

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TESINA PARA OPTAR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DESARROLLO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA
PARA PELAR Y CRIMPAR CABLE DE CONTROL
UTILIZADO EN EL ENSAMBLE DE TABLEROS DE
AUTOMATIZACIÓN, PARA LA EMPRESA ENERTROL
S.A, DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2022**

Sustentante:

Jonathan Palma Pereira

Tutor:

Ing. Sergio Bermúdez Porras

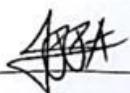
SETIEMBRE, 2022

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Jonathan Palma Pereira, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 3-0453-0433 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de graduación para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Desarrollo de una máquina automatizada para pelar y crimpar cable de control utilizado en el ensamble de tableros de automatización, para la empresa Enertról S.A, durante el primer semestre del 2022, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicadas en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte: artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Así mismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 7 días del mes de setiembre del año dos mil veintidós.



Firma del estudiante

3-0453-0433

Cédula

CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA



ENERGIA Y CONTROL, ENERTROL S.A.

31 de agosto del 2022

San José, Costa Rica

Señores

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

Presente

Estimados señores:

Mediante la presente hago costar que el señor Jonathan Palma Pereira con cédula de identificación número 3-0453-0433 realizó su proyecto de graduación universitaria titulado "DESARROLLO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA PELAR Y CRIMPAR CABLE DE CONTROL UTILIZADO EN EL ESAMBLE DE TABLEROS DE AUTOMAZACIÓN, PARA LA EMPRESA ENERTROL SA" en nuestra empresa, el cual desarrolló de forma satisfactoria cumpliendo con los objetivos planteados y beneficiando al departamento de ensamble con su implementación.

Atte.

Roger Porras Vargas.
Gerente General



**ROGER
PORRAS
VARGAS
(FIRMA)**

Digitally signed
by ROGER
PORRAS VARGAS
(FIRMA)

Date: 2022.08.31
18:36:43 -06'00'

CARTA DEL TUTOR



CARTA DEL TUTOR

San José, 8 de setiembre del 2022

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Jonathan Palma Pereira, cédula de identidad número 3-0453-0433, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "DESARROLLO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA PELAR Y CRIMPAR CABLE DE CONTROL UTILIZADO EN EL ESAMBLE DE TABLEROS DE AUTOMAZACIÓN, PARA LA EMPRESA ENERTROL SA, DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2022", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
30	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	30
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	20
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
Total:		100	100

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Nombre del profesor: Sergio Bermúdez Porras
Cédula de identidad: 109170708
Carné colegio profesional: IEL-13071

CARTA DEL LECTOR



CARTA DEL LECTOR

San José, 20 de diciembre, del 2022

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **Jonathan Palma Pereira**, cédula de identidad número **304530433**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"DESARROLLO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA PELAR Y CRIMPAR CABLE DE CONTROL UTILIZADO EN EL ENSAMBLE DE TABLEROS DE AUTOMATIZACIÓN, PARA LA EMPRESA ENERTROL S.A., DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2022."**, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

DANIEL
HUMBERTO
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por
DANIEL HUMBERTO
VALVERDE RAMIREZ
(FIRMA)
Fecha: 2022.12.20 07:09:35
-06'00'

Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 30-diciembre-2022

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Jonathan Palma Pereira con número de identificación 3-0453-0433 autor (a) del trabajo de graduación titulado **DESARROLLO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA PELAR Y CRIMPAR CABLE DE CONTROL UTILIZADO EN EL ENSAMBLE DE TABLEROS DE AUTOMATIZACIÓN, PARA LA EMPRESA ENERTROL S.A. DURANTE EL PRIMER SEMESTRE DEL 2022** presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar por el título de Bachiller en Ingeniería Electrónica; (SI / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,



3-0453-0433

Firma y Documento de Identidad

Índice de contenidos

DECLARACIÓN JURADA.....	1
CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA	2
CARTA DEL TUTOR.....	3
CARTA DEL LECTOR	4
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES	5
Índice de contenidos	6
Índice de Figuras.....	10
Índice de Tablas	13
ABREVIATURAS.....	14
DEDICATORIA.....	15
AGRADECIMIENTO.....	16
RESUMEN.....	17
CAPÍTULO I.....	19
PROBLEMA DEL PROYECTO.....	19
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO	20
1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.	20
1.1.2 Justificación del problema	23
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
1.3.1 Objetivo General	28
1.3.2 Objetivos Específicos	28
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
1.4.1 Alcances.....	29

1.4.2	Limitaciones.....	30
CAPÍTULO II.....		32
MARCO TEÓRICO.....		32
2.1	TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR.....	33
2.1.1	Control y Automatización Industrial.....	33
2.1.2	Componentes de un sistema de control y automatización.....	36
2.1.3	Tableros de control y automatización	36
2.1.4	Proceso de fabricación de un tablero de control y automatización.....	40
2.1.5	Cable de control.....	43
2.1.6	Terminales pin hueco para crimpar.....	44
2.1.7	Proceso de alistado de cable de control.....	44
2.2	CONTEXTO TEÓRICO.....	45
2.2.1	Placa Raspberry Pi 4.....	45
2.2.2	Motor sincrónico monofásico.	47
2.2.3	Pantalla LCD 2x16 modelo I2C.....	48
2.2.4	Teclado Membrana Matriz 4X4.....	49
2.2.5	Módulo de relays de estado sólido de 8 canales.	50
CAPÍTULO III.....		52
MARCO METODOLÓGICO		52
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
3.1.1	Enfoque de la Investigación	53
3.1.2	Finalidad de la Investigación	55
3.1.3	Dimensión Temporal	56
3.1.4	Marco de la Investigación	57
3.1.5	Naturaleza de la Investigación	58
3.1.6	Carácter de la Investigación.....	59
3.2	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	61
3.2.1	Fuentes Primarias.....	61
3.2.2	Fuentes Secundarias.....	61
3.2.3	Sujetos de Información	62
3.3	TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS.....	63

3.3.1	Observación.....	63
3.3.2	Entrevista	64
3.4	VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	64
3.4.1	Definición de variables.....	64
3.4.2	Diseño de investigación.....	67
CAPÍTULO IV		71
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL		71
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	72
4.1.1	Preparación o alistado del cable control según el diagrama de conexionado.	73
4.1.2	Estudio de tiempos de ejecución en el proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL.....	79
4.1.3	Problemas a nivel de salud ocupacional en el proceso de alistado de cable de control para ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL.	80
4.1.4	Resumen de la situación actual.....	85
4.2	ENFOQUE PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO	86
CAPÍTULO V		88
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....		88
5.1	ASPECTOS DE DISEÑO	89
5.2	Análisis y selección de las etapas a automatizar en el proceso de alistado de cable de control.	90
5.3	Diseño de operación de la máquina.....	92
5.4	Diseño de la lógica de operación de la máquina a nivel de software con el controlador....	94
5.5	Selección de los componentes más adecuados para el desarrollo de la máquina.	96
5.6	Construcción de los mecanismos para los procesos de pelado, corte y crimpado.	99
5.6.1	Mecanización de la cortadora-peladora.....	99
5.6.2	Mecanización de la crimpadora.	101
5.6.3	Mecanización del proceso de transporte de cable.....	103
5.7	Interconexión de los componentes.....	105
5.8	Diseño del gabinete.....	108
5.9	Interconexión y ensamble de los componentes del proyecto dentro del gabinete.	109
5.10	Desarrollo de la programación del controlador Raspberry Pi versión 4B.	113

5.11 Presentación del ensamble completo y desarrollo de la máquina automatizada para pelar y crimpar cable de control, utilizado en el ensamble de tableros de automatización, para la empresa ENERTROL S.A.	122
5.12 Pruebas de funcionamiento de la máquina.	124
5.13 Análisis del funcionamiento del equipo.	127
5.14 Análisis costo beneficio.	131
CAPÍTULO VI	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
6.1 CONCLUSIONES.	137
6.2 Recomendaciones	139
BIBLIOGRAFÍA	140
APÉNDICES Y ANEXOS	142

Índice de Figuras

Figura 1. Logo de la Empresa Enertrol.	22
Figura 2. Diagrama de Ishikawa del Proceso de Alistado de Cable de Control	24
Figura 3. Componentes de un automatismo	36
Figura 4. Tablero de control para transferencia eléctrica tipo subestación de media tensión, (gabinete ubicado en la esquina superior izquierda del equipo).....	38
Figura 5. Tablero de control para sincronía de generadores.	39
Figura 6. Proceso de cableado o conexionado de un tablero de control de motores (CCM) en la empresa Enertrol.....	42
Figura 7. Cable flexible de 0,75mm ² de sección, color rojo, fabricado por la empresa Top Cable.	43
Figura 8. Terminal pin hueco para cable 0,75mm ²	44
Figura 9. Ubicación de periféricos en la placa Raspberry PI modelo 4B.....	46
Figura 10. Placa Raspberry PI 4 – B de 2GRAM.....	47
Figura 11. Motor sincrónico monofásico con caja de engranajes.	48
Figura 12. Pantalla LCD-I2C de 16 caracteres	49
Figura 13. Teclado Membrana Matriz 4X4.....	50
Figura 14. Módulo de relays de 8 canales.	51
Figura 15. Diagramas de líneas de tiempo de desarrollo del informe.....	69
Figura 16. Diagramas de líneas de tiempo del desarrollo del prototipo.	70
Figura 17. Diagrama eléctrico de un banco de capacitores	74
Figura 18. Conexión de dispositivos en un tablero de control.....	75
Figura 19. Subproceso de medición y corte del cable de control.	76
Figura 20. Subproceso de pelado del cable de control.	76

Figura 21. Subproceso de crimpado del cable de control	77
Figura 22. Subproceso de etiquetado del cable de control	78
Figura 24. Diagrama del prototipo propuesto	86
Figura 26. Diagrama de flujo para la programación del controlador de la máquina.	95
Figura 27. Cortadora-peladora marca Stanley	100
Figura 28. Vista frontal de la adaptación de la cortadora-peladora con el motor sincrónico y su base.....	100
Figura 29. Vista lateral de la adaptación de la cortadora-peladora con el motor sincrónico y su base.....	101
Figura 30. Crimpadora convencional para terminales de pin hueco de 0.75 mm^2	102
Figura 31. Vista frontal de la adaptación de la crimpadora con el motor sincrónico y su base.	102
Figura 32. Vista superior de la adaptación de la crimpadora con el motor sincrónico y su base.	103
Figura 33. Motor alimentador de cable para soldar.	104
Figura 34. Adaptación del motor alimentador de cable para soldar para transporte de cable de control.....	104
Figura 35. Diagrama de control de la máquina para alistar cable de control.	106
Figura 36. Diagrama de potencia de la máquina para alistar cable de control.....	107
Figura 37. Boceto del gabinete para la máquina.	108
Figura 38. Conexión y ensamble de los dispositivos de control y potencia de la máquina según diagramas de conexión.....	110
Figura 39. Conexión y ensamble de los mecanismos de corte-pelado, transporte de cable y crimpadora según diagramas de conexión.....	111
Figura 40. Vista superior del ensamble de los dispositivos en el gabinete.....	112

Figura 41. Código para Importación de las librerías a utilizar:	114
Figura 42. Asignación de pines GPIO.	115
Figura 43. Asignación de variables generales.	116
Figura 44. Función para manejo del display LCD.	116
Figura 45. Función para manejo de alarmas.	117
Figura 46. Función para manejo del teclado matricial.....	118
Figura 47. Función para manejo del mecanismo de crimpado.....	119
Figura 48. Función para manejo del ventilador.....	119
Figura 49. Programa principal en ciclo while True.	120
Figura 50. Ejecución de los procesos de medición, corte-pelado.	121
Figura 51. Presentación de la máquina para alistar cable de control terminada.	123
Figura 52. Revisión y ajuste de los parámetros de programación	124
Figura 53. Revisión de los periféricos de entrada y salida de datos	125
Figura 54. Revisión de luces de señalización.	125
Figura 55. Pruebas y revisión del proceso de crimpado.	126
Figura 56. Pruebas y revisión del proceso de corte-pelado.	126

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de la empresa.	21
Tabla 2. Sujetos de información.	62
Tabla 3. Variables del proyecto.	66
Tabla 4. Diseño de la investigación	68
Tabla 5. Proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL en tableros de aplicación CCM para granja avícola.	80
Tabla 6. Valores para definir el riesgo.	82
Tabla 7. Matriz de Riesgos.....	83
Tabla 8. Resumen de las etapas del proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL.....	91
Tabla 9. Componentes seleccionados para el proyecto.	97
Tabla 10. Datos de la preparación de 50 cables con una longitud de 1 metro con la máquina para alistar cable de control.....	127
Tabla 11. Comparación del proceso de alistado de cable de control desarrollado de forma manual y con el dispositivo implementado.	128
Tabla 12. Costo de los dispositivos utilizados en el proyecto.	131
Tabla 13. Costos totales del proyecto.	132

ABREVIATURAS

ENERTROL: Energía y Control S.A

PYME: Pequeña y Mediana Empresa

CCMs: Centro de control de motores

Rpi: Raspberry Pi

GPIO: General Purpose Input and Output (Pines de Propósito General de Entrada y Salida)

HDMI: High Definition Multimedia Interface (Interfaz Multimedia de Alta Definición)

USB: Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)

SD: Secure Digital (Dispositivo de Almacenamiento Seguro Digital)

SBC: Simple Board Computer (Computadora de Placa Simple)

GPU: Graphics processing unit (Unidad de Procesamiento Gráfico)

RAM: Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio),

PLC: Programming Logical Control (Controlador Lógico Programable)

LAN: Local Area Network (Red de Área Local)

I^2C : Inter Integrated Circuits (Circuitos Inter Integrados)

CSO: Programa de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional de Costa Rica

INS: Instituto Nacional de Seguros

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que ponen su esfuerzo y pasión para lograr un objetivo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia, a mi novia, Gaby Rodríguez, a la empresa ENERTROL y a mis compañeros de trabajo, en especial al señor Vladimir Álvarez, del departamento de metalmecánica, por el apoyo y el aporte de soluciones para el ajuste y precisión de los componentes mecánicos en el desarrollo de este proyecto.

Y un agradecimiento muy especial a mis padres los cuales siempre me ayudaron y motivaron con mis estudios.

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló en la empresa Energía y Control S.A (ENERTROL), la cual es una empresa costarricense, que se dedica al ensamble, fabricación y venta de productos y servicios eléctricos en el rango de media y baja tensión. Dentro de la variedad de productos y servicios que ofrece la compañía se encuentra la fabricación, diseño y ensamble de tableros de control y automatización para aplicaciones comerciales e industriales.

La fabricación de un tablero para automatización consta de varias etapas dentro de las cuales se destacan; la identificación del tipo de aplicación, diseño del diagrama eléctrico, diseño y fabricación del gabinete, distribución de componentes en el panel, ensamble de los equipos, preparación o alistado del cable de control y potencia y conexionado de los dispositivos, para así desarrollar un equipo integral dedicado a una función específica.

Antes del proceso de preparación del cable de control, el personal técnico analiza el diagrama eléctrico del proyecto y realiza una lista con la longitud y cantidad de cables requerido para el ensamble. Una vez completado el listado se procede a preparar el cable el cual pasa por un proceso donde es cortado, pelado, crimpado y etiquetado para su posterior conexión.

La ejecución del proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL (Energía y Control S.A), es realizado de forma manual y con herramienta mecánica, lo cual acarrea una serie de inconvenientes para la compañía como lo son; retrasos en la cadena de producción, costeos erróneos en materiales y horas de ensamble, desperdicio de insumos y problemas de salud ocupacional en el personal.

Este proyecto busca desarrollar una solución con la cual pueda automatizarse el proceso del alistado de cable de control para el ensamble de tableros de automatización y control en la empresa ENERTROL, por medio de la aplicación de la Ingeniería en Electrónica, para desarrollar una máquina capaz de ejecutar los procesos de alistado de cable de control, permitiendo la interacción usuario-máquina por medio de una interfaz amigable y una serie de procesos automatizados.

En este documento se encuentra todo lo relacionado con respecto a este desarrollo, tanto la información general como técnica del proyecto en cuestión.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL PROYECTO

1.1.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

ENERTROL S.A; es una empresa que se encuentra dentro de la categoría de las Pequeñas y Medianas Empresas en Costa Rica (PYME) y de capital costarricense. Su origen se da en el año 2004, bajo la razón social Energía y Control Enertrol S.A, la compañía surge con el objetivo de brindar soluciones integrales de automatización a la medida de sus clientes.

La empresa se dedica a la venta de productos y prestación de servicios en la rama eléctrica en el rango de media y baja tensión a nivel comercial e industrial, dentro de su catálogo de oferta se encuentran; la fabricación de gabinetes para equipo eléctrico, diseño y ensamble de tableros para automatización industrial, diseño y ensamble de tableros de aplicación específica, transferencias eléctricas, soluciones completas para el manejo de subestaciones, centros de control de motores (CCMs), paneles de sincronía, tableros de cargas, mantenimiento de subestaciones e instalaciones electromecánicas.

En la actualidad ENERTROL ha ido incursionado en el mercado de energías renovables e inversores de respaldo, buscando ir de la mano con las nuevas tecnologías, enfocadas a la protección del medio ambiente, además de adquirir representaciones de marcas con renombre, buscando calidad y solidez como valor agregado a sus labores.

Misión;

“Manejo Seguro y Confiable de la Energía Eléctrica, adaptándola a su Medida”.

Visión:

“Autonomía Energética, identificando las necesidades de nuestros clientes y desarrollando soluciones basadas en sistemas de control híbridos y el manejo responsable de la energía”.

En la Tabla 1, se presenta la información de contacto de la empresa y en la Figura 1 su logo.

Tabla 1. Datos de la empresa.

Razón Social: Energía y Control, ENERTROL S.A.		
Cédula Jurídica: 3-101-336-900		
Representante legal: Roger Porras Vargas		
Dirección: SAN JOSÉ	Cantón: CURRIDABAT	Distrito: CURRIDABAT
Teléfono: (506) 2271-1336	Correo Electrónico: info@enertrol.com	
Horario: Lunes a Viernes	Jornada: 07:30 a.m. a 05:00 p.m.	

Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022.

Figura 1. Logo de la Empresa ENERTROL.



Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022.

1.1.2 Justificación del problema

La fabricación, diseño y ensamble de tableros de automatización, son proyectos que la empresa ENERTROL realiza de manera habitual como parte de su negocio; estos proyectos involucran tanto al departamento de ingeniería para el diseño, como al personal técnico para el ensamble de los equipos.

Dentro de las labores necesarias para llevar a cabo el ensamble de un tablero de automatización, se encuentra el proceso de alistado del cable de control, en el cual se preparan los cables necesarios para interconectar los dispositivos que forman parte del tablero automatizado.

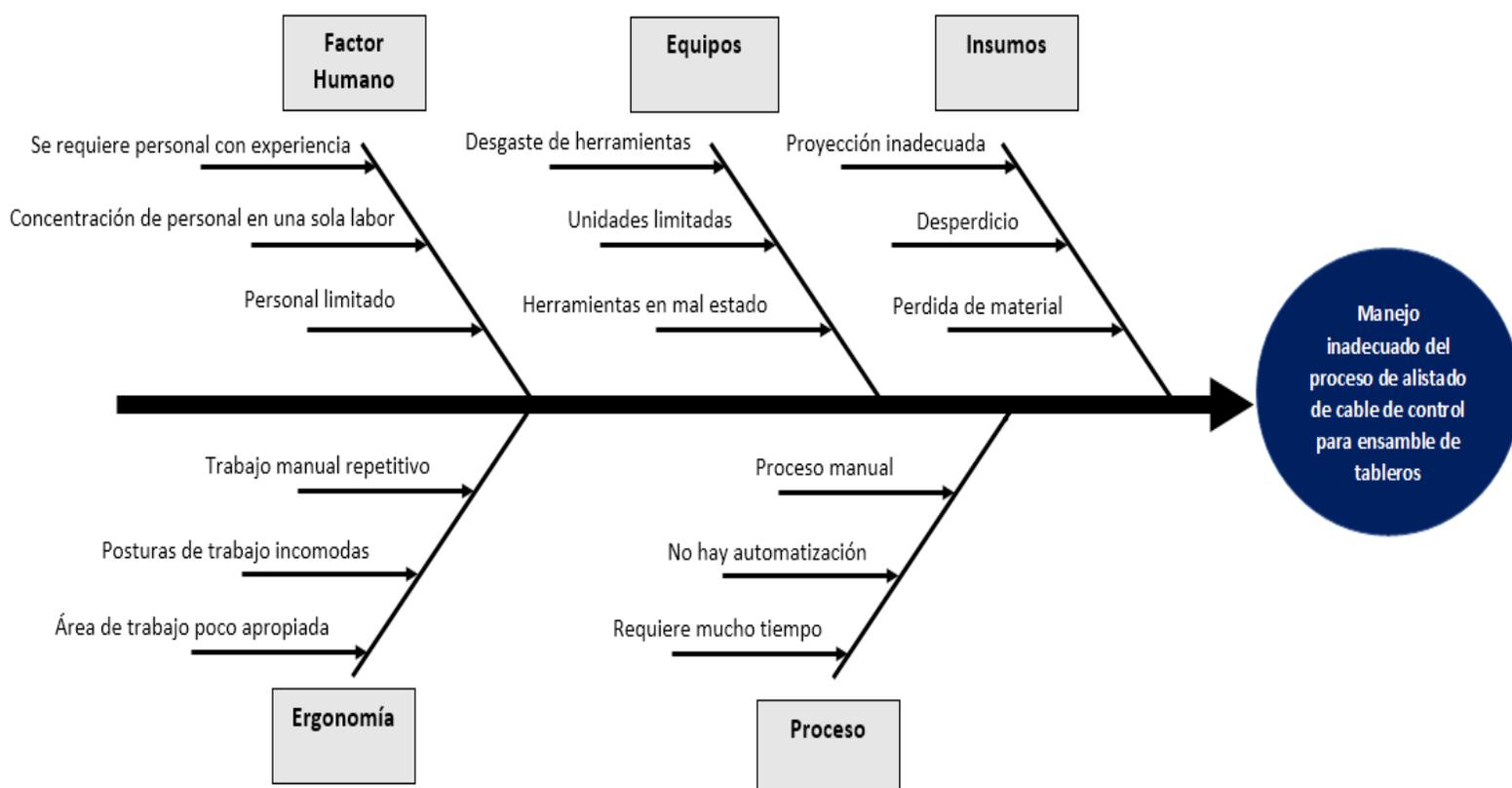
El cable de control utilizado en la empresa ENERTROL es del tipo multihilo flexible y tiene una medida de 0.75 mm^2 de espesor, como parte de su proceso de preparación este debe ser cortado, pelado, crimpado y etiquetado para su posterior conexión.

