los motores que existen en el laboratorio trabajan a esa potencia. En base a esto, se determinará el calibre de los cables conductores, así como la capacidad de corriente que deberán soportar los interruptores termomagnéticas, los contactores y el guardamotor.

A continuación, se muestra una tabla con las especificaciones eléctricas de los motores del laboratorio.

Tabla Nº 3.1: Parámetros eléctricos de los motores de la EPIE.

Parámetro	Valor
Tensión nominal	380 VAC
Corriente nominal	9,6 A
Potencia nominal	3HP – 2,2 kW
Factor de potencia	0,76
Frecuencia	50/60 Hz
Velocidad	1800 rpm
Eficiencia	80%

De la tabla anterior, se puede apreciar que la corriente que circulará por los interruptores termomagnéticos, los contactores y el guardamotor es de 9,6 A.

El calibre de los cables conductores (AWG) se escogerá de acuerdo a los datos de la Figura Nº3.3.

CORRIENTE NOMINAL Amperios	SECCIÓN TRANSVERSAL			
	ALAMBRE DE COBRE		ALAMBRE DE ALUMINIO O DE ALUMINIO REVESTIDO DE COBRE	
	mm ²	AWG o Kcmil	mm ²	AWG o Kc
15	2.08	14	3.30	12
20	3.30	12	5.25	10
30	5.25	10	8.36	8
40	5.25	10	8.36	8
60	5.25	10	8.36	8
100	8.36	8	13.29	6
200	13.29	6	21.14	4
300	21.14	4	33.62	2
400	26.66	3	42.20	1
500	33.62	2	53.50	1/0
600	42.20	1	67.44	2/0
800	53.50	1/0	85.02	3/0
1000	67.44	2/0	107.21	4/0

Figura Nº 3.3: Selección de calibre para cables de cobre y aluminio.

Fuente: http://www.academia.edu/31683656/CALIBRE_DE_CONDUCTORES_ELECTRICOS

De acuerdo a los datos de la figura anterior, el calibre adecuado para los cables de cobre de la mini planta es de: 14 AWG.

3.3. Selección de elementos para el diseño de la mini planta

La selección de los elementos de la mini planta fue dividida en dos partes: los elementos para el circuito de control y los elementos para el circuito de potencia.

3.3.1. Elementos del circuito de control

Estos elementos trabajaran conjuntamente y serán los encargados de recibir, procesar y ejecutar las instrucciones del código grabado en el microcontrolador.

a) Fuente de alimentación y regulador de voltaje

Uno de los elementos más importantes del circuito de control es la fuente de alimentación. Para este caso, se utilizará una fuente de alimentación con una salida de 24 VDC (como las usadas en PLC's), la cual será regulada a 5 VDC para energizar todo el circuito de control.

La serie de reguladores LM2596 son circuitos integrados monolíticos que proporcionan todas las funciones activas para un regulador de conmutación reductor (buck) capaz de manejar cargas 3 A y funciona a una frecuencia de conmutación de 150 kHz.

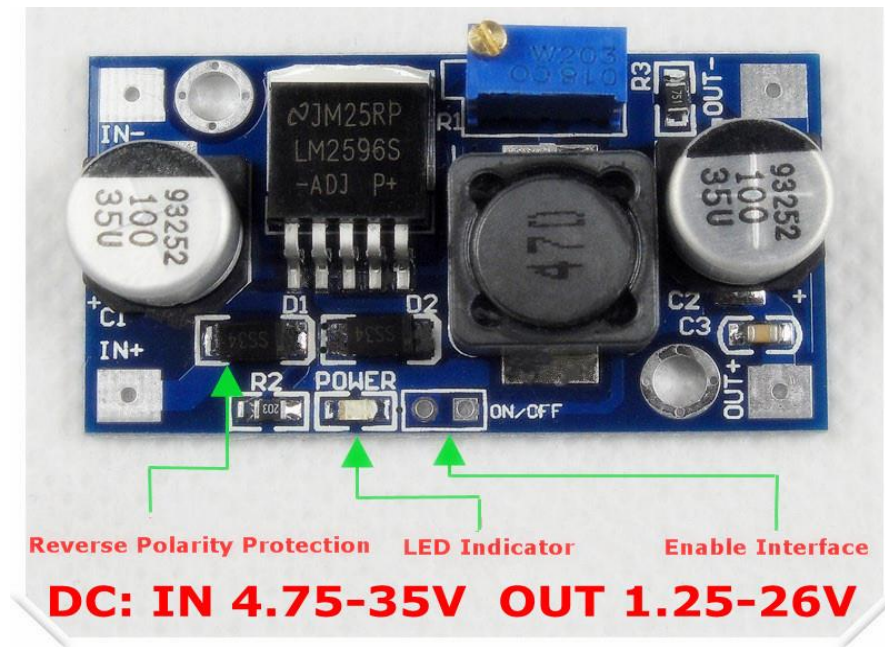


Figura N° 3.4: Regulador LM2596.

Fuente: <https://electronilab.co/tienda/modulo-lm2596-convertidor-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v/>

b) Optoacoplador 4N25

Un optoacoplador es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP.

La ventaja fundamental de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Mediante el optoacoplador, el único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz. Esto genera una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos del orden de miles de MΩ.

Las principales características de optoacoplador 4N25 son las siguientes:

- Voltaje de aislamiento: 7500 VAC.
- Canales: 1.
- Entrada: Tipo DC.
- Salida: Tipo transistor.
- Paquete: Dip de 6 pines.

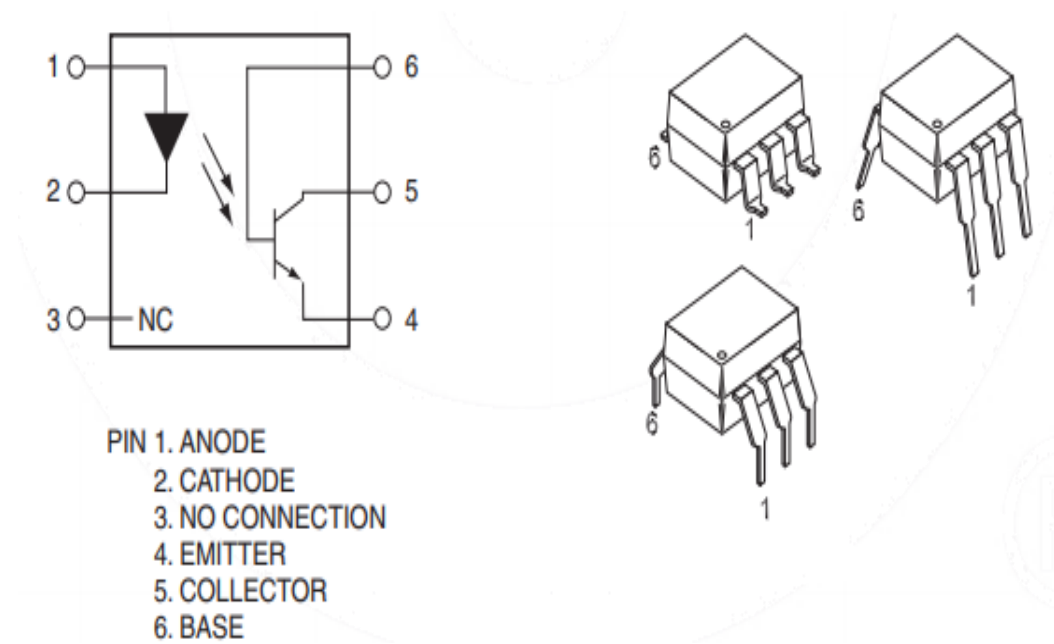


Figura N° 3.5: Optoacoplador 4N25.

Fuente: <http://www.geekbotelectronics.com/producto/optoacoplador-4n25/>

c) PIC 16F628

El microcontrolador PIC 16F628 incorpora tres características importantes:

- Procesador tipo RISC (Procesador con un Conjunto Reducido de Instrucciones).
- Procesador segmentado.
- Arquitectura HARVARD.

Con estos recursos, el PIC es capaz de ejecutar instrucciones solamente en un ciclo de instrucción. Con la estructura segmentada se pueden realizar simultáneamente las dos fases en que se descompone cada instrucción, ejecución de la instrucción y búsqueda de la siguiente.

La separación de los dos tipos de memoria son los pilares de la arquitectura Harvard, esto permite acceder en forma simultánea e independiente a la memoria de datos y a la de instrucciones. El tener memorias separadas permite que cada una tenga el ancho y tamaño más adecuado. Así en el PIC 16F628 el ancho de los datos es de un byte, mientras que la de las instrucciones es de 14 bits.

Las principales características del PIC 16F628 son las siguientes:

- Conjunto reducido de instrucciones (RISC). Solamente utiliza 35 instrucciones.
- Oscilador interno de 4MHz.
- Las instrucciones se ejecutan en un sólo ciclo de máquina excepto los saltos (goto y call), que requieren 2 ciclos). Aquí hay que especificar que un ciclo de máquina se lleva 4 ciclos de reloj, si se utiliza el reloj interno de 4MHz, los ciclos de máquina se realizarán con una frecuencia de 1MHz, es decir que cada instrucción se ejecutará en 1 us (microsegundo).
- Opera con una frecuencia de reloj de hasta 20 MHz (ciclo de máquina de 200 ns).
- Memoria de programa: 2048 locaciones de 14 bits.
- Memoria de datos: Memoria RAM de 224 bytes (8 bits por registro).
- Memoria EEPROM: 128 bytes (8 bits por registro).
- Stack de 8 niveles.
- 16 Terminales de I/O que soportan corrientes de hasta 25 mA.
- 3 Temporizadores.
- Módulos de comunicación serie, comparadores, PWM.

El PIC 16F628 se encargará de recibir la señales provenientes de los optoacopladores ("MARCHA", "PARO" e "INVERSIÓN"). De acuerdo a la señal recibida, el PIC enviará una señal de salida para activar o desactivar las bobinas de los contactores correspondientes.

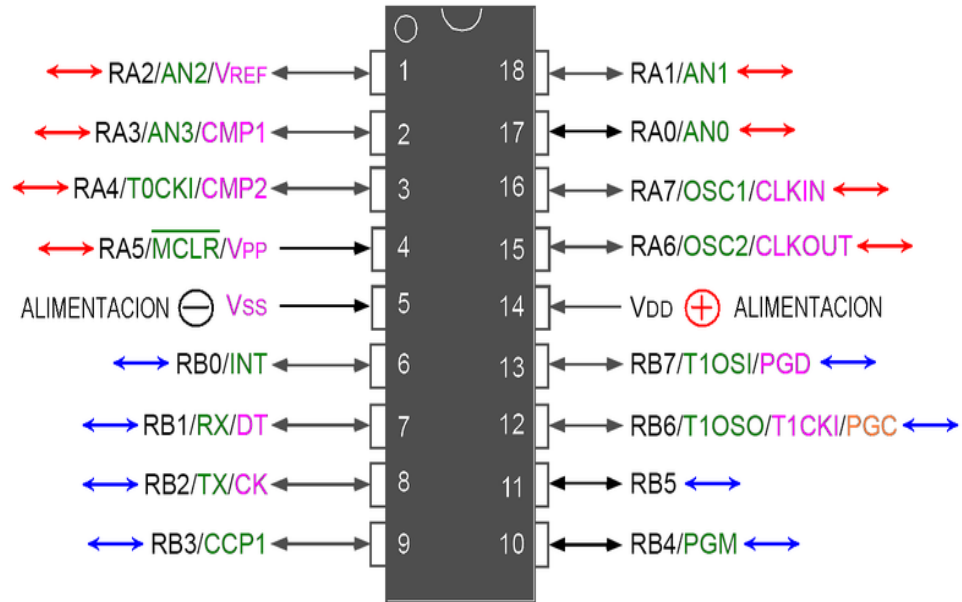


Figura N° 3.6: PIC 16F628.

Fuente: <https://www.best-microcontroller-projects.com/16F628.html>

d) ULN2803

El circuito integrado ULN2803 es un arreglo de transistores Darlington que ofrecen 8 salidas de alta corriente para impulsar dispositivos como: relés, motores, solenoides, bombillas de filamento, series de leds, displays, etc.



Figura N° 3.7: Driver ULN2803.

Fuente: <https://tallerelectronica.com/tag/uln2803/>

Las principales características del circuito integrado ULN2803 son las siguientes:

- **Voltaje de alimentación:** Típicamente el ULN2803 se puede utilizar con voltajes de 5, 9 y 12 voltios, pero también puede soportar voltajes hasta de 50 V. El "voltaje de alimentación" se hace por el

pin 10 (COM), el cual se trata de un punto común para todos los cátodos de los diodos clamp. La conexión a tierra (GND) se encuentra en el pin 9.

- **Corriente:** La corriente máxima que se obtiene del ULN2803 es de 500 mA, pero se puede incrementar si se utiliza una conexión de salidas en paralelo.
- **Entradas:** Responden a niveles lógicos C-MOS y TTL; soportan un voltaje máximo de 30 V. Las entradas se encuentran desde el pin 1 al 8.
- **Salidas:** Se encuentran desde el pin 11 al 18. Se pueden conectar en paralelo para aumentar la corriente máxima (500 mA).
- **Diodos clamp:** El ULN2803 posee un diodo polarizado inversamente entre cada salida y el “voltaje de alimentación” (pin 10 (COM)) con el objetivo de eliminar las corrientes inversas que se producen cuando se conectan cargas inductivas como: relés, solenoides, motores y transformadores. Esto evita que los transistores se dañen.

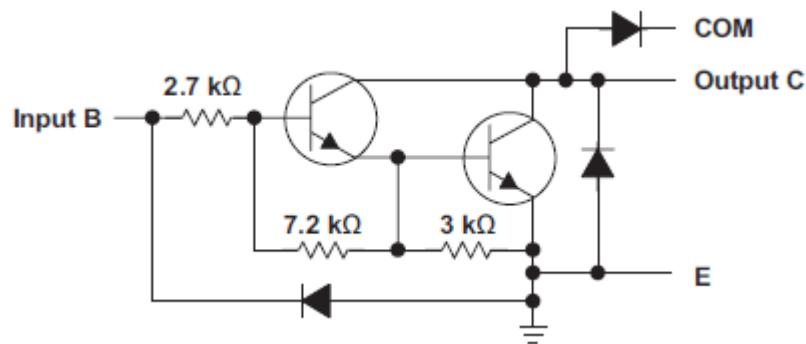


Figura N° 3.8: Circuito interno del Driver ULN2803.

Fuente: <https://tallerelectronica.com/tag/uln2803/>

Como se observa en la imagen anterior, el ULN2803 posee un par de transistores NPN en configuración Darlington, lo que le da una alta ganancia de corriente con poca corriente de entrada. Además, con la inclusión de la resistencia de 2.7k a la entrada del circuito ya no es necesario incluirla externamente.

