



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Pérez Guilcaso Edgar Mauricio

Tigse Toapanta Walter Vinicio

Tutor Académico:

Ms.C. Pacheco Mena Carlos Francisco

LATACUNGA - ECUADOR

2021



Ingeniería
Eléctrica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **PÉREZ GUILCASO EDGAR MAURICIO** y **TIGSE TOAPANTA WALTER VINICIO** declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica “**AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**”, siendo el **Ms.C. PACHECO MENA CARLOS FRANCISCO** tutor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Pérez Guilcaso Edgar Mauricio

C.I. 050386250-0

Tigse Toapanta Walter Vinicio

C.I. 180500611-9



Ingeniería
Eléctrica

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de **PÉREZ GUILCASO EDGAR MAURICIO** y **TIGSE TOAPANTA WALTER VINICIO**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, octubre 2021

El Tutor

Ms.C. Pacheco Mena Carlos Francisco

C.I. 050307290-2



Ingeniería
Eléctrica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **PÉREZ GUILCASO EDGAR MAURICIO** y **TIGSE TOAPANTA WALTER VINICIO** con el título de Proyecto de titulación **“AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, octubre del 2021

Para constancia firman:



Firmado electrónicamente por:
**GABRIEL NAPOLEON
PESANTEZ PALACIOS**

Lector 1 (Presidente)

Ms.C. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón

C.I. 030189388-9

Lector 2

Ms.C. Salazar Achig Edgar Roberto

C.I. 050284761-9

Lector 3

Ms.C. Vásquez Teneda Franklin Hernán

C.I. 171043449-7



Ingeniería
Eléctrica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante la propuesta tecnológica **“AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** de los señores **PÉREZ GUILCASO EDGAR MAURICIO** con número de cédula 0503862500 y **TIGSE TOAPANTA WALTER VINICIO** con número de cédula 1805006119, realizan la entrega del proyecto de titulación en la Universidad Técnica de Cotopaxi en pleno funcionamiento.

Latacunga, octubre 2021

.....
Ing. Maldonado Chavez Carlos Rodolfo

C.I. 180396974-8

AGRADECIMIENTO

En mi primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza para continuar y conseguir todas mis metas y aspiraciones, permitiéndome disfrutar esta travesía al lado de las personas que más me aman.

En segundo lugar, a mis padres por darme la bendición de la vida y brindarme el apoyo principal durante todo el transcurso académico, siendo los promotores de mis sueños encaminándome a creer y confiar cada día en mí y mis expectativas.

Agradezco a la universidad que me abrió las puertas para formar parte de esta prestigiosa institución, donde me ha brindado varias oportunidades incomparables. De igual forma a mis maestros y compañeros que conocí a lo largo de este recorrido.

Edgar Pérez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino, por mantenerme saludable, por no dejarme caer y darme fuerzas para continuar, por ayudarme a nunca perder la fe, ayudarme a pensar positivo y acompañarme cada día durante este proceso académico, brindándome vigor para lograr cumplir este sueño tan anhelado.

A mis padres, por darme la vida, ser un ejemplo de lucha, por sus consejos y por ser el apoyo principal a lo largo de mi trayectoria, por todas las veces que me motivaron a cada día ser mejor persona, por confiar en mí y estar siempre conmigo demostrando que con esfuerzo se pueden alcanzar los objetivos planteados. Los amo con todo el corazón, Papá y Mamá.

A mis hermanos y toda mi familia, por sus consejos, dulzura y cariño han sido esenciales a lo largo de este tiempo, por su empuje, por la confianza que brindan, por siempre ser la compañía que necesitaba en esos momentos difíciles, y a mi compañero de tesis porque con dedicación hemos podido revertir las cifras negativas y deseo que siempre sigamos siendo un excelente equipo.

Walter Tigse

DEDICATORIA

Dedico de todo corazón este proyecto de tesis a mis padres, los cuales fueron mi mayor apoyo para poder llegar a esta instancia de mis estudios ya que sin ellos no lo habría logrado. De igual manera a toda mi familia que me supo brindar sus consejos y apoyo en los momentos difíciles que se presentaron a lo largo de este recorrido.

Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me brindaron su apoyo, compañía y su enseñanza, que perdurara a lo largo de mi vida.