Este trabajo de alistado del cable de control se realiza de forma completamente manual en la empresa ENERTROL, sin ningún tipo de automatización lo cual conlleva altas cargas de trabajo para el personal, derivando en problemas de salud ocupacional, dado que, “es una de las principales causas de enfermedad y lesiones de origen laboral” (Ministerio de Trabajo y Economía Social, s.f.); además de eso los tiempos de entrega de los proyectos varían por factores como la rapidez en la ejecución del trabajo, se producen desperdicios de material por fallos en la ejecución del proceso, desgaste de las herramientas por un uso inadecuado y una proyección inadecuada de los costos.

Es aquí donde surge la oportunidad de mejorar el proceso por medio de una solución capaz de brindar rapidez, eficacia y un beneficio por supuesto en materia de seguridad al personal; dado que “Todo patrono debe adoptar en sus empresas las medidas necesarias para la higiene y seguridad en el trabajo” (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2020), que automatice el proceso de alistado de cable de control para de esta forma agilizar y garantizar la seguridad en el proceso de ensamble de los tableros de automatización fabricados en la empresa ENERTROL.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Figura 2. Diagrama de Ishikawa del Proceso de Alistado de Cable de Control



Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de causa y efecto presentado en la Figura 2, permite comprender de forma más precisa como el proceso de alistado de cable de control para tableros de automatización en la empresa ENERTROL, desencadena múltiples factores en su ejecución que impactan de forma negativa los plazos de entrega de un proyecto, el costeo eficiente de los equipos e insumos y la salud del personal involucrado en la ejecución de la actividad.

Además, debido a que el proceso de preparación de cable se ejecuta de forma manual, su correcta ejecución y finalización se ve condicionada por diversos factores, entre los que destacan la expertise del personal y la calidad de las herramientas utilizadas en la ejecución del trabajo.

Analizando entonces cada una de las causas del diagrama de Ishikawa se tiene;

- a. **Factor Humano:** el personal que realiza esta tarea debe contar con experiencia, ya que la habilidad y rapidez en la ejecución del trabajo determinan los plazos de entrega.

Dependiendo del tamaño del proyecto se presentan casos en los que el personal se ve comprometido a realizar la labor de alistado de cable por varias horas, lo que produce atrasos en otras áreas, siendo ENERTROL una empresa PYME (Pequeña y Mediana Empresa), que cuenta con limitación de personal, la ejecución de múltiples tareas y la buena administración del tiempo son muy importantes en el día a día.

- b. **Equipos:** las herramientas utilizadas son mecánicas, manuales de tipo convencional y no son de uso exclusivo para para la labor de alistado de cable,

por lo que estas poseen desgaste general, además de eso el uso constante y la mala manipulación hace que la herramienta tenga que ajustarse o cambiarse de manera prematura, generando costos considerables a la empresa.

Las herramientas disponibles son limitadas, por lo que el personal debe priorizar y administrar el uso de estas produciendo atrasos en la ejecución de un ensamble.

- c. Insumos:** el cable de control utilizado para proyectos de automatización viene empacado en rollos de cien de metros; durante el proceso de alistado el personal debe cortar este cable según la medida requerida, dándole prioridad a la velocidad por lo que en ocasiones tiende a cometerse errores, lo que provoca un desperdicio de este insumo.

La cuantificación del cable necesario para un proyecto tiende a variar produciendo inexactitud en el costeo, las herramientas en mal estado también producen problemas de desperdicio de material, ya que un mal corte o crimpado hace necesario que todo el proceso se tenga que repetir.

Respecto a las terminales utilizadas en el crimpado, estas tienden a caerse o crimparse de manera incorrecta generando pérdidas importantes.

- d. Ergonomía:** al tratarse de un proceso manual, los técnicos deben realizar movimientos repetitivos durante tiempos muy prolongados, lo que genera fatiga y dolor muscular; además de esto pese al uso de guantes de protección el personal está expuesto a presentar lesiones como cortes, mojanazos, golpes y llagas.

El sitio donde se realiza el proceso no es adecuado, dado que el personal trabaja en posturas forzadas e incómodas, lo que produce mucho estrés muscular que dificulta y atrasa la tarea.

- e. **Proceso:** el proceso de alistado de cable se realiza de forma completamente manual, lo que provoca retrasos en la entrega de los proyectos, debido a que la actividad depende completamente de la agilidad y experiencia del personal.

Al tomar en cuenta los factores mencionados anteriormente, los cuales definen el problema en cuestión, y considerando los inconvenientes que conlleva para la empresa ENERTROL el proceso de preparación del cable para ensamblar tableros de automatización, surge la siguiente pregunta;

¿De qué forma se podría llegar a desarrollar el proceso del alistado de cable de control para el ensamble de tableros, de una forma automatizada con la cual se realice el proceso de manera rápida, segura y eficiente, con una menor intervención del personal, por medio de un dispositivo integral capaz de recibir y ejecutar parámetros establecidos por el usuario, y que sea de fácil operación?

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un equipo que automatice el proceso de corte, pelado y crimpado de cable de control utilizado en el ensamble de tableros de automatización, para la mejora de la producción de este tipo de productos que la empresa ENERTROL S.A ofrece a sus clientes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar cómo se desarrolla el proceso de alistado de cable para ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL.
- Realizar un mapeo de las posibles soluciones existentes en el mercado nacional para el proceso de alistado de cable de control.
- Diseñar una solución factible la cual permita mejorar el proceso de corte pelado y crimpado de cable.
- Definir los procesos que ejecutará la máquina.
- Diseñar una lógica de operación a nivel de software para el equipo.
- Seleccionar los componentes o dispositivos más adecuados para el desarrollo de la implementación.
- Construir un dispositivo con la solución planteada.
- Probar los diferentes procesos que la máquina va a implementar.
- Programar las rutinas de trabajo establecidas para el funcionamiento adecuado de la máquina.

- Probar el funcionamiento del equipo implementado.
- Realizar un estudio de los tiempos de operación de la solución implementada.
- Realizar un análisis costo beneficio de la implementación desarrollada para la empresa ENERTROL.
- Realizar un manual de operación.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

- Este proyecto se desarrolló en la empresa ENERTROL, donde se investigó que materiales, insumos, equipos y procesos se llevan a cabo en el ensamble de tableros de control y automatización, y se enfocará específicamente en la etapa de alistado o preparación del cable de control de 0.75 mm^2 de espesor.
- La máquina a desarrollar implementará las etapas de corte, pelado y crimpado en un equipo integral capaz de recibir instrucciones por parte de un operador para así ejecutar las respectivas tareas y subprocesos.
- El proceso de crimpado se implementará de forma semiautomática debido a que esta labor es muy compleja y requeriría de un estudio e implementación aparte a la de este proyecto.
- La interfaz del usuario dispondrá de una pantalla LCD y un teclado matricial para ingresar y recibir información, esto por cuestiones de costo y disponibilidad de los equipos.

- Con la automatización del proceso se espera disminuir el desperdicio de materiales y se pretende contabilizar de una manera más adecuada la cantidad necesaria de los mismos para futuros proyectos.
- En cuanto al personal, se pretende que este se vea beneficiado al reducir la carga de trabajo manual que conlleva alistar grandes cantidades de cable, por lo que el proyecto tendrá beneficios en cuanto a salud y seguridad laboral.
- El tamaño del equipo será el adecuado para almacenar controladores, actuadores y otros dispositivos, pero al mismo tiempo será fácil de transportar y almacenar.
- Para la seguridad del usuario, el equipo contará con cubiertas dispositivos de seguridad que garanticen el bienestar del usuario, durante la operación de la máquina.

1.4.2 Limitaciones

- La solución desarrollada solo es aplicable para la empresa ENERTROL, debido a que los insumos como las terminales para crimpado y el cable de control utilizado en el ensamble de tableros, puede variar en otras empresas.
- Además del corte, pelado y crimpado dentro del proceso de alistado de cable de control, también se encuentra el subproceso de etiquetado, el cual no está contemplado en este proyecto, ya que este se realiza por medio de una impresora digital dedicada.

- Para la implementación de las etapas de corte, pelado y crimpado en el proyecto, se procederá a modificar y automatizar herramientas mecánicas dedicadas a esa función, y no se fabricarán desde cero estas piezas, debido que estas herramientas cuentan con características específicas en su fabricación como la dureza, tratamiento, tipo de material y medidas específicas.
- El equipo no contará con ningún tipo de monitoreo ni operación remota, ya que siempre debe de haber un usuario supervisando y operando la máquina.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR

2.1.1 Control y Automatización Industrial.

El control y la automatización industrial es una disciplina que combina la electricidad, la electrónica y la mecánica con el fin de llegar a producir sistemas integrales capaces de monitorear, controlar y ejecutar procesos en la industria, comercio y en los hogares.

Sanchis (2010) define un sistema, máquina o proceso automatizado como “aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado.” (p.6).

Dentro de la automatización, es necesario visualizar el proceso productivo como un todo para establecer los controles necesarios que van a garantizar el éxito de las implementaciones que se deseen aplicar. Con la identificación del proceso que se quiere automatizar, se busca la optimización y la mejora de las tareas y así la solución o soluciones que se van a implementar a los problemas identificados.

Ogata (2010) plantea otra definición interesante acerca del control automático;

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera

el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la teoría y la práctica del control automático (p.1).

El control automático está presente en la vida cotidiana tanto en los hogares como en las industrias de manufactura, transporte, militar, alimentos, medicina y en las ciencias, donde por medio de este se controlan ciertos procesos y rutinas repetitivas de forma automática.

Dentro del control automático se manejan ciertas definiciones que deben estar claras cuando se habla de control y automatización, para comprender como funcionan estos sistemas Ogata (2010) define:

Variable controlada y señal de control o variable manipulada. La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado

Plantas. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. En este libro se llamará planta a cualquier objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).

Procesos. El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este libro se llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.

Sistemas. Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares (p.1-2).

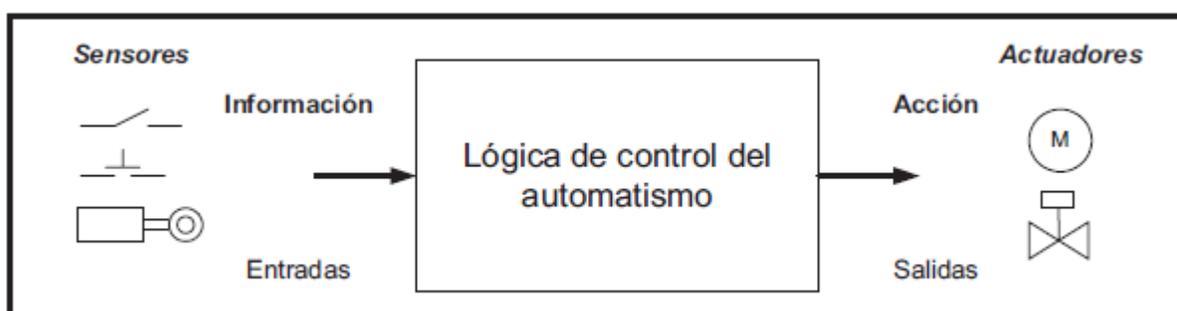
Gracias a estas definiciones, se puede expresar el concepto de control automático de una manera más técnica como un sistema que recibe información acerca de una variable controlada, la procesa y actúa sobre esta con una variable manipulada para así generar un cambio deseado en un proceso dentro de una planta.

2.1.2 Componentes de un sistema de control y automatización

Un sistema de control y automatización se compone de múltiples elementos que en conjunto desarrollan una función específica, como elementos principales de un sistema de control y automatización se encuentra los sensores, actuadores y la unidad de procesamiento principal. *“Los automatismos están compuestos por tres partes fundamentales como lo son la obtención de señales mediante sensores, el procesamiento de dichas señales por lógicas de control y la ejecución de las respuestas mediante los actuadores.”* (Daneri, 2008, p.28)

A continuación, en la Figura 3 se muestra los componentes de un automatismo.

Figura 3. Componentes de un automatismo



Fuente: PLC Automatización y Control Industrial, Pablo A. Daneri 2008, 1era edición.

2.1.3 Tableros de control y automatización

Los tableros de control y automatización son dispositivos integrales que almacenan los dispositivos necesarios para realizar la automatización de un sistema o proceso. Rodríguez (2012) afirma; *“Un tablero de control eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico”* (p.01). Estos tableros se componen de un

gabinete en el cual se almacena e interconectan diferentes dispositivos eléctricos y electrónicos como unidades de control, actuadores, dispositivos de señalización y mandos, cumpliendo con normativas de seguridad y diseño.

Rodríguez (2020) menciona: *“La fabricación o ensamblaje de un tablero de control eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados” (p.01).*

El diseño, tamaño y aspecto de un tablero de control varía según el tipo de aplicación, así entonces se pueden encontrar tableros dedicados a funciones como; centros de control de motores (CCMS), automatización de procesos industriales, controles de luces, accesos, alarmas, actuadores, variadores, transferencias eléctricas, paneles de sincronía, señalización, sistemas de bombeo, entre muchas otras aplicaciones.

La clasificación de tableros de control se da en dos grandes grupos; el primero según su ubicación y función y el segundo según el uso de la energía eléctrica. Según su ubicación y función: tableros generales, tableros auxiliares, tableros de distribución, tablero de paso, tablero de comando, tablero centro de control. Y de acuerdo con el uso de la energía eléctrica: tablero de alumbrado, tablero de fuerza, tablero de calefacción y tablero de señalización. (Rodríguez, 2020, p12).

En la Figura 4 se muestra un tablero de control desarrollado en la empresa ENERTROL para el manejo de una transferencia eléctrica tipo subestación de media tensión, el cual se encarga de controlar una fuente principal denominada fuente de red dependiente de la compañía eléctrica y una segunda fuente la cual se conoce como fuente de respaldo o emergencia la cual proviene de un generador, además en este tablero también se

almacenan otros dispositivos que realizan funciones como medición de variables eléctricas (voltaje, corriente y frecuencia) y un relay para protecciones de sobre corriente.

Figura 4. Tablero de control para transferencia eléctrica tipo subestación de media tensión, (gabinete ubicado en la esquina superior izquierda del equipo).



Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022

Otro ejemplo de un tablero de control y automatización se muestra en la Figura 5, en el cual la empresa ENERTROL desarrolló un sistema para sincronía de generadores, y en este tablero se almacenan los controladores, señales y demás dispositivos de control para esa función.

Figura 5. Tablero de control para sincronía de generadores.



Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022

2.1.4 Proceso de fabricación de un tablero de control y automatización

La fabricación de un tablero de automatización se basa en la aplicación y tipo de proceso que se va a automatizar, con lo cual se diseña la lógica de operación y se seleccionan los dispositivos más adecuados para el proyecto.

Se deben seguir normas de fabricación internacional tanto para el gabinete como para los componentes a ensamblar. Rodríguez (2020) indica:

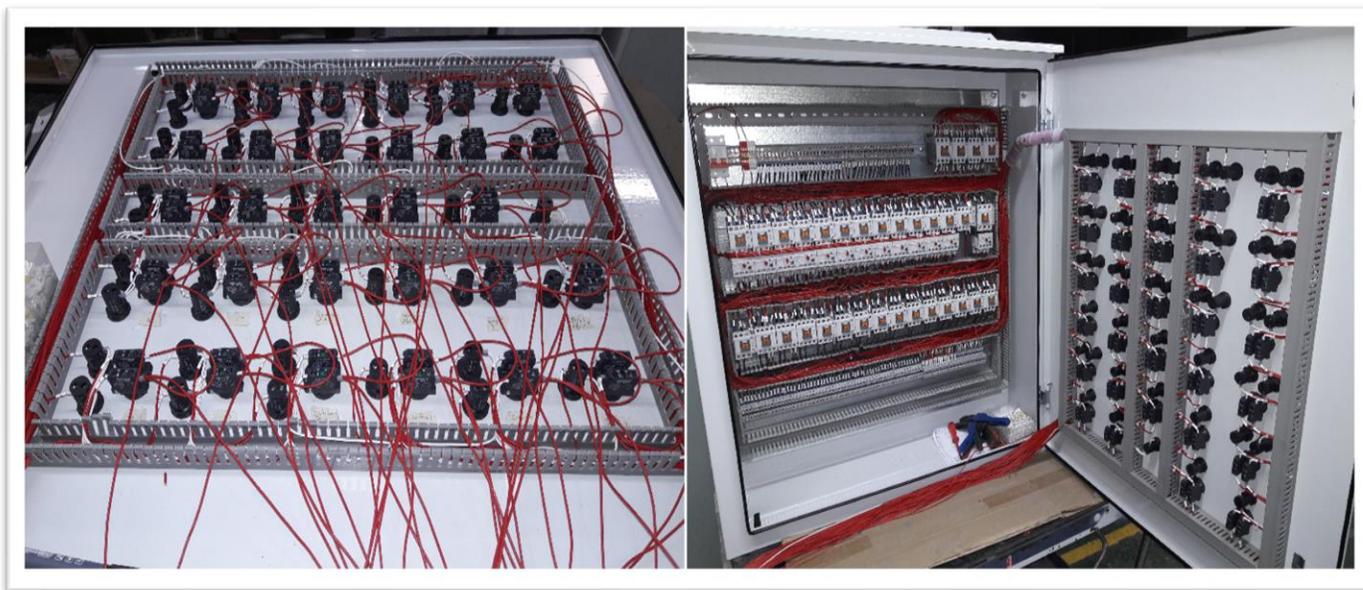
Todos los dispositivos y componentes de un tablero deberán montarse dentro de cajas, gabinetes o armarios, dependiendo del tamaño que ellos alcancen. Los tableros deben ser fabricados en materiales resistentes al fuego, auto extingüibles, no higroscópicos, resistentes a la corrosión o estar adecuadamente protegido contra ella. Todos los tableros deberán contar con una cubierta interna sobre los equipos y con una puerta exterior. La cubierta interna tendrá por finalidad impedir el contacto de cuerpos extraños con las partes energizadas, o bien, que partes energizadas queden al alcance del usuario al operar las protecciones o dispositivos de maniobra; deberá contar con perforaciones de tamaño adecuado como para dejar pasar libremente el cableado y demás conexiones pertinentes, sin que ello permita la introducción de cuerpos extraños, sin que ninguno de los elementos indicados sea solidario a ella, palancas, perillas de operación o piezas de remplazo, si procede, de los dispositivos de maniobra o protección. (p.15)

El proceso (no documentado) de fabricación de un tablero de automatización de la empresa ENERTROL registrado por medio del método de observación en campo consta de trece etapas, las cuales cumplen con un orden de ejecución y se mencionan a continuación:

1. Definición del tipo de aplicación y proceso a realizar.
2. Selección de los componentes más adecuados.
3. Definición y diseño de la lógica de operación del equipo.
4. Diseño de un diagrama eléctrico de conexionado.
5. Diseño de un plano de distribución de los equipos en el tablero.
6. Confección o selección del gabinete eléctrico.
7. Colocación y distribución de los equipos en el tablero.
8. Colocación de ductos de canalización en el tablero.
9. Colocación de dispositivos de señalización y operación en el tablero.
10. Preparación o alistado del cable control.
11. Preparación o alistado del cable de potencia.
12. Conexionado o proceso de cableado de los equipos.
13. Pruebas de funcionamiento.

En la Figura 6, se muestra el proceso de cableado o conexionado de un centro de control de motores (CCM) fabricado y ensamblado en la empresa ENERTROL.

Figura 6. Proceso de cableado o conexionado de un tablero de control de motores (CCM) en la empresa Enertrol.



Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022

2.1.5 Cable de control

El cable de control es un tipo de conductor eléctrico utilizado para transportar señales de baja potencia, dichas señales pueden provenir de sensores, actuadores, microcontroladores, instrumentos de medición y otros componentes de un tablero automatizado donde la principal característica es el bajo consumo de potencia de los equipos.

Generalmente en la industria se utiliza el cable multihilo flexible de $0.75mm^2$ de sección, el cual se muestra en la Figura 7. Este cable por sus propiedades flexibles puede ser almacenado y acomodado de manera eficiente en tableros de diferente tamaño y aplicación, siendo este bifurcado en una canaleta plástica para mantener una buena estética del tablero.