El ULN2803 servirá como interfaz entre el circuito de control y el circuito de potencia de la mini planta. Su función será recibir las señales de salida del

microcontrolador 16F628 para poder activar o desactivar los relés correspondientes.

3.3.2. Elementos del circuito de potencia

El circuito de potencia es la parte de la mini planta que más consumo de potencia necesita. Esta parte es la que se encarga de excitar los relés para activar o desactivar las bobinas de los contactores.

a) Interruptores termomagnéticos

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos capaces de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Por lo tanto, su función será evitar sobrecargas o cortocircuitos en la mini planta.

Como criterio para seleccionar los interruptores termomagnéticos se debe tener en cuenta que la intensidad nominal del interruptor debe ser menor o igual a la intensidad máxima que admite el conductor. Para la mini planta, la corriente que circulará por los conductores será de 9,6 A.

La norma IEC 60898 establece tres rangos de operación diferentes para el disparo magnético, en los que los interruptores automáticos deben operar. Las diferentes curvas características (B-C-D) representan los diferentes campos específicos de aplicación dentro de los cuales los interruptores pueden disparar.

La Figura N°3.9 indica los 3 rangos de disparo de los interruptores termomagnéticos.

Caracte- rística	Rango del disparo magnético	Aplicación
B	3-5 I_n	Protección de generadores y cables de gran longitud.
C	5-10 I_n	Protección de cables de instalaciones que alimentan equipos de uso normal.
D	10-20 I_n	Protección de cables que alimentan cargas con altas corrientes de arranque.

Figura N° 3.9: Curvas de disparo magnético.

Fuente: <http://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

En base a los criterios anteriores, se seleccionaron dos interruptores termomagnéticos (monofásico y trifásico) de la marca Schneider Electric modelo Easy9 cuya curva de disparo es del tipo C.

A continuación, se muestran las principales características de estos interruptores.

- **IEC 60898 – 1:** Norma para interruptores automáticos para la protección contra sobrecorrientes en instalaciones domésticas y similares.
- **In (A):** Corriente nominal del interruptor. Los interruptores seleccionados soportan una corriente nominal de 16 A (monofásico) y 25 A (trifásico).
- **Icn:** Representa la corriente máxima que un interruptor puede interrumpir en condiciones de cortocircuito. Los interruptores seleccionados tienen una capacidad interruptiva nominal de 10,000 A conforme a la norma IEC 60898 – 1.
- **Ue (V):** Es el valor de tensión que junto con la corriente nominal determina la aplicación del propio equipo. Este valor generalmente se establece por el valor de tensión entre fases. Para los interruptores que cumplen con la norma IEC 60898, el límite de tensión impuesto es de 440 V. Los interruptores termomagnéticos seleccionados trabajarán con una tensión nominal de 220 V (monofásico) y 380 V (trifásico), respectivamente a 60 Hz.



Figura N° 3.10: Interruptor termomagnético Schneider Electric modelo Easy9.

b) Relés

Un relé es un sistema mediante el cual se puede controlar una potencia mucho mayor con un consumo en potencia muy reducido.

Para la mini planta se utilizarán relés con una tensión nominal de bobina de 5 VDC y contactos SPDT para manejar una corriente de 10 A. Además, estos relés tienen 5 pines y son de muy buena calidad con una larga vida útil.

Las principales características de estos relés son las siguientes:

- Construcción compacta y sellada.
- Cuenta con 5 pines de conexión.
- Contactos tipo SPDT.
- Carga nominal: 10 A - 250 VAC, 10 A - 30 VDC.
- Dimensiones: 19 x 15 x 15 mm.
- Corriente de conmutación máxima: 10 A.
- Voltaje máximo de conmutación: 110 VDC / 250 VAC.
- Potencia de la bobina: 0.45 W.
- Arreglo de contactos: NO / NC

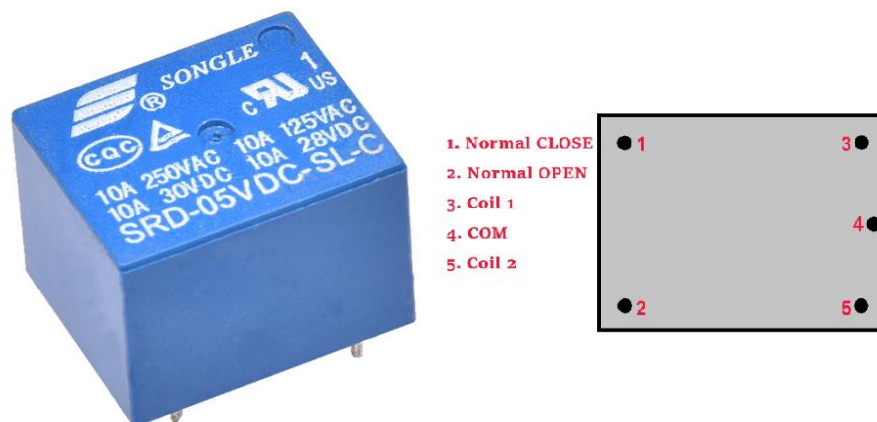


Figura Nº 3.11: Relé de 5 VDC y 10A.

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/drivers/263-mini-relay-5vdc.html>

Los relés recibirán las señales provenientes del circuito integrado ULN2803 para poder activar las bobinas de los contactores correspondientes.

c) Contactores

El contactor es un aparato de maniobra eléctrica usado en circuitos de potencia con la finalidad de conmutar una carga determinada, es decir conectarla o desconectarla.

Los contactores se escogen de acuerdo a normas y regulaciones eléctricas internacionales (norma IEC y NEMA). Los contactores bajo norma IEC se seleccionan de acuerdo al tipo de protección (tipo I o tipo II) y de acuerdo a la aplicación (DC-1...AC-3). Los contactores NEMA están orientados a aplicaciones específicas, de ahí el nombre de "Contactores de Propósito Definido". Estos contactores son usados en sistemas de aire acondicionado, ventilación, refrigeración.

La vida útil de los contactores está dada por 2 factores, el número de operaciones mecánicas o de maniobra (dureza mecánica) y operación eléctrica (dureza eléctrica), estos factores varían de acuerdo al tipo y tamaño y carga del contactor.

Para la mini planta se seleccionaron dos contactores de la marca STRONGER cuyo modelo es ALF1 – D2510. Sus principales características vienen especificadas en una etiqueta que se encuentra pegada a un costado del contactor.

- **IEC 947:** Norma que cumple el contactor.
- **CE:** Sello de la Comunidad Europea avalando el equipo.
- **Ie (A):** Corriente asignada de empleo (nominal del contactor) para categoría AC-3 (Arranque y frenado de motores de jaula de ardilla). Los contactores seleccionados soportan una corriente nominal de 40 A.
- **Ue (V):** Voltaje asignado de empleo. Guarda relación con la corriente y potencia que soporta el contactor. Para la mini planta, los contactores trabajarán a una tensión de 220 V.
- **P (kW):** Potencia máxima que soporta el contactor de acuerdo al voltaje indicado. Al trabajar a una tensión de 220 V, la potencia máxima del contactor será de 7,5 kW.

- **Ui (V):** Voltaje de aislamiento. Es el voltaje máximo sin perder propiedades dieléctricas (sin corrientes de fuga o falla). Los contactores seleccionados tienen un voltaje de aislamiento de 1000 V.
- **1PH (HP):** Potencia máxima monofásica que soporta el contactor. Para los contactores seleccionados la potencia máxima monofásica es de 5,5 HP a 230 V.
- **3PH (Hp):** Potencia máxima trifásica que soporta el contactor. Para los contactores seleccionados la potencia máxima trifásica es de 5,5 HP para el rango de 200 a 230 V, 11 HP para 460 V y 15 HP para 575 V.
- **Torque (Lb.in):** Ajuste máximo que soportan los terminales de entrada y salida de fuerza. Si se sobrepasa ese valor, se dañan los hilos del conjunto tornillo/rosca. Para los contactores seleccionados el torque es de 7lb.in.
- **AWG:** El calibre del cable de cobre para estos contactores debe estar en el rango de 10 a 18. Además, el calibre calculado del cable para la mini planta fue de 14 debido a que la corriente nominal del motor es de 9,6 A.

STRONGER					
ALF1-D2510					
IEC	EN	NFC	VDE	BS	CE
947	60947	63110	0660	5424	
			CE		
/Th:40A		Ui: 1000V Uimp: 8kV			
3~	V	220	380-480	660	
AC3	kW	7.5	11	15	
JEM	V	200-220	440		
AC3, 1-0-0	kW	5.5	11		
LISTED 170M 600V Ind.Cont. Eq.a.c.max.					
1ph		3ph			
V	230	200-230	460	575	
hp	5.5	5.5	11	15	
Continuous current:25A AWG: 10-18 CU 75°C Torque: 7 lb.in. Aux.Cont. A 600 P 600					
"Suitable for use on a circuit capable of delivering not more than 50000-rms asymmetrical amperes, 600 volts maximum when protected by NTD fuses."					

Figura N° 3.12: Placa de características del contactor STRONGER ALF1 – D2510.

Fuente: Elaboración propia.

d) Motor trifásico

Los motores trifásicos del laboratorio de la EPIE son de la marca Siemens y tienen una potencia nominal de 3HP.

Los motores Siemens están diseñados para ser resistentes en el trabajo y operan tan eficientemente que permiten un gran ahorro de energía.



Figura Nº 3.13: Motor trifásico de 3HP marca Siemens.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Simulación del funcionamiento de la mini planta

En la siguiente imagen se muestran los componentes que forman el circuito de la mini planta: los optoacopladores de entrada, el PIC 16F628 y sus componentes externos, las lámparas de señalización, borneras, pulsadores, el driver ULN2803 y los relés que activaran o desactivaran las bobinas de los contactores.

La idea principal es diseñar e implementar una mini planta con un prototipo de PLC basado en un microcontrolador PIC para que los estudiantes puedan controlar el arranque directo con inversión de giro de un motor trifásico.

