



***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CINCO MÓDULOS
PARA REALIZAR PRÁCTICAS DE LABORATORIO
EN LAS ÁREAS DE AUTOMATIZACIÓN,
PROCESOS INDUSTRIALES, OPERACIONES Y
CONTROL DE SISTEMAS DE ENERGÍA
ELÉCTRICA.***

**Alfredo José Jaraba Ahumada
José Alfredo De la hoz Ballena**

Universidad Magdalena

Facultad, Ingeniería

Programa, Electrónica

Ciudad, Colombia

Año, 2022



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CINCO MÓDULOS PARA REALIZAR PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LAS ÁREAS DE AUTOMATIZACIÓN, PROCESOS INDUSTRIALES, OPERACIONES Y CONTROL DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**Alfredo José Jaraba Ahumada
José Alfredo De la hoz Ballena**

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico.

Director (a):

Esp. Juan Gabriel González Lerma

Codirector (a):

Dr. Carlos Arturo Robles Algarín

Línea de Investigación:

Señales, Sistemas y Energías

Grupo de Investigación:

MAGMA INGENIERÍA

Universidad del Magdalena

Facultad Ingeniería

Programa Electrónica

Santa Marta Magdalena

Año 2022

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Acuerdo Superior N° 11 de 2017 y Acuerdo Académico N° 41 de 2017 para optar al título de (Ingeniero Electrónico)

Jurado

Jurado

Santa Marta, ____ de ____ de ____

(Dedicatoria o lema)

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, quien me ha regalado la sabiduría y el entendimiento para afrontar el reto de culminar nuestro proyecto. Mi padre Jaime Jaraba y Shirley Ahumada, quienes han entregado su esfuerzo sobre humano para ayudarme en esta nueva etapa de mi vida como lo es culminar mi carrera profesional, a mis hermanos y/a mis abuelas Maritza Ospino y Yolanda Castañeda, quienes siempre han confiado en mis capacidades.

Alfredo José Jaraba Ahumada

Gracias a Dios, a mis padres Jander Alfredo De la Hoz Polo y Ana Lucia Ballena Rodríguez quienes siempre han creído en mí, por darme ejemplos de superación, humildad, sacrificio y perseverancia; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A mi hermano Diego Andrés De la hoz Ballena quien ha sido mi confidente y compañero de vida. Por último, agradezco a mis familiares, amigos, compañeros y personas que me han acompañado en todo este proceso, gracias, este logro también es de ustedes.

José Alfredo De la hoz Ballena

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecemos a:

Principalmente a Dios, por regalarnos la oportunidad de ejecutar este proyecto con éxito. Nuestros padres y amigos han sido un pilar importante en nuestra carrera, dando ese impulso para soportar cualquier prueba y lograr lo propuesto.

La Universidad del Magdalena ha formado a Ingenieros capaces de realizar cualquier tipo de proyectos bajo sus aulas, agradecidos eternamente con ella y su cúpula de docentes que han contribuido en nuestra formación.

Nuestro compañero y amigo del programa de Ingeniería Electrónica **Raúl Orejarena Bueno**, quien aportó tiempo, esfuerzo y dedicación en este proyecto de investigación. Gratitud por tu compromiso.

El Especialista Juan González Lerma quien fue nuestro Director del proyecto, quien entregó su conocimiento para el diseño e implementación de los módulos de entrenamiento y nos orientó para finalizar el proyecto.

El Doctor Carlos Arturo Robles Algarín quien es nuestro Codirector, por su dedicación y entrega a la hora de resolver nuestras dudas. Fue fundamental en la corrección de errores y realización del documento de investigación.

Nuestro director del programa de Ingeniería electrónica **Ronald Martínez Abuabara** por su gestión en la adquisición de equipos calificados para nuestros laboratorios y su compromiso para lograr la alta calidad de nuestra carrera.

RESUMEN

Este proyecto de investigación se realizó la implementación de 5 módulos didácticos para realizar prácticas de laboratorios en las áreas de Automatización industrial y Electrónica de potencia. Se diseñó un manual técnico y de usuario con instrucciones de seguridad y recomendaciones de uso para prolongar la vida útil de los dispositivos; también se elaboró 4 guías de prácticas de laboratorio, dos por cada asignatura, que ofrezcan instrucciones para la implementación de un trabajo practico en los módulos didácticos; esto se realizó en el marco del macroproyecto de la Universidad del Magdalena para la ampliación, adecuación y modernización de los laboratorios de Ingeniería. La construcción de los módulos se abordó teniendo en cuenta las características de dos prototipos con la finalidad de unificarlos para crear una herramienta que mejore el proceso de aprendizaje de los estudiantes; para el manual técnico se establecieron indicaciones relacionadas al uso adecuado de los equipos y la prevención del riesgo eléctrico. Las guías de laboratorio fueron debatidas con los docentes de las asignaturas de Automatización y Control Industrial y Electrónica de Potencia del Programa de Ingeniería Electrónica, con objetivo de fortalecer las competencias que debe tener un ingeniero. Actualmente el proyecto se encuentra en funcionamiento en el laboratorio de señales e instrumentación, los profesores realizan prácticas de laboratorio durante sus clases con los módulos didácticos y entregan las guías a los estudiantes como apoyo para su ejecución. El manual técnico y de usuario está a disposición para estudiantes y docentes que hacen uso de los módulos.

Palabras claves: Módulos didácticos, Automatización Industrial, prácticas de laboratorio de Ingeniería Electrónica.

ABSTRACT

This research project involved the implementation of 5 didactic modules for laboratory practices in the areas of Industrial Automation and Power Electronics. A technical and user's manual was designed with safety instructions and recommendations for use to extend the useful life of the devices; 4 laboratory practice guides were also developed, two for each subject, which provide instructions for the implementation of practical work in the didactic modules; this was done within

the framework of the macro-project of the Universidad del Magdalena for the expansion, adaptation and modernization of the Engineering laboratories. The construction of the modules was approached taking into account the characteristics of two prototypes with the purpose of unifying them to create a tool that improves the learning process of the students; for the technical manual, indications related to the adequate use of the equipment and the prevention of electrical risk were established. The laboratory guides were discussed with the teachers of the Automation and Industrial Control and Power Electronics courses of the Electronics Engineering Program, in order to strengthen the competencies that an engineer should have. The project is currently in operation in the signals and instrumentation laboratory; the professors carry out laboratory practices during their classes with the didactic modules and deliver the guides to the students as support for their execution. The technical and user manual is available for students and teachers who use the modules.

Keywords: Didactic modules, Industrial Automation, Electronic Engineering laboratory practices.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	6
CONTENIDO.....	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS.....	12
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIACIONES.....	13
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS.....	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1 La automatización industrial.....	17
2.2 Partes de un sistema automático	18
2.1.1 Parte operativa.....	18
Lógica Cableada.....	18
El contactor.....	19
El arrancador suave.....	19
Variador de frecuencias.....	21
Relé temporizado.....	22
2.1.2 Los sensores	23
2.1.3 Actuadores.....	24
Motores eléctricos	24
Motores de corriente alterna.....	26
Tipos de arranques	29
2.1.4 Parte de control (Mando).....	30
Lógica programada.....	32

Lenguajes de programación de autómatas	33
2.1.5 Sistemas de supervisión	34
Unidades HMI	34
3.1 Métodos para la ejecución del proyecto.....	35
4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	37
4.1 FASE 1: Integración al proyecto y planificación.....	37
4.1.1 Diseño y estructura de los módulos de entrenamiento.....	37
4.2 FASE II: Ensamble de equipos eléctricos y electrónicos.....	40
4.2.1 Equipos y materiales para la etapa de Potencia.....	40
4.2.2 Equipos y materiales para la etapa de Automatización.....	47
4.2.3 Borneras de conexión, puesta a tierra y marcación de cableado	51
4.3 FASE III: Pruebas de funcionamiento eléctrico, electrónico y de red.....	52
4.4 FASE IV: Elaboración guías de laboratorio y manual de usuario.....	54
5. PRESUPUESTO	57
6.1 Encuesta de impacto del proyecto de investigación.....	63
7. CONCLUSIONES	67
ANEXOS.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Diagrama de fuerza y mando por Lógica Cableada CAdE-SIMU</i>	18
<i>Figura 2. Arranque directo, estrella/triangulo y suave</i>	20
<i>Figura 3. Diagrama de un variador de frecuencias con sus entradas y salidas</i>	21
<i>Figura 4. Partes internas de un Motor Eléctrico.....</i>	24
<i>Figura 5. Conexión interna de los devanados de un motor trifásico.....</i>	25
<i>Figura 6. Partes externas de un Motor Eléctrico</i>	26
<i>Figura 7. Características típicas de los tipos de Motores Rotor Jaula de Ardilla</i>	29
<i>Figura 8. PLC SIMATICS S7- 1200 Siemens.....</i>	31
<i>Figura 9. Esquema de lógica programada para un semáforo con PLC LOGO! Siemens.....</i>	32
<i>Figura 10. Proceso de desmontaje de equipos</i>	38
<i>Figura 11. Base física y principal del proyecto</i>	38
<i>Figura 12. Instalación de canaletas y rieles DIN</i>	39
<i>Figura 13. Diagrama eléctrico para la etapa de electrónica de potencia</i>	40
<i>Figura 14. Cable Centelsa Flexiplus 18 AGW 600V</i>	41
<i>Figura 15. Interruptores Termomagnéticos de Tripolar y Bipolar</i>	41
<i>Figura 16. Conexión del cable Neutro.....</i>	42
<i>Figura 17. Variador de frecuencias, arrancador suave y contactores sin conexión.....</i>	43
<i>Figura 18. Crimpado de cable negro calibre 18</i>	44
<i>Figura 19. Conexión de equipos eléctricos y electrónicos para etapa de potencia</i>	44
<i>Figura 20. Instalación del Relé Temporizado Schneider.....</i>	45
<i>Figura 21. Motor 3F Rotor Jaula de Ardilla tipo B Siemens</i>	45
<i>Figura 22 Denominación moderna de los devanados del motor</i>	46
<i>Figura 23 Placa características del motor eléctrico 3F</i>	47
<i>Figura 24. Dispositivos de potencia conectados acorde al diagrama.....</i>	47
<i>Figura 25. Diagrama de conexión para la etapa de control</i>	48
<i>Figura 26. Montaje de PLC LOGO y accesorios de expansión.....</i>	49
<i>Figura 27. Imagen del PLC S7-1200 con entradas y salidas</i>	49
<i>Figura 28. Unión de Fuente de alimentación, PLC S7-1200 y Pantalla Monocromática.....</i>	50

<i>Figura 29. Montaje de dispositivos de potencia y automatización.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 30. Bornes de paso TB Phoenix Contact.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 31. Bornes de paso y marcación del cableado de los dispositivo</i>	<i>52</i>
<i>Figura 32. Pruebas de continuidad al Módulo</i>	<i>53</i>
<i>Figura 33. Tablero de distribución eléctrica y red Trifásica</i>	<i>54</i>
<i>Figura 34. Vista fontal y lateral del módulo en 2D</i>	<i>58</i>
<i>Figura 35. Reparto de rieles en los módulos didácticos</i>	<i>58</i>
<i>Figura 36. Módulos funcionales</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 37. Esquema de conexión puesta en marcha de motor con variador de fr ...</i>	<i>60</i>
<i>Figura 38. Esquemático del PLC LOGO para el laboratorio del semáforo</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 39. Esquema Ladder para laboratorio del semáforo</i>	<i>61</i>
<i>Figura 40. Practica de los estudiantes en los módulos.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 41. Inauguración del proyecto para el programa de Ingeniería electrónica</i>	<i>62</i>
<i>Figura 42 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 1.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 2.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 44 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 3.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 45 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 4.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 46 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 5.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 47 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 6.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 48 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 7.....</i>	<i>66</i>

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1 Presupuesto general del proyecto.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2 Primer y segundo Riel de conexiones</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 3 Tercer y Cuarto Riel de conexiones.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 4 Quinto Riel de conexiones</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5 Presupuesto personal del proyecto.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 7 Dispositivos y Materiales.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 6 Costos de Herramientas y Utensilios.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 8 Gastos de transporte y envíos</i>	<i>79</i>

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

Símbolo	Significado
A	Amperios
Hz	Frecuencia
m	Metro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
RPM	Revoluciones por minuto
V	Voltios
VCA	Voltaje de corriente alterna
VCD	Voltaje de corriente directa
P	Potencia
W	Vatios
”	Pulgadas

INTRODUCCIÓN

(Serna-Montoya, 2009) afirma que “La Ingeniería es la aplicación de la ciencia en la conversión optima de los recursos naturales en beneficio de la humanidad” (p.11). El campo del conocimiento ha definido la misma como la adaptación creativa de “los principios científicos para diseñar o desarrollar estructuras, maquinas, aparatos o procesos de fabricación utilizados por separados o en combinación, para la realización de diversas obras a lo largo de la historia. Introducir la Electrónica en nuestro mundo actual ha permitido desarrollar procesos más eficaces, mejorando la calidad del producto final mediante la aplicación del conocimiento en la automatización industrial, electrónica de potencia y el control de variables.

El Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Magdalena se ha caracterizado por formar estudiantes competentes en distintas áreas del conocimiento, pero la falta de equipos conlleva a los docentes a buscar soluciones con limitadas herramientas para ilustrar lo aprendido teóricamente mediante pequeñas prácticas que, no siempre alcanzan el resultado esperado. Es importante para los estudiantes de ingeniería desarrollar correctamente sus habilidades prácticas para comprender si los conceptos han sido bien enseñados y comprendidos... “El ingeniero en el mundo laboral aprende haciendo” (Sanchez, 1989).

La integración del aprendizaje y la enseñanza van relacionadas directamente con la teoría y la práctica, es por eso que, se han diseñado estrategias que logran conectar diferentes dispositivos dentro de un mismo entorno para simplificar el proceso de funcionamiento, a esto le llamamos módulos didácticos.

En el laboratorio de señales e instrumentación de la Universidad del Magdalena se llevó a cabo el diseño y la construcción de 5 módulos para realizar prácticas de laboratorio en las áreas de automatización, procesos industriales, operaciones y control de sistemas de energía eléctrica. El objetivo es lograr que los estudiantes puedan aprender a programar equipos como PLC's, los variadores de frecuencia, el arrancador suave, acoplar sensores de presión y de acción; así mismo configurar la velocidad del motor trifásico y estudiar su comportamiento.

El trabajo de investigación requirió conocer el estado del arte para tener soporte de proyectos ejecutados dentro y fuera de la Universidad del Magdalena. En la revisión de antecedentes, se encontró un proyecto desarrollado por estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana en Ecuador, el cual tiene como fin resaltar la importancia y el ejercicio de la practica para poder tener alumnos más competentes en carreras ingenieriles. (Reinel Cardoso & Velásquez Navarrete, 2019) crearon un módulo de pruebas con enfoques neumáticos y electroneumáticos basado en PLC y HMI.

En otro antecedente (Ramos Escobar & Hernández Hernández,2013), se abordó un proyecto de pruebas de control de velocidad para instruir al estudiante de forma técnica, desarrollar sus destrezas y aplicarlas en el campo profesional relacionado con la construcción de un módulo didáctico para el control de motores de inducción trifásica.

La revisión de proyectos en general tuvo como fin desarrollar la práctica que permite al estudiante consolidar sus conocimientos en competencias. Considerando lo anterior se inició con el diseño y ensamble de la estructura física para su respectivo montaje, simulación y prueba integral de cada equipo con sus respectivas conexiones eléctricas y electrónicas y así determinar la distribución cada componente dentro del módulo. La creación de guías básicas de laboratorio para las asignaturas mencionadas anteriormente tiene como objetivo facilitar la ejecución de las prácticas.