Figura 7. Cable flexible de $0,75mm^2$ de sección, color rojo, fabricado por la empresa

Top Cable.



Fuente: <https://www.topcable.com>

2.1.6 Terminales pin hueco para crimpar.

Las terminales para crimpar son utilizadas para darle protección y rigidez a los cables utilizados en el ensamble de tableros de automatización, estas previenen que los cables se vayan a zafar o a quebrar provocando falsos contactos en un circuito. Se le puede encontrar en diferentes tamaños para los diferentes calibres de cable en el mercado, en la Figura 8, se muestran las terminales pin hueco para cable de control de 0,75mm².

Figura 8. Terminal pin hueco para cable 0,75mm².



Fuente: <https://www.ardobot.co/>

2.1.7 Proceso de alistado de cable de control

El proceso no documentado de la Empresa ENERTROL para el alistado de cable de control para el ensamble de un tablero de automatización, se basa en el diagrama de conexionado de los dispositivos y sigue un orden el cual se detalla a continuación:

- Conteo de cables a preparar según el diagrama de conexionado.
- Corte de los cables según la longitud requerida.
- Subproceso de pelado del cable.

- Subproceso de crimpado del cable.
- Subproceso de etiquetado según diagrama.

2.2 CONTEXTO TEÓRICO

A continuación, se describen algunos de los componentes principales para el desarrollo del proyecto.

2.2.1 Placa Raspberry Pi 4.

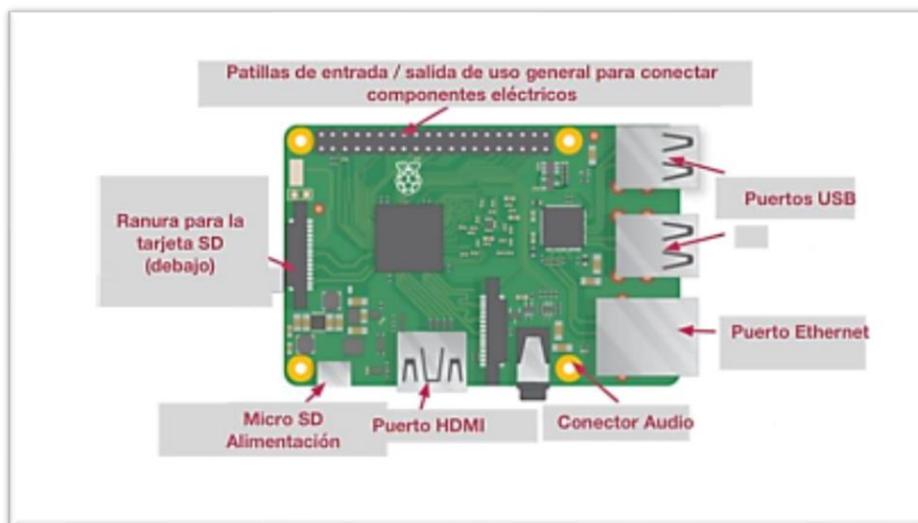
La placa Raspberry Pi (RPi), es un ordenador de placa simple que viene con todas las características de un ordenador convencional, pero a pequeña escala, fue diseñado en un principio para hacer accesible las tecnologías de la información a todo el mundo, debido a su tamaño, coste y sus características de operación.

La Raspberry Pi Foundation desarrolló la Raspberry Pi como una computadora de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo costo, basada en un microprocesador embebido. El diseño original es un entorno de desarrollo práctico, que permite un sinfín de posibilidades para aplicaciones novedosas (Franco & Caballero, 2020, p.2).

Dentro de la placa Raspberry Pi vienen incorporados una serie de dispositivos como; puertos seriales universales (USB), mini puertos interfaces multimedia de alta definición (HDMI), un puerto ethernet, un jack de audio, compartimiento para tarjeta de memoria de seguridad digital (SD), 40 puertos de propósito general (GPIO) y la placa de

funcionamiento general con su microprocesador y sus componentes principales como la unidad de procesamiento gráfico (GPU), memoria de acceso aleatorio (RAM) como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9. Ubicación de periféricos en la placa Raspberry PI modelo 4B



Fuente: Revista de Ingeniería Innovativa, Franco Gabriel, Caballero Julián, 2020, Vol. 4.

La plataforma *Raspberry Pi* es una computadora que utiliza un sistema operativo basado en *Linux*, es una solución total equivalente a una computadora convencional con el popular sistema operativo *Windows*. *Raspberry Pi* dispone de sus propias herramientas de uso muy fácil e intuitivo, donde para cada aplicación deseada se instala el sistema operativo correspondiente y sus controladores necesarios. (Franco & Caballero, 2020, p.2).

El sistema operativo de uso común en la RPi es el denominado Raspbian el cual es una versión de Linux, este puede ser descargado de manera gratuita desde la página oficial de Raspberry. Además, existen otros sistemas operativos como una versión de Windows 10.

El principal uso de la RPi es la de un ordenador convencional al conectar un monitor, teclado y mouse, sin embargo, conforme a su auge se fueron implementando y desarrollando diferentes usos, desde servidor, desarrollo en robótica, consola de videojuegos y proyectos de electrónica y automatización gracias a sus entradas y salidas GPIO (entradas y salidas de propósito general) las cuales son capaces manejar sensores y actuadores. En la Figura 10 se muestra la placa Raspberry Pi modelo 4b como usualmente se consigue en el mercado.

Figura 10. Placa Raspberry PI 4 – B de 2GRAM



Imagen tomada de <https://es.ign.com/raspberry-pi>

2.2.2 Motor sincrónico monofásico.

Los motores síncronos son un tipo de máquina eléctrica en el cual la rotación del eje está directamente relacionada con la frecuencia de la corriente de alimentación; en estos la velocidad de giro es constante y depende la frecuencia del voltaje de red al que está siendo alimentados. En la Figura 11 se muestra el motor síncrono utilizado en este proyecto para la fabricación de los mecanismos motrices.

Figura 11. Motor sincrónico monofásico con caja de engranajes.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Pantalla LCD 2x16 modelo I2C

Las pantallas de display de cristal líquido (LCD) tipo circuito inter integrado (I²C), son componentes utilizados en la mayoría controladores modernos, debido a que permiten una fácil conexión y programación gracias al puerto de comunicación serial I²C (circuito inter integrado), ver Figura 12.

La pantalla LCD es un dispositivo de visualización gráfica para la presentación de caracteres, símbolos e incluso dibujos (en algunos modelos), es este caso dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7puntos (35 pixeles). Estos dispositivos están gobernados internamente por un microcontrolador que regula todos los parámetros de presentación (CR Cibernética-Open Source Hardware, 2022).

Figura 12. Pantalla LCD-I2C de 16 caracteres



Imagen tomada de [https:// www.crcibernetica.com](https://www.crcibernetica.com)

2.2.4 Teclado Membrana Matriz 4X4

Este dispositivo posee un arreglo de números y letras organizado en una matriz de arreglo 4x4, su modo de operación es de presión, y su conexión es por medio de cables Dupont de 8 pines, tal y como se muestra en la Figura 13.

Este tipo de dispositivo se utiliza para la interacción entre el usuario y un sistema o dispositivo para enviar instrucciones, recibir alertas del equipo, o configurar parámetros.

Teclado de membrana con una matriz 4x4 de 12 botones en total. Cuenta con papel adhesivo en la parte posterior para que se pueda colocar fácilmente en la mayoría de las superficies planas. Incluye un cable plano de 7 pines flexible, que se puede conectar directamente con tarjetas de desarrollo como Arduino o Raspberry. Ideal para cualquier proyecto que requiera entradas numéricas (Micro JPM, 2022).

Figura 13. Teclado Membrana Matriz 4X4



Imagen tomada de <https://www.microjpm.com/>

2.2.5 Módulo de relays de estado sólido de 8 canales.

El módulo de relays de 8 canales permite adicionar una placa de accionadores en los pines GPIO de la Raspberry Pi, permitiendo así controlar dispositivos que requieren mayor potencia y un voltaje de operación mayor al que opera la placa de Raspberry.

El relé es un interruptor operado eléctricamente. Muchos relés usan un electroimán para operar mecánicamente el interruptor y proporcionar aislamiento eléctrico entre dos circuitos.

- Este relé de 5V de 8 canales tiene aislamiento tanto óptico como magnético, proporcionando mucha protección a las entradas contra fallas eléctricas en las salidas.
- Funciona bien con lógica de 3,3 V y 5 V (Raspberry Pi, Arduino, Teensy...), lo que requiere poca corriente.

- Apto para protoboard, el uso de Dupont hembra/macho lo hace extremadamente conveniente para la creación de prototipos.
- LED indica su estado de funcionamiento.
- 3 terminales por relé (Micro JPM, 2022).

Figura 14. Módulo de relays de 8 canales.

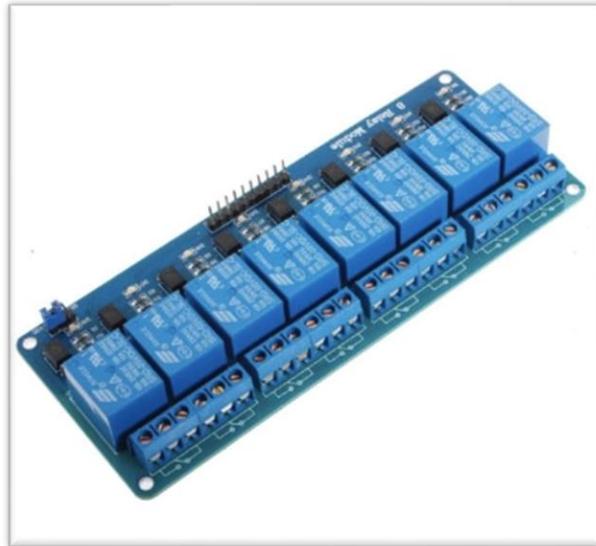


Imagen tomada de <https://www.microjpm.com/>

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

“La investigación es un esfuerzo que se emprende para resolver un problema, claro está, un problema de conocimiento” (Sabino, 2000, p. 47).

De acuerdo con la definición anterior, se deduce que una investigación nace de la falta de conocimiento para resolver un problema, así entonces para que una investigación sea exitosa es importante delimitar y tener claro que es lo que se quiere llegar a solucionar, con base a un planteamiento sólido del problema para abordar una pregunta investigativa y lograr concretar el objetivo principal de la investigación.

Se puede decir entonces que el presente proyecto busca solucionar un problema, implementando una solución práctica basada en una investigación multidisciplinaria. A continuación, se definen algunos aspectos importantes de esta investigación.

3.1.1 Enfoque de la Investigación

En el transcurso de la historia se han desarrollado diferentes corrientes de pensamiento para la obtención de conocimiento, sin embargo, en la actualidad debido a similitudes entre estos métodos, estas formas de pensamiento se han canalizado en dos grandes enfoques de investigación, y según el enfoque en cuantitativo y cualitativo. (Sampieri, 2014).

Ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento. En términos generales, estos métodos utilizan cinco estrategias similares y relacionadas entre sí. Grinnell (1997) define:

1. *Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.*
2. *Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.*
3. *Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.*
4. *Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.*
5. *Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar otras.*

Sin embargo, aunque las aproximaciones cuantitativa y cualitativa comparten esas estrategias generales, cada una tiene sus propias características Sampieri (2014, p.4).

Los dos grandes enfoques de la investigación tienen características muy marcadas así entonces el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis basándose en la medición numérica y la estadística, para poder establecer pautas de comportamiento y llegar a probar teorías. Por otro lado, la investigación cualitativa se basa en la recolección y análisis de los datos con lo cual se afinan las preguntas de investigación o generar nuevas interrogantes en el proceso de investigación (Sampieri, 2014).

Esta investigación pertenece al enfoque cuantitativo donde por medio de la recolección de datos en campo, para corroborar las hipótesis y la captura de los mismos por medio de mediciones numéricas y análisis estadísticos, se llega a establecer pautas de comportamiento y se prueban las teorías establecidas; además de eso cabe recalcar que se sigue un orden de ejecución establecido el cual no puede ser modificado.

3.1.2 Finalidad de la Investigación

Según Muñoz (2011), no existe una clasificación estándar para las investigaciones generada o impuesta por un ente educativo, sin embargo, el propone una clasificación basada en formas y niveles de la siguiente manera:

- *“Por su método de investigación.*
- *Por el tratamiento de su tema.*
- *Por la forma de recopilación y el tratamiento de su información.*
- *Por su nivel de estudios.*
- *De acuerdo con el enfoque de investigación.*
- *De acuerdo con el objetivo de estudio de la investigación.*
- *De acuerdo con la recopilación de los datos de la investigación.*
- *De acuerdo con el origen de la investigación” (Muñoz, 2011, p.13).*

Analizando cada una de las clasificaciones anteriores, se puede encasillar esta investigación según su método de investigación como una investigación práctica, ya que se recopilarán datos estadísticos y numéricos en el sitio, como por ejemplo tiempos de ejecución de labores, cantidad de cables preparados por un operario, horas hombre por proyecto entre otros. Y de acuerdo al origen de la investigación como tecnológica;

Las tesis clasificadas como investigación tecnológica son los trabajos de investigación cuyo interés y resultados se centran en la producción de satisfactores para la sociedad, por medio de la aplicación del conocimiento para la transformación de la realidad e innovación de la industria, el comercio, las tecnologías de información, las áreas ingenieriles, los equipos, programas y sistemas con la finalidad de generar soluciones en beneficio de una comunidad específica o de la población en general. (Muñoz, 2011, p.26).

Por lo tanto, por medio de la aplicación de la tecnología para esta investigación en concreto se busca, desarrollar una máquina capaz de automatizar el proceso de alistado de cable de control para la fabricación de tableros de automatización.

3.1.3 Dimensión Temporal

La dimensión temporal de una investigación hace referencia al periodo de tiempo en el que se recolecta la información, para llevar a cabo la investigación. Hernández Sampieri et al., 2014, clasifica la dimensión temporal de una investigación no experimental en dos tipos: transversales o longitudinales.

Los diseños de investigación transaccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede (Hernández Sampieri et al., 2014, p.154).

Para diseños longitudinales o evolutivas, Hernández Sampieri et al., 2014 establece que:

En ocasiones, el interés del investigador es analizar cambios al paso del tiempo en determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades, o bien, de las relaciones entre éstas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (p. 159).

Analizando las citas anteriores, se establece que la presente investigación pertenece a la dimensión temporal de tipo transversal, ya que se pretende llevar a cabo la automatización de un proceso actual, en un transcurso de tiempo definido en el cual se tomaran los datos y se realizará la implementación.

3.1.4 Marco de la Investigación

El marco de la investigación define tres niveles dentro de los cuales una investigación llega a causar un impacto.

Roger Kaufman describe estos niveles de la siguiente manera:

(Kaufman, 2004) describe el nivel mega como “el resultado de todo lo que una organización usa, hace, produce y logra – productos y outputs- con respecto a los clientes externos y el mundo exterior. Vincula todos los elementos organizacionales. (p. 117). En este nivel se espera que el impacto de la investigación trascienda fronteras y cause impacto a nivel general.

Asimismo (Kaufman, 2004), describe que el nivel macro: combina el nivel micro de contribuciones (productos) para poder lograr resultados útiles fuera de la organización para los clientes externos. La unidad de análisis del nivel macro es el total de lo que usa una organización usa, hace y logra para sí misma, así como también para sus clientes externos. No incluye resultados y consecuencias externas (p.118). Para este nivel el impacto solo beneficiará a una organización sin trascender más allá de esta.

Por último (Kaufman, 2004), establece que el nivel micro engloba el interés por las contribuciones acumulativas de los (a) recursos organizacionales (inputs) mas (b) los procedimientos y métodos (procesos) empleados en las actividades organizacionales que logran (c) resultados inmediatos (productos) (p.118). En este nivel, los resultados solo serán apreciados en un objetivo determinado.

La presente investigación se encuentra delimitada en el nivel micro, ya que busca implementarse una solución para un proceso específico.

3.1.5 Naturaleza de la Investigación

Según sea la naturaleza de la investigación, (Hernández Sampieri et al., 2014), se clasifica en dos enfoques: cualitativos o cuantitativos, cada uno con sus propias características.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (Hernández Sampieri et al., 2014, p.4).

Por otra parte, se afirma del enfoque cualitativo:

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven en primera instancia, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández Sampieri et al., 2014, p.7).

Para esta investigación se establece que el enfoque es del tipo cuantitativo, en el cual se recopilarán datos estadísticos y numéricos los cuales servirán para tomar decisiones y establecer ciertos criterios de programación para la automatización de un proceso.

3.1.6 Carácter de la Investigación

El alcance o carácter que se le dé a una investigación es importante, pues de este depende la estrategia de la investigación; así como el diseño, los procedimientos, y demás componentes del proceso serán distintos según el estudio sea exploratorio, descriptivo, experimental, explicativo o correlacional (Hernández Sampieri et al., 2014).

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. *“Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas”* (Hernández Sampieri et al., 2014, p.90).

De acuerdo con Hernández Sampieri et al., 2014:

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (p.92).

Asimismo, Hernández Sampieri et al., 2014 afirma que:

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (p.95).

Es decir, este tipo de estudio busca establecer el porqué de los hechos mediante relaciones causa-efecto. Para definir los estudios experimentales (Muñoz, 2011) escribe lo siguiente:

El objetivo de estas tesis es reproducir un fenómeno dentro de un ambiente específico de pruebas e ir modificando diferentes elementos para observar qué sucede con el

fenómeno. Desde luego, todo esto se realiza mediante un método formal de investigación con manipulación de variables experimentales en condiciones rigurosamente controladas para simular las posibles condiciones a las que se enfrentará el objeto de estudio (p.23).

Tomando en cuenta las citas anteriores, se deduce que esta investigación tiene un enfoque experimental, dado que por medio de la toma de datos y el desarrollo de pruebas en campo, se pretende llegar a desarrollar una solución electrónica que por medio de la automatización, logre llevar a cabo el proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL para la fabricación de tableros de control y automatización.

3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.2.1 Fuentes Primarias

Bounocore (1980), define a las fuentes primarias de información como *“las que contienen información original no abreviada ni traducida: tesis, libros, monografías, artículos de revista, manuscritos. Se les llama también fuentes de información de primera mano...”* (p.229).

3.2.2 Fuentes Secundarias

Bounocore (1980), las define como aquellas que *“contienen datos o informaciones reelaborados o sintetizados...”* (p.229).

En esta investigación se tomará información tanto de fuentes primarias como secundarias las cuales permitirán obtener información relevante y de calidad para respaldar los

diferentes interrogantes que vayan presentándose en la ejecución de la investigación, tanto para el proceso de implementación como para el proceso de documentación.

3.2.3 Sujetos de Información

De acuerdo con Cid et al. (2011): *“Cuando las fuentes de información son personas se les llama sujetos de investigación”* (p.85).

Según la cita anterior es posible tomar información de personas para aportar en la investigación; en este proyecto se pretende involucrar al personal a cargo del proceso en cuestión, para la toma de datos y opiniones relevantes que respalden la investigación. En la Tabla 2 se presentan los sujetos de información que colaboraron en esta investigación.

Tabla 2. Sujetos de información.

Nombre del colaborador	Puesto	Profesión u Oficio	Experiencia laboral	Relación con el tema
Roger Porras Vargas.	Gerente general.	Ingeniero eléctrico.	Más de 30 años en el área de generación eléctrica, electricidad industrial, automatización, proyectos.	Supervisión general de los productos y servicios que ofrece la empresa.
Didier Torres Marin.	Encargado del departameto de ensamble y servicio técnico.	Técnico electromecanico especializado en metalmeccanica y diseño planos.	15 años en ENERTROL en labores de diseño, fabricación y ensamble de equipos de control y automatización, ensamble, supervisión de proyectos y manejo de personal.	Supervisar el ensamble de los equipos y servicios que ofrece la empresa.
Mario Alfaro Fallas.	Técnico de ensamble y servicio técnico.	Técnico en electroteccnia.	5 años en ENERTROL como técnico de servicio y ensamble.	Ensamble de equipos y ejecución de servicios.
Daniela Jimenez Jiron.	Técnico de ensamble.	Técnico en electroteccnia.	2 años en ENERTROL como técnico de ensamble.	Ensamble de equipos.
Danny Mena Romero.	Técnico de ensamble y servicio técnico.	Técnico en electricidad.	7 años en ENERTROL como técnico de servicio y ensamble.	Ensamble de equipos y ejecución de servicios.
Vladimir Alvarez Somarribas.	Técnico de ensamble y electromecanico.	Técnico en electromecanico.	2 años en ENERTROL como técnico de ensamble y técnico electromecanico.	Ensamble y fabricación de equipos.

Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS

Al respecto, (Niño, 2011) establece que las técnicas *“se entienden como las operaciones, procedimientos, o actividades de investigación, por ejemplo, la observación y la entrevista. Algunos las llaman “métodos”, por cuanto se trata de procedimientos de investigación. Algunas veces, también se mencionan como los medios, o instrumentos de investigación”* (p.29) y también menciona que las herramientas *“son los elementos, o materiales que permiten la ejecución, o aplicación de las técnicas, como sería el cuestionario en la técnica de la encuesta”* (p.29).

En esta investigación se utilizarán técnicas y herramientas para facilitar la obtención de información las cuales serán una fuente confiable y exacta de información. Las técnicas a utilizar serán la observación y la aplicación de entrevistas las cuales se describen a continuación:

3.3.1 Observación

“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (Arias, 2012, p.69).