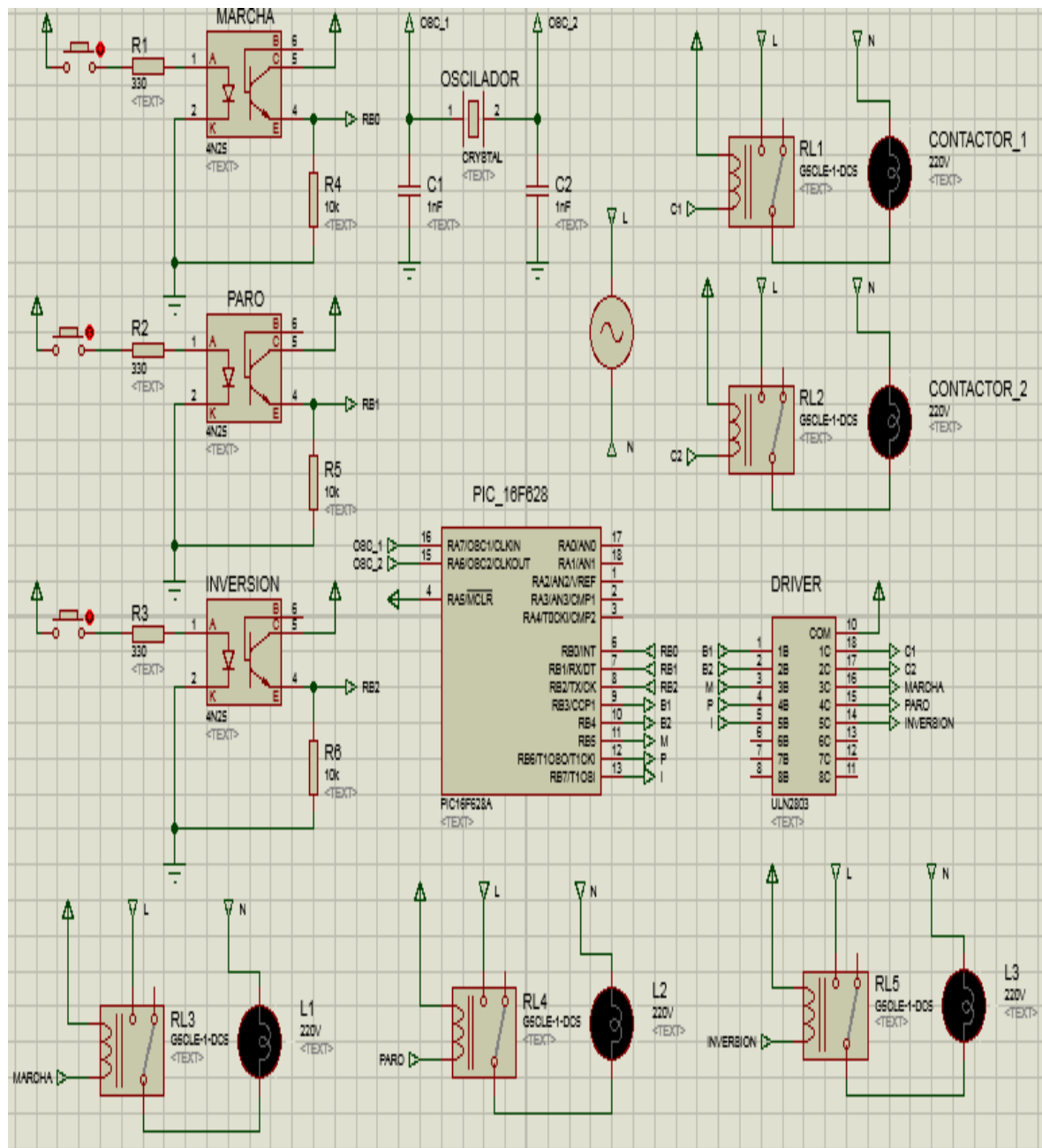


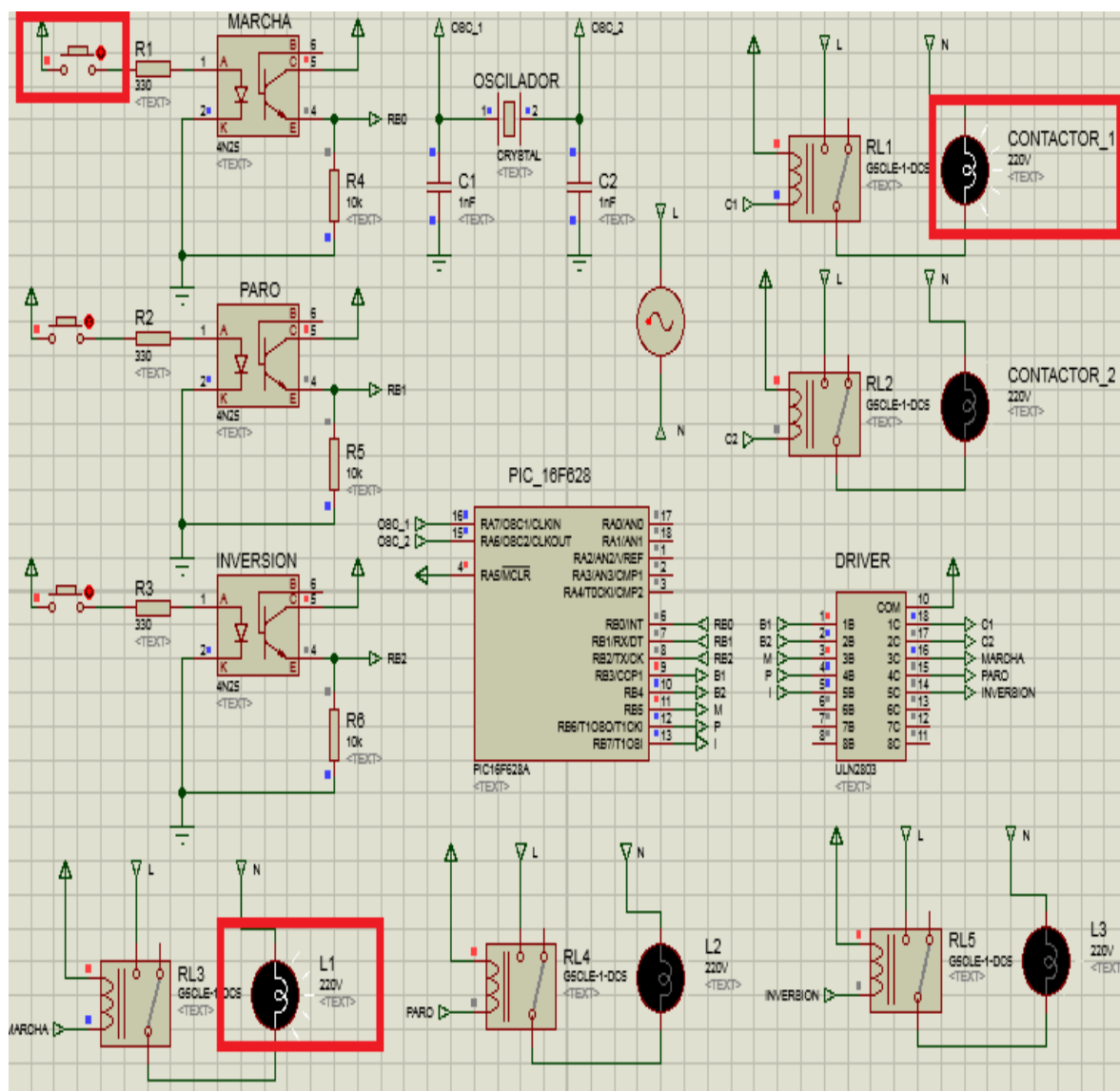
Figura N° 3.14: Circuito de la mini planta.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°3.15 se puede observar que al presionar y soltar el pulsador etiquetado como “MARCHA” se genera una señal en estado alto que es recepcionada por un pin de entrada del microcontrolador.

Luego de recibir la señal de entrada, el microcontrolador genera una señal de salida en estado alto hacia el circuito integrado ULN2803, el cual sirve como

También se puede observar que se encienda una lámpara de señalización (L1) indicando que el motor está en funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°3.16 se puede ver que al presionar y soltar el pulsador etiquetado como “PARO” se genera una señal en estado alto que es recepcionada por un pin de entrada del microcontrolador.

Luego de recibir la señal de entrada, el microcontrolador genera una señal de salida en estado alto hacia el circuito integrado ULN2803, el cual sirve como interfaz entre el circuito de control y el circuito de potencia y cuya función es desactivar las bobinas etiquetadas como “CONTACTOR_1” y “CONTACTOR_2”, según sea el caso.

También se puede observar que se encienda una lámpara de señalización (L2) indicando que el motor no está en funcionamiento.

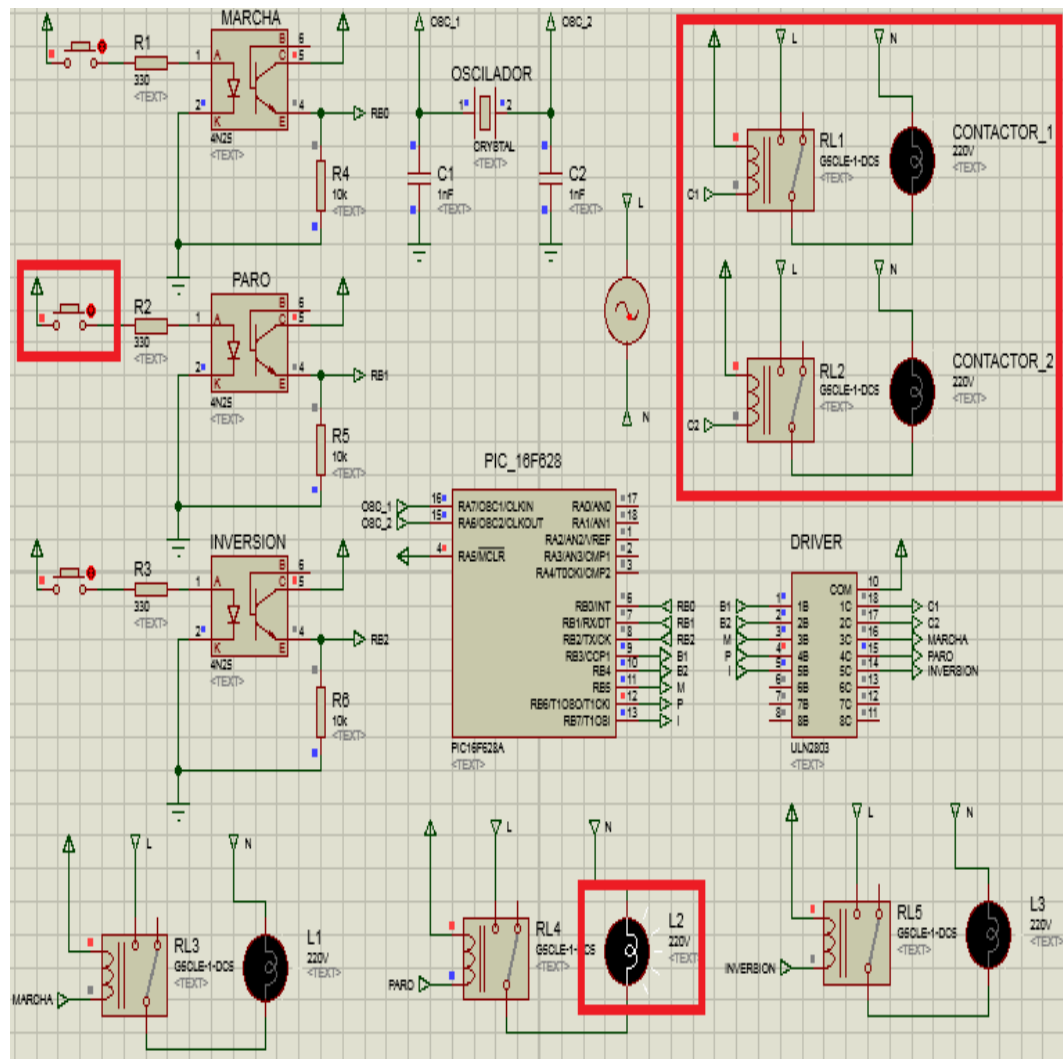


Figura N° 3.16: Simulación del paro del motor.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°3.17 se puede ver que al presionar y soltar el pulsador etiquetado como “INVERSIÓN” se genera una señal en estado alto que es recepcionada por un pin de entrada del microcontrolador.

Luego de recibir la señal de entrada, el microcontrolador genera una señal de salida en estado alto hacia el circuito integrado ULN2803, el cual sirve como interfaz entre el circuito de control y el circuito de potencia y cuya función es activar la bobina etiquetada como “CONTACTOR_2”.

También se puede observar que se encienda una lámpara de señalización (L3) indicando que el motor está en funcionamiento y ha invertido su giro.

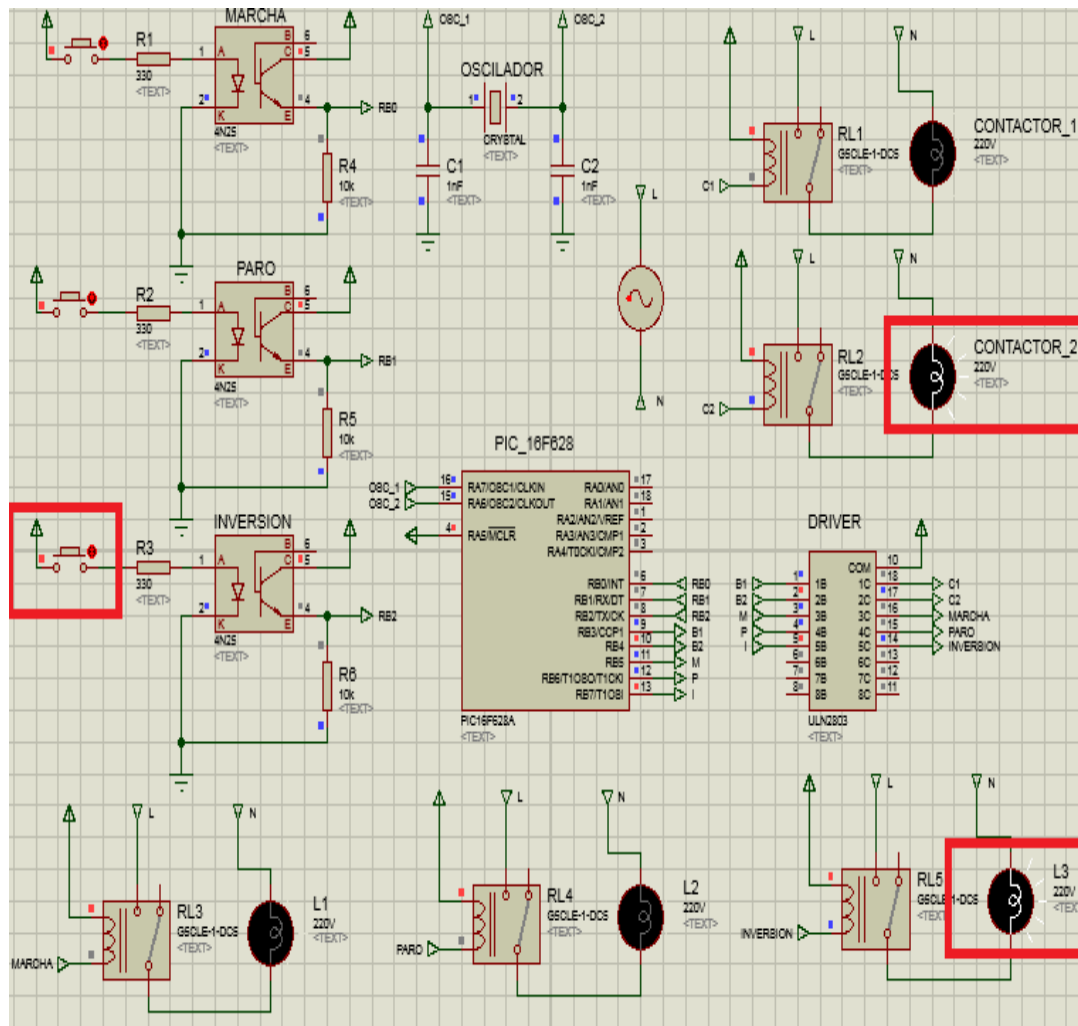


Figura N° 3.17: Simulación del cambio en el sentido de giro del motor.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Diseño del PCB

El diseño de la placa de la mini planta se realizó en el software Eagle debido a su simplicidad y fácil manejo.

En la Figura N°3.18 se observa el diseño completo del PCB. En ella se puede apreciar líneas de color azul y rojo debido a que la placa se diseñó para ser de doble cara.

También se observa el serigrafiado, el cual ayudará a identificar la posición de los componentes para soldarlos correctamente.

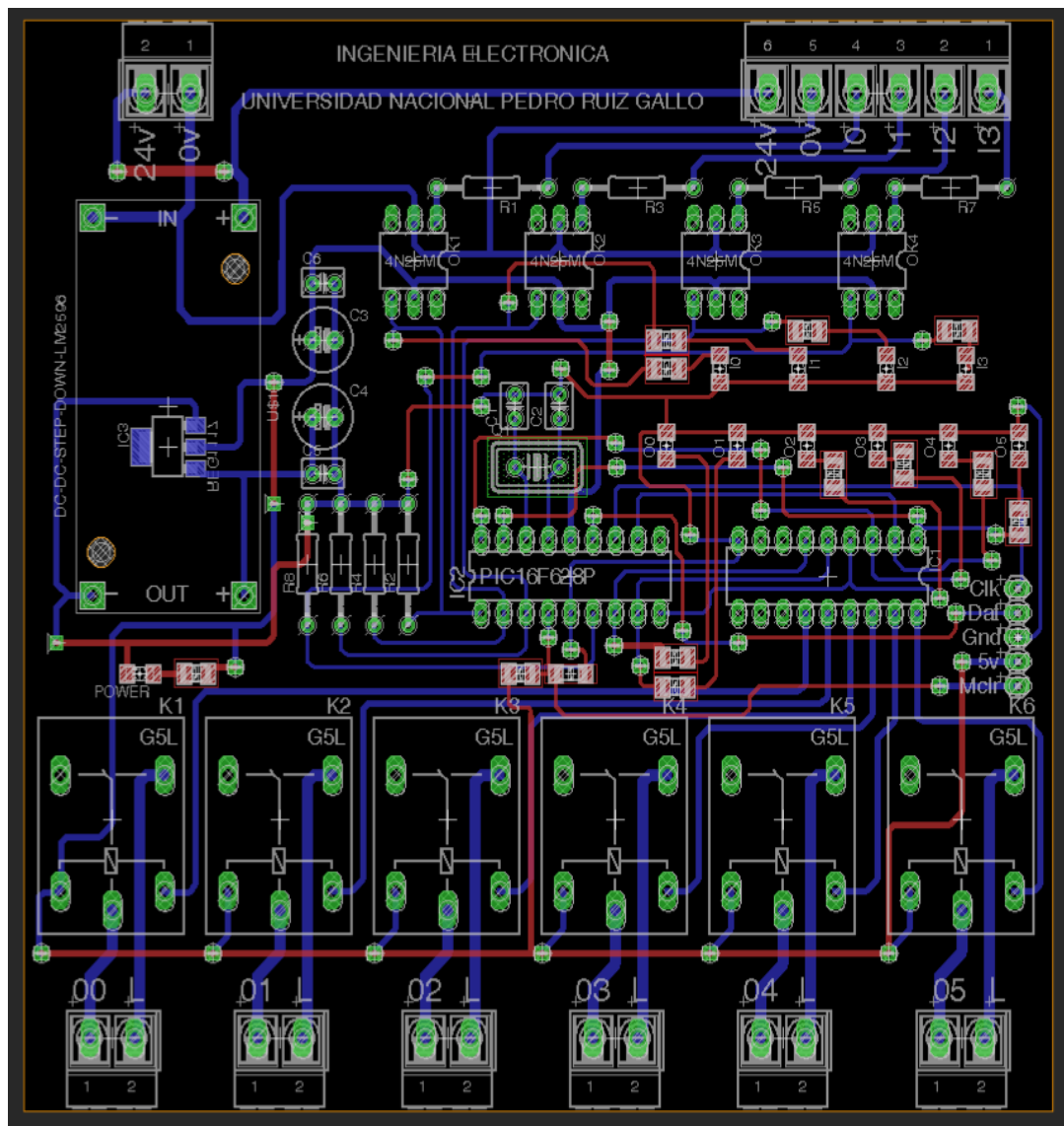


Figura N° 3.18: Diseño del PCB de la mini planta.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se muestra la máscara de componentes generada por el software Eagle. Esto también es de gran ayuda al momento de colocar los componentes y soldarlos.