El ingeniero requiere de grandes habilidades a la hora de enfrentarse a problemas de la vida diaria, fortalecer el conocimiento teórico a través de los módulos ayudará a mejorar las competencias y enriquecer su perfil profesional.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

- Diseñar y Construir Cinco Módulos para Realizar Prácticas de Laboratorio en las Áreas de Automatización, Procesos Industriales, Operaciones y Control de Sistemas de Energía Eléctrica.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño y esquema de conexiones para el correcto funcionamiento de los equipos.
- Desarrollar la construcción y conexión entre cada una de las etapas de los módulos de entrenamiento.
- Ejecutar las pruebas de funcionamiento eléctrico y electrónico
- Establecer el Manual de usuario y guías prácticas de laboratorio para las asignaturas de Electrónica de potencia y Automatización Industrial

2. MARCO TEÓRICO

En Colombia no se desarrollan equipos compactos que permitan al alumno integrar todos sus conocimientos en distintas áreas para dar soluciones a problemas de la vida real, es por esto por lo que algunas Universidades de educación superior han diseñado estrategias didácticas para apoyo al proceso pedagógico de asignaturas para electrónica de potencia y automatización industrial como lo menciona (Guerrero Hernández et al, 2016).

Para la Universidad del Magdalena, es importante expandir los laboratorios del programa de Ingeniería Electrónica a nivel de maquinarias que faciliten el avance académico e investigativo. Se abordará acerca de la Automatización Industrial, sus aplicaciones y como la Electrónica de Potencia se ve inmersa en ella.

2.1 La automatización industrial

La automática es la ciencia que estudia la automatización y su aplicabilidad usando técnicas desarrolladas con la finalidad de sustituir la intervención humana por un operador artificial (dispositivos mecánicos o electrónicos).

Los objetivos de la automática se enfocan en:

- Tareas repetitivas y complejas
- Incrementar la productividad y flexibilizar las herramientas
- Producir con calidad constante y uniformidad
- Aumentar la seguridad del personal
- Ahorrar costos en mano de obra, material y energía

La Automatización se aplica en distintos procesos de fabricación continua como lo es (la industria de la química, petroquímica, cemento) y para el caso de piezas discretas encontramos (los automóviles, muebles, electrodomésticos, etc.). Ambos procesos se pueden ejecutar en la misma empresa, cabe resaltar que todo aquello que queremos automatizar recibe el nombre de planta (Brunete et al., 2020).

2.2 Partes de un sistema automático

Para el funcionamiento de un sistema automático, se debe tener claro cuáles son los métodos que se usan para lograr ejecutar tareas repetitivas y controladas. Las partes fundamentales serán abordadas a continuación.

2.1.1 Parte operativa

Es la parte que interactúa directamente sobre la maquinaria o en otras palabras lo que actúa físicamente sobre la planta. La técnica que usada para conectar los distintos componentes eléctricos y electrónicos dentro de la electrónica de potencia será presentada:

Lógica Cableada

Es el diseño de automatismos mediante el uso de circuitos cableados donde se utilizan contactores auxiliares, relés temporizados, contactores de potencia, válvulas y otros componentes. Cualquier tipo de modificación en base a la programación de la instalación, pasará por modificar el cableado y los elementos en forma de cumplan nuevas funciones de mando, protección y potencia como mostrado en la *Figura 1*, facilita la comprensión.

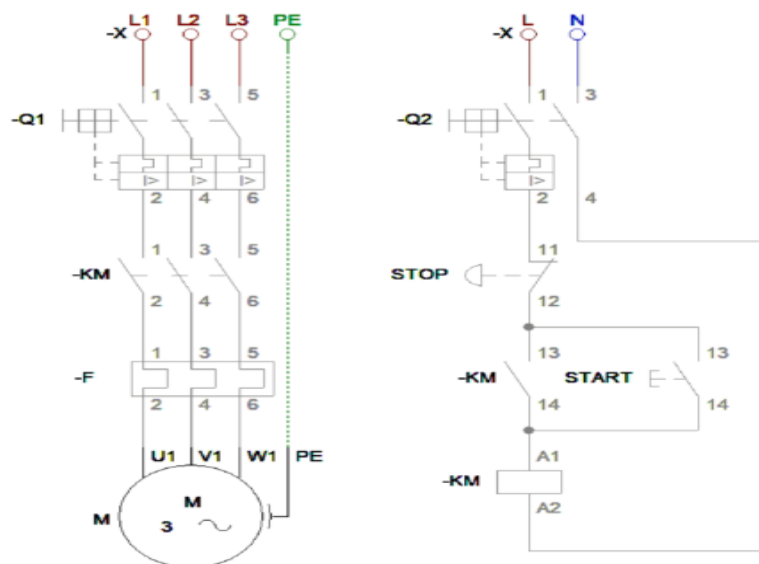


Figura 1. Diagrama de fuerza y mando por Lógica Cableada CAdE-SIMU

El contactor

“Es un dispositivo electromagnético, capaz de interrumpir el paso de la corriente controlándolo a distancia” (Martín Castillo, 2012, p. 138). Tienen una similitud al comportamiento de los relés con una aplicación diferente, ya que los contactores se utilizan como interruptores para abrir o cerrar circuitos que manejan grandes valores de voltaje y potencia. Un ejemplo claro de la función de este dispositivo es en maniobras de apertura y cierre de instalaciones de motores. Este dispositivo consta de las siguientes partes esenciales: bobina, circuito magnético y contactos eléctricos.

La bobina es el elemento del contactor que puede ser manipulado o controlado a distancia cuando se aplica una tensión en sus bornes de conexión. Los bornes de la bobina tienen por etiqueta A1 y A2, y estas están fabricadas para trabajar con tensiones de (12V hasta 230V) para ambos tipos de corriente, alterna y directa.

El circuito magnético está compuesto por dos partes fundamentales, la culata y el martillo. Es necesario resaltar que el martillo es la parte que se desplaza mientras que la culata es la parte fija. Cuando se alimenta a la bobina con la tensión requerida, esta atrae el martillo hacia ella.

Los contactos eléctricos del contactor se encuentran unidos mecánicamente a la parte que se desplaza del circuito magnético. Cuando el martillo se desplaza, también lo hacen los contactos, cerrando los que están abiertos y viceversa. En los contactores se encuentran dos tipos de contactos, uno de fuerza que se usa para un mayor poder de corrientes en cargas de potencia, y el de mando se usa para tareas de control.

El arrancador suave

El arrancador suave está constituido principalmente por dispositivos de estado sólido para controlar la tensión y por tanto el flujo de corriente hacia el motor (Villanueva, J. A. & Echeverría, 2013). Este es capaz de limitar la corriente y el par de arranque de un motor con la finalidad de evitar el esfuerzo mecánico y las caídas de tensión en la línea de alimentación. Dicho de otra manera, el arrancador protege los equipos conectados, alargan su vida útil y aseguran operaciones de arranques de producción suave.

Las principales ventajas que ofrece esta tecnología son:

- Apto para realizar arranques frecuentes
- Esfuerzo mínimo en la carga, motor y línea
- Se pueden cambiar las condiciones de arranque de forma fácil
- Control de parada suave que amplía el tiempo de desaceleración del motor

El equipo está elaborado a base de semiconductores de estado sólido permite la puesta en marcha de Motores Asíncronos Rotor Jaula de Ardilla de tres fases de manera regulada, como se mencionó anteriormente, reduciendo la tensión de la red y así mismo descendiende la corriente de arranque de manera proporcional a la tensión de los bornes de conexión como se muestra en la *Figura 2*.

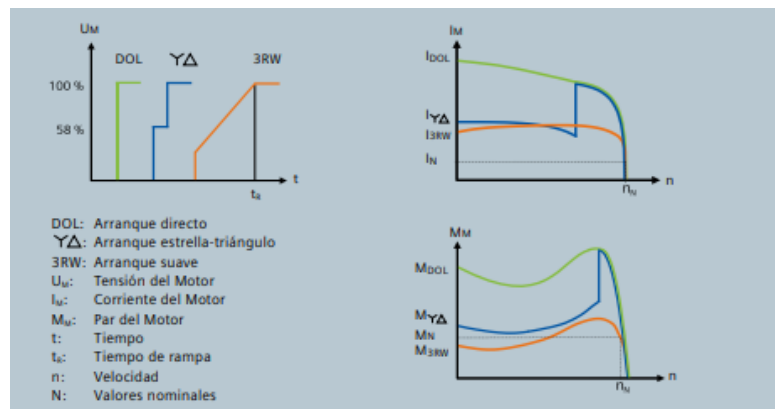


Figura 2. Arranque directo, estrella/triángulo y suave

Las partes principales de un arrancador suave son:

La unidad de control está formada microprocesadores, es la encargada de controlar la corriente de alimentación del motor, utilizando un control de fase angular variando el ángulo de disparo de los tiristores.

La unidad de potencia está compuesta por tiristores conectados en antiparalelo por fase, son gobernados por un módulo de control proporcionando un control de ondas en las tres fases.

Dispositivos de protección actúa ante cualquier falla presente en el motor, también tiene funciones como control de arranque, control de parada y protección electrónica del motor. La implementación de esta herramienta en la industria ha sido de gran ayuda para resolver problemas como arranques bruscos y consumos de energía.

Para aplicaciones como bombas, maquinas centrifugas, bandas transportadoras deben ser arrancadas de manera leve y algunas veces deben ser frenadas de manera controlada para prevenir golpes mecánicos, fatigas y torsión de ejes de acoplamiento.

Variador de frecuencias

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive) es un dispositivo electrónico, que permite la variación de la velocidad de los Motores Asíncronos Trifásicos, convirtiendo magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables como menciona (Piñero, 2015).

La velocidad en el eje del motor asíncrono se da en revoluciones por minuto (rpm), la cual depende de los números de polos del motor. La frecuencia del equipo da en Hertz (Hz) para el suministro de la red. A continuación, en la *Figura 3*, se verá una ilustración de las entradas y salidas del variador de frecuencias.

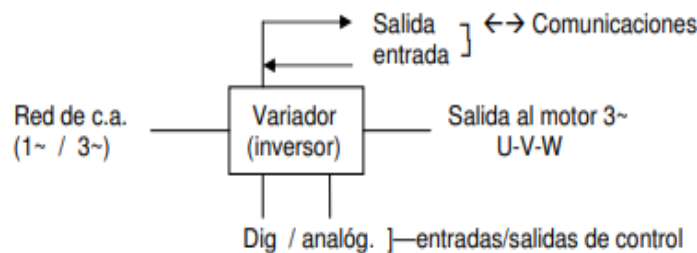


Figura 3. Diagrama de un variador de frecuencias con sus entradas y salidas

Sus principales ventajas son:

- Se puede controlar con un autómata programable o microprocesador
- Limita la corriente de arranque
- Controla la aceleración y el frenado progresivo
- Obtiene el mayor rendimiento del motor
- Permite ver variables de tensión, frecuencia, rpm etc.
- Consigue un ahorro energético cuando el motor esta parcialmente cargado, con acción directa entre el factor de potencia

En el mercado actual existen varios tipos de variadores de frecuencia dentro de ellos podemos destacar los mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos, siendo este último el de interés. Para llegar al nivel en el que están los variadores eléctrico-electrónicos en la actualidad, se ha pasado a través de la historia con la implementación de los primeros mediante tubos de vacío, siendo estos años después dispositivos de estado sólido, donde se ha reducido su volumen, tamaño, costos, confiabilidad y eficiencia.

Dentro de las etapas de funcionamiento del variador de frecuencias se tiene:

El rectificador parte de la red de suministro de corriente alterna, monofásica o trifásica obtenemos la corriente continua mediante diodos rectificadores.

Bus de continua cuenta con condensadores y bobinas con la capacidad de almacenar y filtrar la corriente continua rectificada, buscando un valor en continua estable y reserva de energía para el motor en funcionamiento.

Etapas de salida desde la etapa del bus en corriente continua, un ondulator es el encargado de convertir la energía en una salida trifásica con valores de intensidad, tensión y frecuencia variables. Aquí podemos encontrar elementos de conmutación como lo son los BJT, IGBT's, tiristores etc.

El control y E/S es la etapa de control de los diferentes bloques del variador, protección y regulación. Aquí se incluye la interfaz de comunicación con buses u otros dispositivos de control y usuario.

Relé temporizado

Es un dispositivo electrónico capaz de realizar tareas de activación y desactivación después de un tiempo determinado. Algunos de ellos pueden variar el tiempo de disparo partiendo de los milisegundos hasta varias horas. Dentro de sus partes internas cuenta con una bobina y un grupo de contactos que se accionan eléctricamente, entregando funciones a la conexión, desconexión y con señal de control.

El temporizador con retardo a la conexión funciona cuando sus contactos cambian de posición después de un tiempo desde que se empezó a energizarse la bobina del temporizador.

El temporizador con retardo a la desconexión también llamado “Off Delay” en inglés, funciona cuando desactivamos la bobina y empieza a correr el tiempo de desactivación para que vuelva a su estado inicial.

El temporizados con señal de control maneja dos señales de entrada para activar la temporización. Una normal que activa la bobina del temporizador y la otra llamada señal de control. Para su funcionamiento debemos activar la bobina (normal) y con el otro pulsador llamado de control, activamos la temporización.

2.1.2 Los sensores

En la electrónica los sensores son pieza clave para medir magnitudes físicas (temperatura, luz, sonido, etc.). Son dispositivos capaces de entregar información en tiempo real de lo que está sucediendo, por lo que su aplicabilidad en las industrias es cada vez mayor. La importancia de los sensores en los módulos que se diseñaron va ligado a los equipos que disponen entradas analógicas y digitales para automatizar cualquier sistema. En la actualidad existen diferentes tipos de sensores que se pueden adaptar a sistemas de control automatizado, entre ellos tenemos:

Detectores de proximidad son aquellos que al detectar la presencia de objetos sin contacto alguno cuando estos están dentro del campo de acción o zona de trabajo, dependiendo del tipo de tecnología para la detección se clasifican en:

Sensores fotoeléctricos utilizan un rayo de luz ya sea visible para el ojo humano o de infrarrojos como elemento de detección. Estos disponen de un emisor y un receptor los cuales pueden estar en la misma base o separados.

Sensores capacitivos son dispositivos que pueden detectar cualquier tipo de material como plástico, vidrio, metal, cerámica etc. Su zona de alcance es similar a los sensores inductivos.

Sensores inductivos son capaces de detectar solamente objetos metálicos, pues su zona para detectar no es mayor a 60mm en modelos más potentes.

Sensores de ultrasonido dentro de su campo de acción pueden ajustarse entre una distancia mínima y máxima. Permiten detectar cualquier objeto sin contacto físico, podemos encontrarlos de salidas tanto digitales como analógicas.

2.1.3 Actuadores

Son todos aquellos dispositivos o elementos que actúan sobre la parte operativa, entre ellos podemos encontrar motores, cilindros neumáticos e hidráulicos, válvulas, bombas y compresores. Para el desarrollo de este trabajo abordaremos los motores eléctricos ya que es una de las razones por la que se ha diseñado este proyecto.