Por medio de la observación proactiva en el campo se pretende documentar el proceso en investigación; en este caso la etapa de preparación del cable de control para así tener una idea clara de cómo se desarrolla este proceso y de qué manera podría mejorarse, así mismo esto servirá en las etapas de diseño donde se requiera desarrollar una lógica de operación para la nueva implementación.

3.3.2 Entrevista

Una entrevista es una técnica de recolección de información basada en un diálogo “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado; con la cual se logra obtener la información requerida de un tema determinado. Este instrumento se caracteriza por su profundidad, ya que con él se puede indagar de manera más amplia sobre los diferentes aspectos o detalles de la investigación (Arias, 2012).

Aplicando esta herramienta para la obtención de información, se pretende formular una serie de preguntas al personal a cargo del proceso en investigación para generar información valiosa que le de credibilidad a la investigación.

3.4 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Definición de variables.

Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse, ejemplos de variables son el género, la presión arterial, el atractivo físico, el aprendizaje de conceptos, la religión, la resistencia de un material, la masa, la personalidad autoritaria, la cultura fiscal y la exposición a una campaña de propaganda política. El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Por ejemplo, la inteligencia, ya que es posible clasificar a las personas de acuerdo con su inteligencia; no todas las personas la poseen en el mismo nivel, es decir, varían en inteligencia. Otros ejemplos de variables son: el rendimiento de cierta especie de semilla, la eficacia

de un procedimiento de construcción, el tiempo que tarda en manifestarse una enfermedad y otros. En todos los casos se producen variaciones. Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría. En este caso, se les suele denominar constructos o construcciones hipotéticas. (Hernández Sampieri et al., 2014, p.105).

Respecto a la cita anterior hace referencia a que una variable es toda propiedad que posee un valor que puede llegar a medirse o apreciarse y que es propensa a cambios; además estas variables pueden ser aplicables a humanos u objetos, por lo tanto, en una investigación existen variables que pueden llegar a afectar de manera directa o indirecta los resultados de esta, haciendo importante que estas sean mapeadas. Para esta investigación se presenta en la Tabla 3, las variables del proyecto con respecto a un objetivo específico.

Tabla 3. Variables del proyecto.

Objetivo específico	Variable	Definición
Analizar cómo se desarrolla el proceso de alistado de cable para ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL.	Proceso de alistado de cable.	Observar y participar en el proceso de alistado de cable para ensamble de tableros en la empresa ENERTROL.
Realizar un mapeo de las posibles soluciones existentes en el mercado nacional para el proceso de alistado de cable de control.	Soluciones existentes en el mercado.	Realizar una búsqueda de equipos y herramientas para el alistado de cable de control.
Proponer una solución factible la cual permita mejorar el proceso de corte y crimpado de cable.	Solución planteada.	Desarrollar una solución completa por medio del uso de dispositivos electrónicos y mecánicos para el proceso de alistado de cable de control.
Seleccionar los componentes o dispositivos más adecuados para el desarrollo de la implementación.	Dispositivos para desarrollar el proyecto.	Analizar cuáles serían los componentes más apropiados para desarrollar la implementación.
Definir los procesos que ejecutará la máquina.	Procesos de ejecución en el dispositivo.	Establecer los procesos que realizará el nuevo dispositivo.
Diseñar una lógica de operación a nivel de software para el equipo.	Lógica de operación a nivel de software.	Desarrollar un programa a nivel de software que controle el funcionamiento del dispositivo a implementar.
Probar los diferentes procesos que la máquina va a implementar.	Variación de procesos durante las pruebas.	Realizar un análisis a nivel de software para diferentes escenarios de trabajo.
Construir un dispositivo con la solución planteada	El dispositivo.	Desarrollar un prototipo.
Probar el funcionamiento del equipo implementado.	Funcionamiento del dispositivo.	Realizar pruebas en campo y bajo condiciones reales.
Realizar un estudio de los tiempos de operación de la solución implementada.	Tiempos de operación.	Medir los tiempos de ejecución de procesos en la máquina.
Realizar un análisis costo beneficio de la implementación desarrollada para la empresa ENERTROL.	Viabilidad del proyecto.	Evaluación de la rentabilidad-factibilidad de la implementación del proyecto.
Realizar un manual de operación.	Instrucciones.	Desarrollar una guía de operación para el usuario.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Diseño de investigación.

Arnau (1995) define el diseño de investigación como *“un plan estructurado de acción que, en función de unos objetivos básicos, está orientado a la obtención de información o datos relevantes a los problemas planteados”*. (p. 27).

Se puede decir entonces que, el diseño de una investigación se define como una estrategia a seguir en la obtención de información importante, para la realización de una investigación, así mismo este define una guía de cómo y de qué forma se tomarán los datos.

Con base a la definición anterior, se establece que el diseño de investigación es una herramienta que le da estructura a la investigación, al darle orden con base a como se van ejecutando cada una de las etapas de desarrollo y recopilación de datos.

Para esta investigación en la Tabla 4, se especifica cómo se van a ir desarrollando cada uno de los objetivos propuestos en la investigación; además se implementó un cronograma de planificación del proyecto tanto para su etapa de documentación (Figura 15), como de desarrollo del dispositivo (Figura 16).

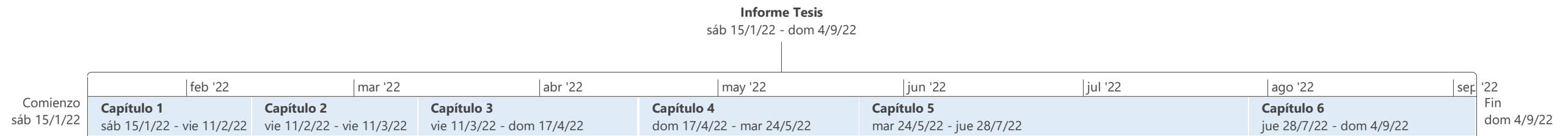
Tabla 4. Diseño de la investigación

Pregunta de la investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Método de Investigación	Técnicas y herramientas
¿De qué forma se podría llegar a desarrollar el trabajo de alistado de cable de control para el ensamble de tableros de automatización, de una forma automatizada con la cual se realice el proceso de manera rápida, segura y eficiente, con una mínima intervención del personal y de fácil operación, por medio de un dispositivo capaz de recibir y ejecutar parámetros establecidos por el usuario?	Desarrollar un equipo que automatice el proceso de corte y crimpado de cable de control utilizado en el ensamble de tableros de automatización, para la mejora de la producción de este tipo de productos que la empresa Enertrol S.A ofrece a sus clientes	Analizar cómo se desarrolla el proceso de alistado de cable para ensamble de tableros de automatización en la empresa Enertrol.	Proceso de fabricación y ensamble de tableros.	Inductivo.	Observación.
		Realizar un mapeo de las posibles soluciones existentes en el mercado nacional para el proceso de alistado de cable de control.	Soluciones existentes en el mercado.	Inductivo.	Observación Consulta.
		Proponer una solución factible la cual permita mejorar el proceso de corte y crimpado de cable.	Solución planteada.	Aplicado.	Tecnológico.
		Seleccionar los componentes o dispositivos más adecuados para el desarrollo de la implementación.	Dispositivos para desarrollar el proyecto.	Inductivo.	Consulta.
		Definir los procesos que ejecutara la máquina.	Procesos de ejecución en el dispositivo.	Aplicado.	Experimentación.
		Diseñar una lógica de operación a nivel de software para el equipo.	Lógica de operación a nivel de software.	Aplicado.	Experimentación.
		Probar los diferentes procesos que la máquina va a implementar.	Variación de procesos durante las pruebas.	Aplicado.	Tecnológico.
		Construir un prototipo con la solución planteada.	El prototipo.	Aplicado.	Tecnológico.
		Probar el funcionamiento del equipo implementado.	Funcionamiento del dispositivo.	Aplicado.	Experimentación.
		Realizar un estudio de los tiempos de operación de la solución implementada.	Tiempos de operación.	Sintetico.	Observación.
		Realizar un análisis costo beneficio de la implementación desarrollada para la empresa ENERTROL.	Viabilidad del proyecto.	Aplicado.	Tecnológico.
Realizar un manual de operación.	Instrucciones.	Inductivo.	Tecnológico.		

Fuente: Elaboración propia

3.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 15. Diagramas de líneas de tiempo de desarrollo del informe.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Diagramas de líneas de tiempo del desarrollo del prototipo.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Uno de los principales productos que ofrece la empresa Energía y Control (ENERTROL), es la fabricación de tableros para automatización y control, esto representa, según su gerente general el señor Roger Porras Vargas, más del 50% de la venta general mensual, “gracias a que ENERTROL cuenta con la maquinaria necesaria para fabricar sus propios tableros es posible desarrollar proyectos a la medida según las necesidades del mercado o los requerimientos de un cliente en específico”.(Sr. Porras, 2022)

Los tableros para automatización y control fabricados y ensamblados en la empresa ENERTROL, cubren aplicaciones en la industria, comercio y hogar y estos son comercializados desde una unidad en adelante, según lo solicite el cliente. De acuerdo con lo indica el departamento de ventas de la empresa en cuestión, “ los tableros más comercializados son los de aplicación para CCM (centro de control de motores), seguidos por los de aplicación específica y proyectos especiales; dentro de estos dos últimos se pueden mencionar tableros para sincronía de generadores, controles de luces, controles de bombas, paneles de distribución para media y baja tensión, inversores, transferencias eléctricas entre otros”.(Departamento de ventas, ENERTROL 2022)

Esta versatilidad de desarrollar diferentes tipos de proyectos, ha colocado a la empresa ENERTROL como un aliado de los ingenieros y empresas que necesitan fabricar y ensamblar tableros según sus necesidades, haciendo que este sea un mercado muy rentable para la compañía.

El proceso de ensamble de tableros de automatización y control no se encuentra documentado por la empresa ENERTROL, por lo que por medio de la observación en campo fue posible documentar este proceso, el cual lleva una serie de pasos que se repiten y se realizan como un proceso estandarizado en cada uno de los proyectos que se realizan en la empresa. A continuación, se mencionan cada una de estas etapas:

1. Definición del tipo de aplicación y proceso a realizar.
2. Selección de los componentes más adecuados.
3. Definición y diseño de la lógica de operación del equipo.
4. Diseño de un diagrama eléctrico de conexionado por medio de un software de diseño.
5. Diseño de un plano de distribución de los equipos en el tablero por medio de un software de diseño.
6. Confección o selección del gabinete eléctrico según el tipo de aplicación.
7. Colocación y distribución de los equipos en el tablero según el plano de distribución.
8. Colocación de los ductos de canalización en el tablero según el plano de distribución.
9. Colocación de dispositivos de señalización y operación en el tablero.
10. Preparación o alistado del cable control según el diagrama de conexionado.
11. Preparación o alistado del cable de potencia según el diagrama de conexionado.
12. Conexionado o proceso de cableado de los equipos.
13. Pruebas de funcionamiento.

Gracias a este método de obtención de información, es posible detallar que el proceso de fabricación de un tablero de control y automatización en la empresa ENERTROL tiene un total de trece etapas, pasando por el diseño, fabricación y ensamble del equipo hasta llegar a un producto terminado y funcional.

Es necesario indicar que cada una de las etapas antes mencionadas cumplen con una serie de subprocesos, este trabajo se enfoca en la etapa de alistado de cable de control la cual se detalla a continuación.

4.1.1 Preparación o alistado del cable control según el diagrama de conexionado.

A través de la observación en la ejecución de este proceso y una entrevista al encargado del departamento de ensamble de la empresa ENERTROL, el señor

Didier Torres fue posible detallar que este se divide en seis subprocesos, los cuales son:

1. Conteo de los cables a preparar, según el diagrama de conexionado.
2. Medición de los cables a cortar.
3. Corte de los cables según la longitud requerida.
4. Pelado del cable.
5. Crimpado del cable.
6. Etiquetado según diagrama eléctrico.

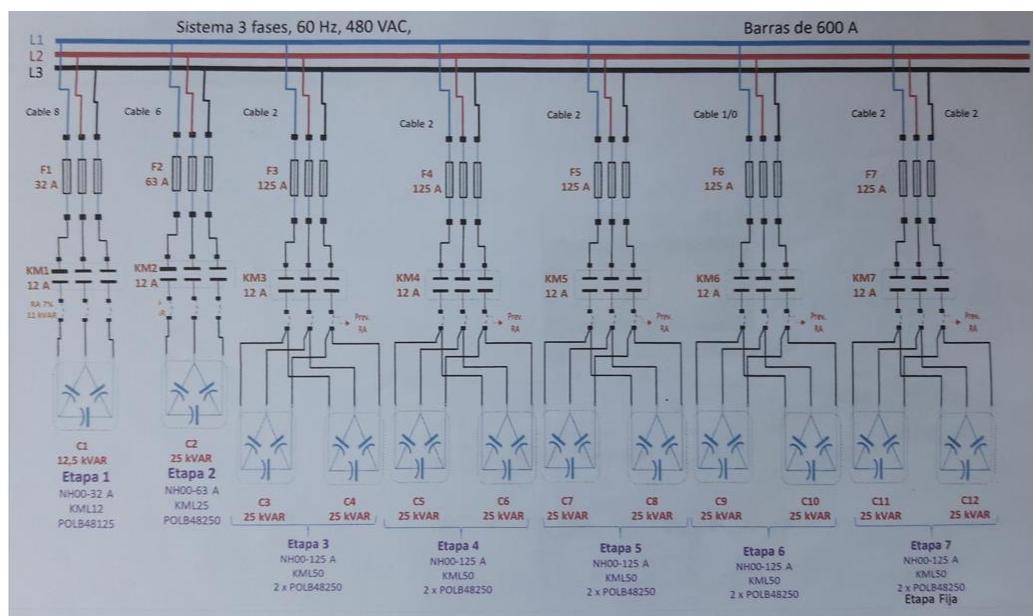
1. Conteo de los cables a preparar según el diagrama de conexionado.

En esta etapa el técnico analiza e interpreta el diagrama eléctrico, para determinar la cantidad de cables que se deben preparar para el conexionado de los dispositivos. La cantidad de cables es registrada y almacenada por el técnico en su libreta de apuntes.

En la Figura 17, se puede observar un diagrama eléctrico diseñado en la empresa ENERTROL para un banco de capacitores; nótese como se indican los puntos de conexión entre los dispositivos.

Figura 17. Diagrama eléctrico de un banco de capacitores

de la empresa ENERTROL



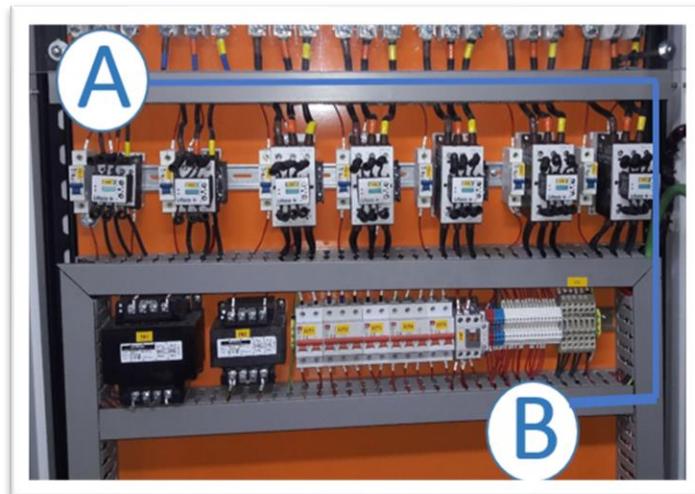
Fuente: Energía y Control, ENERTROL SA, 2022

2. Medición de los cables a cortar.

En este punto, el técnico ya tiene ensamblados los dispositivos y las canalizaciones en el panel según el diagrama de distribución, por lo que para medir los cables a cortar realiza una medición física con base al diagrama eléctrico, el cual le indica que dispositivos debe conectar y hacia qué punto debe llevarlos. Estas medidas también son documentadas por el técnico.

A modo de ejemplo en la Figura 18, se observa que se debe cablear un contactor del punto A hacia unas borneras en el punto B, por lo que es necesario realizar una medida entre esos dos puntos a través de los ductos de canalización.

Figura 18. Conexión de dispositivos en un tablero de control.



Fuente: Elaboración propia.

3. Corte de los cables según la longitud requerida.

Una vez mapeada la cantidad y longitud de los cables a preparar, el técnico mide y corta un primer cable que le servirá de muestra para cortar el resto, en este proceso se debe jalar la punta del rollo de cable para comparar con la muestra y realizar el corte.

En la Figura 19, puede observarse como el técnico por medio de la muestra va jalando el extremo del rollo de cable, lo compara con la muestra y lo corta.

Figura 19. Subproceso de medición y corte del cable de control.

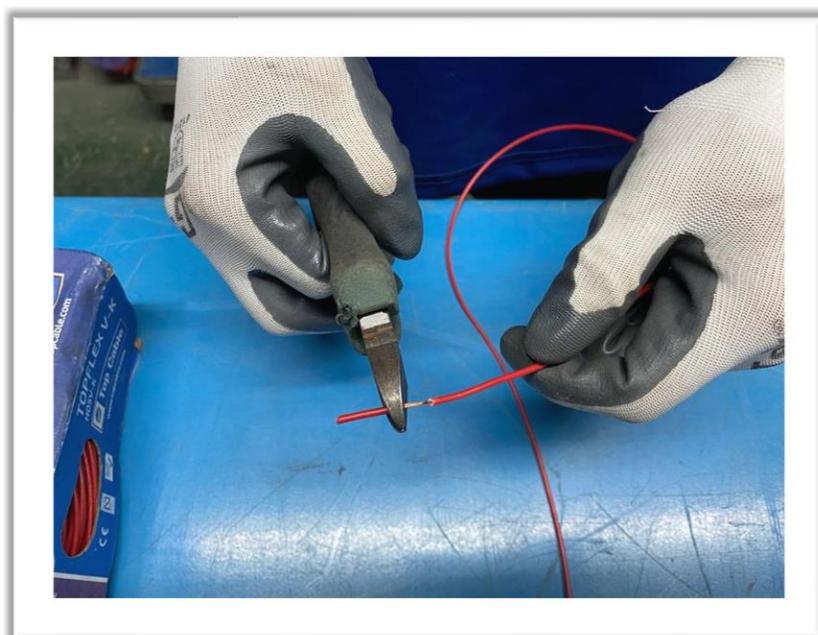


Fuente: Elaboración propia.

4. Pelado del cable.

En esta etapa cada uno de los extremos del cable es pelado a una distancia aproximada de cinco milímetros, este proceso requiere realizar una muesca por medio de la cortadora, para luego jalar y dejar el cable desnudo como se observa en la Figura 20.

Figura 20. Subproceso de pelado del cable de control.

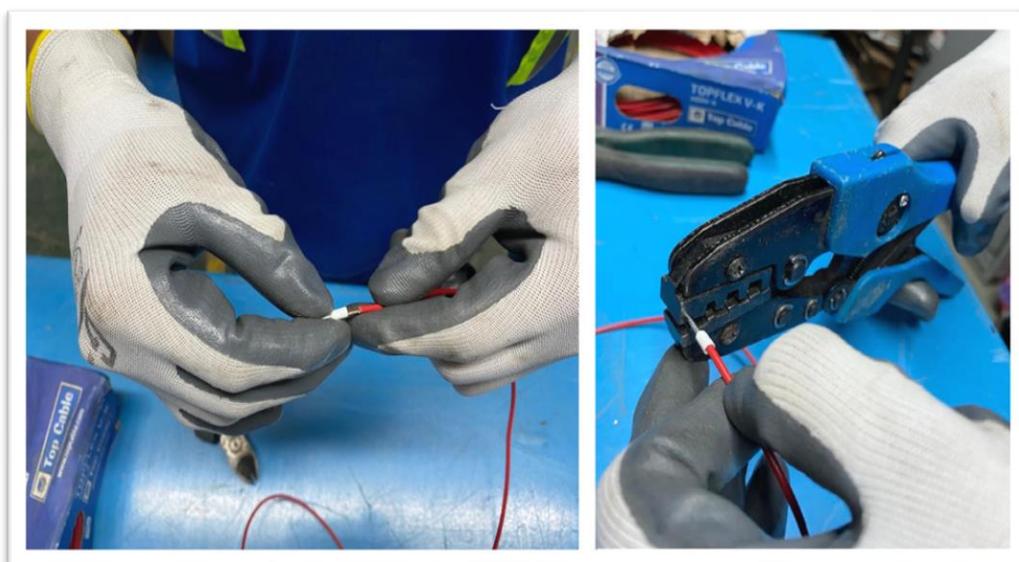


Fuente: Elaboración propia.

5. Crimpado del cable.

El proceso de crimpado es realizado por medio de una ponchadora manual, con lo cual primero es necesario introducir la terminal de pin hueco en el cable y luego colocar ambos elementos en la ponchadora, para luego realizar presión y realizar el crimpado. En la Figura 21 se observa este proceso.