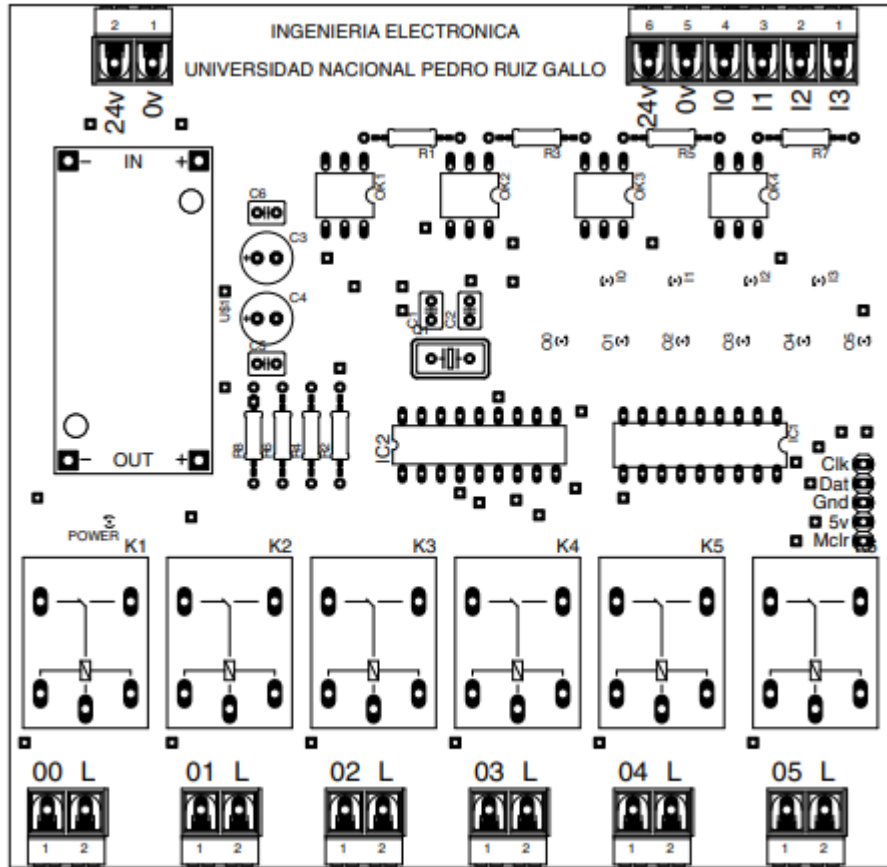


Figura N° 3.19: Máscara de componentes del PCB.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se ha incluido una entrada y una salida más en el diseño de la placa de la mini planta. La entrada es para simular la falla térmica del guardamotor y la salida es para activar una lámpara que indicará dicha falla.

También se han incluido 5 pines adicionales que servirán para cargar el programa al microcontrolador. Esos pines se denominan Clk, Data, Gnd, 5V y Mclr.

3.6. Programación y simulación del programa del microcontrolador

La programación del microcontrolador PIC 16F628 se realizará con el software LDMicro.

Lo primero que debemos hacer es abrir el programa y seleccionar el microcontrolador deseado.

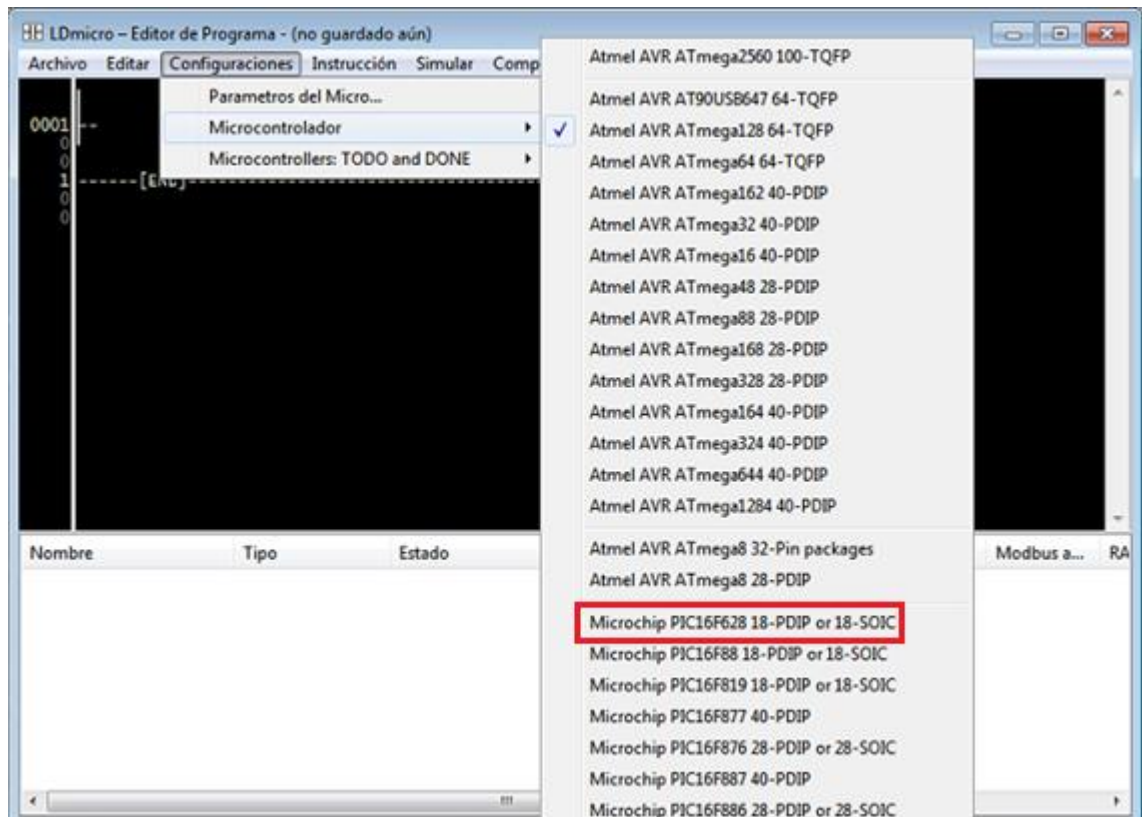


Figura Nº 3.20: Selección del microcontrolador para la mini planta.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es configurar la frecuencia de reloj del oscilador del microcontrolador. En este caso la frecuencia del cristal será de 4 MHz.

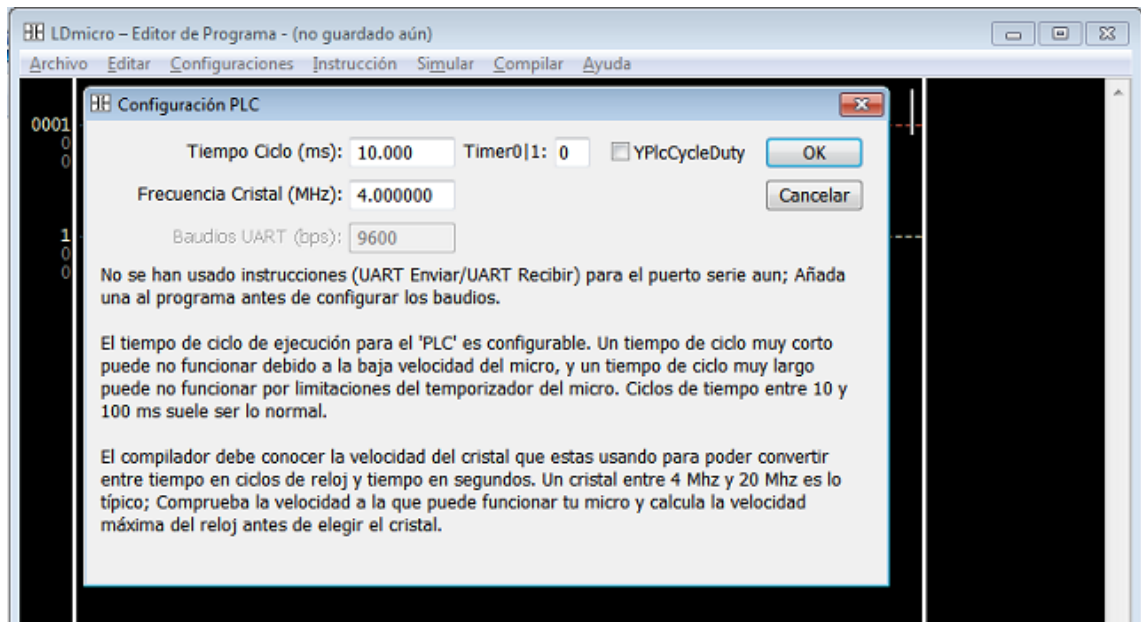


Figura Nº 3.21: Selección de la frecuencia de reloj.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realiza el programa, el cual permitirá que el microcontrolador pueda iniciar la marcha, invertir el giro y detener un motor trifásico de 3HP marca Siemens. Además, el microcontrolador activará y desactivará las bobinas y lámparas correspondientes para indicar el estado del motor.

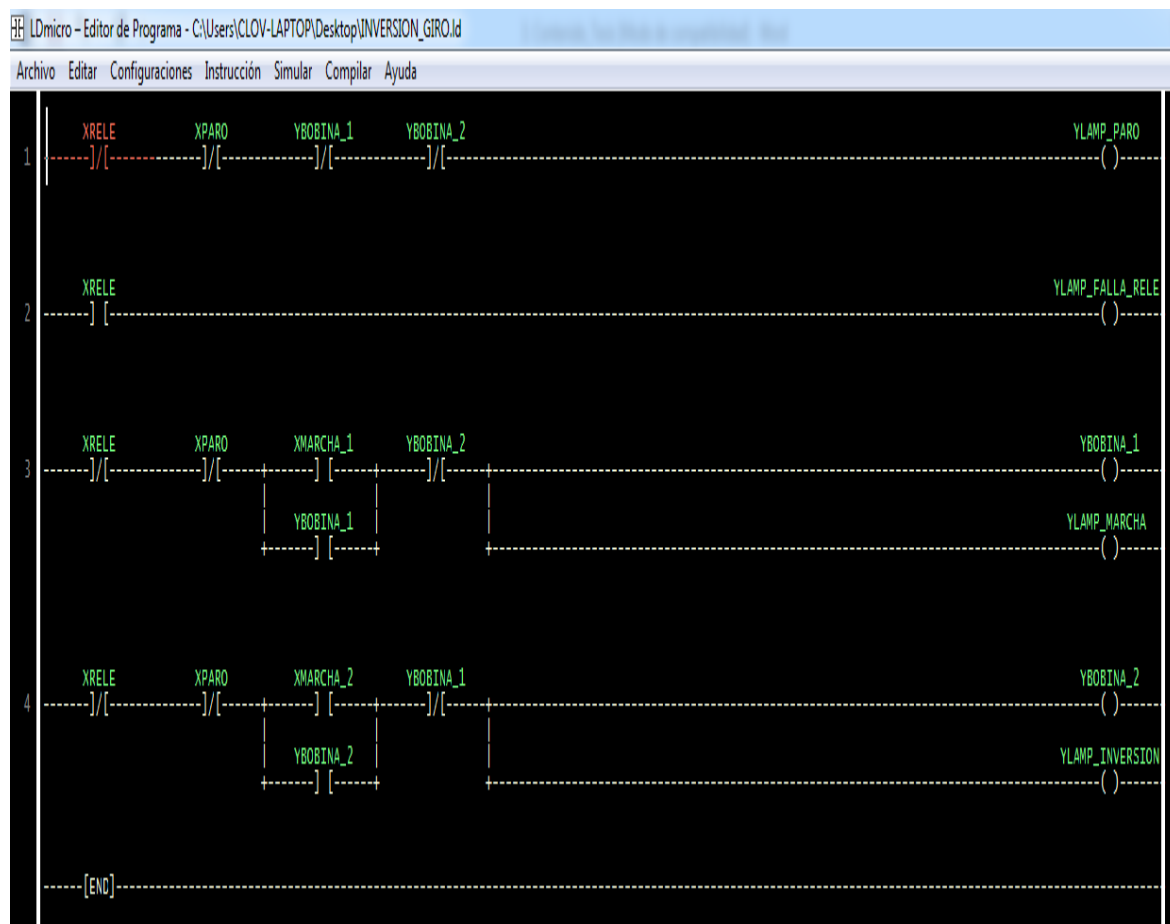


Figura N° 3.22: Programa para el microcontrolador.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen, se muestran las variables que se utilizarán y los pines de entrada y salida del microcontrolador asociados a cada una de ellas.

Nombre	Tipo	Estado	Pata del Micro	Puerto del Micro
XMARCHA_1	entrada digi...		1	RA2
XMARCHA_2	entrada digi...		3	RA4
XPARO	entrada digi...		2	RA3
XRELE	entrada digi...		6	RB0
YBOBINA_1	salida digital		17	RA0
YBOBINA_2	salida digital		11	RB5
YLAMP_FALLA_RELE	salida digital		7	RB1
YLAMP_INVERSION	salida digital		8	RB2
YLAMP_MARCHA	salida digital		18	RA1
YLAMP_PARO	salida digital		9	RB3

Figura N° 3.23: Asignación de variables de entrada y salida.

Fuente: Elaboración propia.

Al iniciar la simulación, se puede observar que se encuentra activada la lámpara que indica que el motor está detenido (“LAMP_PARO”).



Figura N° 3.24: Inicio de la simulación: Motor detenido.