Motores eléctricos son artefactos que tienen la capacidad de transformar la energía eléctrica en mecánica y así poder impulsar el funcionamiento de una máquina (Martín Castillo, 2012). En la actualidad son piezas de gran importancia para desplazar objetos, empaquetar, cerrar puertas, subir y bajar materiales, etc. En los sectores industrializados, los Motores Eléctricos vienen controlados por sistemas automáticos capaces de regular su comportamiento para tareas determinadas. Estos están compuestos de dos partes fundamentales como se muestra en la *Figura 4*, las cuales vamos a trabajar a continuación:

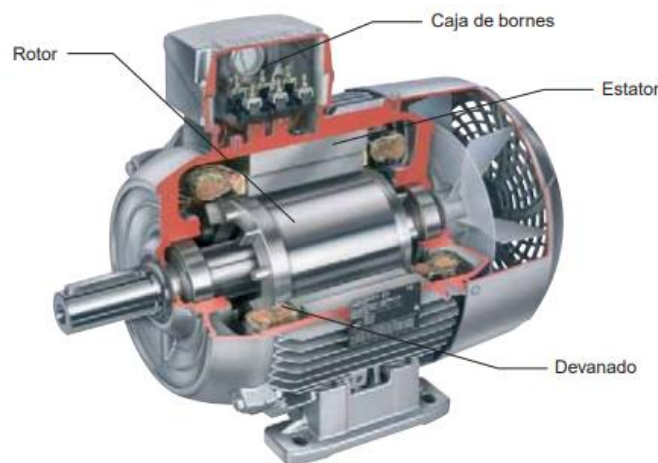


Figura 4. Partes internas de un Motor Eléctrico

Partes internas de un motor eléctrico

El rotor es la parte que gira o rota dentro de la maquina eléctrica, consiste en un eje que soporta un juego de bobinas sobre piezas polares estáticas, pero este depende del tipo de motor, ya que puede estar bobinado o no.

El estator es la parte fija de la maquina o, dicho de otra manera, es aquel elemento que opera como base en la que se aloja el devanado, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación. Este no se mueve mecánicamente, pero si lo hace de forma magnética cumpliendo muchas funciones.

Partes externas de un motor eléctrico

Caja de borneras es aquella que permite las distintas conexiones del motor eléctrico a la alimentación de corriente. A continuación, podremos ver la denominación que se le ha dado a cada bornera en la actualidad versus la antigüedad como se enseña en la *Figura 5*.

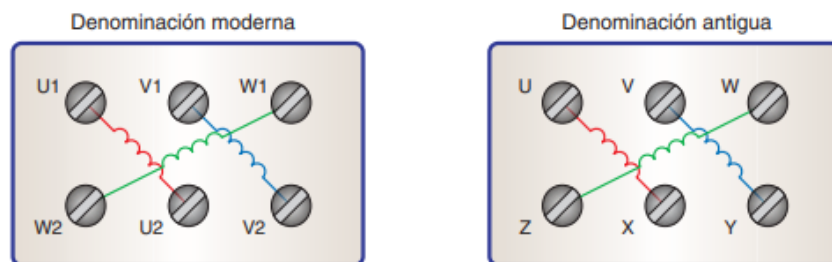


Figura 5. Conexión interna de los devanados de un motor trifásico

Eje es el elemento que transmite el movimiento giratorio del motor.

Carcasa es quien recubre el interior del motor, tanto su parte eléctrica como magnética.

Base de características presenta los datos más importantes del motor.

Tapa de ventilación protege la ventilación del motor y también permite el flujo de aire dentro de el mismo.

La base de fijación permite fijar el motor para evitar accidentes, este consta de 4 orificios donde se ajusta la tornillería.

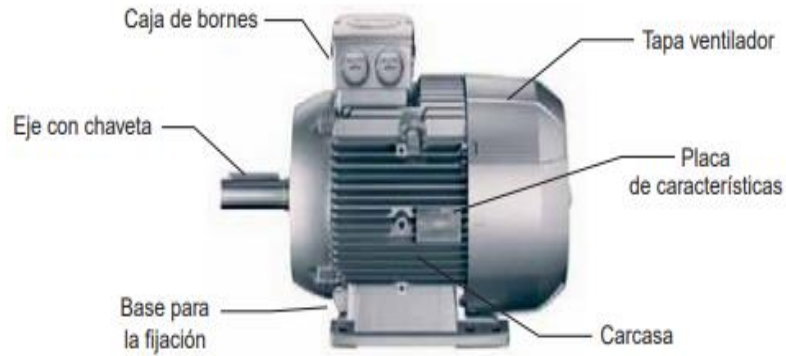


Figura 6. Partes externas de un Motor Eléctrico

Existen dos tipos de motores según el sistema de corriente utilizado en su alimentación, para se tiene:

- Motores de Corriente Alterna (AC).
- Motores de Corriente Continua (DC).

Motores de corriente alterna

“Un motor, es un receptor que, al ser alimentado mediante corriente eléctrica, produce movimiento giratorio en su eje que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, es aprovechado para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial y domestico” (Martín Castillo & García, 2012, pág. 106).

Los motores de corriente alternan dependiendo de sus fases de alimentación, pueden ser monofásicos y trifásicos. Para poder entender esto, los Motores monofásicos son aquellos que solo cuentan con una fase de alimentación y un neutro, mientras que los motores trifásicos operan con tres fases. En ese orden de ideas, unos se usan en entornos domésticos, mientras que los otros son para trabajar en entornos industrializados.

Las maquinarias asincrónicas están compuestas por circuitos magnéticos sin polos salientes, y son considerados como Motores de inducción porque su funcionamiento va ligado a la interacción con los campos magnéticos producidos por la corriente eléctrica, en este caso la corriente alterna.

Teniendo en cuenta el uso de los motores trifásicos para espacios industriales, encontramos los de Rotor Jaula de Ardilla (o corto circuito) el cual es nuestro objetivo para destacar en este proyecto.

Por otra parte los motores de rotor bobinado (o también conocido como motor de anillos rodantes) y no se estudiará dentro de este capítulo.

Motor trifásico rotor de jaula de ardilla

De acuerdo con (Enríquez Harper, 2008), el rotor de un Motor Jaula de Ardilla está compuesto por barras conductoras que se encuentran en paralelo con el eje y en corto circuito por medio de unos anillos en los extremos, en los que se mantienen soportados físicamente. Tanto la forma como la resistencia influyen de forma significativa en las características par-velocidad.

Los motores trifásicos juegan un papel fundamental en las industrias. Estos disponen de tres devanados, uno por cada fase. Cada uno de sus devanados, tiene un inicio y un final que están directamente ligados a la caja de borneras. Dentro de la caja de borneras podemos encontrar seis bornes, los cuales pueden ser conectados de diferentes maneras según su aplicación, sea la conexión triángulo puede operar con el menor voltaje de funcionamiento del motor, por otro lado, encontramos la conexión estrella que trabaja con una tensión de operación mayor.

Teniendo en cuenta la aplicabilidad del motor de inducción, se considera ventajoso respecto a los demás por su bajo coste de fabricación, su rotor de construcción simple, su forma compacta y el poco espacio que usa, al igual que no produce chispas lo cual reduce el riesgo de incendios (Pacheco Chica & Santos Moreira, 2020).

Clasificación del motor trifásico rotor de jaula de ardilla

Los Motores abordados en este capítulo provienen de los motores polifásicos de inducción. Cuando se desarrollaron por primera vez este tipo de equipos, se pensaba en su adaptabilidad para las diversas de curvas de deslizamiento – par. Diversos fabricantes han ejecutado muchas variaciones que tienen como consecuencia pares de arranque mayores o menores según el uso normal y también menores corrientes de arranque.

Distinguir entre los diversos tipos, no fue una tarea fácil por lo que la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) estableció letras para identificar cada tipo de motor de jaula de ardilla.

Diseño clase A: se usa para velocidades constantes. Sus características principales son:

- Buena capacidad de disipar el calor
- Su corriente de arranque varia 5 a 7 veces la corriente nominal
- Se usa en ventiladores, sopladores, bombas, etc.
- Alta resistencia y baja reactancia al arranque

Diseño clase B: se le conoce como motores de propósito general por su:

- Par de arranque normal, baja corriente de arranque y deslizamiento
- Baja corriente, mejor que los clase A
- El par máximo es mayor o igual al 200% el par de carga nominal

Diseño clase C:

- Tienen un rotor de doble jaula de ardilla (son más costosos)
- Tiende a sobrecalentarse
- Alto par de arranque (entre 2 y 2.5 veces el nominal)
- Cuando se usa con cargas pesadas, se limita la disipación térmica del motor

Diseño clase D:

- Conocidos por su alto par y alta resistencia
- Alto deslizamiento a plena carga
- La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia la velocidad muy baja
- Diseñado para servicio pesado de arranque

A continuación, se presenta de forma gráfica las características típicas de cada diseño de rotor jaula de ardilla como se ilustra en la *Figura 7*.

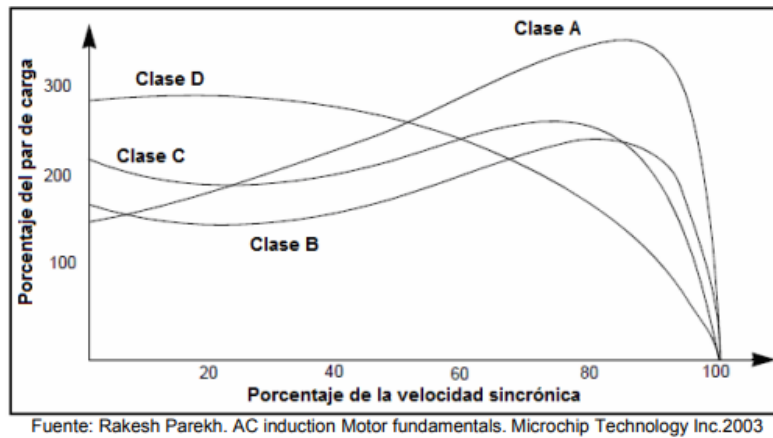


Figura 7. Características típicas de los tipos de Motores Rotor Jaula de Ardilla

En la figura anterior aprecia el comportamiento de cada uno de los rotores y la aplicación según sus características para seleccionar el más adecuado. En el caso de este proyecto se trabajó con el motor clase B.

Tipos de arranques

El arranque directo es el método de arranque más simple y sencillo de ejecutar en motores de pequeña potencia (o en motores grandes, siempre y cuando estén conectados de forma independiente para que su corriente de arranque no afecte otros equipos). En el momento de la puesta en marcha bajo tensión, el equipo actúa como un transformador donde el secundario, formado por la jaula de poca resistencia del rotor, está en cortocircuito.

Sus principales ventajas son:

- Arranque rápido
- Elevado par de arranque
- Sencillos de conexión

Arranque por inversión de giro En la aplicación del método de inversión de giro de un motor trifásicos, es necesario invertir el sentido del campo giratorio. Esto se logra invirtiendo las dos fases de alimentación en el motor, podemos usar automatismos para lograr que los contactores hagan el trabajo automáticamente.

Para realizar la inversión de giro sin necesidad de desconectar cables se usa un conmutador de potencia. Este elemento permite tener tres estados: Un estado central (0) para motor parado, otra para el giro a izquierda (I) y otra para el giro a derecha (II). Todo este cambio de giro se produce internamente al cambiar el estado del conmutador.

Arranque estrella/triángulo es uno de los más utilizados en la actualidad dado que este permite poner en marcha el motor en dos tiempos. En el primer tiempo, la conmutación coincide con la alimentación de la red eléctrica, donde el motor funciona con los bornes conectados en estrella, logrando consumir tres veces menos corriente que en su funcionamiento nominal.

Para el segundo tiempo, cuando la maquina logra igualar su velocidad y corriente nominal, se produce la conmutación para cambiar al modo triángulo trabajando para las condiciones en las que el motor ha sido diseñado. Una de las aplicaciones más importantes que tiene este método de arranque, se ve reflejado en la cinta transportadora, donde se necesita un dispositivo para disminuir la corriente en el momento de arranque.

Existen muchas técnicas para realizar el método de arranque estrella/triángulo. Si trabaja con motores de mayor potencia, se recomienda usar conmutadores de potencia y precisión automatizados, mientras que para motores de menor potencia se usan sistemas de conmutación manuales.

2.1.4 Parte de control (Mando)

Se encarga de ejecutar ordenes programadas por el operador, debe estar en la capacidad de comunicarse con todos los elementos el sistema. La parte de mando conlleva directamente un autómatas programable, el cual debe funcionar sin la intervención humana.

Autómata programable o PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés como PCL (Programmable Logic Controller), es una computadora que se usa en la Automatización Industrial, para programar procesos (electrohidráulicos, electroneumáticos y electromecánicos) con la finalidad de usarlos en líneas de montaje (Brunete et al., 2020).

Los equipos vienen a reemplazar a sistemas como computadoras que se usaban para propósitos generales. La razón principal de sustitución está dada porque los computadores no están hechos para trabajar en entornos industriales, además que su mantenimiento y costos eran elevados, mientras que un PLC cuenta con las siguientes ventajas:

- Pueden ser programados por el personal de operación
- Se pueden reutilizar para distintos procesos
- Se adapta a entornos industriales complejos
- No son sensible a ruidos eléctricos
- Pueden ofrecer una gama de entradas y salidas para el control
- Manejan grandes rangos de lectura y su procesamiento es veloz.

En la industria es vital y se ha convertido en el protagonista de los procesos Automatizados. A continuación se presentan las mejores marcas a nivel mundial dedicadas a fabricación de autómatas programables:

- Siemens S.A
- Schneider Electric SE
- ABB
- Mitsubishi



Figura 8. PLC SIMATICS S7- 1200 Siemens

En la parte de control se encuentra la técnica programada utilizada para la integración de autómatas con el resto del sistema, la cual se explica a continuación:

Lógica programada

En la lógica programada se sustituyen los elementos usados en los circuitos de mando (contactores de potencia, contactores auxiliares de relés electromecánicos, relés contadores, relés temporizados, etc.) por PLC's o relés programables, microcontroladores, computadores, robots. Aquí se puede elaborar cambios en las operaciones de mando, usando la programación del equipo para no tener que cambiar las conexiones cableadas.

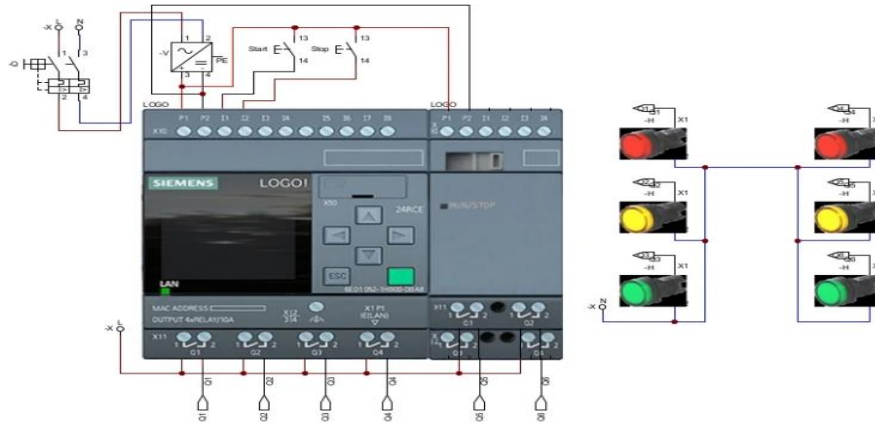


Figura 9. Esquema de lógica programada para un semáforo con PLC LOGO! Siemens

“Los autómatas programables almacenan los datos que procesan en diferentes zonas de memoria” (Martín Castillo, 2012, p288). Su importancia está en desarrollar programas para tareas que requieran conocer adecuadamente cómo funcionan los datos, tanto para escribir como para leerlos. A continuación, se presentan las variables más utilizadas para la interpretación:

- Entradas (I): Se usan para detectar el estado de los sensores y entre otras cosas conectadas a las entradas del PLC
- Salidas (Q): Activan actuadores y otros componentes desde la salida del PLC
- Marcas (M): Son las denominadas memorias internas
- Temporizadores (T): estos generan eventos cuando alcanzan el valor de tiempo estipulado
- Contadores (C): Se crean eventos para un determinado número de sucesos
- Bits de sistema (SM): Se usan para asignaciones fijas por el fabricante en el autómata.