Figura 21. Subproceso de crimpado del cable de control



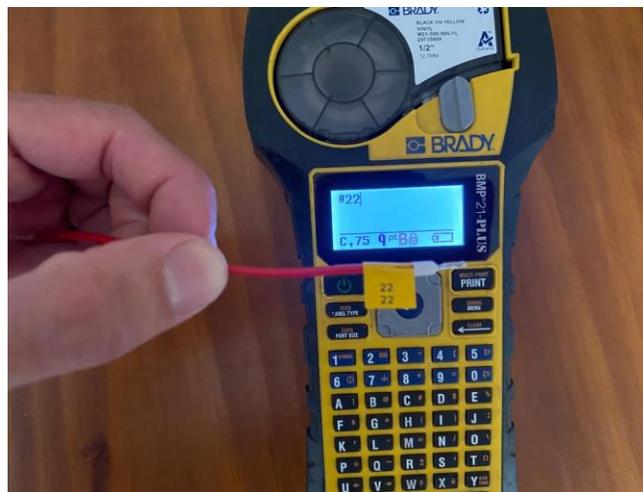
Fuente: Imagen de edición propia tomada en las instalaciones de ENERTROL.

6. Etiquetado según diagrama eléctrico.

En el diagrama eléctrico además de indicarse los puntos de conexión también se indica una nomenclatura la cual se utiliza para identificar los cables en un tablero, esto con el fin de facilitar futuras revisiones o modificaciones.

Este proceso se realiza por medio de una impresora dedicada en la cual se digitan e imprimen las nomenclaturas, las cuales deben ser adheridas al cable de forma manual como se aprecia en la Figura 22.

Figura 22. Subproceso de etiquetado del cable de control



Fuente: Elaboración propia.

Según la información suministrada por el encargado del departamento de ensamble de la empresa ENERTROL, el señor Didier Torres, dependiendo del tipo de tablero a ensamblar y la cantidad de unidades del mismo, el personal a cargo del proceso de alistado de cable de control, puede pasar varios días dedicado solo a esta labor y al ser este un proceso manual el cual depende de la habilidad y experticia del personal, se tienden a dar variaciones en los tiempos estimados de entrega de un proyecto, afectaciones a nivel de salud y seguridad laboral en el personal debido a los movimientos repetitivos y las malas posturas. Además de lo anterior, el señor Torres menciona que es común que se presenten pérdidas de insumos por una mala ejecución en la labor de alistado de cable de control en proyectos grandes.

4.1.2 Estudio de tiempos de ejecución en el proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL.

Como parte de la toma de información en el proceso de alistado de cable control en la empresa ENERTROL, se desarrolló un estudio de tiempos en campo para uno de los proyectos habituales desarrollados en la empresa, en el cual se fabricaron cinco tableros de aplicación CCM para la automatización de granjas dedicadas a la cría de pollos para consumo humano.

Según el departamento de ingeniería y diseño de la empresa ENERTROL, este tipo de tableros tienen la función de almacenar los actuadores mecánicos (contactores y relays), encargados de activar los motores que manejan diferentes dispositivos en la granja como cortinas de ventilación, bombas de agua, dosificadores de alimento, ventiladores y extractores, así como luces y alarmas.

Para este tipo de tablero, el departamento de ingeniería indicó en el diagrama eléctrico de control, que se deben preparar cincuenta cables de control con una longitud de un metro esto por tablero, para interconectar los dispositivos dentro del panel. En la recolección de información se utilizó la observación en campo para registrar los tiempos en el proceso de alistado del cable de control, estos resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL en tableros de aplicación CCM para granja avícola.

Proceso de alistado de cable de control en la empresa Enertrol, en tableros de aplicación CCM para granja avícola						
Subproceso	Fecha	Hora de inicio	Hora de finalización	Cantidad de horas invertidas	Total de cables preparados	Cantidad de cables preparados por minuto
Corte de cables	4/4/2022	8:00am.	8:40am	40 min	50 unidades	1,25 unidades
Pelado de cables	4/4/2022	9:00am	9:20am	20 min	50 unidades	2,5 unidades
Crimpado de cables	4/4/2022	9:30am	10:00am	40 min	50 unidades	1,25 unidades
Etiquetado de cables	4/4/2022	10:00am	11:00md	1 H	50 unidades	0,83 unidades

Fuente: elaboración propia.

Observando los resultados presentados en la Tabla 4, puede indicarse que el tiempo total requerido para preparar cincuenta cables con una longitud de un metro es 2 horas 40 minutos; si se elimina el proceso de etiquetado no contemplado en este proyecto, el tiempo de alistado es de 1 hora 40 minutos, tiempo que más adelante se puede comparar con la implementación de la máquina.

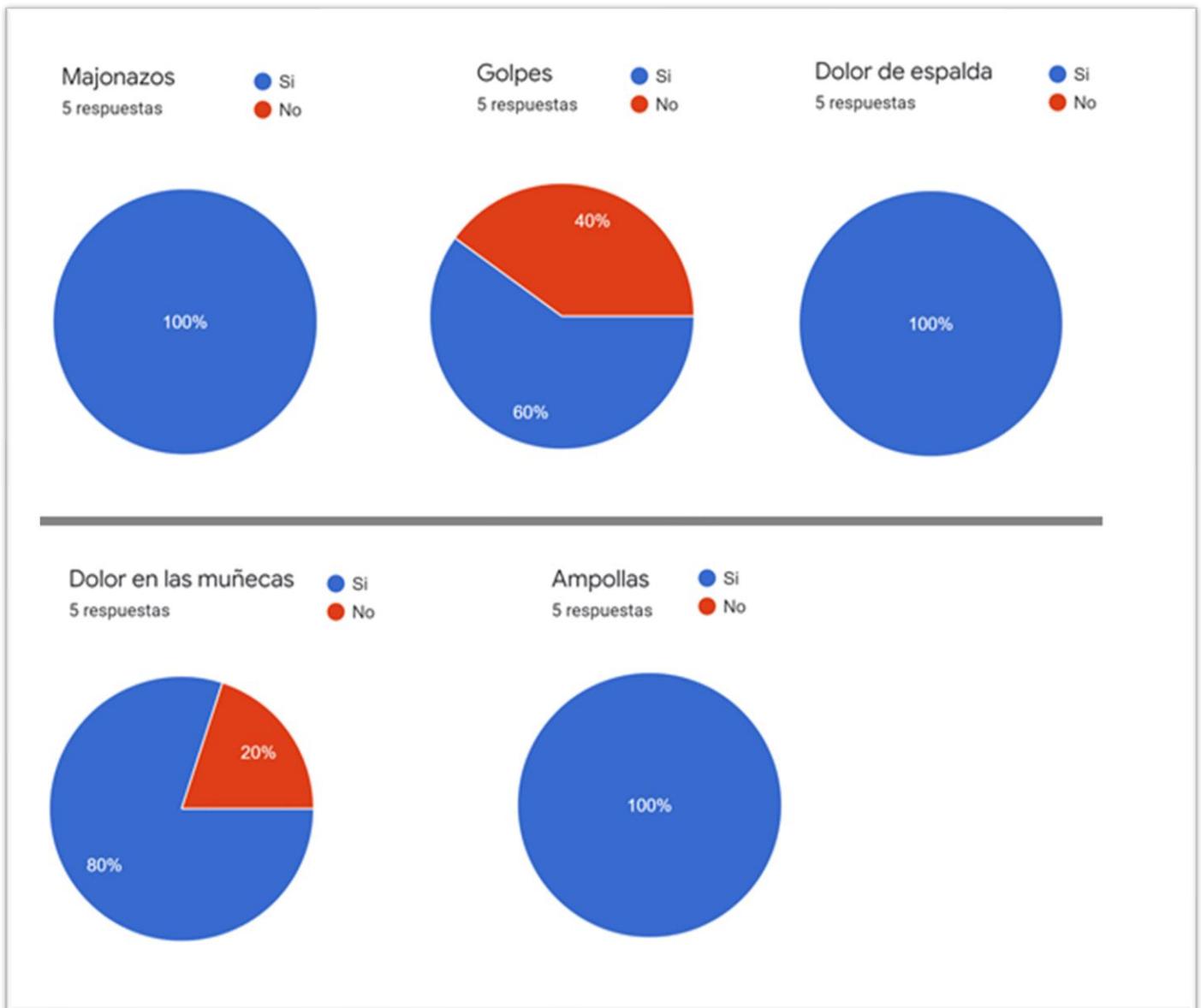
4.1.3 Problemas a nivel de salud ocupacional en el proceso de alistado de cable de control para ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL.

Durante la observación en campo se detectaron ciertos problemas a nivel de salud ocupacional que afectan al personal que realiza esta labor, esto se ratificó consultándole directamente a los técnicos y al encargado del departamento.

Según el encargado el señor Torres los problemas más comunes presentados durante el proceso de alistado de cable van desde majonazos, golpes, dolores de espalda, dolor en las muñecas y ampollas. (abril, 2022).

Gracias a esta información fue posible realizar una encuesta para recopilar información estadística de estos eventos, en el personal técnico a cargo del proceso de alistado de cable de control, en la Figura 23 se presentas los resultados de la encuesta.

Figura 23. Estadísticas de problemas a nivel de salud ocupacional en el proceso de alistado de cable de control.



Fuente: Elaboración propia.

El dato estadístico mostrado en la Figura 23, arroja los resultados obtenidos en la encuesta realizada al personal técnico de la empresa ENERTROL, compuesto por cinco técnicos. Según la información suministrada, se puede definir entonces que los problemas más frecuentes son los dolores de espalda, majonazos y ampollas los cuales afectan al cien por ciento del personal, seguido por los golpes y dolores en las muñecas, por lo que a la fecha no se ha tenido reporte de alguna otra afectación.

El personal técnico indica que estos problemas se dan principalmente cuando tienen que preparar grandes cantidades de cable, debido a los movimientos repetitivos y

al área de trabajo la cual no es adecuada, provocando que el personal opere en condiciones incómodas; sin embargo, esta labor es llevada habitualmente ya que constituye una operación de rutina indispensable para la continuidad del negocio y cumplir así la demanda de trabajo.

Y es que, basados en la Guía para la realización del Programa de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional de Costa Rica (CSO, 2017), el cual es de acatamiento obligatorio por las empresas, se puede afirmar la necesidad del establecimiento de controles.

Con los datos obtenidos en la encuesta anterior, se le consultó a la ingeniera en Salud y Seguridad ambiental la señorita Gabriela Mata colaboradora de la empresa acerca de estas afectaciones, con lo cual realizó un análisis basado en los riesgos ocupacionales, donde primeramente se definieron los valores de referencia para la interpretación de los resultados obtenidos, quedando de la siguiente manera:

Tabla 6. Valores para definir el riesgo.

Valores para definir el riesgo						
PROBABILIDAD		GRAVEDAD (IMPACTO)				
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
		1	2	3	4	5
MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
ALTA	4	4	8	12	16	20
MEDIA	3	3	6	9	12	15
BAJA	2	2	4	6	8	12
MUY BAJA	1	1	2	3	4	5

	Riesgo muy grave. Requiere medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proyecto sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.
	Riesgo importante. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proyecto.
	Riesgo apreciable. Estudiar económicamente si es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.
	Riesgo marginal. Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.

Fuente: Análisis de los riesgos ocupacionales en el proceso de alistado de cable de control por la Ingeniera Gabriela Mata.

Se definen los valores que se le dan a la probabilidad de ocurrencia o de materialización de los riesgos presentes, así como el nivel de gravedad de los eventos. Con base en la multiplicación de los dos factores, se establece un criterio de gravedad, lo que guía, de manera simple, a la toma de decisiones y brinda un carácter de urgencia de tomar medidas de control en función del resultado obtenido. Ahora bien, con base en los valores que se otorgaron, cada uno de los riesgos debe ser analizado de manera objetiva y aplicarle la metodología ya descrita, a continuación, en la Tabla 7

, Matriz de Riesgos:

Tabla 7. Matriz de Riesgos.

MATRIZ DE RIESGOS				
RIESGO	Probabilidad (Ocurrencia)	Gravedad (Impacto)	Valor del Riesgo	Nivel de Riesgo
Majonazos	4	3	12	Importante
Golpes	4	4	16	Muy grave
Dolor de espalda	4	4	16	Muy grave
Dolor de muñeca	4	4	16	Muy grave
Ampollas	3	2	6	Apreciable

Fuente: Análisis de los riesgos ocupacionales en el proceso de alistado de cable de control por la Ingeniera Gabriela Mata.

Como se observa en la Tabla 7, se tienen tres riesgos muy graves, con una necesidad de intervención urgente. Esto se debe a que la probabilidad de ocurrencia se encuentra en altos valores al ser tareas tan repetitivas y el impacto que esto genera en los funcionarios es totalmente relevante, pudiendo así tener afectaciones inclusive monetarias si se requiere la inclusión de estos eventos ante la póliza de riesgos del trabajo del Instituto Nacional de Seguros de Costa Rica (INS).

Adicional, se cuenta con dos riesgos con una calificación más baja, no obstante, la seguridad no es negociable, por lo que también deben ser abordados con algún mecanismo de control que proporcione seguridad a la hora de realizar las tareas.

Con relación a las afectaciones ergonómicas, que corresponden al dolor de muñecas y de espalda, cabe destacar que, según datos del Consejo de Salud Ocupacional de Costa Rica, para el año 2021 se registran 7429 accidentes ocasionados por esfuerzos físicos, lo que ratifica la importancia a nivel legal de establecer sistemas de automatización de procesos cuya ejecución signifique así un riesgo para los técnicos (Sánchez et al., 2022). Las dos afectaciones previamente indicadas se presentan bajo la clasificación de afectaciones a causa de posturas incómodas, posturas forzadas, aplicación excesiva de fuerza y movimientos repetitivos que la tarea requiere al hacerse mediante procesos manuales. Analizando el proceso tal cual se realiza actualmente, hay pocas medidas de seguridad que puedan aplicarse y eliminen los riesgos, dado que, habría que aumentar los plazos de ejecución y aumentar la cantidad de personas que llevan a cabo estas actividades, resultando así en una desventaja en la producción.

Por otra parte, también con datos del CSO (Programa de Salud Ocupacional del Consejo de Salud Ocupacional de Costa Rica), se cuenta con que un 12% de los accidentes reportados al INS (Instituto Nacional de Seguros) para el año 2021, corresponden a golpes, lo que eleva la atención a los tres tipos de afectaciones más recurrentes para los técnicos de ENERTROL. Para el caso de los majonazos y ampollas, pese a que no se encuentran con grados de consecuencias altos, la continua ocurrencia de estos no deja de lado el que deban ser eliminados.

Tomando en cuenta que la empresa debe adoptar acciones orientadas a la prevención de incidentes y accidentes laborales, se puede tomar como referencia alguna metodología de abordaje. Dentro de la jerarquía de controles de riesgos laborales, la primera y segunda opción se basan en eliminar y sustituir el riesgo, pasos que, dada la operación de la compañía, no son viables, por lo que aplica el tercer principio basado en los controles ingenieriles de procesos, estableciendo así equipamiento especializado, como el presente proyecto, para delimitar de manera bastante clara, el nivel de exposición de los colaboradores encargados del proceso.

Los controles ingenieriles se basan en la aplicación de tecnologías o mecanismos donde, basados en un estudio general de las tareas que generan los riesgos, se procede a, de manera proactiva, procurar la continuidad del negocio de la mano con la protección y establecimiento de condiciones de trabajo seguras. En este aspecto, al automatizar parte de un proceso que tiene un alto potencial de generación de incidentes, accidentes o enfermedades laborales, se cuenta con una aplicación primordial de los principios de seguridad laboral que la legislación laboral costarricense busca y así garantizar, a su vez, aspectos como continuidad del negocio, eficacia en tiempos de ejecución y mejora continua.

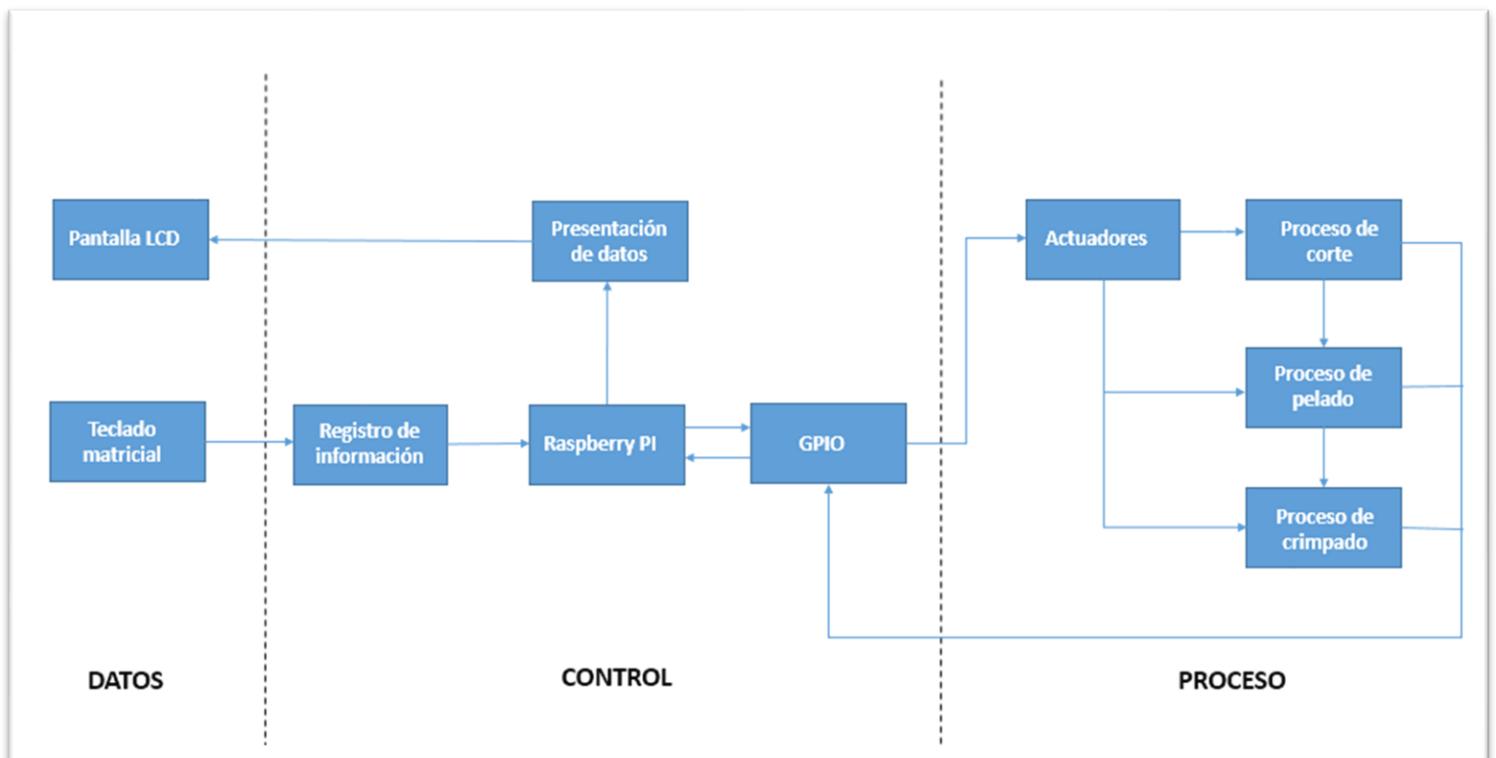
4.1.4 Resumen de la situación actual.

El proceso de alistado de cable de control para tableros de control y automatización en la empresa ENERTROL, se desarrolla de forma completamente manual por medio del uso de herramientas mecánicas convencionales. El proceso se realiza en un área no adecuada e involucra movimientos manuales repetitivos lo cual afecta la salud del personal.

Por otro lado, resulta difícil para el departamento de diseño e ingeniería contabilizar de forma precisa la cantidad de cable y terminales utilizadas en el crimpado, debido a errores cometidos en el proceso, lo cual produce costeos deficientes en los proyectos de fabricación y ensamble de tableros.

4.2 ENFOQUE PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO

Figura 24. Diagrama del prototipo propuesto



Fuente: Elaboración propia

La implementación y el diseño del proyecto se basa en el diagrama de prototipo mostrado en la Figura 24, el cual se divide en tres etapas;

1. Datos.
2. Control.
3. Proceso.

A continuación, se describen cada una de las etapas:

1. Datos

La etapa de datos le permite al usuario comunicarse con la máquina por medio de una pantalla y un teclado para recibir y enviar información, la cual es interpretada por el controlador. Los parámetros a configurar serán la longitud y cantidad de cables a preparar, así mismo el controlador enviará al usuario alarmas y otros detalles del proceso.

2. Control

En la etapa de control el microcontrolador procesa la información ingresada por el usuario y ejecuta la lógica de secuencia del programa, en la cual se envían señales a los actuadores por medio de las entradas y salidas programables (GPIO).

3. Proceso

Durante la última etapa de proceso, se ejecuta el trabajo mecánico por medio de los actuadores los cuales activan los motores y mecanismos dedicados a realizar el corte, pelado y crimpado del cable.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

La propuesta de implementación, consiste en una máquina que permita automatizar el proceso de alistado de cable de control para el ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL. La implementación se realizará con el uso de la electrónica como dispositivo principal de control por medio de un microprocesador, el cual será el encargado de recibir e interpretar información para luego por medio de actuadores ejecutar los diferentes procesos de alistado del cable.

Para determinar los procesos a implementar y la lógica de operación del equipo, se procedió a realizar un trabajo de observación con lo cual se tomaron datos del proceso de alistado de cable y se obtuvo la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Con base a la información obtenida, se establecieron los parámetros necesarios para la operación de la máquina como lo son la longitud y la cantidad de cables a preparar, dichos parámetros serán ingresados al sistema por medio de un teclado físico y presentados al usuario en una pantalla LCD.