Fuente: Elaboración propia.

Al conmutar de “1” a “0” el estado de la variable “MARCHA_1”, el microcontrolador activará la bobina del contactor denominada “BOBINA_1” y la lámpara “LAMP_MARCHA” indicando que el motor se ha puesto en marcha.

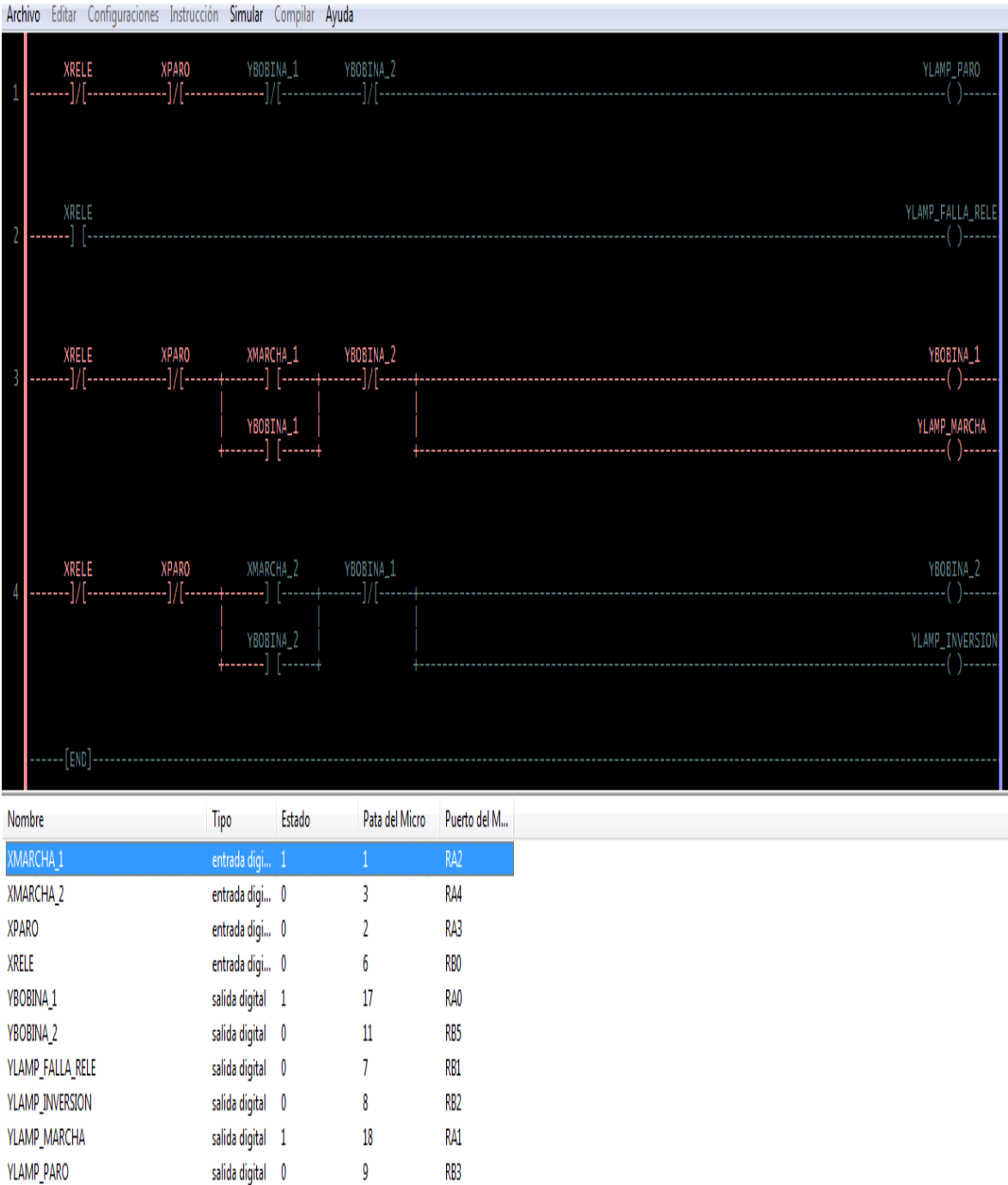
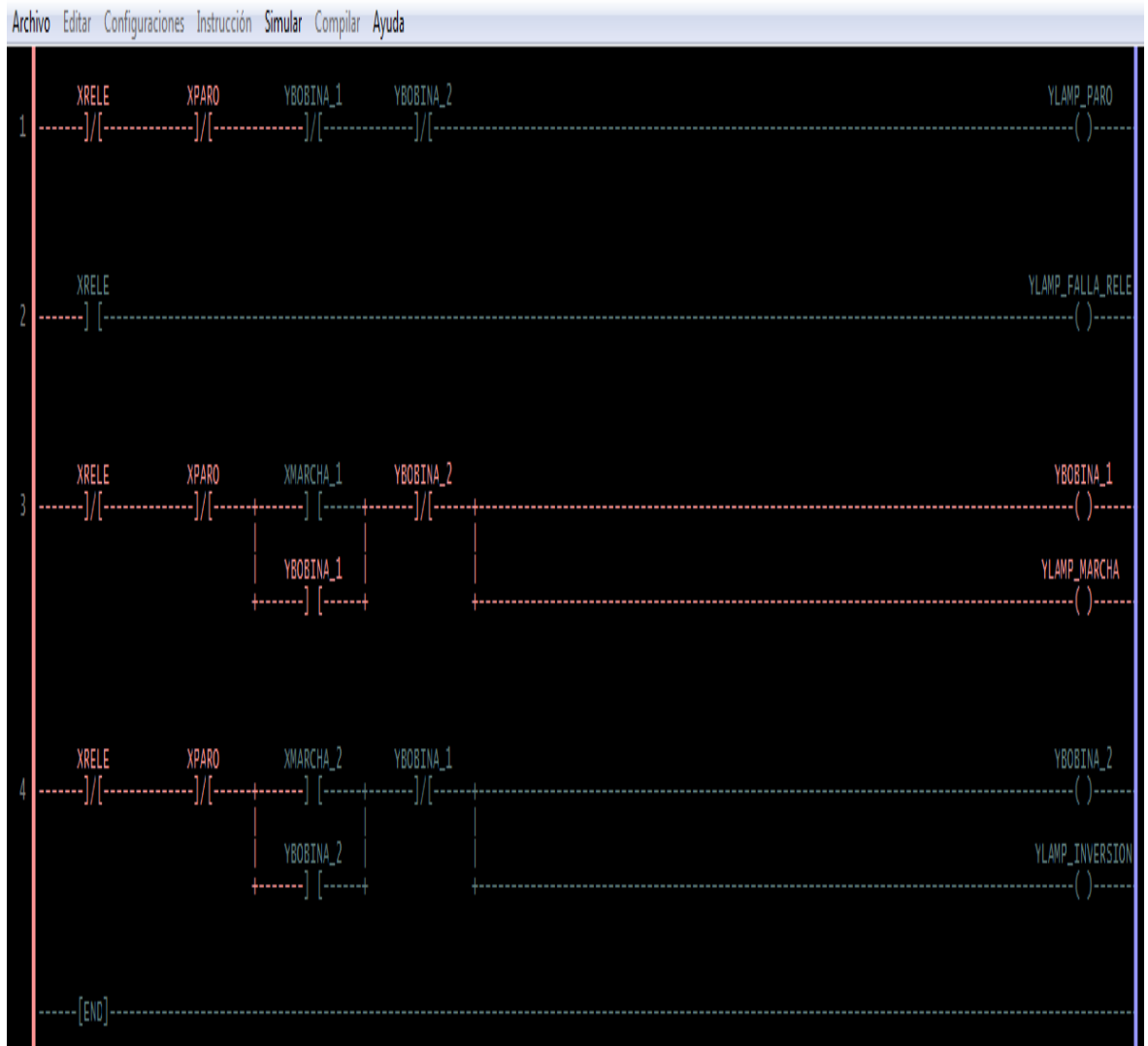


Figura Nº 3.25: Motor en marcha.
Fuente: Elaboración propia.



Nombre	Tipo	Estado	Pata del Micro	Puerto del M...
XMARCHA_1	entrada digi...	0	1	RA2
XMARCHA_2	entrada digi...	0	3	RA4
XPARO	entrada digi...	0	2	RA3
XRELE	entrada digi...	0	6	RB0
YBOBINA_1	salida digital	1	17	RA0
YBOBINA_2	salida digital	0	11	RB5
YLAMP_FALLA_RELE	salida digital	0	7	RB1
YLAMP_INVERSION	salida digital	0	8	RB2
YLAMP_MARCHA	salida digital	1	18	RA1
YLAMP_PARO	salida digital	0	9	RB3

Figura N° 3.26: Motor en marcha por el enclavamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Al conmutar de “1” a “0” el estado de la variable “PARO”, el microcontrolador desactivará las bobinas de los contactores (“BOBINA_1” o “BOBINA_2”) y las lámparas correspondientes (“LAMP_MARCHA” o “LAMP_INVERSION”) y activará la lámpara “LAMP_PARO” indicando que el motor se ha detenido nuevamente.

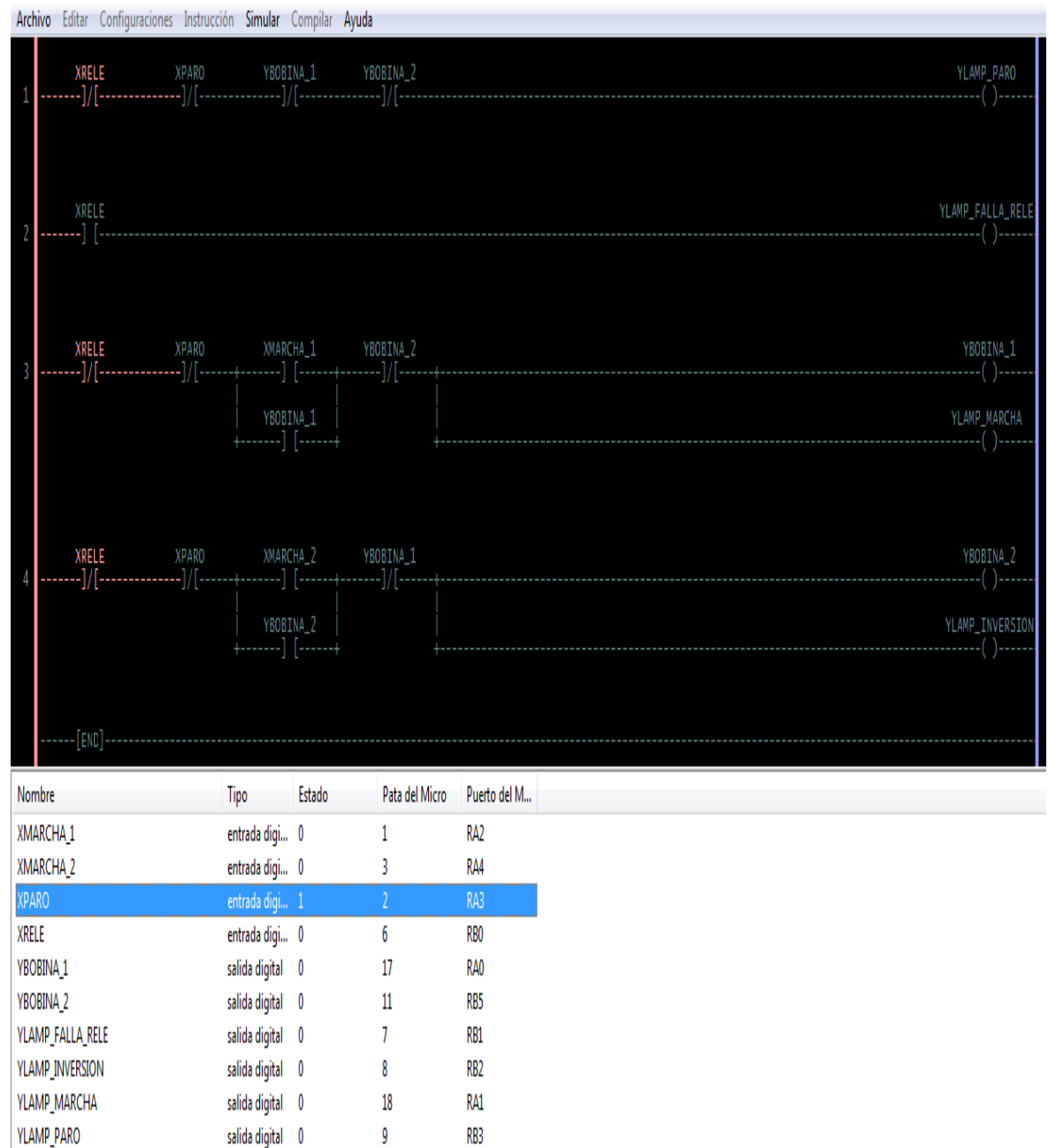


Figura N° 3.27: Motor detenido.

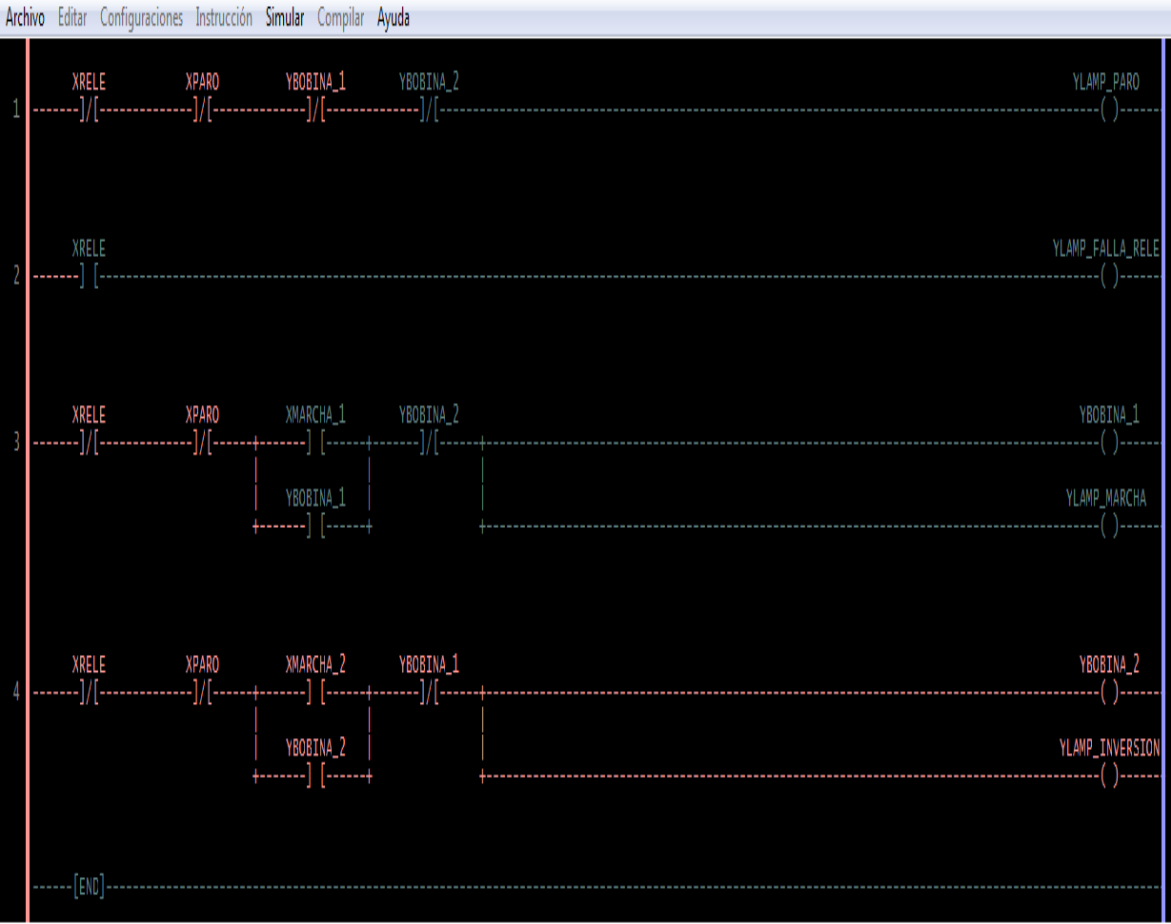
Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 3.28: Lam lámpara “LAMP_PARO” indica que el motor se detiene.