En la automatización se debe direccionar o apuntar a una variable en el programa con el fin de identificar de forma textual las zonas a las que se tiene acceso en cuanto a la asignación de memoria. Ej.:

- I12 es la entrada numero 12
- Q5 es la salida numero 5
- T22 es el temporizador numero 22

Lenguajes de programación de autómatas

“El lenguaje de programación es el encargado de manejar el juego de instrucciones del autómata para realizar las funciones lógicas y de cálculo de la CPU. El programa de usuario se procesa en la memoria del autómata y se introduce a través del terminal de programación” (Martín Castillo & García, 2012, P. 289).

La norma UNE-EN 611131-3 se estableció con el objetivo de integrar una sintaxis de programación estandarizada que permitiera programar un automatismo sin necesidad de recurrir a la sintaxis específica de un fabricante (Sanchis Llopis et al., 2010, p. 126). Gracias a esto, han surgido cuatro lenguajes de programación más usados en la actualidad. Dos de forma gráfica y dos en forma textual, los cuales se pueden combinar entre sí.

Lenguajes gráficos brindan la facilidad de dibujar esquemáticos mediante el dispositivo de programación, en ese sentido se encuentra lo siguiente:

Lenguajes gráficos de contactos (LD) (KOP) su simbología empleada es muy similar a los circuitos eléctricos a relés, lo que hace su programación más sencilla.

Lenguajes gráficos de funciones lógicas (FBD) (FUD) este lenguaje usa una programación muy similar a la de los esquemáticos de los circuitos digitales, todos los diagramas representados a la derecha representan las salidas y a la izquierda encontramos las entradas.

Lenguajes textuales son considerados de bajo nivel y se caracterizan por usar cadenas de caracteres de texto, las cuales darán indicaciones al sistema a controlar, entre ellos tenemos:

Lenguaje por lista de instrucciones (IL) (AWL) se le conoce como lenguaje booleano, está basado en símbolos nemotécnicos parecidos al lenguaje de máquina. Es un lenguaje complejo, pero a su vez el más potente y rápido de escribir en cuanto a la programación de autómatas antiguos.

Lenguaje Estructurado (ST) es considerado como otro lenguaje de alto nivel como el C o Basic, siendo este parecido a ellos y se emplean en autómatas de alta gama tecnológica.

2.1.5 Sistemas de supervisión

Los sistemas de supervisión permiten ver y controlar remotamente a través de interfaces de usuario. En él se puede encontrar pulsadores, sensores, controladores, transmisores, etc. Para el Sistema de Supervisión que se abordará en el proyecto de investigación se presenta lo siguiente:

Unidades HMI

(Human Machine Interface) es uno de los periféricos más utilizados en cuanto a las unidades de programación. Las unidades HMI disponen de pantalla y teclado o pantallas táctiles, las cuales se usan para mostrar al operador el estado del proceso y permitirle modificar los puntos de consignas como ordenes de marcha, de paro, cambios de parámetros de funcionamiento, etc. Buscan la comunicación entre las máquinas y los humanos que las operan, es por esto por lo que los paneles HMI consiguen traducir dichas variables de procesos complejos en información importante, intuitiva y procesable. Su característica principal es optimizar los distintos procesos dentro de la planta a través a través de una red, bus de campo o conexión serie RS232.

3. Diseño Metodológico

3.1 Métodos para la ejecución del proyecto

La metodología para el desarrollo de este proyecto emplea un plan de trabajo en el cual es utilizada la estructura para el desglose de tarea (Work Breakdown Structure, WBS) donde se dividen los objetivos en actividades y las actividades se desglosan en tareas. El trabajo de investigación va enfocado al diseño y construcción de cinco módulos para realizar prácticas de laboratorio en las áreas de Automatización, Procesos Industriales, Operaciones y Control de Sistemas de energía eléctrica en los laboratorios de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Magdalena.

La metodología se divide en las siguientes fases:

FASE I: Integración al proyecto y planificación

- Diseño y estructura de los módulos de entrenamiento
- Estructura de las reglas y canaletas de distribución

FASE II: Ensamble de equipos eléctricos y electrónicos

- Instalación del cableado eléctrico y electrónico de los diferentes dispositivos y el reglamento técnico para tener en cuenta.
- Descripción los equipos utilizados y los materiales implementados
- Proceso de montaje de los equipos de electrónica de potencia y automatización.
- Marcación de borneras de conexión y puesta a tierra

FASE III: Pruebas de funcionamiento eléctrico y electrónico

- Pruebas de funcionamiento en cada bornera de conexión, puesta a tierra y fases de tensión
- Presentación del ensamble final del módulo de entrenamiento

FASE IV: Elaboración del manual de usuario y guías de laboratorio

- Presentación del manual de usuario para aprender a utilizar correctamente los equipos y sus respectivas guías de laboratorio.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

En el marco de desarrollo del proyecto de investigación se logra establecer e implementar la metodología presentada anteriormente donde se divide en fases cada una de las estrategias para la construcción de los módulos didácticos. En ellas se encuentra información paso a paso desde su inicio hasta la ejecución final en forma de paquetes de trabajo.

4.1 FASE 1: Integración al proyecto y planificación

Para el inicio de este proyecto, se informó a la comunidad académica sobre el plan de la ampliación y modernización en los laboratorios del programa de Ingeniería electrónica de la Universidad del Magdalena. El esp. Juan González Lerma socializó en sus clases acerca de la integración de estudiantes de últimos semestres capacitados para proceder a abordar este reto. Teniendo en cuenta lo anterior, la magnitud del proyecto permitió el ingreso un máximo de 6 estudiantes para ejecutar la investigación. El número de personas fue reducido para poder implementar los protocolos de bioseguridad debido a la pandemia del Covid-19 quien en ese momento mantenía a pocas personas dentro de la Universidad generando conocimiento.

4.1.1 Diseño y estructura de los módulos de entrenamiento

Diseñar un módulo que integre equipos de bajo y medio nivel para realizar prácticas de laboratorio, tiene como desafío despertar las diferentes competencias que debe tener un profesional en ingeniería. La administración de la Universidad adquirió una lista de equipos que se usan en entornos industriales y para esto el Director del proyecto trabajó sobre el boceto final del módulo, el cual se llevó a producción un solo gabinete montar parte de la estructura y los equipos.

En la *figura 10* se puede ver el modelo del gabinete en forma de “Silla” donde los dispositivos reposaran en la parte vertical y el motor en la parte horizontal debido a su peso. Se propuso la anulación de canaletas de distribución y otros errores de diseño por lo que se desarmo completamente para enviarlo a la restauración de la pintura.



Figura 10. Proceso de desmontaje de equipos

Con lo anterior, se envió a los encargados de la metalurgia de la Universidad la cantidad de gabinetes necesarios para el proyecto.



Figura 11. Base física y principal del proyecto

La *figura 11* integra información de los gabinetes después del proceso de pintura para ser trasladadas a los laboratorios de Ingeniería Electrónica y ejecutar la instalación y estructura que da soporte a los dispositivos que se instalarán.

4.1.2 Estructura de las regletas y canaletas de distribución

Para la parte horizontal se colocó 5 rieles DIN y su función sirve para fijar las borneras de conexión y de puesta a tierra, mientras que en la parte vertical se encuentra dos rieles para soportar cada uno de los dispositivos. La integración de Canaletas Plásticas Ranuradas de 2.5cm de grosor en PVC se usaron para enviar el cableado eléctrico y electrónico de las conexiones de los equipos a borneras (se tratará a detalle la Fase II).



Figura 12. Instalación de canaletas y rieles DIN

En la *figura 12* da inicio al proceso de corte, instalación y fijación de la parte estructural. En la parte superior derecha se encuentra un agujero rectangular de 8x15cm que se usará para la instalación de un dispositivo electrónico que se encuentra en la Fase II.

4.2 FASE II: Ensamble de equipos eléctricos y electrónicos

Esta parte es fundamental en cuanto a la finalidad del proyecto, las herramientas Eléctricas y Electrónicas utilizadas para el ensamble de cada uno de ellos dentro del módulo se presenta a continuación. La sección de fase II se divide en tres partes para abordar etapas fundamentales:

- Equipos y materiales para la etapa de Potencia
- Equipos y materiales para la etapa de Automatización
- Borneras de conexión, marcación y puesta a tierra.

4.2.1 Equipos y materiales para la etapa de Potencia

En el marco teórico del trabajo de investigación se aborda la etapa de potencia como aquella que contiene los dispositivos de la parte operativa que interactúan sobre la planta. En el diagrama de la *Figura 13* se tiene la conexión a las líneas trifásicas y su alimentación a los diferentes dispositivos.

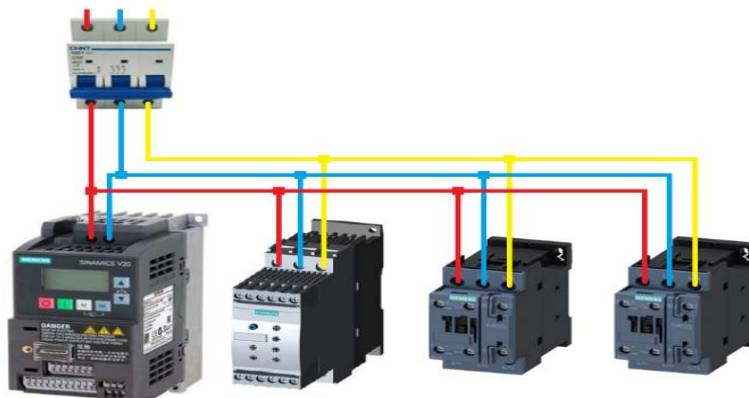
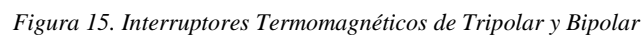
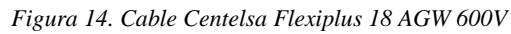


Figura 13. Diagrama eléctrico para la etapa de electrónica de potencia

La elección del cableado para equipos que operan en CA debió cumplir con características eléctricas esenciales, las cuales se evaluaron en el uso de cada uno de los dispositivos. El gasto en el material del cableado fue de 3 rollos marca Centelsa Flexiplus calibre 18 AWG que soporta cargas de hasta 10A con una tensión de operación de 600V y una temperatura de 105°C.

Las normatividades RETIE (reglamento técnico de instalaciones eléctricas) es un documento que entrega el Ministerio de Minas y energía de Colombia que en apoyo del artículo 4 de la Ley 143

[illegible]

Teniendo en cuenta la Normatividad del código IEC 60446 (La Comisión Electrotécnica Internacional) esta define los principios básicos de seguridad para lograr identificar los conductores Eléctricos por colores o números. En cuanto al módulo de entrenamiento hace uso del cable el Rojo, Azul y Amarillo como fases de 120V para el interruptor de tres polos y en el caso del Interruptor bipolar, entran dos fases de 120V que salen del mismo interruptor tripolar. Para la identificación del Neutro se representa con cable de color Azul y Negro, puesto en una bornera de gris como ilustra *la figura 16*.

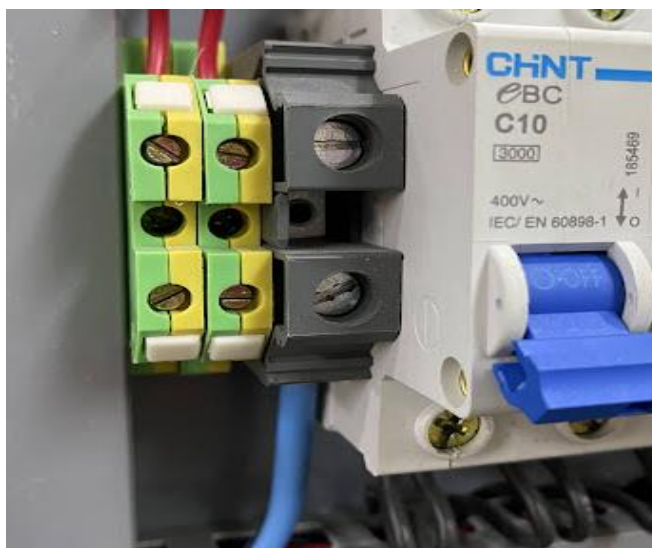


Figura 16. Conexión del cable Neutro

El variador de frecuencias SINAMICS V20 es un equipo compacto de Siemens y su operación es de 220V en dos fases en AC. Este dispositivo cuenta con salida trifásica para la conexión del motor trifásico jaula de ardilla que se montó en cada módulo de entrenamiento.

Dentro de sus características tenemos:

- 4 entradas digitales
- Corriente de trabajo de 4.2A
- Potencia de 1HP
- 1 salida a relé
- 2 entradas analógicas (0/4-20 mA) que se pueden configurar a entradas digitales
- Comunicaciones MODBUS RTU / USS
- Panel integrado de operaciones.

En la incorporación del arrancador suave SIRIUS 3RW4024 de Siemens se tuvo en cuenta que es una solución fiable para arrancar y desenrollar Motores asíncronos de forma segura. Su tensión nominal es de 440 V en corriente alterna, opera con tres fases, su corriente nominal es de 12,5 A y su índice de protección es IP20. Es de suma importancia resaltar que maneja una potencia nominal de 5,5 kW y está certificado.

Para los sistemas de potencia es fundamental contar con contactores para abrir o cerrar circuitos en carga o en vacío. Dentro de la adquisición de dispositivos que entrego la Universidad del Magdalena, se encuentran los contactores SIRIUS 3RT2023 trifásico. Su implementación va ligada a desarrollar diversas funciones para lograr hacer laboratorios de inversión de giro de un motor, entre otras cosas.

Las características de este dispositivo son:

- Voltaje de alimentación de 240VCA
- Clasificación IP20
- Intensidad de 9A
- 3 contactos NA
- 1 contacto NO

Dos de los contactores están alimentados por el interruptor tripolar y el tercero tiene las entradas y salidas enviadas por las canaletas de destrucción para ser conectadas a borneras, igual que el contactor auxiliar que dispondrá cada módulo.



Figura 17. Variador de frecuencias, arrancador suave y contactores sin conexión

El proceso de conexión de equipos de potencia tratados, exigen el uso de cableado calibre 18 y terminales de puntera que se apoyan sobre la Normativa DIN46228 para punteras de protección aisladas. Trabajar con terminales mejora la conexión entre las punteras aisladas y el cobre, presentando ventajas Eléctricas y mecánicas. Se agrega una herramienta conocida como pinza para crimpar el cableado y así dar un aspecto de calidad y seguridad.



Figura 18. Crimpado de cable negro calibre 18

Todo el flujo de cables es enviado por dentro de canaletas ranuradas que se abordaron en la parte de diseño y estructura de los módulos de entrenamiento. A continuación, se aprecia en la *Figura 19* un avance cercano a la instalación de los equipos antes mencionados.



Figura 19. Conexión de equipos eléctricos y electrónicos para etapa de potencia

Para tareas donde no se dispone de un autómatas programable, se hace uso de un temporizador relé para programar el encendido y apagado de diferentes dispositivos de forma sencilla. El estudiante debe aprender a utilizar cualquier recurso para controlar un proceso. Al lado de los contactores, se instaló un relé temporizado de Schneider. Es un dispositivo que cuenta con 10 funciones para distintos tiempos de operación entre 1s y 100h y su tensión de operación esta dará entre los 24V y 240V en CA soportando corrientes de hasta 20A.



Figura 20. Instalación del Relé Temporizado Schneider

El motor trifásico rotor de jaula de ardilla de la marca Siemens se usa en la parte horizontal del módulo, esto por razones de peso y estabilidad. Su instalación esta soportada por bujes puya para reducir su vibración mientras trabaja en vacío. El equipo logra hasta 3450 RPM y su potencia en funcionamiento es de 1HP.