Edgar Pérez

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis con todo mi amor a Dios por darme la sabiduría y fuerza guiándome por el camino correcto, por darme la salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional, porque nunca me ha abandonado, gracias por haberme dado una excelente familia, por permitirme conocer excelentes profesores y amigos.

A mis padres Ángel Tigse y María Toapanta que siempre me apoyaron incondicionalmente para poder llegar a este punto de mi carrera, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda ser un profesional, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento.

A mis hermanos y demás familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria. ¡Gracias por confiar en mí!

Walter Tigse

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 EL PROBLEMA	3
2.1.1 Situación Problémica.....	3
2.1.2 Formulación del problema.....	3
2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.2.1 Objeto de estudio	3
2.2.2 Campo de acción	3
2.3 BENEFICIARIOS	4
2.3.1 Beneficiarios Directos	4
2.3.2 Beneficiarios Indirectos.....	4
2.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
2.5 HIPÓTESIS	5
2.6 OBJETIVOS.....	5
2.6.1 General.....	5
2.6.2 Específicos.....	5
2.7 SISTEMA DE TAREAS	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1 ANTECEDENTES	7
3.2 MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL.....	8
3.2.1 Jaula de Faraday	8
3.2.1.1 Michael Faraday	8
3.2.1.1 Principio de Funcionamiento.....	8
3.2.1.2 Aplicaciones de la Jaula de Faraday.....	9
3.2.2 Alto Voltaje en laboratorios	10
3.2.2.1 Las 5 reglas de oro de seguridad eléctrica.....	10

3.2.3 Automatización.....	11
3.2.3.1 Ventajas	11
3.2.3.2 Jerarquía de automatización	12
3.2.3.3 Tipos de sistemas de automatización.....	13
3.2.3.4 Automatización con Grafset	15
3.2.3.5 Modelo estructural de la automatización.....	16
3.2.3.6 Componentes del sistema de automatización	18
3.2.3.7 Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización.....	18
3.2.4 Módulo lógico	19
3.2.4.1 Controlador Lógico Programable	19
3.2.4.2 Campos de aplicación.....	20
3.2.4.3 TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal).....	21
3.2.5 Control de movimiento S7 1200.....	22
3.2.5.1 Funcionalidad <i>Motion</i> CPU S7 1200.....	22
3.2.5.2 Escalonamiento.....	23
3.2.5.3 Control de movimiento en bucle abierto	23
3.2.6 Motores paso a paso	24
3.2.6.1 Características Técnicas	24
3.2.6.2 Características Constructivas.....	24
3.2.6.3 Principios de Funcionamiento	25
3.2.6.4 Resolución de un motor por pasos y ángulo de pasos	25
3.2.7 Control de motores paso a paso en lazo abierto	25
3.2.7.1 Etapa de control	25
3.2.7.2 Etapa de excitación o Driver electrónico.....	25
3.2.7.3 Drivers Opto-Acopladores.....	26
4. METODOLOGÍA.....	28
4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	28

4.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	28
4.2.1 Investigación exploratoria	28
4.2.2 Investigación de campo	29
4.2.3 Investigación bibliográfica	29
4.2.4 Investigación descriptiva	29
4.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	29
4.3.1 Método deductivo	29
4.3.2 Método Experimental	29
4.3.3 Método Científico.....	30
4.4 NORMATIVAS	30
4.4.1 Guía técnica de recomendaciones para trabajo con Alto Voltaje en el Instituto de Física Corpuscular (IFIC)	30
4.4.2 Norma IEC 61131-1	31
4.4.3 Norma IEC 1082-1	31
4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	31
4.5.1 Sintetización de la información	31
4.5.2 Observación.....	31
4.5.3 Selección de materiales	32
4.5.3.1 Motores.....	32
4.5.3.2 Controladores lógicos programables	32
4.5.3.3 Luces para señalización.....	33
4.5.4 Sistema de poleas	33
4.5.5 Cálculo.....	33
4.5.5.1 Torque requerido para los motores paso a paso	33
4.5.5.1 Relación de pasos de los motores paso a paso.....	35
4.5.6 Programación.....	35
4.5.6.1 Programación en TIA Portal.....	35