Fuente: Elaboración propia.

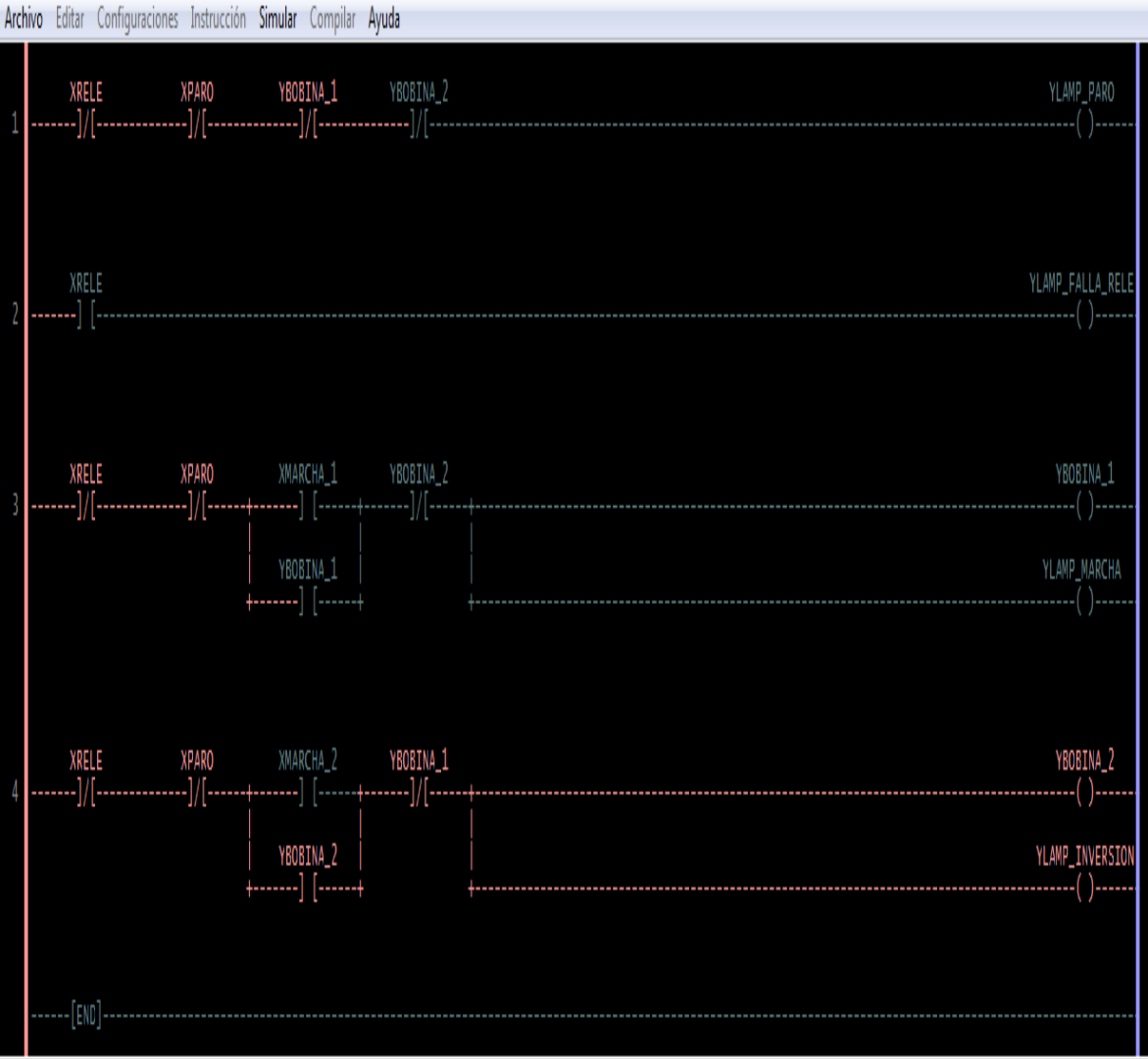
Al conmutar de “1” a “0” el estado de la variable “MARCHA_2”, el microcontrolador activará la bobina del contactor denominada “BOBINA_2” y la lámpara “LAMP_INVERSION” indicando que el motor ha invertido su sentido de giro.



Nombre	Tipo	Estado	Pata del Micro	Puerto del M...
XMARCHA_1	entrada digi...	0	1	RA2
XMARCHA_2	entrada digi...	1	3	RA4
XPARO	entrada digi...	0	2	RA3
XRELE	entrada digi...	0	6	RB0
YBOBINA_1	salida digital	0	17	RA0
YBOBINA_2	salida digital	1	11	RB5
YLAMP_FALLA_RELE	salida digital	0	7	RB1
YLAMP_INVERSION	salida digital	1	8	RB2
YLAMP_MARCHA	salida digital	0	18	RA1
YLAMP_PARO	salida digital	0	9	RB3

Figura N° 3.29: Motor con inversión de giro.

Fuente: Elaboración propia.



Nombre	Tipo	Estado	Pata del Micro	Puerto del M...
XMARCHA_1	entrada digi...	0	1	RA2
XMARCHA_2	entrada digi...	0	3	RA4
XPARO	entrada digi...	0	2	RA3
XRELE	entrada digi...	0	6	RB0
YBOBINA_1	salida digital	0	17	RA0
YBOBINA_2	salida digital	1	11	RB5
YLAMP_FALLA_RELE	salida digital	0	7	RB1
YLAMP_INVERSION	salida digital	1	8	RB2
YLAMP_MARCHA	salida digital	0	18	RA1
YLAMP_PARO	salida digital	0	9	RB3

Figura N° 3.30: Motor con el giro invertido debido al enclavamiento.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Ensamblaje de la mini planta

En las Figuras Nº 3.31 y 3.32 se observa el proceso de elaboración de la placa de control. Esta placa sirvió para realizar las primeras pruebas de la mini planta.



Figura Nº 3.31: Limpieza de la placa de control.

Fuente: Elaboración propia.

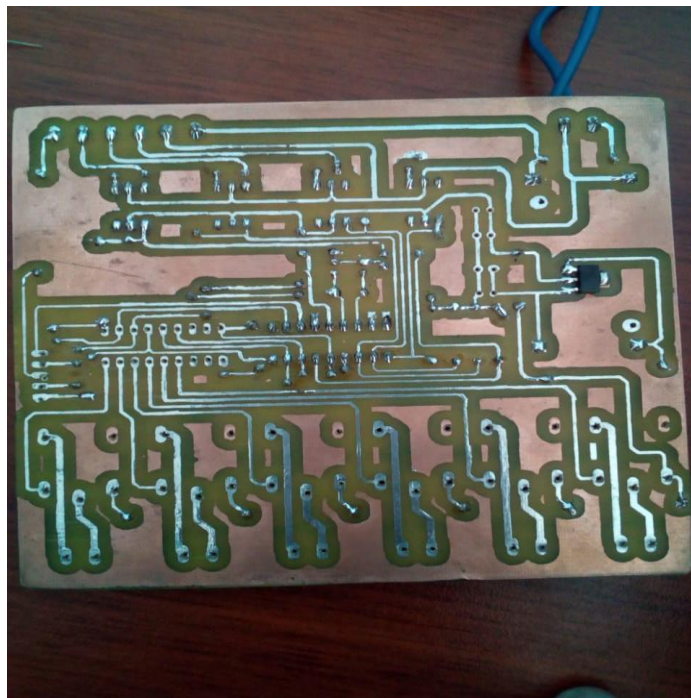


Figura Nº 3.32: Finalización, quemado del diseño en la placa.

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras N° 3.33 y 3.34 se observa el proceso de elaboración del ensamble la placa de control y sus diversos componentes.



Figura N° 3.33: Colocación de los elementos de control en la placa.

Fuente: Elaboración propia.

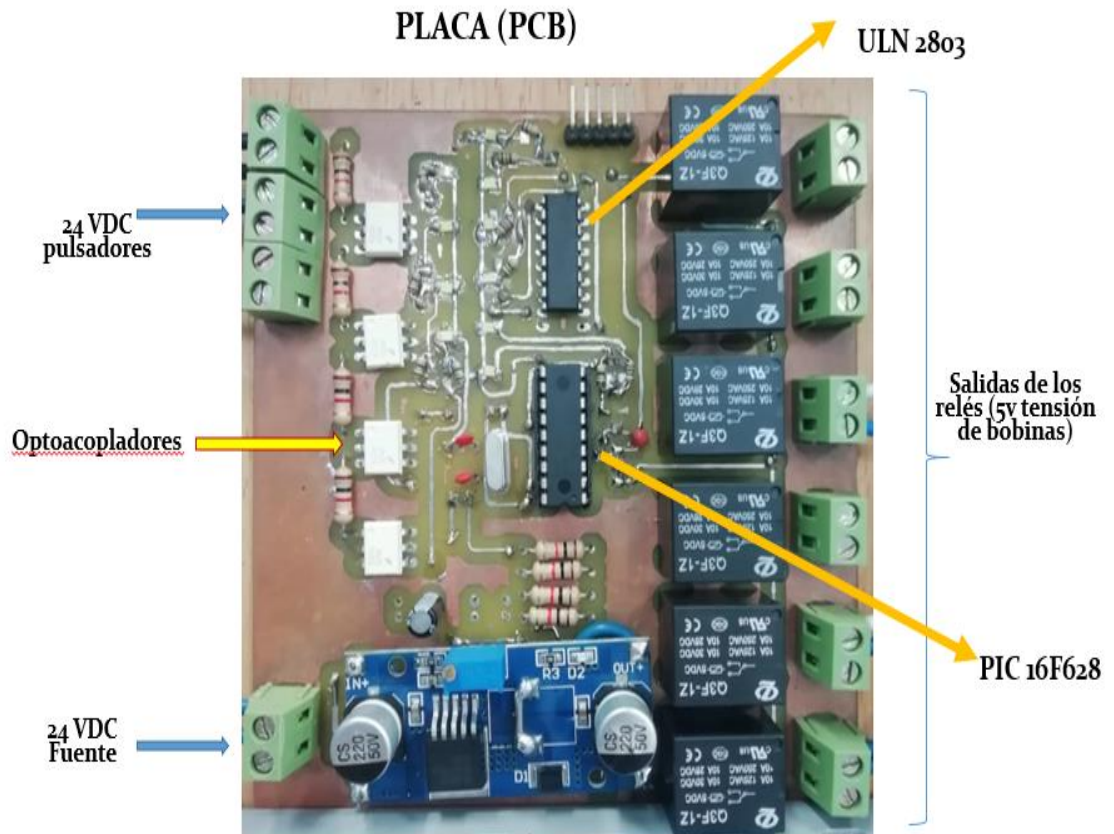


Figura N° 3.34: finalización de la placa de control con sus respectivos componentes.

Fuente: Elaboración propia.

En las Figuras 3.35, 3.36 y 3.37 se observa la colocación de los elementos del circuito de potencia sobre un riel DIN y las pruebas de los pulsadores y pilotos luminosos.

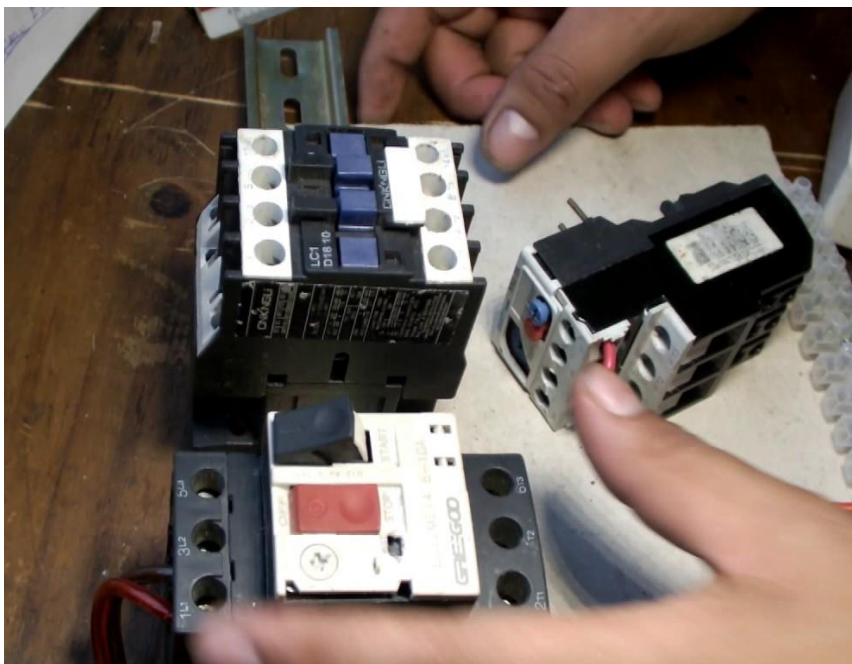


Figura Nº 3.35: Colocación de los elementos de potencia sobre riel DIN.

Fuente: Elaboración propia.