Figura 21. Motor 3F Rotor Jaula de Ardilla tipo B Siemens

El cableado de para cada uno de los motores conllevó a una reunión con el director y codirector del proyecto, dado que no se tenía claridad de la conexión de los devanados internos y en que parte de los rieles se iba a instalar sus entradas para ser alimentado.

Uno de los problemas que se presentaba en ese momento estaba dado por el grosor del cable calibre 18, porque la rosca que se encuentra en la caja de borneras del motor era pequeña y por esa razón hubo cambio de planes.

Luego de abordar las dudas y llegar a un acuerdo, se optó por reducir a la mitad el número de conexiones colocando tres pares de las bobinas en paralelo dado que anteriormente se había dispuesto de 12 conexiones individuales y esto iba a hacer el proceso menos didáctico a la hora de ejecutar una práctica de laboratorio.



Figura 22 Denominación moderna de los devanados del motor

Para efectos prácticos y de organizaciones el encendido del motor, se colocaron a disposición las primeras 12 borneras del primer riel. En la base de características de la *Figura 23* se encuentra información relacionada con la referencia del Motor, el factor de potencia, la frecuencia de operación, eficiencia, peso, etc.

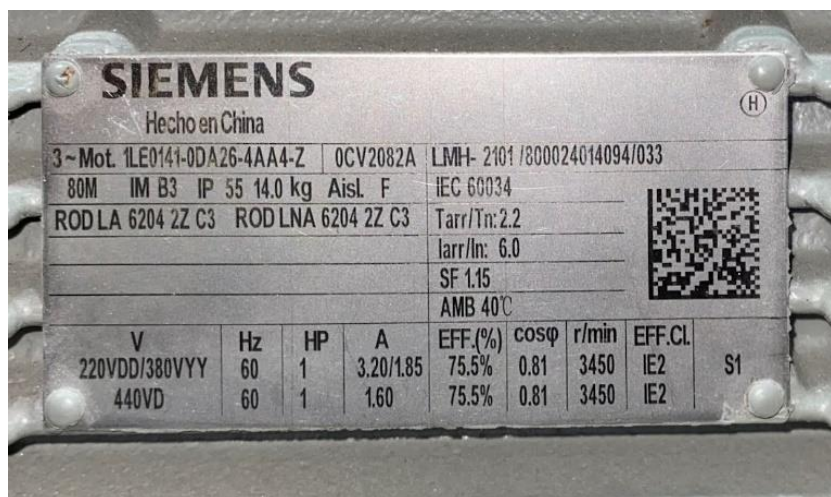


Figura 23 Placa características del motor eléctrico 3F

La figura 24 proyecta la instalación de los equipos de potencia (variador de frecuencia, arrancador suave, contactores, relé temporizado y el motor trifásico). Por medio de las canaletas de distribución se aprecia el flujo de cables para y su organización dentro de cada módulo.



Figura 24. Dispositivos de potencia conectados acorde al diagrama

4.2.2 Equipos y materiales para la etapa de Automatización

Esta es la facete denominada Etapa de control, en la Figura 25 se muestra se dio la alimentación de los equipos en corriente AC (Línea Amarilla y Azul) y corriente DC (Línea Roja para positivo y Negra para negativo).

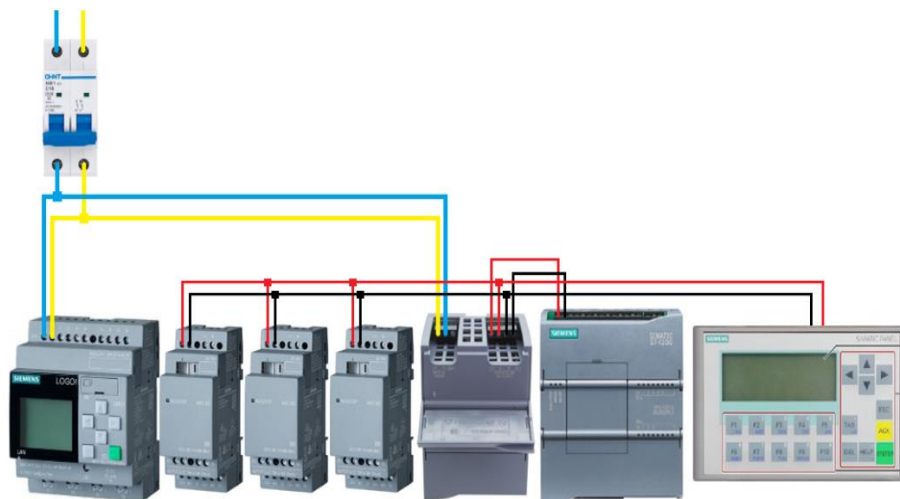


Figura 25. Diagrama de conexión para la etapa de control

Para el cableado de esta etapa, se tuvo un gasto de cuatro rollos de Cable Rojo Centelsa calibre 20 con tensión de operación de 600V para la parte que trabaja con corriente directa. La elección de este cable está dada porque los dispositivos que se van a conectar no superan los 4A. dentro de sus características eléctricas, encontramos que este tipo de cable soporta esa intensidad de corrientes. En cuanto al proceso de empalme entre los Terminales de Puntera y el cableado, sea bordó de manera similar al de la etapa de potencia con una pinza para crimpar.

Lo que define a estos módulos de entrenamiento como una fuente didáctica para la práctica, son todas las herramientas que se implementaron. Cada banco de trabajo dispondrá de un PLC Siemens LOGO, el cual cuenta con las siguientes características:

- 8 Entradas digitales
- 4 salidas tipo relé
- Puerto Ethernet
- Su tensión de alimentación es de 115-230 V en corriente alterna.
- Salida de relé: con carga inductiva 3 A máx., con carga resistiva 10 A máx.

Su aplicación va centrada para empezar a dar los primeros pasos en la Automatización de procesos de bajo nivel. Al ser un equipo que carece de entradas analógicas y digitales, se procedió a adquirir 3 módulos de ampliación. Entre ellos tenemos un Accesorio de Expansión LOGO AM2 con entradas analógicas, un LOGO AM2 AQ con salidas análogas y otro LOGO AM2 RTD con dos

entradas de temperatura, los cuales presentan una gama de ventajas para distintas aplicaciones y cada uno de ellos trabaja en los 24V en DC, como se muestra en la *Figura 26*.



Figura 26. Montaje de PLC LOGO y accesorios de expansión

Hasta el momento hemos visto cómo se van integrando cada uno de estos equipos al módulo, falta conocer otro dispositivo de Automatización que se ha instalado para darle un uso más profundo a aplicaciones enfocadas a la parte industrial. Se tiene otro autómatas el cual es muy conocido por sus aplicaciones y robustes para sistemas automatizados.

Estamos hablando del PLC SIMATIC S7-1200 que tiene usos en entornos más complejos y se puede trabajar en rangos de rendimiento de bajo y medio nivel. Dispone de una amplia variedad de módulos para entradas y salidas como se ve en la *Figura 27*, aun así se puso en marcha la integración de un accesorio de expansión de Siemens para entradas analógicas.



Figura 27. Imagen del PLC S7-1200 con entradas y salidas

Dentro de sus características encontramos:

- La tensión de operación es de 24 V en DC
- Memoria integrada de 100kByte
- 14 entradas digitales
- 10 salidas digitales
- 2 entradas analógicas
- Interfaz PROFINET (estándar abierto de Ethernet)
- Soporta servidores WEB.

En cuanto al abastecimiento de corriente DC de los equipos de automatización, encontramos una Fuente de Alimentación SIMATICS S7 – 1200 con entrada monofásica de 120/240 VAC la cual entrega un voltaje de salida de 24 VDC. Este elemento de energía nos permitirá alimentar los accesorios de expansión del PLC LOGO, el PLC S7–1200 y la pantalla HMI monocromática KP300 SIMATIC PANEL de Siemens. Este último dispositivo es una pantalla LCD de 3” y se puede manejar mediante teclas incorporadas. La comunicación con el sistema de control tiene lugar a través de la interfaz PROFINET siendo esta compatible con cualquier PLC de la misma marca.

En la *Figura 28* veremos la integración del PLC S7-1200, la fuente de alimentación y la pantalla HMI panel monocromática de Siemens mencionada anteriormente.



Figura 28. Unión de Fuente de alimentación, PLC S7-1200 y Pantalla Monocromática.

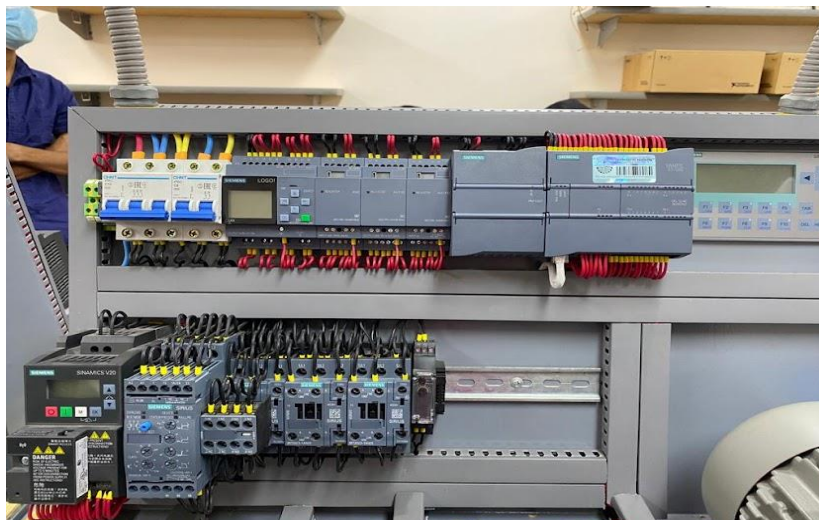


Figura 29. Montaje de dispositivos de potencia y automatización

4.2.3 Borneras de conexión, puesta a tierra y marcación de cableado

Las borneras de conexión de la *Figura 30*, son usadas en el diseño de estos módulos didácticos con fines prácticos y de prolongación de la vida útil de los diferentes dispositivos. Cada banco de trabajo dispone de 184 Bornes de paso TB Phoenix Contact de 2.5mm grises montadas sobre los rieles DIN.



Figura 30. Bornes de paso TB Phoenix Contact

Todas las entradas y salidas de los equipos van a cada bornera, para ello se tiene el diseño de una guía que tienen por nombre *Tablas de Conexiones de Módulos de Entrenamiento en Procesos Eléctricos y Automatización Industrial* (ver anexo A). Luego de terminar con el proceso de

instalación de borneras, se fijaron marquillas numéricas en cada cable como se muestra en la *Figura 31* poder identificar las entradas y salidas de los dispositivos, esto hace fácil y práctico su entendimiento para llevar a cabo las asignaciones establecidas por los docentes. Ambos grupos encargados del proyecto manejaron la misma numeración para el respectivo el cableado de conexiones.

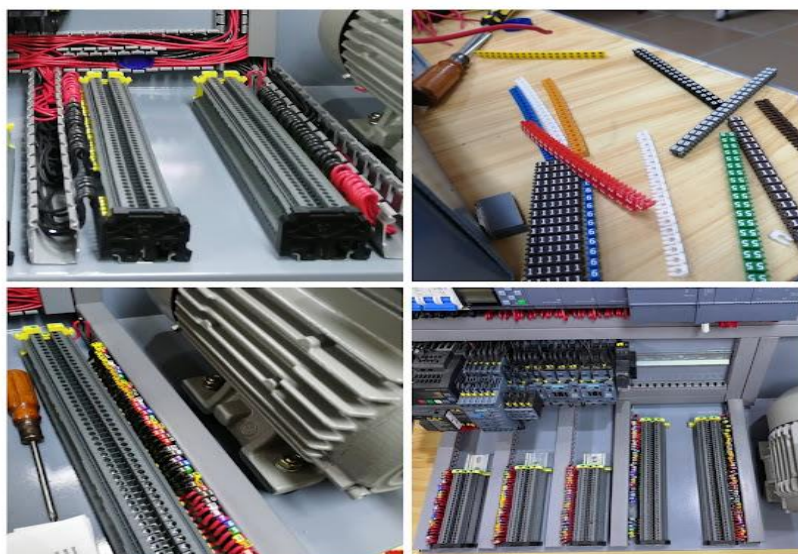


Figura 31. Bornes de paso y marcación del cableado de los dispositivos

Cada riel DIN instalado en la parte horizontal del Módulo cuenta con un Bornier tipo Freno negro, del mismo modo va instalado en el otro extremo un Bornier de conexión para el puesta a Tierra de color Amarillo y Verde de la marca CHINT de 35mm. Esto se hace para que el estudiante a la hora de hacer cualquier actividad, proyecto o examen práctico logre proteger las herramientas de un posible corto eléctrico.

4.3 FASE III: Pruebas de funcionamiento eléctrico, electrónico y de red.

En ocasiones las personas afirman que solo basta con ensamblar bien. En teoría, si todo está bien conectado debería funcionar perfectamente pero, en la realidad las cosas no funcionan de esa manera; hay que tener en cuenta distintos factores que pueden afectar el funcionamiento a primera

de los equipos. A razón de esto, se recomienda probar si en realidad todo quedo conectado como se necesita para evitar cortos circuitos y falsos contactos.

Al iniciar esta prueba se usó un Multímetro de UNI-T UT61D, el cual dentro de sus funciones integra la prueba de continuidad de los dispositivos. Esta inspección se ejecutó colocando la punta metálica del Tester en cada bornera para verificar que todos los dispositivos estén conectados perfectamente. En la *Figura 32*, enseñamos gráficamente este proceso.



Figura 32. Pruebas de continuidad al Módulo

Por parte de la Universidad, entregaron una red eléctrica trifásica totalmente nueva para poder abastecer los bancos de trabajo. En la *Figura 33* se puede ver el Tablero de Distribución con sus respectivas protecciones eléctricas e interruptores independientes para los mismos. Ahí cada interruptor tripolar, tiene una numeración específica para encender el equipo indicado.

Con el propósito de garantizar un uso completo de los equipos, se activó el totalizador para medir la tensión antes de levantar los interruptores termomagnéticos de los módulos y así determinar si todos contaban con la alimentación necesaria.



Figura 33. Tablero de distribución eléctrica y red Trifásica

Para a la comunicación del PLC S7 1200 y la pantalla monocromática KP 300 se integró un cable UPT categoría VI conectado a través de dos conectores RJ45 en configuración clase B. La forma de verificar que estos hayan quedado correctamente funcionales fue con una certificadora de red LANTEK 6 prestada por la Universidad.

Antes de energizar los equipos, es importante tener en cuenta todas las precauciones posibles por razones de seguridad y protección de la vida de los docentes y estudiantes. Estas pruebas fueron ejecutadas bajo la supervisión del director del proyecto.

4.4 FASE IV: Elaboración guías de laboratorio y manual de usuario

En la metodología de las guías de laboratorios, se dividió en tres partes fundamentales como investigación, redacción y pruebas para determinar si estas cumplen con el desarrollo autónomo de los estudiantes. Abordar esta metodología, permite tener una visión clara de lo que se quiere y más porque no solo se piensa en el entendimiento del docente sino también de los mismos alumnos.

Entrando en materia de investigación, se consultó con el Ingeniero Especialista Juan González Lerma para el área de Automatización con fines de recolectar información acerca de ideas de laboratorio, así mismo le transmitimos Ingeniero Jordán Guillot en el área de Electrónica de potencia. Luego de esto, se procedió a buscar fuentes en libros, trabajos de investigación acerca de prácticas que se hayan abordado y que puedan ayudar a los estudiantes a adquirir competencias para su crecimiento profesional.