Se pretende que con la construcción e implementación de este proyecto, se beneficie a la empresa ENERTROL, mejorando factores como; tiempos de ejecución del proceso, precisión, mejorar los costos de un proyecto y garantizar la salud y seguridad del personal.

Una vez delimitado el proyecto y estando de acuerdo el personal y encargados de la empresa, se procede a dar inicio al prototipo el cual es de mucho interés para la compañía.

5.2 Análisis y selección de las etapas a automatizar en el proceso de alistado de cable de control.

Como se mencionó en el Capítulo 4, a partir del método de observación en campo, se logró definir que el proceso de alistado de cable de control está compuesto por seis etapas. La selección de las etapas a automatizar por medio del nuevo dispositivo se realizó mediante el análisis de la ejecución de cada una de estas. En la Tabla 8 se resume el tipo de ejecución y los equipos e insumos requeridos en cada una de las etapas.

Tabla 8. Resumen de las etapas del proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL.

Número de Etapa	Descripción	Ejecución	Equipos e insumos
1	Conteo de los cables a preparar según el diagrama de conexionado eléctrico	1.1 Observar e interpretar el diagrama eléctrico 1.2 Anotar la cantidad de cables requeridos.	Diagrama eléctrico.
2	Medición de los cables a cortar.	2.1 Medir físicamente entre dos puntos del tablero según el diagrama eléctrico. 2.2 Cortar un cable con la longitud requerida para ser utilizado como muestra	Cable, diagrama eléctrico, cortadora.
3	Corte de los cables según la longitud requerida.	3.1 Cortar la cantidad de cables requeridos con base a la longitud del cable de muestra.	Cable, cortadora.
4	Pelado del cable.	4.1 Realizar una muesca en cada uno de los extremos del cable. 4.2 Realizar presión y retirar la muesca para pelar el cable.	Cable, peladora.
5	Crimpado del cable.	5.1 Introducir terminal de pin hueco en las puntas del cable pelado. 5.2 Introducir el cable con su terminal en la ponchadora y realizar presión para crimpar.	Cable, pin hueco, ponchadora.
6	Etiquetado según diagrama eléctrico	6.1 Imprimir nomenclaturas con la etiquetadora para cada uno de los cables. 6.2 Colocar etiqueta en cada una de las puntas del cable contiguo a la terminal de pin hueco.	Cable crimpado, etiquetadora de cable.

Fuente: elaboración propia.

Con base a la ejecución de las seis etapas del proceso de alistado de cable de control en la empresa Enertrol, se decidió que las etapas a automatizar son aquellas que poseen algún tipo de ejecución con herramienta mecánica, como lo son las etapas 2-3-4-5, las cuales involucran medición, corte, pelado y crimpado, dejando por fuera la etapa 1 que requiere observación e interpretación de un diagrama y la etapa 6 la cual se realiza con un equipo dedicado a esa función.

De esta forma los procesos a implementar por la máquina son:

- Medición
- Pelado
- Corte
- Crimpado

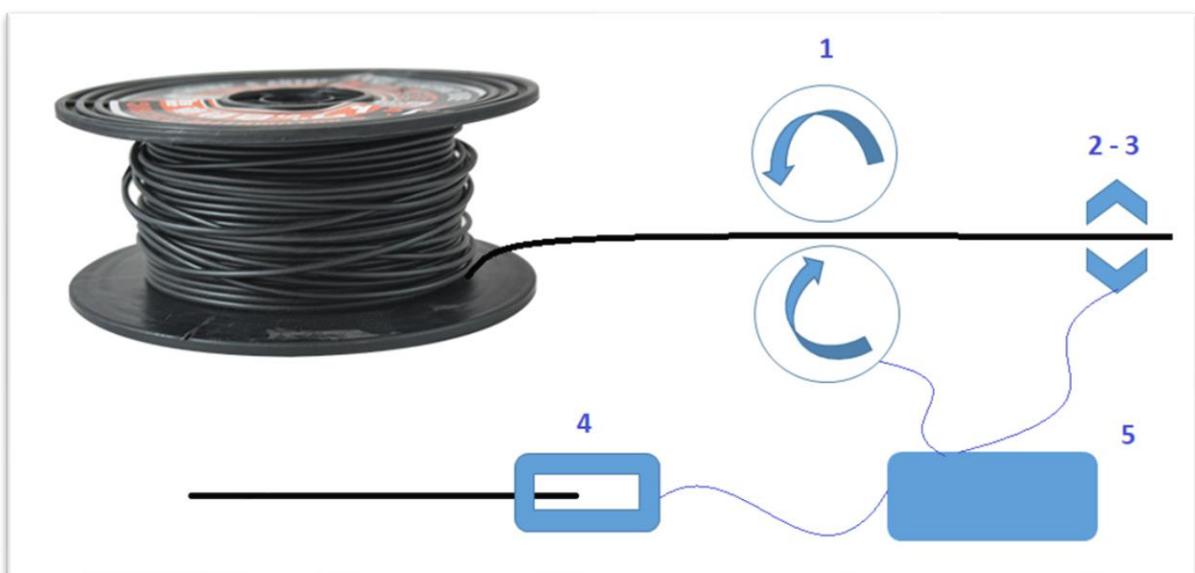
5.3 Diseño de operación de la máquina.

Para el diseño de operación de la máquina, se creó un diseño general de operación tomando como base el desarrollo manual del proceso. El funcionamiento de la máquina se basará en automatizar los procesos de medición, pelado, corte y crimpado por medio del desarrollo y adaptación de mecanismos con motores que simulen los movimientos que realizan los técnicos cuando están desarrollando el proceso de forma manual.

En la Figura 25, se plantea el diseño general de operación de la máquina con cinco componentes los cuales se describen a continuación:

1. Mecanismo de medición y transporte del cable.
2. Mecanismo para realizar muesca para pelado del cable.
3. Mecanismo para corte del cable.
4. Mecanismo para crimpado del cable.
5. Unidad de control principal.

Figura 25. Diseño de operación general de la máquina.



Fuente: Elaboración propia

La operación de los mecanismos de pelado, corte y transporte de cable serán operados por un controlador principal, mientras que el mecanismo de crimpado estará ligado al controlador, sin embargo, trabajará de forma semiautomática, ya que su accionamiento dependerá de una señal del operario en este caso por medio de un pedal de accionamiento.

La máquina será capaz de entregar una cantidad de cables cortados a la medida, con una longitud definida y con las muescas de pelado, permitiendo al usuario retirar fácilmente los sobrantes de pelado y colocar la terminal de pin hueco, para luego realizar el proceso de crimpado de forma asistida por medio del mecanismo de crimpado.

5.4 Diseño de la lógica de operación de la máquina a nivel de software con el controlador.

Se pretende que el funcionamiento de la máquina a nivel de software inicie con una presentación de bienvenida en pantalla, seguidamente el controlador revisa que no se encuentren alarmas presentes e indica que el sistema esta ok con una luz verde de señalización, luego se solicitan datos al usuario como la cantidad de cables a preparar y la longitud de los mismos.

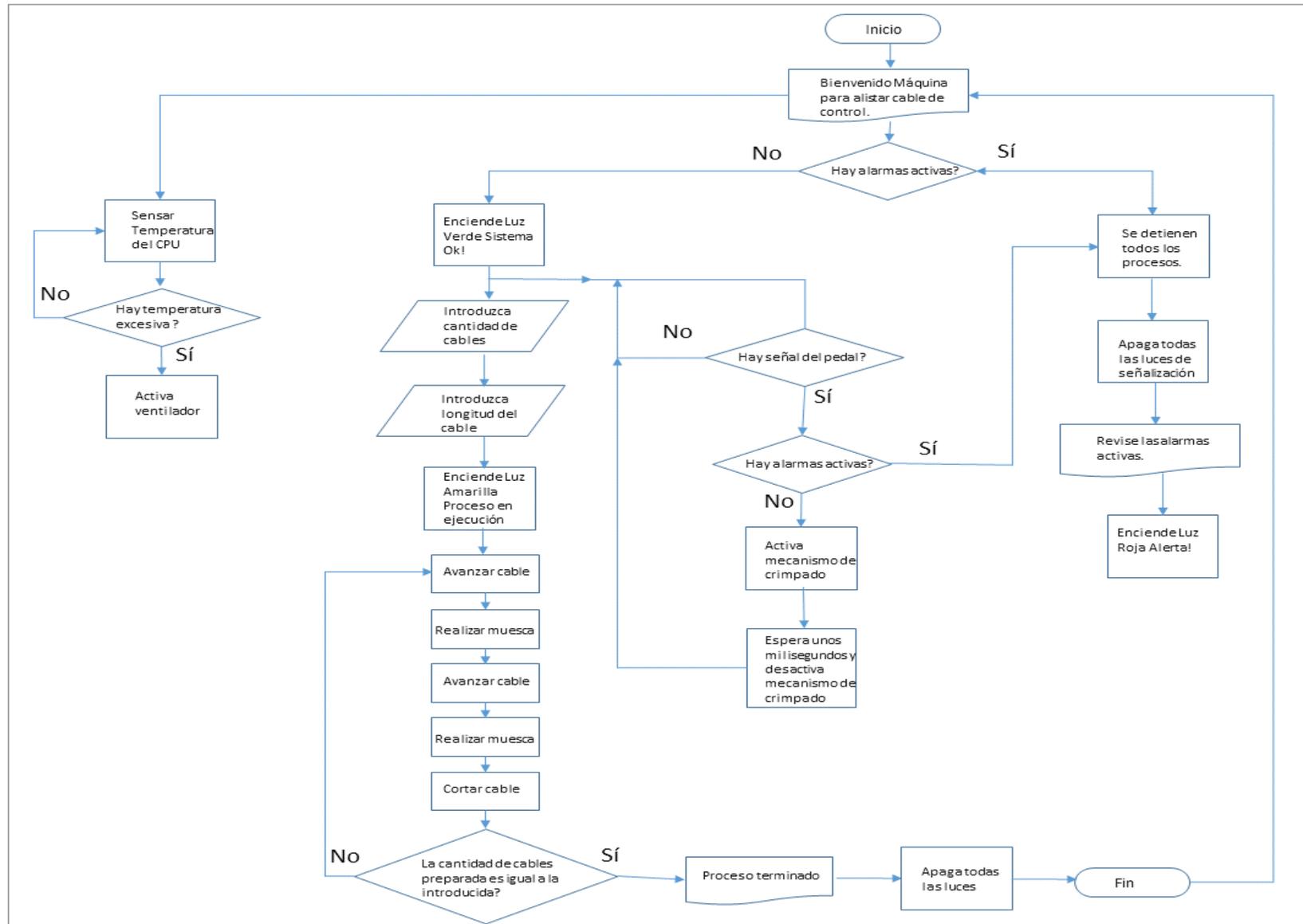
Una vez el microprocesador tiene estos datos y no hay alarmas, comienza a operar los actuadores que a su vez realizan los procesos mecánicos de medición, pelado y corte, durante este proceso una luz amarilla enciende indicado que hay un proceso ejecutándose.

Durante todo el proceso el controlador estará pendiente del registro de alguna alarma como un final de carrera de una barrera o el accionamiento de un paro de emergencia, si esto sucede se detiene el proceso, se indica en pantalla y se encenderá una luz roja,

El programa ejecutará el proceso de crimpado simultáneamente a los otros procesos, ya que conforme los cables entregados por la máquina vayan saliendo, el usuario puede ir realizando el crimpado; en este caso el controlador recibe la señal de crimpado del usuario por medio de un pedal e inmediatamente acciona el mecanismo de crimpado, una vez transcurrido un tiempo el controlador procede a abrir la crimpadora.

Cuando los procesos terminen se indicará en pantalla "Proceso Terminado" se apagará la luz amarilla de ejecución de proceso y el programa quedará a la espera de nuevos datos. En la Figura 26, se muestra el diagrama de flujo del programa.

Figura 26. Diagrama de flujo para la programación del controlador de la máquina.



Fuente: Elaboración propia.

5.5 Selección de los componentes más adecuados para el desarrollo de la máquina.

Como criterios para la de selección de los componentes más adecuados para el proyecto se consideró: precio, calidad, conocimiento del dispositivo y disponibilidad.

En la Tabla 9, se presentan los componentes seleccionados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 9. Componentes seleccionados para el proyecto.

N. Dispositivo	Requerimiento	Dispositivo seleccionado	Criterio de selección	Cantidad requerida	Imagen
1	Unidad de control principal	Ordenador de placa reducida Raspberry Pi versión 4B.	1.1 Conocimiento y trabajo con el equipo durante los cursos de carrera. 1.2 Versatilidad, bajo precio, tamaño adecuado, estabilidad 1.3 Características eléctricas adecuadas para el proyecto. 1.4 Lenguaje de programación actual.	1	
2	Chasis o gabinete	Gabinete fabricado a la medida del proyecto.	2.1 Equipo fabricado en la empresa Enertrol según las dimensiones del proyecto.	1	
3	Ventilación	Abanico de 15 x 15 cm, 240 VAC.	3.1 Equipo suministrado por la empresa Enertrol	1	
4	Mecanismo para arrastre de cable	Motor DC de arrastre de alambre para soldadura MIG.	4.1 Facil adaptación y modificación para arrastrar cable de control.	1	
5	Mecanismo para corte, pelado y crimpado de cable	Motor síncrono monofásico de 220VAC con reductor.	5.1 Alto torque. 5.2 Tamaño adecuado. 5.3 Facilitado por la empresa Enertrol. 5.4 Adaptación	2	
6	Cortadora y peladora	Cortadora-peladora manual convencional para cable de control.	6.1 Dureza 6.2 Filo 6.3 Adaptabilidad a un mecanismo 6.4 Precio	1	
7	Crimpadora	Crimpadora manual convencional para cable de control.	7.1 Dureza 7.2 Adaptabilidad a un mecanismo 7.3 Precio	1	
8	Presentación de datos	Pantalla LCD 2 x16, con comunicación I2C.	8.1 Precio 8.2 Tamaño 8.3 Disponibilidad	1	
9	Introducción de datos	Teclado matricial de membraba 4 x4.	9.1 Precio 9.2 Tamaño 9.3 Disponibilidad	1	
10	Dispositivos de señalización	Leds convencionales.	10.1 Tamaño 10.2 Adaptabilidad	3	

Continuación de la Tabla 9. Componentes seleccionados para el proyecto.

N. Dispositivo	Requerimiento	Dispositivo seleccionado	Criterio de selección	Cantidad requerida	Imagen
11	Dispositivos de protección	Paro de emergencia.	11.1 Tamaño 11.2 Adaptabilidad 11.3 Disponibilidad 11.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	2	
12	Control de potencia	Modulo de relays de 8 canales para Raspberry Pi.	12.1 Tamaño 12.2 Adaptabilidad 12.3 Precio	1	
13	Fuente 12VDC	Fuente regulable de 12 VDC	13.1 Tamaño 13.2 Adaptabilidad 13.3 Precio	1	
14	Fuente 5VDC	Fuente fija 5 VDC	14.1 Tamaño 14.2 Adaptabilidad 14.3 Precio	1	
15	Cableado interno	Cable de control 0.75mm	15.1 Flexibilidad 15.2 Disponibilidad 15.3 Características eléctricas	40 mts	
16	Accionamiento mecánico manual	Pedal convencional con final de carrera	16.1 Tamaño 16.2 Adaptabilidad 16.3 Precio	1	
17	Transformador 120~240VAC	Transformador CH 120~240VAC	17.1 Tamaño 17.2 Adaptabilidad 17.3 Disponibilidad 17.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	1	
18	Regletas de conexión	Borneras dobles de 2.5mm	18.1 Tamaño 18.2 Adaptabilidad 18.3 Disponibilidad 18.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	25	
19	Dispositivos de protección	Mibreaker 1 polo 6 amperios	19.1 Tamaño 19.2 Adaptabilidad 19.3 Disponibilidad 19.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	1	
20	Dispositivos de protección	Mibreaker 2 polo 6 amperios	20.1 Tamaño 20.2 Adaptabilidad 20.3 Disponibilidad 20.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	1	
21	Dispositivos de protección	Final de carrera	21.1 Tamaño 21.2 Adaptabilidad 21.3 Disponibilidad 21.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	1	
22	Relays 240VAC	Relays Siemens	22.1 Tamaño 22.2 Adaptabilidad 22.3 Disponibilidad 22.4 Facilitado por la empresa Enertrol.	2	

Fuente: Elaboración propia.

5.6 Construcción de los mecanismos para los procesos de pelado, corte y crimpado.

Para el desarrollo de los mecanismos encargados de realizar los procesos de pelado, corte y crimpado, se optó por modificar las herramientas manuales que normalmente se utilizan para este fin como lo son la cortadora-peladora y la crimpadora. Lo anterior debido a que estas herramientas presentan características en su construcción como la dureza, filo y el material con el que están elaboradas que las hacen especiales para estas labores.

En la mecanización de estos dispositivos se contó con la colaboración de un técnico en metalmecánica de la empresa ENERTROL, el cual colaboró con el diseño y la adaptación de estos dispositivos.

5.6.1 Mecanización de la cortadora-peladora

Para la mecanización de este proceso se utilizó una cortadora-peladora de la marca Stanley (Figura 27), la cual posee un orificio que dependiendo de la presión aplicada permite realizar muescas para pelar o cortar. Esta peladora se adaptó en un motor sincrónico con engranajes sobre una base metálica, la cual permitió fijar este dispositivo y mover una de sus patillas con el motor como se muestra en la Figura 28.

El motor que se utilizó puede realizar desplazamientos hacia la izquierda y hacia la derecha lo que permite abrir y cerrar la cortadora-peladora, la presión de corte se reguló controlando el tiempo de cierre y apertura por medio del controlador.

Figura 27. Cortadora-peladora marca Stanley



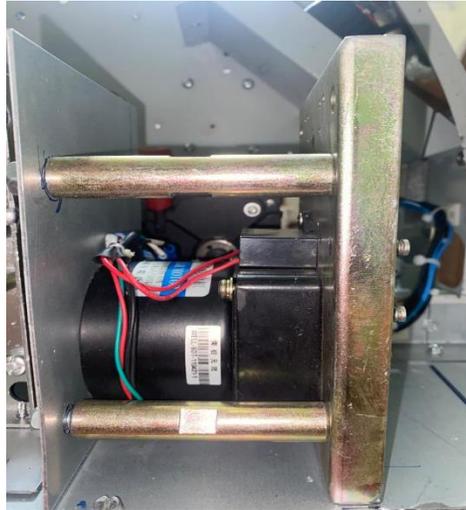
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Vista frontal de la adaptación de la cortadora-peladora con el motor sincrónico y su base.



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Vista lateral de la adaptación de la cortadora-peladora con el motor sincrónico y su base.



Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Mecanización de la crimpadora.

Con este dispositivo se trabajó muy similar al anterior utilizando el motor sincrónico y una base para adaptar una crimpadora convencional (Figura 30). El movimiento de operación de cierre y apertura se realiza con el patrón de giro del motor hacia la izquierda y derecha.

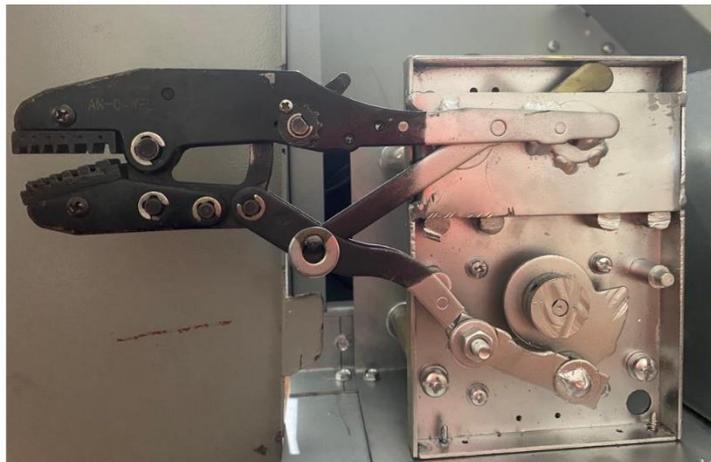
La operación de este dispositivo se implementó de forma semiautomática por medio de un pedal de accionamiento, con el cual se envía una señal que acciona el cierre de la crimpadora y pasado unas milésimas de segundo se da la apertura del dispositivo por parte del controlador. En la Figura 31 y 32 se puede observar esta adaptación.

Figura 30. Crimpadora convencional para terminales de pin hueco de 0.75 mm^2



Fuente: Elaboración propia

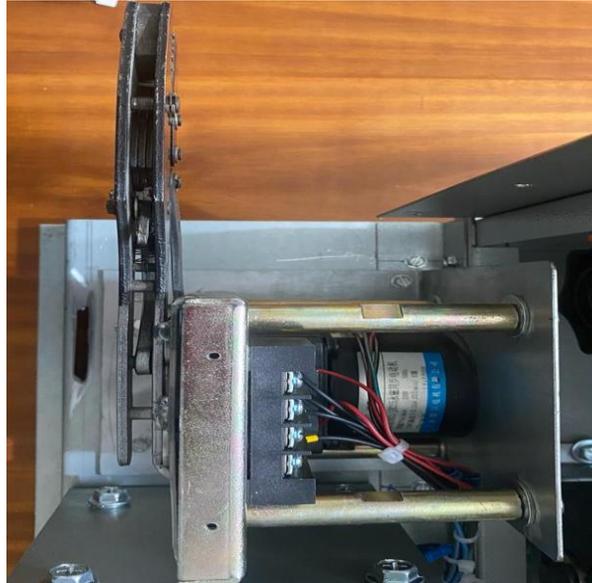
Figura 31. Vista frontal de la adaptación de la crimpadora con el motor sincrónico y



su base.