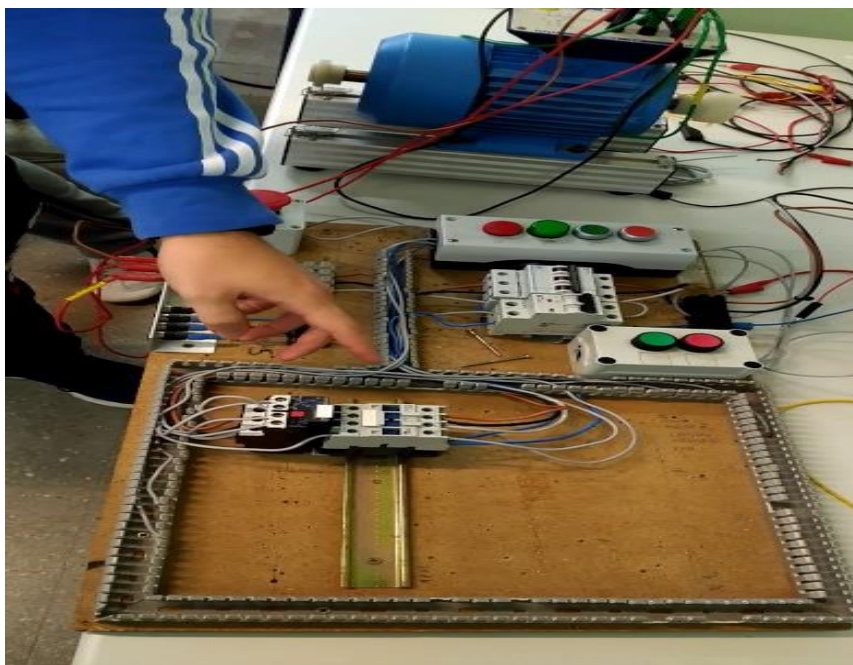


Figura Nº 3.36: Prueba de pulsadores y pilotos luminosos.

Fuente: Elaboración propia.

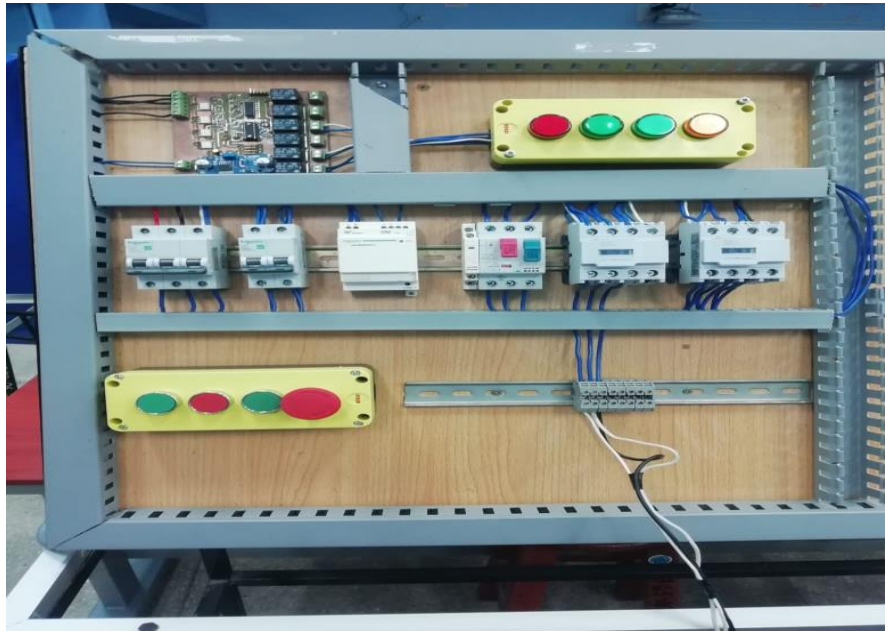


Figura N° 3.37: Colocación de los elementos de control y potencia sobre riel en el tablero.

Fuente: Elaboración propia.

COSTOS

CAPITULO IV

4.1. Costos del circuito de control

En la siguiente tabla se muestra en costo necesario para implementar el circuito de control de la mini planta.

Tabla Nº 4.1: Costo del circuito de control.

Elemento	Cantidad	Pecio unitario (/S.)	Precio total (/S.)
Optoacoplador 4N25	4	1,50	6,00
PIC 16F628	1	12,00	12,00
Driver ULN2803	1	7,00	7,00
Fuente de alimentación de 24 VDC	1	20,00	20,00
Regulador LM2596	1	15,00	15,00
Costo total del circuito de control (/S.)			60,00

4.2. Costos del circuito de potencia

En la siguiente tabla se muestra en costo necesario para implementar el circuito de potencia de la mini planta.

Tabla Nº 4.2: Costo del circuito de potencia.

Elemento	Cantidad	Pecio unitario (/S.)	Precio (/S.)
Interruptor monofásico	1	25,00	25,00
Interruptor trifásico	1	25,00	25,00
Contactores	2	30,00	60,00
Relé térmico bimetálico	1	30,00	30,00
Relé de conmutación	6	5,00	30,00
Lámparas de señalización	4	10,00	40,00
Pulsadores	3	10,00	30,00
Enchufe trifásico	1	60,00	60,00
Costo total del circuito de potencia (/S.)			300,00

4.3. Costos adicionales

En la siguiente tabla se muestra en costo de los elementos adicionales de la mini planta.

Tabla Nº 4.3: Costo de los elementos adicionales.

Elemento	Cantidad	Costo unitario (/S.)	Costo (/S.)
Resistencias	8	0,10	0,80
Diodos Led	1	0,50	0,50
Condensadores cerámicos	4	0,50	2,00
Condensadores electrolíticos	2	0,50	1,00
Cristal de cuarzo	1	2,00	2,00
Bornera de 2 entradas	7	1,00	7,00
Bornera de 6 entradas	1	1,00	1,00
Cautín	1	15,00	15,00
Cera	1	2,00	2,00
Estaño	1	4,00	4,00
Estructura metálica	1	500,00	500,00
Costo total de los elementos adicionales (/S.)			535,20

4.4. Costos de instalación y mano de obra

En la siguiente tabla se muestra en costo necesario para la instalación y mano de obra.

Tabla Nº 4.4: Costo de instalación y mano de obra.

Personal	Cantidad	Costo unitario (/S.)	Costo (/S.)
Personal de Ingeniería	1	600,00	600,00
Personal técnico	2	200,00	400,00
Costo total de instalación y mano de obra			1.000,00

4.5. Costos totales

En la siguiente tabla se muestra en costo total necesario para implementar la mini planta.

Tabla Nº 4.5: Costo total de la mini planta.

Circuito	Costo (/S.)
Circuito de control	60,00
Circuito de potencia	300,00
Elementos adicionales	535,20
Costo de instalación y mano de obra	1.000,00
Costo total de la mini planta	1.895,20

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5.1. Conclusiones

Al terminar el proyecto de tesis, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) Se logró diseñar y construir una Mini Planta de Control de motores basada en microcontrolador para mejorar la práctica y aprendizaje universitario en la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica – UNPRG.
- 2) Las pruebas realizadas al PIC de la mini planta demuestran que, a pesar de ser considerado un microcontrolador de gama baja, este tiene la capacidad de controlar la puesta en marcha d y sentido de giro un motor trifásico de gran potencia.
- 3) En las pruebas realizadas a los componentes del sistema de protección de la mini planta, se pudo comprobar que están en la capacidad de evitar que los estudiantes sufran accidentes por una mala manipulación de los dispositivos y que además protegerán al motor contra sobrecargas o cortocircuitos.
- 4) Al momento de elegir un lenguaje de programación para el microcontrolador, se optó por el lenguaje escalera o LADDER con la intención de que los estudiantes se familiaricen con él, debido a que es muy utilizado en la programación de controladores lógicos programables de gran robustez.

5.2. Recomendaciones

Se considera adecuado seguir las siguientes recomendaciones:

- 1) El sistema de potencia, construido a base de contactores, puede ser sustituido por un variador de frecuencia para poder controlar la velocidad del motor. Esto es posible porque el PIC de la mini planta cuenta con salidas analógicas (PWM) que puede servir como señales de control (0-10 VDC) para el variador de frecuencia.
- 2) Se puede integrar una pantalla LCD a la mini planta para poder visualizar el nivel de tensión y la intensidad de corriente, la frecuencia de trabajo y el estado del motor para saber si está en marcha, detenido o ha invertido su giro.

ANEXOS

ENCUESTA

La siguiente encuesta tiene como finalidad saber cuál es el nivel de satisfacción de los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica (EPIE) – UNPRG respecto a la implementación de mini plantas para los laboratorios.

1. EDAD

- a) Entre 18 y 22
- b) Entre 23 y 25
- c) 26 a más

2. CICLO

- a) VIII
- b) IX
- c) X

3. ¿Ha realizado prácticas de laboratorio en las Mini Plantas del Laboratorio N°2 de la EPIE?

- a) Si
- b) No

4. ¿Crees que la cantidad de Mini Plantas es suficiente para todos los alumnos?

- a) Si son suficientes.
- b) No son suficientes.

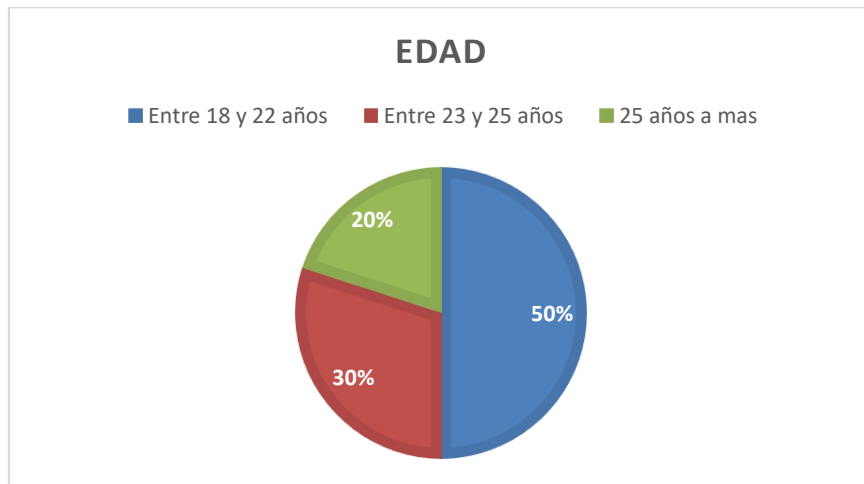
5. ¿Te gustaría que se implementen Mini Plantas en beneficio de los estudiantes de la EPIE?

- a) Si
- b) No

RESULTADOS DE LA ENCUESTA

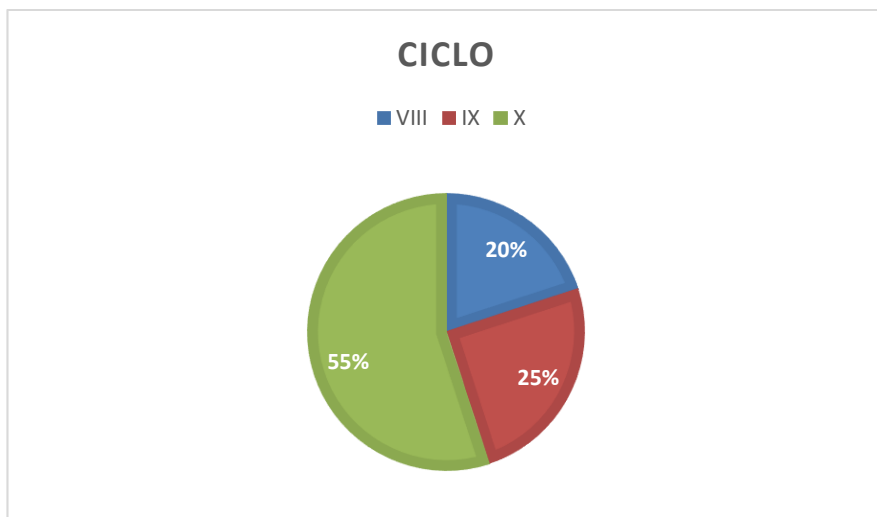
La encuesta fue realizada a 40 alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, los cuales cursan el VIII, IX y X ciclo.

1. EDAD



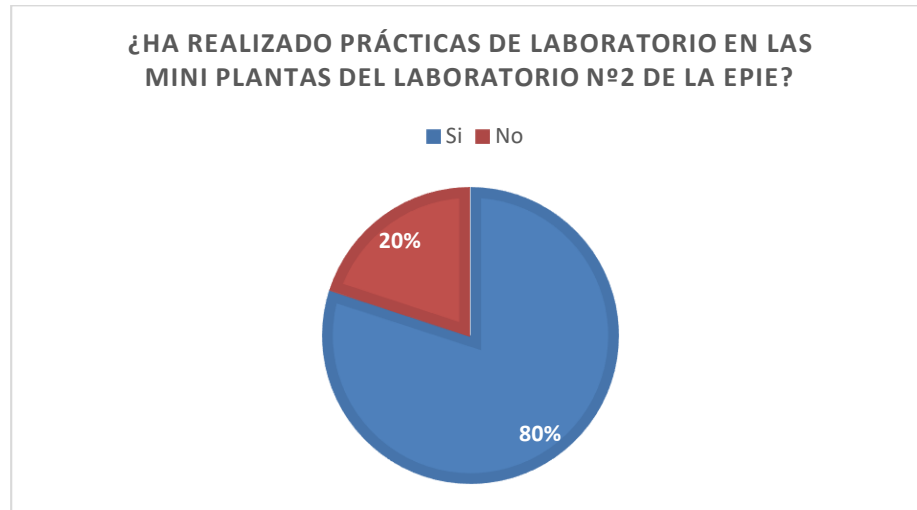
En el gráfico anterior se deduce que el 50% de los encuestados tiene entre 18 y 22 años, el 30% tiene entre 23 y 25 años y el 20% tiene 25 años o más.

2. CICLO



En el gráfico anterior se deduce que el 20% de los encuestados cursa el VII ciclo, el 25% cursa el IX ciclo y el 55% cursa el X ciclo.

3. ¿Ha realizado prácticas de laboratorio en las Mini Plantas del Laboratorio N°2 de la EPIE?