4.5.6.2 Programación en LOGO <i>Soft Comfort</i> V8.2	35
4.5.7 Simulación	36
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO IMPLEMENTADO	36
5.2 METODOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS	37
5.3 MATERIALES EMPLEADOS	38
5.3.1 PLC S7 1200 CPU 1214C DC/DC/DC	39
5.3.2 LOGO 230RC	39
5.3.3 Motores paso a paso	39
5.3.4 Controlador de motores paso a paso	40
5.3.5 Fuentes de Alimentación AC/DC	40
5.3.6 Circuito Optoacoplador	41
5.3.7 Contactores eléctricos	41
5.3.8 Joystick de 4 posiciones	41
5.3.9 Pulsador paro de emergencia	42
5.3.10 Luz de Advertencia	42
5.3.11 Sirena tipo turbina	43
5.3.12 Conductores	43
5.3.13 Sistema de cámaras CCTV	44
5.4 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE POLEAS	44
5.4.1 Desplazamiento en el eje x	44
5.4.2 Desplazamiento en el eje y	44
5.4.3 Desplazamiento en el eje z	45
5.5 CÁLCULO DEL TORQUE PARA LA SELECCIÓN DEL ESTANDAR DE LOS MOTORES PASO A PASO	46
5.6 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	47

5.6.1 Sistema de control para el desplazamiento de las poleas	48
5.6.1.1 5.6.1.1 Grafcet para la automatización del control de movimiento.....	48
5.6.1.2 Programación en el PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC.....	50
5.6.2 Sistema de control para señalización, el sistema <i>interlock</i> y <i>botones de emergencia</i>	54
5.6.2.1 Grafcet para la automatización del sistema de seguridad para maniobras	54
5.6.2.2 Programación en lenguaje <i>ladder</i> del LOGO 230 RC.....	56
5.6.3 Esquema de conexión de los sistemas de control.....	58
5.6.4 Esquema eléctrico de los sistemas de control.....	59
5.7 SIMULACIÓN DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN ATPDraw	61
5.8 CALCULO DE PROTECCIONES Y CABLEADO	63
5.9 DISEÑO GENERAL DEL TABLERO DE CONTROL	67
5.9.1 Diseño del modelo del tablero de control.....	67
5.9.2 Ubicación de componentes eléctricos	67
5.9.3 Cableado del sistema	69
5.9.4 Conexión de componentes eléctricos	69
5.9.5 Calibración de los equipos.....	69
5.9.5.1 Tablero de control.....	69
5.9.5.2 Motores paso a paso	70
5.9.5.3 Sistema de poleas	71
5.10 PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA JAULA DE FARADAY.....	74
5.10.1 Sistema de seguridad	74
5.10.1.1 Sistema <i>interlock</i>	74
5.10.1.2 Señalización de advertencia.....	74
5.10.2 Ensayo de disrupción eléctrica con el transformador de Alto Voltaje	75
5.11 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	77
5.11.1 Presupuesto.....	77