Se logró concretar la información que debe llevar ambas guías de laboratorio y entre lo más destacable se tiene que estas no llevaran toma de datos, tampoco evaluación con preguntas de selección múltiple. La finalidad de implementar esta metodología es dejando espacio a que el docente o instructor de clases, sea quien proporcione preguntas de la practica para luego ser debatidas.

La forma de abordar la guía es mediante instrucciones paso a paso las cuales el estudiante debe seguir para poder ejecutar la práctica. Quien decide el proceso evaluativo y calificativo es el docente, la guía le servirá para familiarizar sus conocimientos con los equipos siempre y cuando siga cada una de las pautas dadas.

El proceso de redacción está basado en objetivos con el fin de que los alumnos pueden ir alcanzando cada uno de estos siguiendo los lineamientos. Además se encontrará un pequeño marco teórico para dar claridad sobre el tema del que trata la práctica, el procedimiento a seguir y por último las referencias donde se incentive a las personas a profundizar acerca de la temática abordada.

Se obtuvo una serie de entrevistas para ver si los estudiantes podían seguir las instrucciones, así mismo se atendieron sus dudas, quejas y sugerencias con el compromiso de mejorarlas para ser posteriormente presentadas en todos los grupos matriculados en dichas asignaturas.

La elaboración de un Manual de usuario este permitirá a las personas seguir los lineamientos necesarios para operar con normalidad el Módulo. Llevaremos a cabo la entrega de este Manual a los Docentes y encargados del laboratorio para que retroalimenten a los estudiantes en todo momento. Este dispondrá de una asistencia para el operador final sobre el funcionamiento de los aplicativos y las soluciones a problemas comunes.

Cabe resaltar que dentro de este manual de usuario se encuentra plasmada la siguiente información:

- Uso básico que va relacionado con las herramientas que tiene cada Módulo
- Evaluación de situación de riesgo eléctrico
- Interpretación de calcomanías eléctricas
- Motor en vacío
- Uso en corto plazo

Para llegar a la información que contendrá el manual, fue necesario investigar, plasmar y luego poner en práctica cada una de las recomendaciones pautadas. Entregar estas guías de laboratorio en conjunto con el manual de usuario es para hacer más entendible y completo el desarrollo del trabajo, cumpliendo con el foco de estudio que es poder lograr las practicas necesarias y seguras como ingenieros para adquirir las mejores competencias.

5. PRESUPUESTO

5.1 Presupuesto General del Proyecto

Es importante dar a conocer el presupuesto general del proyecto de investigación con el fin de hacerle un seguimiento transparente y correcto a los gastos durante el proceso de ejecución. La Universidad del Magdalena en conjunto con la Dirección de Programa de Ingeniería Electrónica, han puesto en marcha la tarea de encontrar alternativas para la mejora de los espacios donde los estudiantes puedan realizar sus prácticas de laboratorio dentro de la institución. Se trabajó en un presupuesto económico para la mejora y ampliación de los laboratorios. Sin el factor económico, nada hubiese sido posible para que cientos de jóvenes puedan prepararse de la mejor forma.

Los tesisistas de este proyecto abordaron el costo de las herramientas utilizadas y Materiales fundamentales que hicieron falta para culminar con este reto, así mismo la Dirección de Programa de Ingeniería Electrónica costó parte del cableado que se necesitaba para la parte eléctrica.

A continuación presentamos el presupuesto general del proyecto como se aprecia en la *Tabla 1*.

Presupuesto General					
Rubro General	Unimagdalena		Recursos de Investigadores		Subtotal
	Efectivo	Capacidad Instalada	Efectivo	Capacidad Instalada	
Personal		\$ 7.500.000		\$ 17.382.858	\$ 24.882.858
Dispositivos y materiales	\$ 63.323.820		\$ 5.686.400		\$ 69.010.220
Herramientas y otro insumos		\$ 5.570.571	\$ 350.129		\$ 5.920.700
Transporte y envíos			\$ 2.748.600		\$ 2.748.600
TOTAL					\$ 102.562.378

Tabla 1 Presupuesto general del proyecto

En cuanto al Proyecto se tuvo un gasto de \$102.562.378 Millones de pesos donde va incluido el recursos humano, equipos, herramientas y transporte. Cada Rubro se detalla en los Anexos al final del documento. Los impactos negativos a la economía mundial y Colombiana se afectó a través de Pandemia Covid-19, esto elevó el costo de los materiales dado que muchos eran fabricados en el país y para el año 2022 al adquirir nuevos materiales se encontraban estos en sobre costos a diferencia del año 2021.

6. RESULTADOS

En los resultados de la investigación se tuvo en cuenta los entregables medibles a través de los objetivos del proyecto. Como primera instancia se diseñaron modelos gráficos de los gabinetes con su respectivas medidas por lo que fue una parte fundamental para tener en cuenta las distribuciones de la estructura y canaletas por dónde va el cableado de los equipos como se muestra en la *figura 35*.

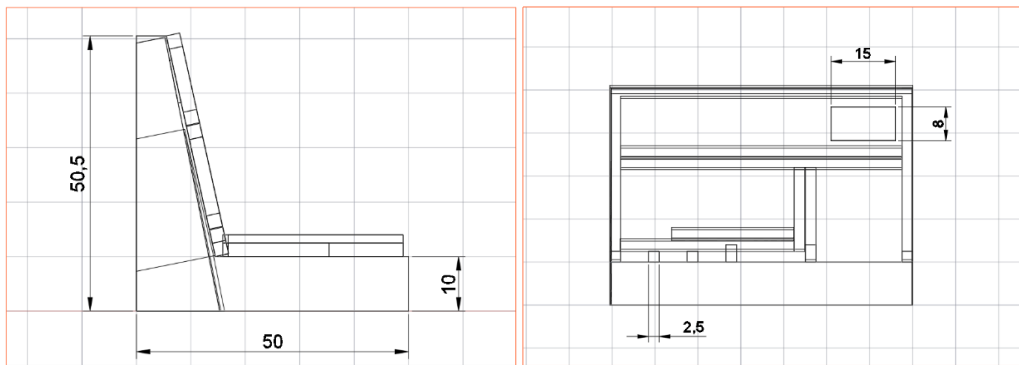


Figura 34. Vista frontal y lateral del módulo en 2D

Se abordó la etapa de automatización que incluía (PLC LOGO, módulos de expansión, PLC S7 1200, monitor monocromático KP 300 y fuente de poder) los cuales se encuentran en la parte superior del riel. En el caso de la electrónica de potencia encontramos (arrancador suave, variador de frecuencias, contactores, temporizador) los cuales van en riel inferior. En la *figura 36* podemos ver claramente dicha distribución de equipos.

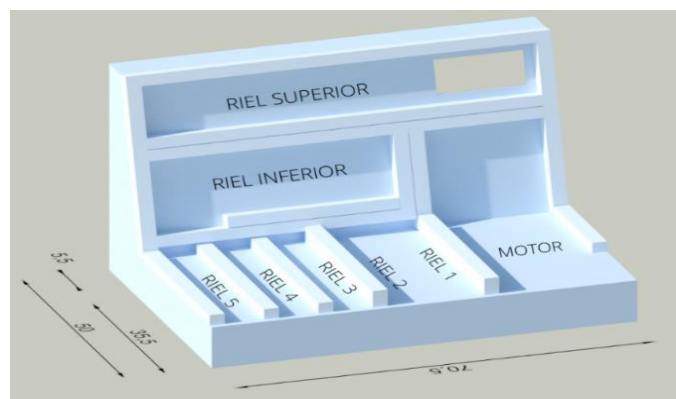


Figura 35. Reparto de rieles en los módulos didácticos

La presentación a detalle sobre los gabinetes tipo “Silla” y la trayectoria del cableado se encuentra contenida en el documento anexo *Manual de Módulos de Entrenamiento*. A continuación se presenta los 5 módulos totalmente funcionales dentro de las instalaciones de la Universidad del Magdalena.



Figura 36. Módulos funcionales

La guía de laboratorio para electrónica de potencia *Arranque de un Motor trifásico con Variador de frecuencia* se encuentra en las bases de datos de la Universidad donde abarca instrucciones e información acerca de las conexiones que debemos tener en cuenta y los parámetros para iniciar una puesta en marcha del Motor con el variador de frecuencias.

La guía 2 denominada *Control de velocidad e inversión de giro de un motor trifásico con variador de frecuencias* tiene como objetivo implementar un arranque de motor trifásico por

CONVERTIDOS SIMATICS V20 con control de velocidad por potenciómetro e inversión de giro en los módulos de entrenamiento.

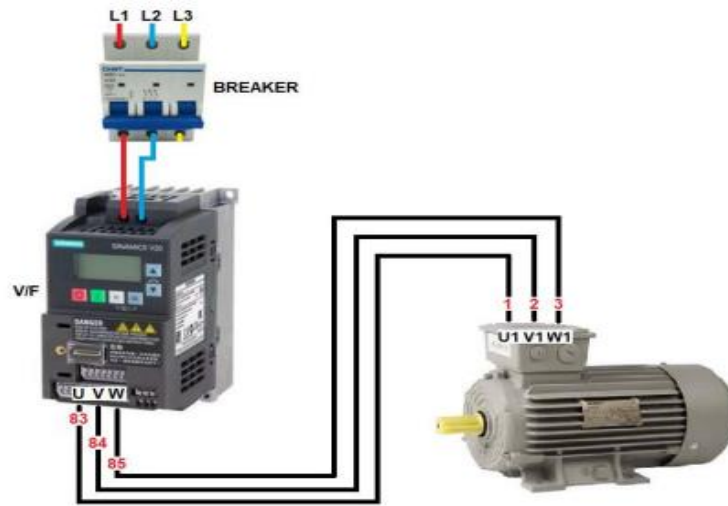


Figura 37. Esquema de conexión puesta en marcha de motor con variador de frecuencias

Para la guía de Automatización Industrial se presenta *creación de red semafórica mediante funciones de temporización utilizando PLC LOGO*. El objetivo del laboratorio se en la implementación de un sistema semafórico sencillo a través del controlador lógico programable.

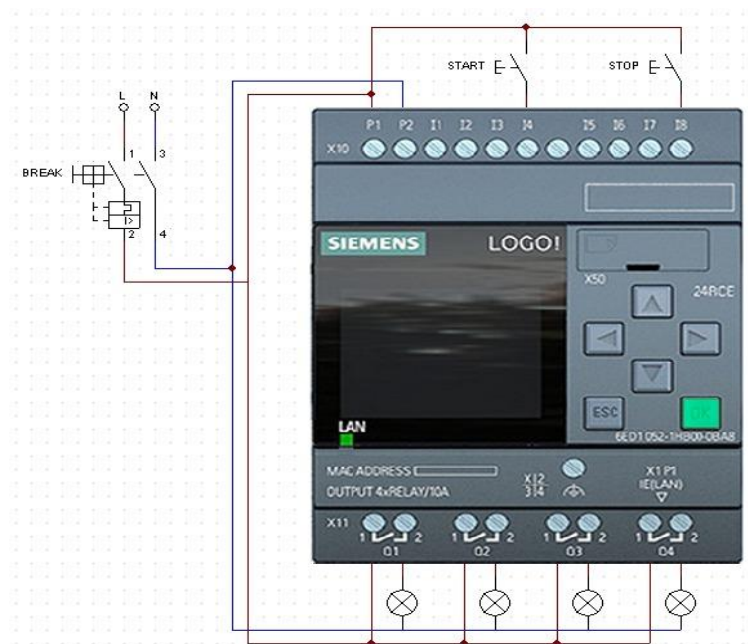


Figura 38. Esquemático del PLC LOGO para el laboratorio del semáforo

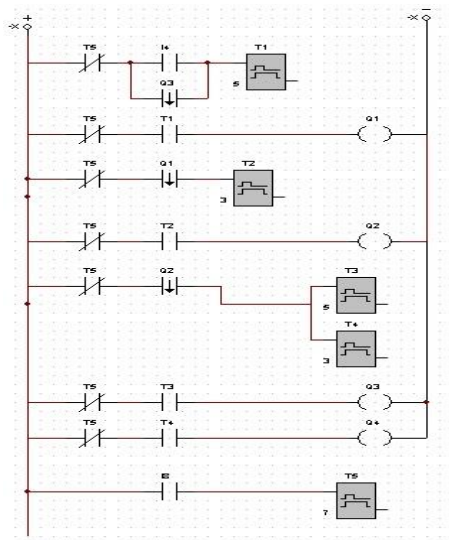


Ilustración 39. Esquema Ladder para laboratorio del semáforo

En la *figura 40* se logra observar a los estudiantes trabajando en los bancos de trabajo con la supervisión del docente encargado. La redacción de las guías paso por la revisión del director del proyecto, para hacer las pruebas pertinentes y corregir la información para hacerla más precisa.



Figura 40. Practica de los estudiantes en los módulos

El 14 de diciembre del 2021 se inauguró el proyecto que daba a conocer a la comunidad académica el trabajo con la Universidad, Dirección de programa, Docentes y Tesistas del programa de Ingeniería electrónica. El rector Pablo Vera Salazar marcó el inicio de lo que sería una nueva etapa de crecimiento para nuestra carrera, por lo que la inyección económica sustancial para poder contar con máquinas eficientes y de calidad.



Figura 41. Inauguración del proyecto para el programa de Ingeniería electrónica

El Ing. Juan González Lerma, director del proyecto, estuvo en compañía del grupo de investigación a cargo para mostrar el avance tecnológico que se ha obtenido producto del esfuerzo y profesionalismo forjado en el alma mater.

Se demostró lo que deseaba hacer la Universidad del Magdalena y la proyección del Programa Académico para formar mejores profesionales altamente capacitados. Con estos resultados se ha puesto en evidencia que el proyecto cumplió con todas las expectativas, logrando una mayor participación y actividad de los estudiantes en las clases mientras interactúan con los Módulos de entrenamiento.

6.1 Encuesta de impacto del proyecto de investigación

Para la evaluación del proyecto se realizó una encuesta de impacto con 7 preguntas para recolectar información en cuanto a la implementación de los módulos didácticos en las clases de Automatización industrial y Electrónica de potencia como beneficios fundamentales para el mejoramiento de la pedagogía y prácticas de laboratorio del programa de ingeniería electrónica de la Universidad del Magdalena.

Algunas de estas preguntas cuentan con calificación del 1 al 5, siendo esta ultima la máxima calificación dentro de la encuesta como se muestra a continuación:

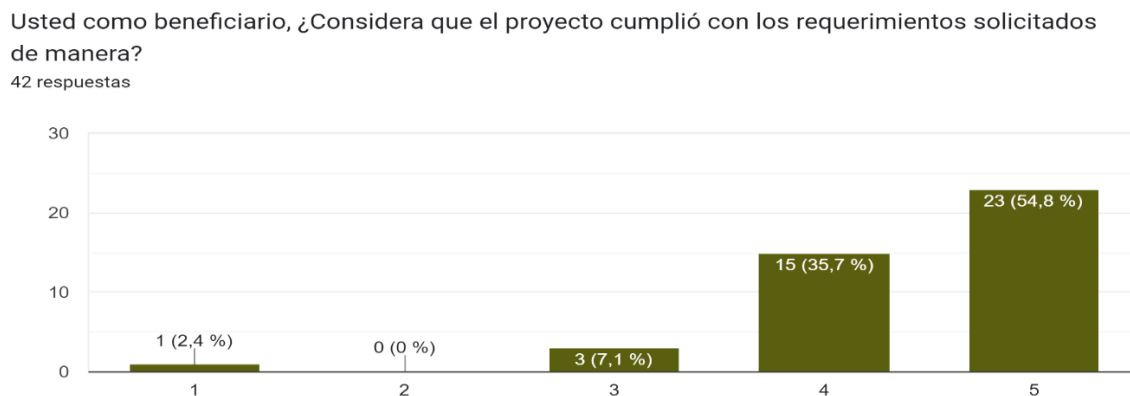


Figura 42 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 1

Para esta pregunta se ha comprobado que el mayor porcentaje de calificación se encuentra en el gráfico de barra 5 y 4 respectivamente, donde queda evidenciado la aceptación por la mayor parte de los encuestados con índices relativamente satisfactorios en el cumplimiento del proyecto.