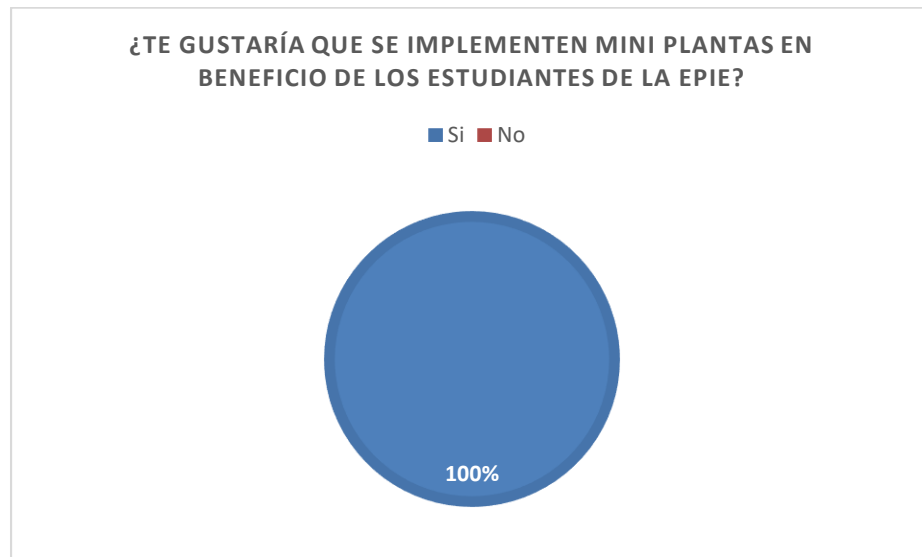
En el grafico anterior se deduce que el 80% de los encuestados “Si” ha realizado prácticas de laboratorio en las Mini Plantas del Laboratorio N°2 de la EPIE, mientras que el 20% no lo ha hecho.

4. ¿Crees que la cantidad de Mini Plantas es suficiente para todos los alumnos?



En el grafico anterior se deduce que el 100% de los encuestados considera que la cantidad de Mini Plantas no es suficientes para todos los alumnos.

5. ¿Te gustaría que se implementen Mini Plantas en beneficio de los estudiantes de la EPIE?



En el grafico anterior se deduce que al 100% de los encuestados les gustaría que se implementen de Mini Plantas en beneficio de los estudiantes de la EPIE.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

- A. Pavon, A. (s.f.). *Características y uso de elementos del microcontrolador*. Obtenido de http://www.academia.edu/10627737/Caracteristicas_y_uso_de_elementos_del_micontrador
- ABB. (s.f.). *Nota técnica | Protección mediante interruptores termomagnéticos | ABB*. Obtenido de http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/289/abb_proteccion_mediante_interruptores_termomagneticos
- Atlantic-International-University. (23 de Abril de 2008). *Microcontroladores. Arquitectura, programación y aplicación*. Obtenido de <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Despradel%20Novas%20Pe%C3%B1a.pdf>
- Bahamonde Gordillo, M. A. (s.f.). *Motores asincronos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/335336253/motores-asincronos>
- Casseres Salinas, M. (s.f.). *CALIBRE DE CONDUCTORES ELECTRICOS*. Obtenido de http://www.academia.edu/31683656/CALIBRE_DE_CONDUCTORES_ELECTRICOS
- CEI. (2015). *La transmisión de la luz a través de un medio transparente*. Obtenido de <https://www.lucescei.com/estudios-y-eficiencia/extractos-libro-blanco-de-iluminacion/la-transmision-de-la-luz-a-traves-de-un-medio-transparente/>
- Centelsa. (s.f.). *INTRODUCCIÓN A UNIDADES DE MEDIDA*. Obtenido de <http://www.centelsa.com.co/archivos/11b912de.pdf>
- Conectronica. (8 de Marzo de 2010). *Empalmes por fusion para cables de fibras opticas*. Obtenido de <https://www.conectronica.com/fibra-optica/cables-de-fibra-optica/empalmes-por-fusion-para-cables-de-fibras-opticas>
- Coreano, C. (6 de Septiembre de 2016). *Microcontroladores*. Obtenido de <https://issuu.com/carloscoreno/docs/microcontroladores>
- De Vandelvira, A. (Noviembre de 2011). *MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA*. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf
- Del sol, A. (s.f.). *Microcontroladores: Características y aplicaciones generales*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/172824882/Caracteristicas-y-aplicaciones-de-los-microcontroladores>
- Denos Quispe, V. (2014). *Microcontroladores: Características y aplicaciones generales*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11301/fichero/Memoria%252FCap%C3%ADtulo+2.pdf>

- Developer. (29 de Abril de 2012). *Memoria en microcontroladore*. Obtenido de <http://programacionits.blogspot.com/2012/04/memoria-en-microcontroladores.html>
- EATON. (s.f.). *Arranque y control de motores trifásicos asíncronos*. Obtenido de www.moeller.es/descarga.php?file=soporte/12/IT-EE09.pdf
- Educar-Chile. (s.f.). *Componentes de control*. Obtenido de http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos_Didacticos/ELE_07/Recursos_Conceptuales/Componentes_de_control.doc
- Electrocomisiones. (26 de Febrero de 2016). *¿QUÉ ES UN RELÉ TÉRMICO Y PARA QUÉ SIRVE?* Obtenido de <https://www.electromisiones.com.ar/blog/que-es-un-rele-termico-y-para-que-sirve/>
- Enriquez Harper, G. (2004). *El ABC de las máquinas eléctricas, Volumen 2*. Mexico: Limusa.
- Enriquez Harper, G. (s.f.). *Aplicaciones de la electronica de potencia en los sistemas electricos*. Obtenido de <https://www-elec.inaoep.mx/cidcsver/spanish/magistrales/APLICACIONES.pdf>
- Enriquez Romero, E. (2014). *ACCIONAMIENTO DE MOTORES DE BAJA Y MEDIA TENSION MEDIANTE VARIADORES DE VELOCIDAD*. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/9996/1/enriquez_re.pdf
- Eparra. (8 de Noviembre de 2012). *Temporizadores: Clases y funcionamiento*. Obtenido de <https://bricos.com/2012/11/temporizadores-clases-y-funcionamiento/>
- Espazo Abalar, S. (s.f.). *Elementos de maniobra y control*. Obtenido de https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/314_elementos_de_maniobra_y_control.html
- Eveliux. (5 de Junio de 2014). *Fibrá óptica*. Obtenido de <http://www.eveliux.com/mx/fibra-optica.html>
- Faradayos. (2013). *Características de los cables eléctricos: partes, calibre y ampacidad*. Obtenido de <http://faradayos.blogspot.com/2013/12/caracteristicas-cables-conductores.html>
- Foro-Electricidad. (s.f.). *Normativa sobre cuadros de aperrillaje y automatismos*. Obtenido de <http://foroelectricidad.com/download/file.php?id=161>
- Frino, L. (s.f.). *Selección de microcontroladores*. Obtenido de www.micro1.com.ar
- Garcia Guerra, J. D., & Ormeño Terreros, R. J. (2013). *IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA PILOTO CON SISTEMA DE GESTION DE LA INFORMACION BASADO EN WONDERWARE SYSTEM PLATFORM*. Obtenido de http://www.usmp.edu.pe/PFI/pdf/20132_5.pdf

- Gonzales, A. (13 de Enero de 2009). *Redes: protocolos y estándares*. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/wimax>
- Grayeb, S. (5 de Diciembre de 2008). *MICROCONTROLADORES*. Obtenido de <http://losmicrocontroladores.blogspot.com/2008/12/microcontroladores-historia-las.html>
- Guerrero Castellanos, J. F. (s.f.). *Microcontroladores y DSP's*. Obtenido de ftp://ece.buap.mx/pub/profesor/academ91/Micros_Dsp/Practica2.pdf
- Guimi. (2009). *1.4 FIBRA ÓPTICA*. Obtenido de https://guimi.net/monograficos/G-Cableado_estructurado/G-CNode6.html
- Hernandez Garcia, E. (s.f.). *Microcontroladores (Introducción a la Programación)*. Obtenido de http://www.academia.edu/6657802/Microcontroladores_Introducci%C3%B3n_a_la_Programaci%C3%B3n
- HerramientasWEB. (2014). *Medios de transmisión*. Obtenido de <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>
- Herrera, W. (Junio de 2014). *Estandar IEEE 802.16 (WiMAX)*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/227527452/A7>
- HistoriaInformatica. (2 de Diciembre de 2010). *Historia de las Redes Inalámbricas*. Obtenido de <http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>
- INDUCOR. (2012). *APENDICE 17 - INTERPRETACION DE FALLAS EN MOTORES ELECTRICOS*. Obtenido de <http://www.inducor.com.ar/academicos/calculo-de-maquinas-electricas/maquinas-electricas-apendice17.html>
- INEI. (2016). *Poblacion de Ancash*. Obtenido de <https://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- Ingeniería-Mecafenix. (31 de Marzo de 2017). *Temporizador [Tipos de temporizador]*. Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>
- Juárez, J. B. (s.f.). *4. Redes Wi MAX*. Obtenido de https://www.academia.edu/15745848/4._Redes_Wi_MAX
- Mamani Roque, J. J. (s.f.). *Arranque y Control de Motors Asincronos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/352981073/Arranque-y-Control-de-Motors-Asincronos>
- Manrique Lozano, S. (s.f.). *5.3 CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS MICROCONTROLADORES*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/portafoliomlozanos/unidad-5-arquitecturas-embedidas-o-microcontroladores/5-3-caracteristicas-y-usos-de-los-microcontroladores>
- Manrique, J. (s.f.). *ARRANQUE ESTRELLA-TRIANGULO*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/365848476/Final-de-Arranque>

- Martín Pérez, F. J., & Martín Juan, J. (s.f.). Apuntes de electricidad. Alicante: Club Editorial.
- Martin, L. (2017 de Septiembre de 2017). *LDmicro, Ladder para PIC y AVR*. Obtenido de <http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2017/09/ldmicro-ladder-para-pic-y-avr.html>
- Martinez, K. (22 de Julio de 2013). *Como funciona - El contactor eléctrico*. Obtenido de <http://dinoalatele.blogspot.com/2013/07/como-funciona-el-contactor-electrico.html>
- Medina García, J. (s.f.). *Aparatos de mando, regulación y control*. . Obtenido de http://www.infoplc.net/files/documentacion/instrumentacion_deteccion/infoPLC_net_Automatismos_Industriales_cap5.pdf
- Minetad. (s.f.). *Acceso inalámbrico: WiMAX*. Obtenido de <http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/banda-ancha/tecnologias/inalambrico/Paginas/WiMAX.aspx#contenido>
- Ministerio de Educación. (2014). *Ley Universitaria - Ley N.º 30220 - Capítulo XI*. Obtenido de http://www.minedu.gob.pe/reforma-universitaria/pdf/ley_universitaria.pdf
- Ministerio de Transportes, C. (Julio de 2010). *DIAGNÓSTICO SOBRE EL DESARROLLO DE LA BANDA ANCHA EN EL PERÚ*. Obtenido de www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda.../informe%2001%20banda%20ancha.pdf
- Morales Cabrera, S. (2015). *ARRANCADOR ESTRELLA-TRIANGULO PARA MOTOR TRIFASICO ASINCRONO*. Obtenido de http://www.academia.edu/25996309/ARRANCADOR_ESTRELLA-TRIANGULO_PARA_MOTOR_TRIFASICO_ASINCRONO
- MTC. (2010). *PLAN NACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LA BANDA ANCHA EN EL PERÚ*. Obtenido de https://www.mtc.gob.pe/portal/proyecto_banda_ancha/index.html
- Ocampo, J. A., & Martinez, F. L. (2009). *WIMAX*. Obtenido de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>
- Oficina Central de Asuntos Académicos - UNPRG. (2017). *Plan de estudios de Ingeniería Electronica*. Obtenido de http://www2.unprg.edu.pe/ocaa/guias20182/Electronica_20182.pdf
- Osinermin. (s.f.). *Interruptores Termomagnéticos*. Obtenido de <http://www.osinerminorienta.gob.pe/documents/54705/339923/capitulo+8.pdf>
- Perso. (s.f.). *Microcontroladores*. Obtenido de <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm>
- Portocarrero, M. (2016). *DISEÑO DE UNA RED DE TRANSPORTE DE FIBRA OPTICA Y DE ACCESO INALAMBRICO PARA MEJORAR EL ACCESO A SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y LOGRAR LA CONECTIVIDAD INTEGRAL DE LA PROVINCIA DE BAGUA*. Obtenido de

<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/344/BC-TES-4375.pdf?sequence=1>

- Ramírez Behaine, C. A. (2006). *Modulación por multiportadoras tipo OFDM, las bases de la nueva generación de transmisión de información*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200007
- Redes. (s.f.). *Arquitectura de una red WiMAX*. Obtenido de <http://redeswifi1.blogspot.com/p/511-arquitectura-de-una-red-wimax.html>
- Rivero, M. (2 de Mayo de 2013). *Sistemas de protección*. Obtenido de http://issuu.com/mariangelesrv/docs/sistemas_de_proteccion
- Rodríguez Pozueta, M. A. (2008). *Maquinas Asincronas*. Obtenido de <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/asincronas%20caminos.pdf>
- Rodriguez, A. (9 de Julio de 2013). *Divisores (Splitters) para FTTH*. Obtenido de <https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/divisores-splitters-para-ftth/>
- Rodríguez, M. (2 de Diciembre de 2012). *Conexión y arranque de los motores trifásicos*. Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/conexion-arranque-motores-trifasico/>
- Rosales Fernández, J. H. (s.f.). *MOTORES ELECTRICOS PARA LA INDUSTRIA*. Obtenido de http://www.usmp.edu.pe/vision2018/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_I_N.pdf
- Sanchez Olea, A. (1 de Diciembre de 2015). *MICROCONTROLADORES EN LA ACTUALIDAD*. Obtenido de <http://itt13401117.wixsite.com/microcontroladores/single-post/2015/12/01/MICROCONTROLADORES-EN-LA-ACTUALIDAD>
- Tabuyo Pizarro, M. (2015). *Diagnosis de averías en electrodomésticos de gama blanca*. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=_PM-DwAAQBAJ&pg=PA380&lpg=PA380&dq=Las+cajas+de+pulsadores+colgantes+est%C3%A1n+destinadas+al+mando+\(a+trav%C3%A9s+de+contactores\)+de+m%C3%A1quinas+de+elevaci%C3%B3n+como+puentes+%E2%80%93+gr%C3%BAa,+gr%C3%BAas+de+plum](https://books.google.com.pe/books?id=_PM-DwAAQBAJ&pg=PA380&lpg=PA380&dq=Las+cajas+de+pulsadores+colgantes+est%C3%A1n+destinadas+al+mando+(a+trav%C3%A9s+de+contactores)+de+m%C3%A1quinas+de+elevaci%C3%B3n+como+puentes+%E2%80%93+gr%C3%BAa,+gr%C3%BAas+de+plum)
- Telemecanique. (s.f.). *Tecnologías de control industrial*. Obtenido de <http://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>
- The Fiber Optic Association, I. (2014). *Guide to Fiber Optics & Premises Cabling*. Obtenido de http://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm
- UPC. (s.f.). *Desarrollo de una Planta Piloto de Procesos Químicos. Columna de Destilación*. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/82/pfc1304.pdf;sequence=1>

Villarreal Rodríguez, M. (2011). *Informe final*. Obtenido de <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1468/RD-1103.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