5.11.1.1 Gastos directos.....	77
5.11.1.2 Gastos indirectos	78
5.11.1.3 Presupuesto total.....	78
5.11.2 Análisis de impactos	79
5.11.2.1 Impacto tecnológico	79
5.11.2.2 Impacto social.....	79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1 CONCLUSIONES.....	79
6.2 RECOMENDACIONES	80
7. BIBLIOGRAFÍA	80
8. ANEXOS	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción de las actividades propuestas.	6
Tabla 3.1. Aplicaciones tecnológicas en la Jaula de Faraday.....	10
Tabla 3.2. Ventajas de la automatización.	12
Tabla 4.1. Distancias de peligro	30
Tabla 4.2. Cuadro comparativo de aplicaciones de motores	32
Tabla 4.3. Cuadro comparativo de los controladores lógicos programables.....	32
Tabla 4.4. Cuadro comparativo de las aplicaciones de las luces para señalización.	33
Tabla 5.1. Localización del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.	37
Tabla 5.2. Calibre de conductores.	43
Tabla 5.3. Datos para el cálculo de la inercia total.....	46
Tabla 5.4. Inercia total de los motores paso a paso.	46
Tabla 5.5. Torque y estándar de los motores paso a paso seleccionados.	47
Tabla 5.6. Variables de entrada y salida para la automatización de movimiento.....	48
Tabla 5.7. Combinación de los <i>switch</i> asignada en cada driver.	50
Tabla 5.8. Cálculo de la cantidad de impulsos por vuelta del motor.....	51
Tabla 5.9. Variables de entrada y salida para la automatización de movimiento.....	55
Tabla 5.10. Resultados obtenidos de la simulación en ATPDraw.....	63
Tabla 5.11. Consumo de corriente en amperios de los motores paso a paso.....	63
Tabla 5.12. Potencia de los elementos en AC.	64
Tabla 5.13. Gastos directos de materiales:	77
Tabla 5.14. Gastos indirectos de materiales.	78
Tabla 5.15. Presupuesto total.....	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Jaula de Faraday del Laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	9
Figura 3.2. Las 5 Reglas de Oro del mantenimiento eléctrico.	11
Figura 3.3. Pirámide jerárquica de automatización.	12
Figura 3.4. Automatización fija industrial.....	13
Figura 3.5. Automatización programable en paneles solares.	14
Figura 3.6. Automatización flexible en brazos mecánicos.....	14
Figura 3.7. Partes de un diagrama de Grafcet.....	15
Figura 3.8. Modelo estructural de un sistema automatizado.	17
Figura 3.9. Estructura básica de un sistema automatizado.	17
Figura 3.10. Principales componentes de un sistema automatizado.....	18
Figura 3.11. Secuencia de fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización.	19
Figura 3.12. Controlador Lógico Programable.....	20
Figura 3.13. Entorno de programación STEP 7 en TIA Portal.	22
Figura 3.14. Señal de salida PTO (impulso A y sentido B).	23
Figura 3.15. Señal de salida PTO (impulso ascendente A e impulso descendente B)	23
Figura 3.16. Herramientas de configuración, puesta en servicio y diagnóstico	24
Figura 3.17. Cableado típico de un motor paso a paso.....	26
Figura 3.18. Modelo de correas transportadoras acoplado a motores paso a paso.....	27
Figura 3.19. Perfil Trapezoidal donde se incluye el movimiento de aceleración y deceleración de los motores paso a paso.	27
Figura 3.20. (a) Modelo de un cilindro hueco; (b) Modelo de un cilindro sólido; (c) Modelo de un bloque rectangular	28
Figura 5.1. Localización Geográfica de la Jaula de Faraday del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	36
Figura 5.2. Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	37
Figura 5.3. Diagrama de flujo del sistema de control de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras.....	38
Figura 5.4. PLC S7 1200 con CPU 1214C, DC/DC/DC.....	39
Figura 5.5. LOGO 230RC.	39
Figura 5.6. Motores bipolares paso a paso.	40
Figura 5.7. Controladores Microstep Driver.	40
Figura 5.8. Fuentes de alimentación 110/220VAC-24VDC.	40

Figura 5.9. Circuitos Optoacopladores.	41
Figura 5.10. Contactores eléctricos.	41
Figura 5.11. Palanca joystick de 4 posiciones.	42
Figura 5.12. Pulsador paro de emergencia.	42
Figura 5.13. Luz tipo licuadora.	42
Figura 5.14. Mini sirena tipo turbina.	43
Figura 5.15. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje x.	44
Figura 5.16. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje y.	45
Figura 5.17. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje z.	45
Figura 5.18. Diagrama de bloques para la automatización de la Jaula de Faraday.	47
Figura 5.19. Diagrama de entradas y salidas para el Grafcet.	48
Figura 5.20. Diagrama de Grafcet para la automatización de control de movimiento.	49
Figura 5.21. Configuración de Objetos tecnológicos para los motores a pasos.	52
Figura 5.22. Bloques de instrucciones tecnológicas para el control de movimiento.	52
Figura 5.23. Programación de los bloques de control para el desplazamiento del eje de los motores.	53
Figura 5.24. Programación en lenguaje <i>ladder</i> para el control de movimiento del Motor 1. ..	53
Figura 5.25. Programación en lenguaje <i>ladder</i> para el control de movimiento del Motor 2. ..	54
Figura 5.26. Diagrama de entradas y salidas para el Grafcet.	55
Figura 5.27. Diagrama de Grafcet para la automatización del sistema de seguridad de maniobras.	56
Figura 5.28. Luces piloto del tablero de control.	57
Figura 5.29. Asignación del tipo de contacto de las entradas en la programación.	58
Figura 5.30. Diagrama de control para la automatización de la Jaula de Faraday.	59
Figura 5.31. Esquema eléctrico de la instalación del sistema de control de señalización.	60
Figura 5.32. Esquema eléctrico de la instalación del sistema de control de movimiento.	60
Figura 5.33. Circuito equivalente del cable de puesta a tierra.	61
Figura 5.34. Circuito equivalente de la Jaula de Faraday.	62
Figura 5.35. Tablero de control terminado.	67
Figura 5.36. Ubicación del tablero de control en la Jaula de Faraday.	68
Figura 5.37. Pruebas de operación en el tablero de control.	70
Figura 5.38. Configuración de los <i>dip switch</i> en el <i>driver</i> del motor Nema 34.	71
Figura 5.39. Configuración de los <i>dip switch</i> en los <i>drivers de los motores</i> Nema 23.	71