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Vista superior de la adaptación de la crimpadora con el motor sincrónico



y su base.

Fuente: Elaboración propia

5.6.3 Mecanización del proceso de transporte de cable.

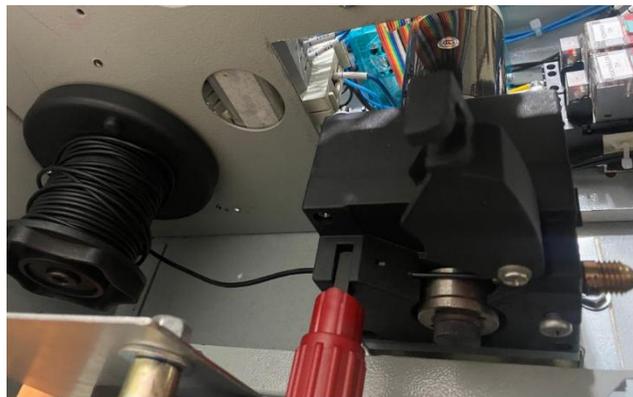
Para esta implementación se utilizó un motor de alimentación de cable para soldar (Figura 33), debido a que con una rápida modificación en el radio del acople de entrada del cable es posible transportar cable de control. En la Figura 34, se muestra este dispositivo.

Figura 33. Motor alimentador de cable para soldar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Adaptación del motor alimentador de cable para soldar para transporte de cable de control.



Fuente: Elaboración propia

5.7 Interconexión de los componentes.

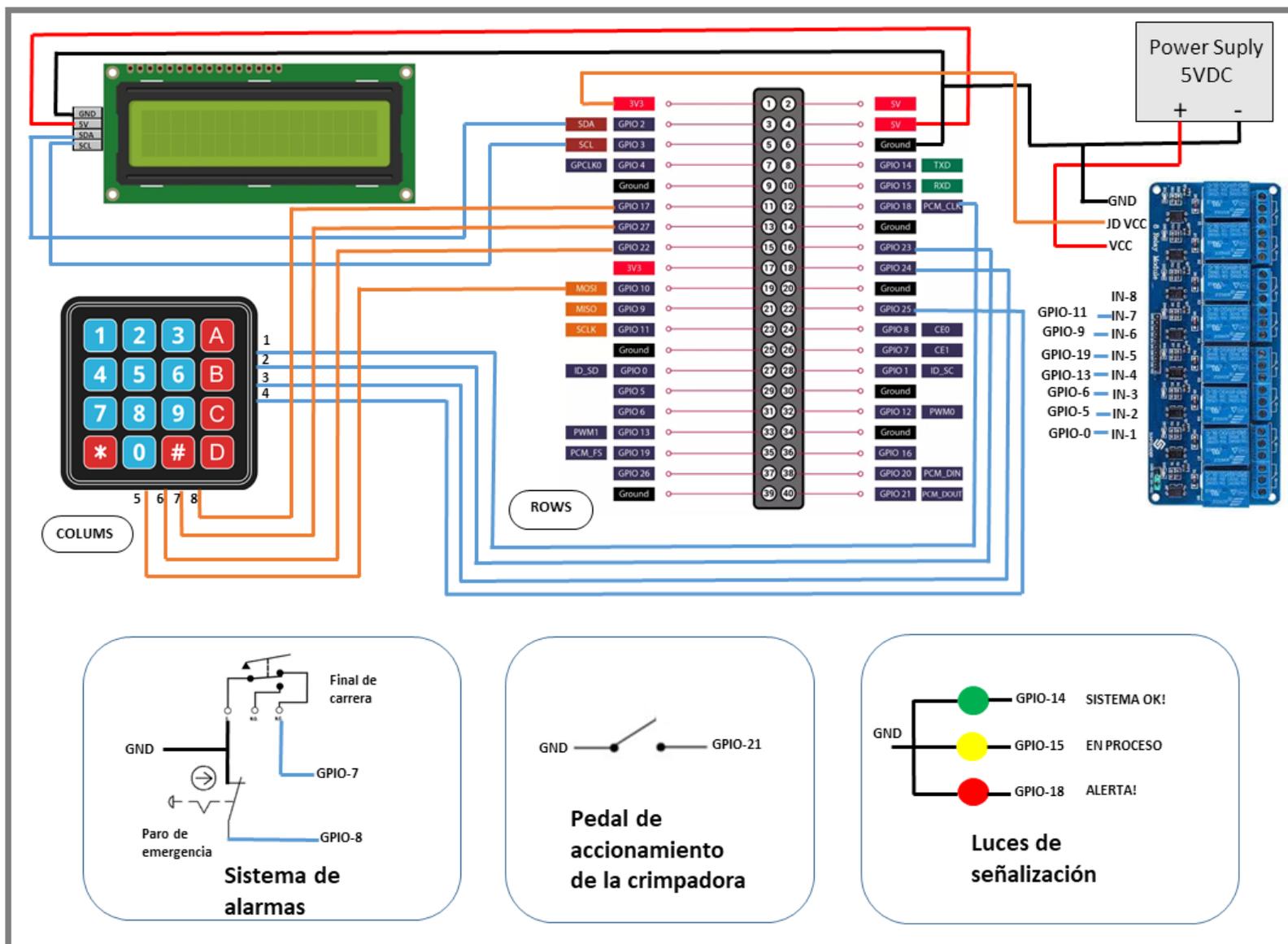
Para la interconexión de los componentes de la máquina, se diseñó un diagrama eléctrico de control (Figura 35) y un diagrama eléctrico de potencia (Figura 36). Estos diagramas eléctricos muestran las conexiones de los diferentes dispositivos que conforman el proyecto.

Además de facilitar futuras intervenciones en el equipo ya sea por fallas o mantenimiento, estos diagramas facilitaron el proceso de ensamble de la máquina.

En el diagrama de control se muestra la conexión la Raspberry Pi, el teclado matricial, la pantalla LCD, las señales de entrada y alimentación del módulo de relays de ocho canales, los dispositivos de señalización, el sistema de alarmas, y el pedal de accionamiento de la crimpadora.

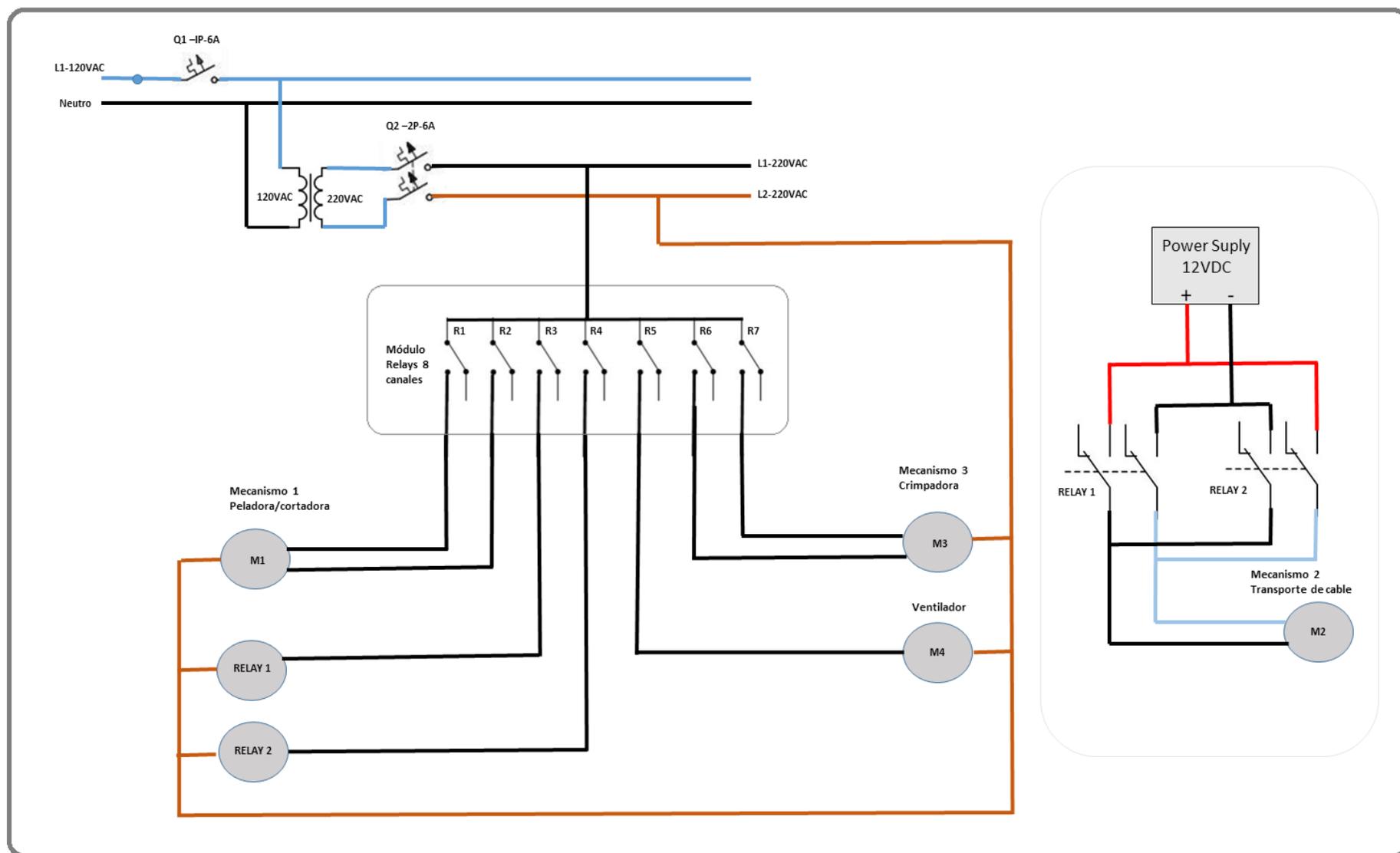
Por otra parte, en el diagrama de potencia aparece la conexión de los mecanismos de transporte de cable, corte y pelado, la crimpadora, ventilador y la parte de potencia con el transformador y los minibreakers de protección. Cabe resaltar que aparecen dos relays R1 y R2, los cuales se encargan de invertir la dirección del motor DC del mecanismo de transporte de cable.

Figura 35. Diagrama de **control** de la máquina para alistar cable de control.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Diagrama de **potencia** de la máquina para alistar cable de control.



Fuente: Elaboración propia

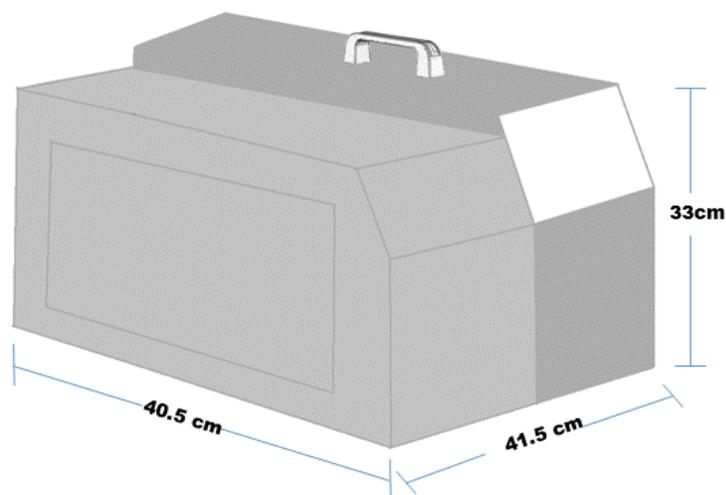
5.8 Diseño del gabinete.

Una vez se seleccionaron los componentes del proyecto, se diseñaron los diagramas de conexión y se desarrollaron los mecanismos para los diferentes procesos mecánicos, se procedió a trabajar en conjunto con el departamento de metalmecánica de la empresa ENERTROL, para fabricar el gabinete que almacenaría todos los dispositivos como se muestra en la Figura 37.

Para la fabricación del gabinete se consideró que este tuviera las dimensiones adecuadas para almacenar los componentes, pero que a la vez fuera fácil de transportar y almacenar.

En este proyecto se tomó como base el diseño de los gabinetes de las máquinas de soldar, el cual es muy estético ya que presenta los periféricos de entrada y salida al frente y almacena el resto de los dispositivos y procesos en el interior.

Figura 37. Boceto del gabinete para la máquina.



Fuente: Elaboración propia.

5.9 Interconexión y ensamble de los componentes del proyecto dentro del gabinete.

Para la interconexión de los componentes se siguieron los diagramas de conexión de las Figuras 35-36, además se siguieron las normas de cableado para tableros de automatización por lo que se utilizó cable flexible de 0.75 mm, terminales de pin hueco y etiquetado de los cables.

Para una buena presentación del cableado se usaron adhesivos, gazas y una pequeña canaleta de bifurcación. En los puntos de conexión se colocaron regletas de 2.5 mm. Con el fin de hacer más robustos las conexiones entre los dispositivos de control como la Raspberry Pi, el teclado matricial, la pantalla LCD y el módulo de relay se soldaron placas con cables flexibles de 0.75 mm.

En las Figuras (38-39-40), se muestra la interconexión de los dispositivos.

Figura 38. Conexión y ensamble de los dispositivos de control y potencia de la máquina según diagramas de conexión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Conexión y ensamble de los mecanismos de corte-pelado, transporte de cable y crimpadora según diagramas de conexión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Vista superior del ensamble de los dispositivos en el gabinete.



Fuente: Elaboración propia.

5.10 Desarrollo de la programación del controlador Raspberry Pi versión 4B.

Una vez se seleccionó el Raspberry Pi 4B como controlador principal y tomando en cuenta el diagrama de control de la Figura 35, la cual muestra las conexiones de los periféricos de entrada-salida (mouse y teclado matricial) y el resto de las interconexiones entre los dispositivos, se procedió a realizar el programa utilizando el lenguaje de programación Python 3, tomando como base el diagrama de flujo de la Figura 26.

El programa inicia con la importación de las librerías a utilizar en este caso se usaron librerías básicas para controlar los pines GPIO, el tiempo y un llamado para controlar la pantalla LCD. Se asignaron pines GPIO a cada uno de los componentes del proyecto (mecanismos motorizados por medio del relay de 8 canales, teclado matricial, luces de señalización, paro de emergencia, pedal de accionamiento del proceso de crimpado) y se configuraron como entradas o salidas respectivamente, además se definieron las variables generales del programa.

Con el fin de mejorar el orden y facilitar la lectura y comprensión del programa, se crearon funciones para controlar el display, el sistema de alarmas, teclado matricial la crimpadora y el ventilador.

En el ciclo de ejecución infinito “while” True se manejó por medio de un ciclo de decisión “if” en el cual se controla las indicaciones generadas en pantalla y se analizan la información ingresada por el usuario, para ejecutar el proceso de medición, pelado y corte de los cables por medio de los mecanismos motorizados.

A continuación, en las Figuras de la 41 a la 50, se muestran las partes más importantes del código desarrollado para la máquina.

Figura 41. Código para Importación de las librerías a utilizar:

```
#-----Librerias-----  
  
import RPi.GPIO as GPIO  
import time  
from time import sleep  
from functools import partial  
  
from signal import signal, SIGTERM  
from rpi_lcd import LCD
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 42. Asignación de pines GPIO.

```

# Modulo de Relays de 8 canales
gpioList = [0,5,6,13,19,9,11]
for i in gpioList:
    GPIO.setup(i, GPIO.OUT)
    GPIO.output(i, GPIO.HIGH)

# Mecanismo #1 cortadora/peladora
M1open = 0
M1close = 5

# Mecanismo #2 de transporte de cable
M2avanza = 13
M2retrocede = 19

# Mecanismo #3 crimpadora
M3close = 9
M3open = 11
pedal = 21

# Ventilador
ventilador = 6

# Sistema de Alarmas
paro_emergencia = 8
final_carrera = 7
gpioList2 = [8,7,21]
for i in gpioList2:
    GPIO.setup(i, GPIO.IN)
    GPIO.setup(i, GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP)

# Luces de señalización
L_verde = 14
L_rojo = 15
L_amarillo = 18
gpioList3 = [14,15,18]
for i in gpioList3:
    GPIO.setup(i, GPIO.OUT)
    GPIO.output(i, GPIO.LOW)

```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 43. Asignación de variables generales.

```
#-----Variables-----  
  
numTecla = " "  
TECLA    = " "  
ROWS     = 4  
COLS     = 4  
  
master   = 0  
longitud = ''  
longitud_int = 0  
cantidad = ''  
cantidad_int = 0  
cuenta   = 20  
alarmas  = 0
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 44. Función para manejo del display LCD.

```
#-----Funcion para LCD-----  
  
lcd=LCD()  
  
def safe_exit(signum, frame):  
    exit(1)  
  
signal(SIGTERM, safe_exit)  
signal(SIGHUP, safe_exit)  
  
lcd.clear()  
time.sleep(0.5)
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45. Función para manejo de alarmas.

```
# Función comprobación de alarmas
def alarmas():
    if GPIO.input(paro_emergencia) or GPIO.input(final_carrera) == 0 :
        lcd.clear()
        lcd.text("¡ALERTA!",1)
        lcd.text("Alarma Activa",2)

        master = -2

        GPIO.output( L_amarillo, False )
        GPIO.output( L_verde, False )
        GPIO.output( L_rojo, True )

    else:
        GPIO.output( L_verde, True )
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 46. Función para manejo del teclado matricial.

```

#-----#Matriz de caracteres del teclado-----#
MATRIX =
    [[1, 2, 3, 'A'],
     [ 4, 5, 6, 'B'],
     [ 7, 8, 9, 'C'],
     ['*', '0', '#', 'D']]

# Definicion de pines GPIO para el teclado
ROW=[18,23,24,25]
COL=[10,22,27,17]

# Columnas configuradas como salidas
for j in range(COLS):
    GPIO.setup(COL[j],GPIO.OUT)
    GPIO.output(COL[j],1)

# Filas configuradas como entradas con resistencias pull up down
for i in range(ROWS):
    GPIO.setup(ROW[i], GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP)

# Funcion lee teclado
def leeTeclado():
    TECLA=0
    for COL_NUM in range(COLS):
        GPIO.output(COL[COL_NUM],False)
        for ROW_NUM in range(ROWS):
            if GPIO.input(ROW[ROW_NUM]) == 0:
                TECLA = MATRIX[ROW_NUM][COL_NUM]
                while(GPIO.input(ROW[ROW_NUM])==0):
                    GPIO.output(COL[COL_NUM], True)
                    sleep(0.3)
        return TECLA
    GPIO.output(COL[COL_NUM], True)

```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 47. Función para manejo del mecanismo de crimpado.

```
# Función activación de la crimpadora

def crimpadora():

    if GPIO.input(pedal) == 0 :
        GPIO.output( M3close , False )
        time.sleep( 0.5 )
        GPIO.output( M3close , True )
        time.sleep(1)

        GPIO.output( M3open , False )
        time.sleep( 0.5 )
        GPIO.output( M3open , True )
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 48. Función para manejo del ventilador.

```
def obtenerTemp():
    var=open( '/sys/class/thermal/thermal_zone0/temp' )
    tempCPU=float(var.read())/1000
    if tempCPU >= 35 :
        GPIO.output( ventilador, GPIO.LOW)

    else:
        GPIO.output( ventilador, GPIO.HIGH)
```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 49. Programa principal en ciclo while True.

```

#-----Programa principal-----
try:

    while True:

        crimpadora()
        alarmas()
        dato=leeTeclado()

        if master == 0:
            lcd.text("BIENVENIDO",1)
            time.sleep(3)
            lcd.clear()
            lcd.text("Maquina Alistar",1)
            lcd.text("Cable de control",2)
            time.sleep(3)
            lcd.clear()
            master =1

        if master == 1:
            lcd.text("Ingr long cm:",1)

            if dato:
                longitud = longitud + str(dato)
                time.sleep(0.05)
                lcd.text(longitud,2)
                print (longitud)
            if dato == 'A':
                temporal = len(longitud)
                longitud1 = longitud[:temporal -1]
                print ("la longitud es",longitud1)
                longitud_int = int(longitud1)
                lcd.clear()
                dato = ''
                master = 2

        if master == 2:

            lcd.text("Ingr cantidad",1)

            if dato:
                cantidad = cantidad + str(dato)
                time.sleep(0.05)
                lcd.text(cantidad,2)
                print (cantidad)
            if dato == 'A':
                temporal2 = len(cantidad)
                cantidad1 = cantidad[:temporal2 -1]
                print ("la cantidad es",cantidad1)
                cantidad_int = int(cantidad1)
                lcd.clear()
                cuenta = cantidad_int
                master = 3

        while master == 3 and cuenta != -1 :

            GPIO.output( L_amarillo, True )
            longitud_string = 'Longitud: '+ longitud1
            lcd.text(longitud_string,1)
            cantidad_string = 'Cantidad: '+ cantidad1
            lcd.text(cantidad_string,2)

```

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 50. Ejecución de los procesos de medición, corte-pelado.