Figura 43 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 2

Dentro de la Universidad se estableció en colaboración con los docentes la participación de estudiantes de 8vo semestre dentro del proyecto, algunos tuvieron la oportunidad de ayudar en el proceso de planificación, implementación (crimpado de cableado, perforaciones e instalación de equipos) y el diagnóstico de funcionamiento.

Bajo su percepción ha mejorado la calidad de aprendizaje del programa de Ingeniería Electrónica posterior a la aplicación del proyecto.
42 respuestas

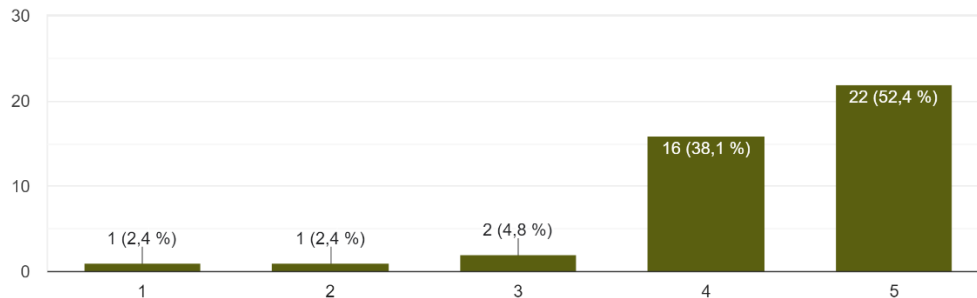


Figura 44 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 3

Es importante conocer si la calidad del aprendizaje de los estudiantes ha mejorado a razón del uso de estos equipos, se sabe que la Universidad anteriormente no contaba con este tipo de herramientas y a muchos docentes le tocaba recurrir a simulaciones mediante el uso de software.

¿La comunidad estudiantil ha procesado y documentado las lecciones aprendidas?
42 respuestas

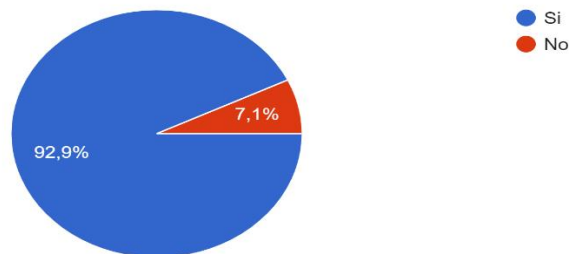


Figura 45 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 4

En las guías de laboratorio entregadas a la Universidad, la información está dada en forma de instrucciones y al final es necesario que los estudiantes documenten lo aprendido en clases para fortalecer sus competencias individuales. Con eso se quiere dar a entender que la necesidad es del profesional de documentar la información más importante. Un 92,9% ha trabajado en documentar la información.

Bajo su percepción, ¿el tiempo empleado para el desarrollo del proyecto de los módulos fue?
42 respuestas

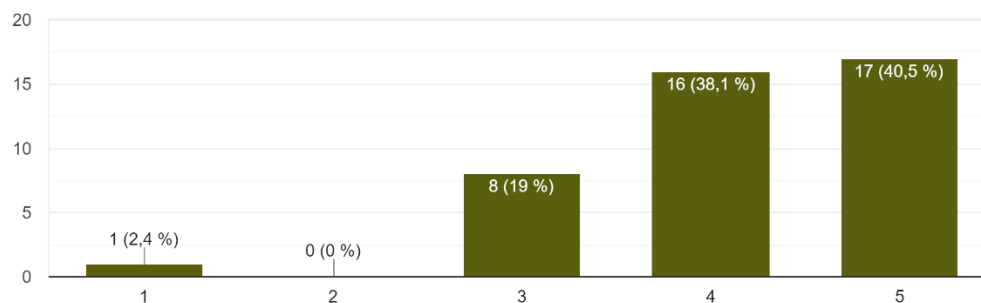


Figura 46 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 5

El tiempo para abordar este proyecto fue de 28 semanas, tuvo inicio el 10 de septiembre y fue finalizado a mediados del mes de mayo del 2022. Es importante destacar que por razones de la Pandemia Covid-19 se presentaron inconvenientes en la compra y recepción de materiales, pero se logró cumplir con el tiempo de entrega.

En un futuro participaría en nuevos proyectos de vinculación con la Universidad del Magdalena, en aras de mejorar la calidad de sus estudiantes.

42 respuestas

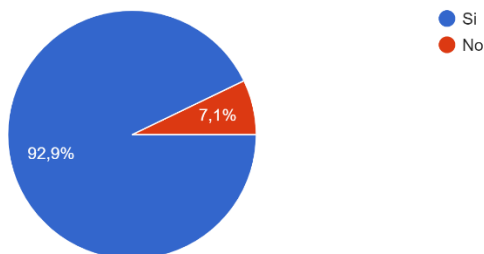


Figura 47 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 6

El diagrama de pastel presenta que el 92,9% de los estudiantes están de acuerdo con participar en este tipo de Proyectos de investigación, para enriquecer sus habilidades en la práctica, aprender a trabajar en equipo y generar conocimiento que permita darle continuidad a proyectos de investigación dentro y fuera de la Universidad.

¿Tienes algún comentario adicional sobre la implementación de los módulos didácticos ?
12 respuestas

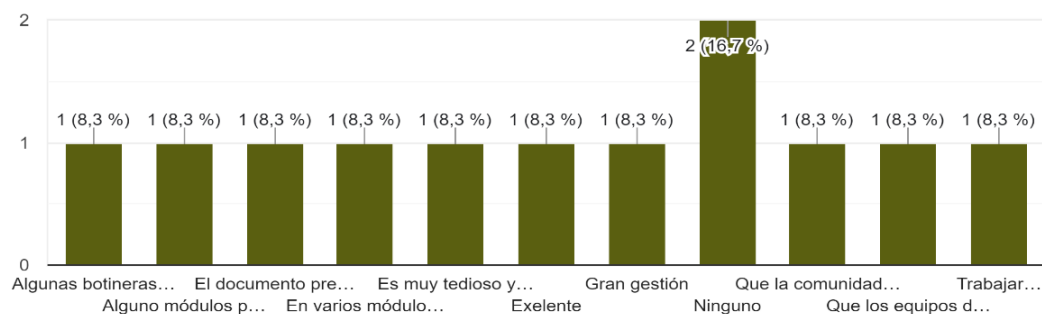


Figura 48 Grafico encuesta de impacto para la pregunta 7

La construcción del trabajo fue pensada en beneficio de los estudiantes y docentes para facilitar el aprendizaje y las buenas prácticas que requiere un Ingeniero. A continuación presentamos algunas de las sugerencias más destacadas para tener en cuenta:

- Algunas borneras de conexión presentan desgaste en sus tornillos
- Se exige que los equipos puedan tener a una persona para el mantenimiento de los módulos, al igual que para su limpieza.
- Se da como recomendación que los estudiantes tengan sentido de pertenencia y aprendan cuidar de las herramientas de trabajo.

Cada estudiante debe ser responsable del uso de los equipos, cuidarlos y tener ese sentido de pertenencia. Ya es decisión de la Universidad agregar a una persona para el mantenimiento, limpieza y cambio de piezas en mal estado. Cuando se tomó la decisión de implementar borneras de conexión entre los rieles DIN, se buscó la manera de que fueran de la mejor calidad posible, es por esto que si no se usan herramientas de calidad y con el mayor cuidado posible, se puede dañar la tornillería de cada borne.

7. CONCLUSIONES

En el marco de ejecución de este proyecto de investigación, el objetivo de este se centró en desarrollar Módulos de Entrenamiento en áreas de Automatización Industrial y Electrónica de Potencia para que los estudiantes aprendieran a adquirir las distintas competencias y así fusionar la practica con equipos e instrumentos que le permitieran desenvolver sus conocimientos.

La Universidad del Magdalena en conjunto con el grupo de Tesistas capacitados en sus aulas, encontraron la oportunidad de crear alternativas de expansión en los laboratorios del Programa de Ingeniería Electrónica, ya que estos carecían de equipos y herramientas para preparar a su próxima generación de ingenieros.

Se logró cumplir con cada uno de los objetivos plasmados, desde el diseño hasta la integración de los equipos y sus pruebas de funcionamiento. En el transcurso de este, encontramos una serie de inconvenientes en cuanto al cambio en la subida de precios de los materiales, modificaciones por reducción de gastos y otros de talla técnica para el cableado del motor eléctrico, pero dejando en claro que nada fue impedimento para finalizarlo.

Se hizo entrega del proyecto de investigación con fines de profundización para que las Universidades de Colombia puedan seguir implementando este tipo de tecnologías y así despierten cada una de las competencias que se requieren en el mundo laboral a la hora de formar personas calidad educativa.

A través de una encuesta se logró estudiar los datos obtenidos para medir el impacto del proyecto en la comunidad académica entre docentes, alumnos y como interviene en los procesos de alta calidad para tener ingenieros eficientes, capaces e interesados por desarrollar alternativas en beneficio de la sociedad.

ANEXOS

A: Tablas de conexiones para módulos de entrenamiento

Estas tablas de conexiones se desarrollaron para los 5 módulos construidos, es con la finalidad de aprender a identificar cada una de las entradas y salidas de los equipos.

Primer Riel		
Bornera	Contacto	Equipo
1	U1	Motor
2	V1	Motor
3	W1	Motor
4	U2	Motor
5	V2	Motor
6	W2	Motor
7	U1	Motor
8	V1	Motor
9	W1	Motor
10	U2	Motor
11	V2	Motor
12	W2	Motor
13	1/L1	Contacto 3
14	3/L2	Contacto 3
15	5/L3	Contacto 3
16	2/T1	Contacto 1
17	4/T2	Contacto 1
18	6/T3	Contacto 1
19	2/T1	Contacto 2
20	4/T2	Contacto 2
21	6/T3	Contacto 2
22	2/T1	Contacto 3
23	4/T2	Contacto 3
24	6/T3	Contacto 3
25	13 N0	Contacto 1
26	21 NC	Contacto 1
27	14 N0	Contacto 1
28	22 NC	Contacto 1
29	A1	Contacto 1
30	A2	Contacto 1
31	1 NC	Aux. Contacto 1
32	1 NC*	Aux. Contacto 1
33	3 NO	Aux. Contacto 1
34	3 NO*	Aux. Contacto 1
35	2 NC	Aux. Contacto 1
36	2 NC*	Aux. Contacto 1
37	4 NO	Aux. Contacto 1
38	4 NO*	Aux. Contacto 1
39	13 N0	Contacto 2
40	21 NC	Contacto 2
41	14 N0	Contacto 2
42	22 NC	Contacto 2
43	A1	Contacto 2
44	A2	Contacto 2
45		
46		
47		
48	L3	FASE
49	L2	FASE
50	L1	FASE

Segundo Riel		
Bornera	Contacto	Equipo
51		
52		
53	13 N0	Contacto 3
54	21 NC	Contacto 3
55	14 N0	Contacto 3
56	22 NC	Contacto 3
57	A1	Contacto 3
58	A2	Contacto 3
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67	A1	Temporizador
68	Y2	Temporizador
69	A2	Temporizador
70	L	Temporizador
71	2/T1	Arrancador
72	4/T2	Arrancador
73	6/T3	Arrancador Suave
74	A1	Arrancador Suave
75	A2	Arrancador Suave
76	1 (IN)	Arrancador Suave
77	13	Arrancador Suave
78	14/24	Arrancador Suave
79	23	Arrancador Suave
80	95	Arrancador Suave
81	96	Arrancador Suave
82	98	Arrancador Suave
83	U	Variador Frecuencia
84	V	Variador Frecuencia
85	W	Variador Frecuencia
86	DC -	Variador Frecuencia
87	DC +	Variador Frecuencia
88	1 (10 V)	Variador Frecuencia
89	2 (AI 1)	Variador Frecuencia
90	3 (AI 2)	Variador Frecuencia
91	4 (AO 1)	Variador Frecuencia
92	5 (0 V)	Variador Frecuencia
93	6 (P+)	Variador Frecuencia
94	7 (N-)	Variador Frecuencia
95	8 (DI 1)	Variador Frecuencia
96	9 (DI 2)	Variador Frecuencia
97	10 (DI 3)	Variador Frecuencia
98	11 (DI 4)	Variador Frecuencia
99	12 (DI C)	Variador Frecuencia
100	13 (24 V)	Variador Frecuencia

Tercer Riel		
Bornera	Contacto	Equipo
101	14 (0 V)	Variador Frecuencia
102	15 (DO 1+)	Variador Frecuencia
103	16 (DO 1-)	Variador Frecuencia
104	17 (DO 2 NC)	Variador Frecuencia
105	18 (DO 2 NO)	Variador Frecuencia
106	19 (DO 2 C)	Variador Frecuencia
107	L*	PLC S7-1200 (Superior)
108	M*	PLC S7-1200 (Superior)
109	1M	PLC S7-1200 (Superior)
110	.0	PLC S7-1200 (Superior)
111	.1	PLC S7-1200 (Superior)
112	.2	PLC S7-1200 (Superior)
113	.3	PLC S7-1200 (Superior)
114	.4	PLC S7-1200 (Superior)
115	.5	PLC S7-1200 (Superior)
116	.6	PLC S7-1200 (Superior)
117	.7	PLC S7-1200 (Superior)
118	.0	PLC S7-1200 (Superior)
119	.1	PLC S7-1200 (Superior)
120	.2	PLC S7-1200 (Superior)
121	.3	PLC S7-1200 (Superior)
122	.4	PLC S7-1200 (Superior)
123	.5	PLC S7-1200 (Superior)
124	2M	PLC S7-1200 (Superior)
125	0	PLC S7-1200 (Superior)
126	1	PLC S7-1200 (Superior)
127	1L	PLC S7-1200 (Inferior)
128	.0	PLC S7-1200 (Inferior)

Cuarto Riel		
Bornera	Contacto	Equipo
129	.1	PLC S7-1200 (Inferior)
130	.2	PLC S7-1200 (Inferior)
131	.3	PLC S7-1200 (Inferior)
132	.4	PLC S7-1200 (Inferior)
133	2L	PLC S7-1200 (Inferior)
134	.5	PLC S7-1200 (Inferior)
135	.6	PLC S7-1200 (Inferior)
136	.7	PLC S7-1200 (Inferior)
137	.0	PLC S7-1200 (Inferior)
138	.1	PLC S7-1200 (Inferior)
139	0M	PLC S7-1200 (Módulo)
140	0	PLC S7-1200 (Módulo)
141	-	PLC S7-1200 (Módulo)
142	-	PLC S7-1200 (Módulo)
143	-	PLC S7-1200 (Módulo)
144	24 V (L+)	Módulo AM2
145	Masa (M)	Módulo AM2
146	I1	Módulo AM2
147	M1	Módulo AM2
148	U1	Módulo AM2
149	I2	Módulo AM2
150	M2	Módulo AM2
151	U2	Módulo AM2
152	24 V (L+)	Módulo AM2 AQ
153	Masa (M)	Módulo AM2 AQ
154	U1+	Módulo AM2 AQ
155	M1	Módulo AM2 AQ
156	I1	Módulo AM2 AQ

Tabla 2 Primer y segundo Riel de conexiones

Tabla 3 Tercer y Cuarto Riel de conexiones

Quinto Riel		
Bornera	Contacto	Equipo
157	I1	LOGO
158	I2	LOGO
159	I3	LOGO
160	I4	LOGO
161	I5	LOGO
162	I6	LOGO
163	I7	LOGO
164	I8	LOGO
165	Q1(1)	LOGO
166	Q1(2)	LOGO
167	Q2(1)	LOGO
168	Q2(2)	LOGO
169	Q3(1)	LOGO
170	Q3(2)	LOGO
171	Q4(1)	LOGO
172	Q4(2)	LOGO
173	U2+	Módulo AM2 AQ
174	M2	Módulo AM2 AQ
175	I2	Módulo AM2 AQ
176	24 V (L+)	Módulo AM2 RTD
177	Masa (M)	Módulo AM2 RTD
178	U1-	Módulo AM2 RTD
179	IC1	Módulo AM2 RTD
180	U1+	Módulo AM2 RTD
181	U2	Módulo AM2 RTD
182	IC2	Módulo AM2 RTD
183	U2+	Módulo AM2 RTD
184		

Consideración: El símbolo asterisco (*) se utiliza para diferenciar terminales de un mismo dispositivo que poseen igual nomenclatura, haciendo referencia al que está ubicado más a la derecha.