Figura 5.40. Regulación de la tensión del cable de acero en el eje x.	72
Figura 5.41. Cable de tierra empleado en el eje y	72
Figura 5.42. Carrete de plástico acoplado al eje del motor 2.	73
Figura 5.43. Modificación de la posición de los grilletes en el cable de acero del eje z.....	73
Figura 5.44. Prueba del sistema <i>interlock</i>	74
Figura 5.45. Funcionamiento de la señalización de advertencia.	75
Figura 5.46. Programación del funcionamiento de la sirena tipo turbina.....	75
Figura 5.47. Ubicación del cable de tierra en el aislador tipo retenida	76
Figura 5.48. Control del nivel de voltaje en el módulo de control del transformador de Alto Voltaje.	76

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

TITULO: “AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

Autores:

Pérez Guilcaso Edgar Mauricio

Tigse Toapanta Walter Vinicio

RESUMEN

El presente proyecto desarrollado como una propuesta tecnológica fue implementada en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas), a partir del diseño de sistemas de control empleando módulos lógicos programables para automatizar la Jaula de Faraday. El diseño cuenta con un sistema de control de movimiento accionado por un PLC S7 1200, a través del software TIA Portal se programó las señales tipo tren de impulso PTO hacia los drives que accionan los motores paso a paso, necesarios para el desplazamiento del sistema de poleas con el fin de controlar el movimiento en un eje y (movimiento vertical), x (movimiento horizontal) y z (movimiento frontal) la posición del cable de puesta a tierra. Además, se instaló un sistema de control de seguridad en presencia de Altos Voltajes mediante un LOGO 230RC, cuya programación fue desarrollada en el software Soft Comfort ejecutando señales de salida hacia la sirena tipo turbina, las luces tipo licuadora y el sistema interlock que controla la alimentación al módulo de control del transformador de Alto Voltaje, asimismo el accionamiento de encendido para el sistema de control de movimiento, con el objetivo de garantizar la seguridad de maniobras durante los ensayos realizados en la Jaula de Faraday. La metodología principal aplicada en esta propuesta fue de tipo experimental, se emplearon guías técnicas y normativas asociadas al desarrollo de este proyecto. El sistema de automatización ha sido validado mediante pruebas, calibraciones y manuales de operación de los sistemas de control, al mismo tiempo la realización de ensayos de disrupción dieléctrica, para comprobar el correcto funcionamiento de los módulos de control en la Jaula de Faraday.

Palabras clave— *Laboratorio, Automatización, Jaula de Faraday, Control, Seguridad, Maniobras.*

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF APPLIED AND ENGINEERING SCIENCE

TITLE: “AUTOMATION OF THE FARADAY SHIELD FOR THE SAFETY OF MANEUVERS IN THE HIGH VOLTAGE LABORATORY IN THE ELECTRICAL ENGINEERING CAREER OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”.

Authors:

Pérez Guilcaso Edgar Mauricio

Tigse Toapanta Walter Vinicio

ABSTRACT

This project developed as a technological proposal was implemented in the high voltage laboratory of the Technical University of Cotopaxi (Faculty of Engineering and Applied Sciences) From the design of the control system used programmable logic modules to automate the Faraday Shield. The design has a motion control system activated by a PLC S7 1200, through the TIA Portal software, the PTO impulse train signals were programmed to the drives that drive the stepper motors, necessary for the movement of the pulley system to control the movement on a y axis (vertical movement), x (horizontal movement) and z (front movement) the position of the grounding wire. In addition, a safety control system was installed in the presence of High Voltages through a LOGO 230RC, whose programming was developed in the Soft Comfort software executing output signals electrometric turbine siren, flashing warning lights, and the interlock system that controls the power supply. to the control mode of the High Voltage transformer, as well as the ignition drive for the motion control system, to guarantee the safety of maneuvers during tests carried out in the Faraday Shield. The main methodology applied in this proposal was experimental, technical, and normative guides associated with the development of this project were used. The automation system has been validated through tests, calibrations, and operation manuals of the control systems, at the same time the performance of dielectric breakdown tests, to verify the correct operation of the control modules in the Faraday Shield.