```

#1 ----- Avanza -----
GPIO.output( M2avanza, False )
time.sleep( 0.04 )
GPIO.output( M2avanza, True )
time.sleep(1)

#2 ----- Muesca para pelar -----
GPIO.output( M1close, False )
time.sleep( 0.4 )
GPIO.output( M1close, True )
time.sleep(1)

#3 ----- Abre peladora -----
GPIO.output( M1open, False )
time.sleep( 0.4 )
GPIO.output( M1open, True )
time.sleep( 1 )

#4 ----- Avanza -----
GPIO.output( M2avanza, False )
time.sleep( 0.7 )
GPIO.output( M2avanza, True )
time.sleep(1)

#5 ----- Muesca para pelar -----
GPIO.output( M1close, False )
time.sleep( 0.4 )
GPIO.output( M1close, True )
time.sleep(1)

#6 ----- Abre peladora -----
GPIO.output( M1open, False )
time.sleep( 0.4 )
GPIO.output( M1open, True )
time.sleep( 1 )

#7 ----- Avanza -----
GPIO.output( M2avanza, False )
time.sleep( 0.03 )
GPIO.output( M2avanza, True )
time.sleep(1)

#8 ----- Corte -----
GPIO.output( M1close, False )
time.sleep( 0.6 )
GPIO.output( M1close, True )
time.sleep(1)

#9 ----- Abre cortadora -----
GPIO.output( M1open, False )
time.sleep( 0.4 )
GPIO.output( M1open, True )
time.sleep( 1 )

if cuenta == -1 :
    master =5

if master == 5 :
    longitud = ''
    cantidad = ''
    cuenta = 20
    lcd.clear ( )
    lcd.text("Proceso terminado",1)
    time.sleep(4)
    master =0

```

Fuente: Elaboración Propia.

5.11 Presentación del ensamble completo y desarrollo de la máquina automatizada para pelar y crimpar cable de control, utilizado en el ensamble de tableros de automatización, para la empresa ENERTROL S.A.

A continuación, se presenta la máquina completamente terminada con todos sus componentes y mecanismos ensamblados en el gabinete. El resultado obtenido fue el deseado tanto en la integración de los componentes como en la estética del producto final, además de que las dimensiones finales permiten cargar y almacenar el equipo con facilidad. A continuación, en la Figura 51 se presenta el equipo terminado con sus cubiertas desde diferentes ángulos.

Figura 51. Presentación de la máquina para alistar cable de control terminada.



Fuente: Elaboración Propia.

5.12 Pruebas de funcionamiento de la máquina.

Durante las pruebas se corroboró el funcionamiento del programa en conjunto con todos los mecanismos y dispositivos, se comprobaron los accionamientos mecánicos, ejecución de los procesos, periféricos de entrada y salida, sistema de alarmas y la ejecución del proceso de crimpado semiautomático.

Las pruebas realizadas fueron exitosas cumpliendo con lo planteado en este capítulo. En las siguientes Figuras (52 a 56), puede observarse las diferentes pruebas de operación realizadas.

Figura 52. Revisión y ajuste de los parámetros de programación



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 53. Revisión de los periféricos de entrada y salida de datos



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 54. Revisión de luces de señalización.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 55. Pruebas y revisión del proceso de crimpado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 56. Pruebas y revisión del proceso de corte-pelado.



Fuente: Elaboración Propia.

5.13 Análisis del funcionamiento del equipo.

Para el funcionamiento del equipo, inicialmente se procedieron a realizar múltiples pruebas de operación a la máquina para corroborar que se cumplieran todos los procesos bajo los cuales se creó, buscando así verificar los procesos de medición, corte-pelado y crimpado, de esto, por eso en la Tabla 10, se muestran los datos obtenidos en la preparación de 50 cables con una longitud de 1 metro.

Tabla 10. Datos de la preparación de 50 cables con una longitud de 1 metro con la máquina para alistar cable de control.

Proceso de alistado de cable realizado con la máquina.						
Subproceso	Fecha	Hora de inicio	Hora de finalización	Cantidad de horas invertidas	Total de cables preparados	Cantidad de cables preparados por minuto
Medición, corte-pelado	10/8/2022	8:00 am	8:25am	25 min	50 unidades	2 unidades
Crimpado de cables	10/8/2022	8:30 am	9:00am	30 min	50 unidades	1.6 unidades

Fuente: Elaboración Propia.

Ahora bien, con la prueba al funcionamiento del equipo, se realizan los dos subprocesos asociados, de manera que, inicialmente, se ejecuta la medición, corte y pelado por un espacio de veinticinco minutos, lo que establece que por minuto se da una producción de dos unidades para un total de cincuenta cables preparados (bajo este subproceso), generando así un margen de respuesta aceptable para los

parámetros que usualmente se dan, cuando se realizan estas tareas de manera manual.

Por otra parte, para el subproceso de crimpado, cada minuto pueden producirse un cable y medio, por lo que, en el margen de tiempo establecido de treinta minutos, se da un total de cincuenta unidades totales listas.

En la Tabla 11 se puede observar una comparación entre el proceso manual y el proceso realizado por la máquina para el proceso de alistado de cable de control.

Tabla 11. Comparación del proceso de alistado de cable de control desarrollado de forma manual y con el dispositivo implementado.

Comparación del proceso alistado de cable			
Proceso	Cantidad Cables	Longitud del Cable	Tiempo Total
Manual	50	50 cm	1 h 40min
Máquina	50	50 cm	55 min
Manual	10	20 cm	5 min
Máquina	10	20 cm	4 min 30 seg
Manual	10	10 cm	4 min
Máquina	10	10 cm	4 min

Fuente: Elaboración propia.

Interpretando los datos de la Tabla 11, se puede apreciar que la máquina tiende a realizar una ejecución más rápida del proceso con cantidades y longitudes grandes de cable, mientras que el proceso manual logra acercarse al tiempo de la máquina cuando la longitud y cantidad de cables a preparar es corta. Lo anterior se presentó de forma habitual a lo largo de las pruebas realizadas debido a que la máquina tiene una velocidad constante comparada con la del operario, que tiende a variar con la cantidad de trabajo.

Durante las pruebas, se pudo valorar que en general, el equipo trabajó de forma precisa durante todas las pruebas realizadas, existieron solo pequeñas variaciones en las medidas de algunos lotes de cables, no obstante, aunque en ingeniería las mediciones deben ser precisas para el éxito de las tareas, ese margen estaba contemplado dentro de las medidas que se habían planteado colocar como referencia, dado que se requería ver cuál era la precisión o falta de la misma en el proceso y con ello establecer las mejoras que resultasen aplicables, ya fuera a nivel de programación, o bien, con referencia de las partes mecánicas presentes, por lo que, nuevamente, esta imprecisión y muestreo es lo que ayudó a observar el funcionamiento real del equipo ante la marcha real.

Con respecto al proceso de crimpado, nuevamente, se buscaba ver qué se iba a obtener con la configuración del equipo y el resultado fue favorecedor, pues se logró trabajar de una manera mucho más eficiente con la implementación semiautomática, por lo que se comprobó que en esta parte los valores y posiciones que fueron predeterminadas brindaron un resultado exitoso y, bastante alineado a lo que se esperaba cumplir.

Para ambos subprocesos, se estableció una ganancia de tiempo sustancial y destacable, llevando a que la prueba brindara un panorama alentador sobre lo que se ha realizado, tanto a nivel de planeamiento como en su parte aplicada. Con referencia a lo anterior, se debe tomar en cuenta que de manera manual hay una imprecisión que puede ser afectada incluso por los factores personales, pues hay factores determinantes como experiencia en la ejecución de la tarea y limitantes físicos, lo que genera valores con incógnita, que el equipo sí se asegura de brindar de manera anticipada una vez que las pruebas se llevaron a cabo para poder hacer una comparativa en ambos casos.

A nivel general, el equipo trabajó de forma precisa según lo que se esperaba, ya que durante las pruebas llevadas a cabo existieron solo pequeñas variaciones en las medidas de algunos lotes de cables, el proceso de crimpado se logró trabajar de forma más eficiente y en general los tiempos de ejecución se ven mejorados con respecto a la operación manual, no obstante, cabe destacar que estos tiempos varían según la longitud del cable a cortar, aspecto que también varía a nivel manual. Respecto a los insumos no se presentaron pérdidas en los procesos ejecutados por la máquina durante las pruebas.

5.14 Análisis costo beneficio.

A continuación, en la Tabla 12 se presenta el costo de los dispositivos utilizados en el proyecto.

Tabla 12. Costo de los dispositivos utilizados en el proyecto.

<i>Dispositivo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario IVA</i>	<i>Precio Total IVA</i>
Raspberry Pi versión 4B.	1	\$ 100	\$ 100
Gabinete fabricado a la medida del proyecto.	1	\$ 50	\$ 50
Abanico de 15 x 15 cm, 240 VAC.	1	\$ 25	\$ 25
Motor DC de arrastre de alambre para soldadura MIG.	1	\$ 60	\$ 60
Motor sincronico monofásico de 220VAC con reductor.	2	\$ 50	\$ 100
Cortadora-peladora Stanley	1	\$ 20	\$ 20
Crimpadora manual	1	\$ 50	\$ 50
Pantalla LCD 2 x16, con comunicación I2C.	1	\$ 13	\$ 13
Teclado matricial de membraba 4 x4.	1	\$ 5	\$ 5
Leds convencionales.	3	\$ 0,17	\$ 1
Paro de emergencia.	2	\$ 10	\$ 20
Modulo de relays de 8 canales para Raspbery Pi.	1	\$ 14	\$ 14
Fuente regulable de 12 VDC	1	\$ 20	\$ 20
Fuente fija 5 VDC	1	\$ 10	\$ 10
Cable de control 0.75mm	40	\$ 0,5	\$ 20
Pedal convencional con final de carrera	1	\$ 15	\$ 15
Transormador CH 120~240VAC	1	\$ 30	\$ 30
Borneras dobles de 2.5mm	25	\$ 0,2	\$ 5
Mibreaker 1 polo 6 amperios	1	\$ 1,5	\$ 2
Mibreaker 2 polo 6 amperios	1	\$ 2	\$ 2
Final de carrera	1	\$ 1	\$ 1
Relays 240 VAC Siemens	2	\$ 20	\$ 40
		TOTAL IVA	\$ 602

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13 se muestran los costos totales del proyecto, incluyendo servicios de ingeniería de diseño, implementación, puesta en marcha y una utilidad de 35% sobre el costo total.

Tabla 13. Costos totales del proyecto.

<i>Dispositivo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario IVA</i>	<i>Precio Total IVA</i>
Costo total dispositivos	1	\$ 602	\$ 602
Fabricación de los mecanismos para los procesos	1	\$ 150	\$ 150
Ingeniería de diseño	1	\$ 100	\$ 100
Ensamble	1	\$ 100	\$ 100
Puesta en marcha	1	\$ 100	\$ 100
TOTAL Costos IVA			\$ 1.052
Utilidad 35%			\$ 368
TOTAL proyecto			\$ 1.420

Fuente: Elaboración Propia.

Para realizar un análisis que ponga en comparativa los costos generados y los beneficios que se obtienen, debe tenerse una claridad de que no solamente hay costos en cuanto a los materiales que se utilizaron, por ello se estableció el costo real que se derivó de rubros como lo son, la mano de obra para la fabricación de los mecanismos para los procesos, la ingeniería del diseño, la valorización del ensamble y de puesta en marcha.

En costos de los dispositivos y según la Tabla 12, se da un total de \$602, valor al cual no se le pueden establecer modificaciones a beneficio del interesado, ya que son valores provenientes del mercado y depende de los precios de importación en su mayoría, al no ser producidos en Costa Rica. Por otra parte, y con base en los valores que usualmente son fijados por ENERTROL, por costos de servicios, se da

una sumatoria de \$450, esto con una tendencia al alza, todo depende de lo que se cobre por estos, ya que no se encuentran regulados. A lo anterior, y como se especifica en el rubro de una utilización porcentual de 35% al valor total del costo, con un resultado de \$368, dando un total de \$1420 para el costo total del proyecto ya sumando el impuesto al valor agregado (IVA). Si se establece un contexto con un margen de tiempo donde se pueda demostrar el balance entre la inversión que representa para ENERTROL, en cuanto al pago de la máquina respecto al retorno de la inversión y posteriores beneficios, se deben analizar aspectos como el salario que perciben los técnicos y el aprovechamiento de ese tiempo, datos que por su sensibilidad no fueron suministrados por la empresa.

El tema de aprovechamiento de costos puede verse desde diversos ángulos, por ejemplo, con el uso de la máquina, se eliminan los riesgos ergonómicos (dolor de muñecas y de espalda), de cortes, majonazos y ampollas, que, como se explicó anteriormente, no poseen afectaciones que comprometan la vida de los trabajadores, sí tienen un impacto en la salud y, por ende, en la atención que podrían requerir los trabajadores y uso de la póliza de riesgos del trabajo (póliza RT del INS), lo que infla los costos asociados al desempeño de esta tarea y bien, podría ocasionar incapacidades. Ambos aspectos, tanto la solicitud de atención médica, como una incapacidad laboral, constituyen un incremento en el monto de la prima que deberá pagarse al año siguiente, siendo que este monto varía acorde a las consideraciones pertinentes que se lleven a cabo por el cálculo de las personas encargadas por el INS. Adicionalmente, una incapacidad compromete la ejecución de los proyectos que deben llevarse a cabo, por lo que hay valores intangibles como

el entrenamiento de más personal, el incremento del tiempo que se tenga por la ausencia del personal que ya posee la experiencia, y lo que ello acarree.

En no menor orden de importancia, habría que consultarse el caso hipotético en caso de que algún colaborador decida demandar a ENERTROL, debido a la ausencia de medidas de control, ocasionado así un perjuicio a su integridad, pues, como lo establece el Código de Trabajo, los patronos tienen la obligación de recurrir a las medidas de seguridad que se ocupen para brindar un espacio de trabajo y condiciones seguras para el desempeño de las funciones (MTSS, 1982); ante esto, los montos que la empresa debería pagar se establecen en un juzgado, en cualquier de los diversos mecanismos que se puedan suscitar, por lo que, nuevamente, es un monto intangible pero latente.

Con la eficacia de los procesos, y el evitar un desgaste en las capacidades de los técnicos, se puede establecer un mayor estado de comodidad, lo que, a nivel psicosocial, genera un mejor entorno de trabajo donde no hay un desgaste físico ni mental, llevando así una ganancia a mayores proporciones, dado que los trabajadores pueden enfocar sus fuerzas y energías que se visualizan en la calidad de los trabajos que requieren mayor atención y precisión.

Así mismo y como ya se ha mencionado, el costo total del proyecto fue de \$1420, lo cual se considera una inversión pequeña, comparada con los beneficios que se pueden llegar a obtener a largo plazo con la implementación de este dispositivo en el departamento de ensamble de la empresa ENERTROL. Por medio de las pruebas se logró comprobar que el dispositivo tiene una mejor precisión en la ejecución de

los procesos de alistado de cable de control, lo cual puede llegar a reducir el desperdicio de insumos, además de que en proyectos grandes el equipo siempre mantendrá una velocidad estable en el proceso, permitiendo costear y administrar el tiempo de una forma más óptima, por lo que nuevamente, el tema de los costos asociados cuando se use la máquina, vienen a evitar desperdicios que quizás no se han monitoreado para darle un valor a la pérdida, sin embargo, con el tiempo esa acumulación no deja de ser un impacto y más preocupante aún, es que esto no se esté monitoreando, lo que brinda una nueva ventaja a la automatización del proceso.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

Una vez finalizado el proyecto de diseño y desarrollo de la máquina automatizada para la preparación de cable de control utilizado en el ensamble de tableros de automatización en la empresa ENERTROL S.A, se concluye lo siguiente:

- Se comprende a cabalidad el proceso que se lleva a cabo para la preparación del cable de control requerido en el ensamble de tableros, para automatización en la empresa ENERTROL.
- Por medio del método de observación en campo, se delimitaron los aspectos a mejorar en el proceso de alistado de cable de control, enfocándose en la medición, corte, y crimpado.
- No se encontró en el mercado nacional ni internacional alguna solución integral dedicada a la preparación de cable de control.
- Con la aplicación de la ingeniería electrónica en combinación con la mecánica y el control automático, se logró desarrollar un dispositivo capaz de automatizar el proceso de alistado de cable de control, cumpliendo con las necesidades de mejora propuestas al inicio de esta investigación.
- Con la automatización del proceso de alistado de cable de control se logró mejorar aspectos como la optimización del tiempo, la seguridad del personal a cargo de la labor y se mejoró la administración y costeo de los insumos.

- Al realizar pruebas con el equipo implementado, se pudo establecer que sí se cumplieron las expectativas propuestas, dado que los procesos sí se aplicaban en función de los valores dados al comando y obedecían a lo que se esperaba, para ello, mediante una muestra continua y pruebas de la máquina.
- Con base en los datos que los técnicos brindaban, así como la observación de la tarea manual que se llevaba a cabo, se reforzó el beneficio de lo que la máquina desarrollada y la automatización del proceso conllevan para la empresa ENERTROL.
- Se puso a prueba la herramienta, en función del uso que los operarios le podían dar, demostrando que ésta es de uso amigable para cualquiera de los trabajadores, de manera que no se representa un obstáculo para que el objetivo de cumplimiento de la tarea se lleve a cabo, reforzando la razón de ser del proyecto y facilitando un proceso por medio de la implementación de una solución automatizada de fácil utilización.

6.2 Recomendaciones

Con respecto al análisis de los resultados y mediante una perspectiva general, hay recomendaciones que resultan imprescindibles de exponer para que se brinde un mayor aprovechamiento del proyecto para la empresa ENERTROL, las cuales se indican a continuación:

- Se recomienda aplicar un proceso de mejora continua en la etapa de alistado de cable de potencia, a fin de mejorar el proceso de fabricación y ensamble de los tableros de automatización que ofrece la empresa ENERTROL.
- Es recomendable ejecutar un monitoreo constante del equipo o proceso, así como de la ejecución de rutinas de mantenimiento, que permita detectar oportunidades de mejora y/o calibraciones en el prototipo propuesto, dado que este, no dejar de estar expuesto a condiciones y usos incorrectos que comprometan su operación.
- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo rutinario para la máquina, basado en los aspectos de calibración, lubricación, pruebas de operación y pruebas a los mecanismos de seguridad, a fin de garantizar un funcionamiento estable y duradero del equipo y que el proceso implementado no sea bajo un periodo de tiempo corto.
- Se recomienda a futuro implementar adaptaciones 3D a la medida para la mejora de mecanismos y partes móviles en el prototipo desarrollado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta ed. Caracas: Editorial Episteme, C.A.
- Arnau (1995). Métodos de Investigación en Psicología. Madrid: Síntesis.
- CR Cibernética-Open Source Hardware. (2022). 16x2 LCD with i2c (Blue).CRCibernetica. <https://www.crcibernetica.com/16x2-lcd-with-i2c-blue/>
- CSO. (2017). Guía para la elaboración del Programa de Salud Ocupacional. Consejo de Salud Ocupacional.
https://www.cso.go.cr/documentos_relevantes/manuales_guias/guias/Guia%20Programa%20Salud%20Ocupacional.pdf
- Daneri, P. (2008). *PLC automatización y control industrial* (1.^a ed.) Hasa.
- Franco, G., & Caballero, J. (2020). Revista de Ingeniería Innovativa. Revista de Ingeniería Innovativa- Ecorfan, 4(15).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed). México D.F.: McGraw-Hill.
- Kaufman, R. (2004). Herramientas prácticas para el éxito organizacional. España: Universitat Jaume I.
- Micro JPM. (2022). 4x3 Teclado Membrana Matriz :: Micro JPM. <https://www.microjpm.com/products/ad31824/>
- Ministerio de Trabajo y Economía Social. (s.f.). Trabajos repetitivos - Portal INSST - INSST. Portal INSST. <https://www.insst.es/riesgos-ergonomicos-carga-de-trabajo-trabajos-repetitivos>

- MTSS. (1982). *Código de Trabajo de Costa Rica*. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. https://www.mtss.go.cr/elministerio/marcolegal/documentos/Codigo_Trabajo_RPL.pdf
- Muñoz, C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis*. 2da ed. México: Pearson.
- Niño, V. M. (2011). *Metodología de la investigación. Diseño y Ejecución*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Ogata, K., & Canto, D. S. (2010, 1 mayo). *INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA* (5.a ed.). Pearson.
- Rodríguez, L. (2019). Instrumentos eléctricos utilizados en los tableros de medición y control. En Universidad Nacional del Callao.
- Sánchez, N., Ulloa, E., & Secretaría técnica. (2022). *Costa Rica: Estadísticas de Salud Ocupacional 2021*. Consejo de Salud Ocupacional.
- https://www.cso.go.cr/documentos_relevantes/consultas/Estadisticas%20Salud%20Ocupacional%202021.pdf
- Sanchis, R., Romero, J., & Ariño, C. (2010). *Automatización industrial* (1.^a ed., Vol. 1) Universitat Jaume.

APÉNDICES Y ANEXOS

Lista de anexos

01. Entrevista al encargado del departamento de ensamble de la empresa ENERTROL.

02. Encuesta de los problemas presentados a nivel de salud en el proceso de alistado de cable de control.

03. Análisis de los riesgos ocupacionales en el proceso de alistado de cable de control por la Ingeniera Gabriela Mata.

04. Manual de usuario de la máquina implementada.

05. Observación del proceso de alistado de cable de control en la empresa ENERTROL.

06. Observación del proceso de ensamble y fabricación de tableros de automatización en la empresa ENERTROL.