Tabla 4 Quinto Riel de conexiones

B: Descripción de gastos del personal

Descripción de Personal						
Nombre de la Persona	Actividades	Unimagdalena		Recursos de los Investigadores		Subtotal
		Efectivo	Capacidad Instalada	Efectivo	Capacidad Instalada	
Juan Gonzáles Lerma	Director de investigación	-	\$ 3.600.000	-	-	\$ 3.600.000
Carlos Robles Algarín	Codirector de investigación	-	\$ 3.900.000	-	-	\$ 3.900.000
Alfredo José Jaraba	Tesista	-	-	-	\$ 6.240.000	\$ 6.240.000
José Alfredo de la Hoz	Tesista	-	-	-	\$ 6.240.000	\$ 6.240.000
Raúl Orejarena	Tesista/Retirado	-	-	-	\$ 4.902.858	\$ 4.902.858
TOTAL						\$ 24.882.858

Tabla 5 Presupuesto personal del proyecto

Para poder desarrollar el presupuesto del personal del proyecto, fue necesario calcular el costo que se requería por persona. Adoptamos la siguiente formula donde tendremos en cuenta lo siguiente:

$$\text{Costo} = N * \text{Semana} * \text{Horas Semana} * \text{Costo por hora}$$

Es necesario esclarecer que el director y el codirector hacen uso de 2h durante el transcurso del proyecto que tiene una duración de 28 semanas. Los estudiantes invirtieron alrededor 24 horas por semana, hay que tener en cuenta que el Tesista **Raúl Orejarena Bueno** se tuvo que retirar del proyecto en la semana 20 dado que fue exonerado por la Universidad del Magdalena en las pruebas SABER PRO.

C: Descripción de Materiales y Dispositivos

En este anexo encontraremos información detallada de cada uno de los equipos y materiales que se adquirieron para armar los Módulos.

Descripción de Materiales y Dispositivos						
Dispositivo/Insumo	Cantidad	Unimagdalena		Recursos de los Investigadores		Subtotal
		Efectivo	Capacidad Instalada	Efectivo	Capacidad Instalada	
Motor 3F REF: 100422027 1LE0141-0DA26-4AA4-ZD80+D81 3600RPM 1HP 80M. SIEMENS	5	\$ 2.950.000	-	-	-	\$ 2.950.000
Variador de Frecuencia REF: 100254280 6SL3210-5BE17-5UV0 SINAMICS V20 1HP 440V	5	\$ 5.890.000	-	-	-	\$ 5.890.000
Módulo Variador de Frecuencia REF: 100387297 SMART ACCESS SINAMIC V20 6SL3255-0VA00-5AA0 V20	5	\$ 3.262.374	-	-	-	\$ 3.262.374
Cargador de Parámetros REF: 100365758 6SL3255-0VE00-0UA1. SIEMENS	5	\$ 1.882.001	-	-	-	\$ 1.882.001

Tarjeta de Memoria 512 MB. REF: 100274034. 6SL3054-4AG00-2AA0 Siemens	5	\$ 1.454.393	-	-	-	\$ 1.454.393
Arrancador Suave REF: ARRANCADOR 100018223 SUAVE 12.5A 3RW4024-1BB14. SIEMENS	5	\$ 5.434.880	-	-	-	\$ 5.434.880
Contactor REF: CONTACTOR 100208182 3RT2023- 1AN20 220VAC 9A SIEMENS	15	\$ 2.566.500	-	-	-	\$ 2.566.500
Contactor Auxiliar REF: BLOQUE 100208660 3RH2911-1HA22 2NA + 2NC SIEMENS	5	\$ 386.045,8	-	-	-	\$ 386.045,8
PLC LOGO REF: LOGO 100411800/100323860 6ED1052-1FB08-0BA0 230RCE 8IN/4OUT SIEMENS	5	\$ 3.133.780	-	-	-	\$ 3.133.780

Módulo de Expansión AM2 REF: MÓDULO 100323887 6ED1055- 1MA00-0BA2 12- 24VDC2E. SIEMENS	5	\$ 2.211.993,10	-	-	-	\$ 2.211.993
Módulo de Expansión AM2 AQ REF: ACCESORIO P/LOGO 100323727 6ED1055-1MM00-0BA2 24VDC ANALOG. SIEMENS	5	\$ 2.534.757,25	-	-	-	\$ 2.534.757,25
Módulo de Expansión AM2 RTD REF: ACCESORIO P/LOGO 100323888 6ED1055-1MD00-0BA2 2E ANALOG. SIEMENS	5	\$ 2.363.605,10	-	-	-	\$ 2.363.605,10
PLC S7-1200 REF: CPU 6ES7214- 1HG40-0XB0 100286435 SIMATIC S7-1200. SIEMENS	5	\$ 18.801.941,40	-	-	-	\$ 18.801.941,40
Fuente de Alimentación REF: SIMATIC 100025717 S7-1200 6EP1332-1SH71. SIEMENS	5	\$ 2.045.975,30	-	-	-	\$ 2.045.975,30

Módulo Análogo PLC REF: MÓDULO 100025707 6ES7232- 4HA30-0XB0 ANALOGO SIEMENS	5	\$ 663.597,93	-	-	-	\$ 663.597,93
Pantalla KP300 REF: MÓDULO 100025707 6ES7232- 4HA30-0XB0 ANALOGO SIEMENS	5	\$ 7.741.975,85	-	-	-	\$ 7.741.975,85
Canaleta Ranurada 25x25 mm	13	-	-	\$ 208.000	-	\$ 208.000
Canaleta Ranurada 25x40 mm	2	-	-	\$ 39.000	-	\$ 39.000
Riel Omega	12	-	-	\$ 78.000	-	\$ 78.000
Tornillo Cabeza de Lenteja Auto perforante	500	-	-	\$ 25.000	-	\$ 25.000
Buje de Caucho	20	-	-	\$ 40.000	-	\$ 40.000
Tornillería de Motor	16	-	-	\$ 16.400	-	\$ 16.400
Tornillería para Variador de Velocidad	8	-	-	\$ 8.200	-	\$ 8.200
Conector de Manguera	5	-	-	\$ 2.500	-	\$ 2.500
Manguera Ecotype (metro)	3	-	-	\$ 6.600	-	\$ 6.600
Terminal Puntera AWG 18 (Paquete 100 Unidades)	18	-	-	\$ 117.000	-	\$ 117.000

Terminal Puntera Doble AWG 12 (Paquete 100 Unidades)	1	-	-	\$ 13.000	-	\$ 13.000
Abrazadera Plástica (Paquete 100 Unidades)	1	-	-	\$ 6.000	-	\$ 6.000
Base Adhesiva	20	-	-	\$ 8.000	-	\$ 8.000
Conector RJ45	16	-	-	\$ 8.000	-	\$ 8.000
Terminal en U 3/16	5	-	-	\$ 1.250	-	\$ 1.250
Terminal en U 5/16	5	-	-	\$ 1.250	-	\$ 1.250
Minibreaker 2x6	5	-	-	\$ 100.000	-	\$ 100.000
Minibreaker 3x10	5	-	-	\$ 150.000	-	\$ 150.000
Cable Vehicular Rojo AWG 20 (Rollo 100 metros)	8	-	-	\$ 800.000	-	\$ 800.000
Cable Vehicular Negro AWG 18 (Rollo 100 metros)	3	-	-	\$ 270.000	-	\$ 270.000
Borner TB 16 71 A	5	-	-	\$ 43.000	-	\$ 43.000
Borner Freno	30	-	-	\$ 126.000	-	\$ 126.000
Borner Tierra	50	-	-	\$ 325.000	-	\$ 325.000
Borner Paso TB 2.5 24 A	900	-	-	\$ 3.015.000	-	\$ 3.015.000
Conector de Resorte Gris	60	-	-	\$ 6.000	-	\$ 6.000

Conector de Resorte Amarillo	20	-	-	\$ 8.000	-	\$ 8.000
Conector de Resorte Rojo	20	-	-	\$ 8.000	-	\$ 8.000
Marcación para Cableado (Paquete 20 unidades)	119	-	-	\$ 238.000	-	\$ 238.000
Cable UTP Cat. 6 (metro)	6	-	-	\$ 19.200	-	\$ 19.200
TOTAL						\$ 69.010.220

Tabla 6 Dispositivos y Materiales

D: Descripción de herramientas y Otros Utensilios

Estos tienen un cálculo diferente dado por la implementación de la ecuación de la depreciación por línea recta de la herramienta por un año, con un valor residual nulo como se muestra a continuación.

$$\text{Depreciacion anual} = \frac{\text{Valor del activo} - \text{Valor residual}}{\text{Valor util del activo}}$$

Descripción de Herramientas y otros Utensilios						
Herramienta/Insumo	Cantidad	Unimagdalena		Recursos de los Investigadores		Subtotal
		Efectivo	Capacidad Instalada	Efectivo	Capacidad Instalada	
Ponchadora de terminal RJ45	1	-	\$ 10.571	-	-	\$ 10.571
Certificadora de red	1	-	\$ 5.560.000	-	-	\$ 5.560.000
Ponchadora de terminal puntera	2	-	-	\$ 47.629	-	\$ 47.629
Pinza pelacable	2	-	-	\$ 22.857	-	\$ 22.857
Alicate	2	-	-	\$ 10.857	-	\$ 10.857
Pulidora	1	-	-	\$ 16.800	-	\$ 16.800
Motortool	1	-	-	\$ 22.000	-	\$ 22.000

Taladro	2	-	-	\$ 42.000	-	\$ 42.000
Juego de destornilladores	2	-	-	\$ 25.714	-	\$ 25.714
Escuadra	2	-	-	\$ 1.571	-	\$ 1.571
Segueta	2	-	-	\$ 12.000	-	\$ 12.000
Lima redonda	1	-	-	\$ 5.500	-	\$ 5.500
Lima triangular	1	-	-	\$ 13.000	-	\$ 13.000
Broca 1/8	6	-	-	\$ 27.000	-	\$ 27.000
Broca 15/16	3	-	-	\$ 39.000	-	\$ 39.000
Alcohol (botella)	1	-	-	\$ 2.900	-	\$ 2.900
Cinta de enmascarar	1	-	-	\$ 2.000	-	\$ 2.000
Cinta aislante	1	-	-	\$ 5.500	-	\$ 5.500
Tubo agua caliente 1/2 pulg.	1	-	-	\$ 14.800	-	\$ 14.800
Extensión	1	-	-	\$ 39.000	-	\$ 39.000
TOTAL						\$ 5.920.700

Tabla 7 Costos de Herramientas y Utensilios

E: Descripción de gastos en transporte y Envíos

Uno de los problemas que más se presentó en el proyecto fue la escases de materiales dentro de la ciudad de Santa Marta Magdalena, toco en muchas veces trasladarnos a la ciudad de Barranquilla Atlántico para comprar canaletas, cableado, borneras e incluso rieles DIN. Todo esto dado que la pandemia Covid-19 no permitía a los locales abastecer dicha demanda de materiales. Otro recurso fue buscar tiendas online en el país para adquirir Marquillas con el fin de poder identificar cada cable con su respectivo número.

Dado que el proyecto estaba siendo abordado por tres personas anexamos el gasto en busetas que se hacía y la alimentación nuestra, dado que trabajábamos en horarios de la mañana y tarde sin ir a nuestras casas para entregar a tiempo los módulos.

Transporte y envíos					
Concepto	Unimagdalena		Recursos de Investigadores		Subtotal
	Efectivo	Capacidad Instalada	Efectivo	Capacidad Instalada	
Transporte y alimentación			\$ 2.500.000		\$ 2.500.000
Viajes			\$ 160.000		\$ 160.000
Envíos			\$ 88.600		\$ 88.600
TOTAL					\$ 2.748.600

Tabla 8 Gastos de transporte y envió

BIBLIOGRAFÍA

- Sanchez, J. (1989). *Elementos propios de la profesión en los currículos de ingeniería. Ciclo de conferencias de la Facultad de Ingenierías U. Naciona.*
- Reinel Cardoso, P. F., & Velásquez Navarrete, N. V. (2019). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para la elaboración de prácticas orientadas a procesos industriales con énfasis en sistemas neumáticos, electroneumáticos e interfaz plc-hmi.* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17400>
- Martinez, J. A., & Gamarra, V. A. (2017). *Módulo de entrenamiento de electroneumática asistido por PLCCON piezas elaboradas en impresión 3D para los laboratorios de ingeniería electrónica de la Universidad del Magdalena.*
- Guerrero Hernandez, A., Araque Gallardo, J. A., & Gallo Nieves, M. (2016). *Implementación de módulos didácticos para sistemas electrónicos de potencia.*
- Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial.*
- *Motor School - Motor Manufacturing Companies in India, Induction Motor, Three Phase Motor, Squirrel Cage Induction Motor, Electric Motor, VFD, Roller Table Motors, Crane Duty Motors, Hoist Duty Motors, Prime Mover, Speed Variation Motor.* (s/f).
- Martín Castillo, J. C., & Garcia, M. P. (2012). *Automatismos industriales: [Electricidad y electrónica].* Editex.
- *SIEMENS - SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU compacta, DC/DC/Relé.* (s/f). MasVoltaje.com. Recuperado el 18 de octubre de 2022, de <https://masvoltaje.com/simatic-s7-1200/1199-simatic-s7-1200-cpu-1214c-cpu-compacta-dc-dc-rele-6940408101319.html>

- Villanueva, J. A. & Echeverría, D. R. (2013). *Diseño y construcción de un arrancador suave aplicado a un motor de inducción trifásico*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/483>.
- Piñero Rueda, J. M. (2015). Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia. Recuperado el 19 de julio de 2021, de Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto.pdf>
- Martín Castillo, J. C., & García, M. P. (2012). *Automatismos industriales: [Electricidad y electrónica]*. Editex.
- Enríquez Harper, G. (2008). *Control de motores eléctricos*. Limusa.
- Pacheco Chica, W. N., & Santos Moreira, K. D. (2020). Análisis tecnológico de motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla. *Dominio de las Ciencias*.
- Sanchis Llopis, R., Ariño Latorre, C. V., & Romero Pérez, J. A. (2010). *Automatització industrial*. Publicacions de la Universitat Jaume I, Servei de Comunicació i Publicacions.
- hmong.wiki. (s/f). *IEC 60446 Colores permitidos y Uso de colores*. Recuperado el 18 de octubre de 2022, de https://hmong.es/wiki/IEC_60446
- *Normativa DIN46228 para punteras de protección aisladas – Bienvenidos a nuestro blog*. (s/f). Recuperado el 18 de octubre de 2022, de <https://www.fleximat.es/blog/normativa-din46228-para-punteras-de-proteccion-aisladas/>