Keywords— *Laboratory, Automation, Faraday Cage, Control, Safety, Maneuvers.*

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés de la Carrera de Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros Ingles de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los Señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: PEREZ GUILCASO EDGAR MAURICIO** y **TIGSE TOAPANTA WALTER VINICIO** cuyo título versa “**AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS EN EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE EN LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**” lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, octubre del 2021



Msc. Marcia Janeth Chiluisa Chiluisa
DOCENTE UTC
C.C. 050221430-7



Firmado electrónicamente
MARCO PAUL
BELTRAN
SEMBLANTES



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Automatización de la Jaula de Faraday para la Seguridad de Maniobras en el Laboratorio de Alto Voltaje en la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fecha de inicio: lunes 05 de abril del 2021.

Fecha de finalización: viernes 01 de octubre del 2021.

Lugar de Ejecución: Laboratorio de Alto Voltaje de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que Auspicia: Ingeniería Eléctrica mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Equipo de trabajo:

- Ms.C. Carlos Francisco Pacheco Mena
- Edgar Mauricio Pérez Guilcaso
- Walter Vinicio Tigse Toapanta

Tutor de titulación:

Nombres y Apellidos: Carlos Francisco Pacheco Mena.

Domicilio: Juan Montalvo, Latacunga.

Código postal: 050103.

Cédula de ciudadanía: 0503072902.

Nacionalidad: Ecuatoriana.

Estado Civil: Soltero.

Número telefónico: 0984293945.

E-mail: carlos.pacheco2902@utc.edu.ec.

Ocupación: Docente.

Investigadores del trabajo

Datos personales (Postulante 1):

Nombres y Apellidos: Edgar Mauricio Pérez Guilcaso.

Domicilio: Pujilí.

Código postal: 050401.

Cédula de ciudadanía: 0503862500.

Nacionalidad: Ecuatoriana.

Estado Civil: Soltero.

Número telefónico: 0963697184.

E-mail: edgar.perez2500@utc.edu.ec.

Datos personales (Postulante 2):

Nombres y Apellidos: Walter Vinicio Tigse Toapanta.

Domicilio: Pillarlo, San Andrés.

Código postal: 180502.

Cédula de ciudadanía: 1805006119.

Nacionalidad: Ecuatoriana.

Estado Civil: Soltero.

Número telefónico: 0967545297.

E-mail: walter.tigse6119@utc.edu.ec.

Área de conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y energía / 0714 Electrónica y automatización.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de la investigación de la Carrera de Ingeniería Eléctrica:

Control y optimización en el uso de la energía en el sector Industrial, comercial y residencial.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

Los laboratorios cumplen un rol fundamental en el desarrollo académico de los estudiantes, es necesario que cuenten con las herramientas necesarias y las medidas de seguridad requeridas para facilitar su empleo. En el Laboratorio de Alto Voltaje en análisis, se ha evidenciado la falta de medidas de seguridad en la Jaula de Faraday en torno a la manipulación de equipos durante los ensayos, incumpliendo las recomendaciones establecidas por laboratorios a nivel internacional, para el manejo y seguridad en niveles de voltaje elevados.

Fundamentalmente para realizar ensayos de Alto Voltaje, la manipulación de equipos es de tipo manual y al no considerar las medidas de seguridad establecidas se incurre en la posibilidad de un riesgo eléctrico para estudiantes, docentes y terceros, tanto a la hora de realizar prácticas, mantenimiento o en los periodos de inactividad. La Jaula de Faraday actualmente no cuenta con sistemas de bloqueo, botones de emergencia internos, externos, luz de aviso y alarmas de activación de equipos de Altos Voltajes.

2.1.2 Formulación del problema

En las condiciones actuales de manipulación en la Jaula de Faraday del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi, existen riesgos eléctricos asociados al manejo de equipos al momento de realizar ensayos.

2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1 Objeto de estudio

Automatización de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras con el uso de controladores lógicos programables.

2.2.2 Campo de acción

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330602 Aplicaciones Eléctricas.

2.3 BENEFICIARIOS

2.3.1 Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos de esta propuesta tecnológica son los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica que utilicen el Laboratorio de Alto Voltaje a lo largo de su formación académica.

2.3.2 Beneficiarios Indirectos

Esta propuesta tecnológica además se presenta como un beneficio indirecto hacia las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi, estudiantes de otras carreras y externos que se involucren en ensayos de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday.

2.4 JUSTIFICACIÓN

El Laboratorio de Alto Voltaje de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi cumple un rol fundamental en el desarrollo académico de los estudiantes al permitir convalidar conocimientos teóricos con prácticos, por lo que es necesario que este espacio cuente con todos los equipos y medidas de seguridad para facilitar su operación. La jaula de Faraday cuenta con equipos que manejan un nivel de voltaje de hasta 50 kV, principalmente es utilizada para analizar disrupciones eléctricas en distintos tipos de aisladores eléctricos, pruebas en transformadores y el comportamiento de los equipos al someterse a niveles de voltaje elevados.

La presente propuesta tecnológica se realiza para garantizar el nivel de seguridad y facilitar el manejo de la Jaula de Faraday al momento de realizar ensayos con niveles de voltaje elevados. Actualmente, cualquier maniobra en la Jaula de Faraday debe realizarse de forma manual en su interior, esto puede conllevar a accidentes por riesgos eléctricos al existir un uso inadecuado de los equipos ya que, no cuenta con los elementos de seguridad requeridos en laboratorios de Alto Voltaje. Para mejorar las deficiencias existentes se ha pensado en la implementación de un sistema automatizado, el cual contará con un sistema de control que actuará directamente sobre la manipulación de elementos y equipos desde la parte externa, además, se instalará un sistema de *interlock* en la puerta, el cual actúa sobre unos conmutadores que desconectan la energía de las fuentes de voltaje, incluyendo botones de emergencia internos y externos que cumplan la misma función, y la instalación de una luz con aviso de alto voltaje.

El presente proyecto es un aporte a la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuyos beneficiarios incluyen docentes y estudiantes que empleen el laboratorio de

Alto Voltaje en el transcurso de su formación académica, por ende al automatizar e implementar medidas de seguridad recomendadas en este tipo instalaciones, se facilita el uso de los equipos del laboratorio, además los estudiantes no estarán expuestos a ningún riesgo eléctrico innecesario al momento de realizar ensayos prácticos con niveles de voltajes elevados a lo largo de su formación académica.

2.5 HIPÓTESIS

La automatización de la Jaula de Faraday en el Laboratorio de Alto Voltaje de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, garantizará la seguridad de maniobras y evitará posibles accidentes asociados con el riesgo eléctrico.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Automatizar la Jaula de Faraday mediante el uso de componentes eléctricos vinculados a módulos lógicos programables, para la seguridad de maniobras en el Laboratorio de Alto Voltaje en la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.6.2 Específicos

- Revisar el estado del arte referente a temas relacionados con el proyecto de propuesta tecnológica.
- Seleccionar los sistemas eléctricos y mecánicos que intervienen en la automatización de la Jaula de Faraday.
- Diseñar e implementar un sistema de control para los módulos lógicos programables.
- Realizar pruebas de operación para verificar el correcto funcionamiento del sistema de automatización.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2.1. Descripción de las actividades propuestas.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Revisar el estado del arte referente a temas relacionados con el proyecto de propuesta tecnológica.	Investigación en diversas fuentes bibliográficas información sobre proyectos de automatización y recopilar datos importantes.	Información: definiciones referentes al sistema de control a emplear en la Jaula de Faraday.	Investigación bibliográfica: Libros, Tesis, Artículos, Revistas tecnológicas, Normativas, Informes técnicos.
Seleccionar los sistemas eléctricos y mecánicos que intervienen en la automatización de la Jaula de Faraday.	Análisis de información técnica de elementos y equipos para realizar la automatización.	Identificación de los elementos eléctricos y mecánicos necesarios para realizar el sistema de control de la Jaula de Faraday.	- Normativas. - Informes técnicos - <i>Datasheet</i>
Diseñar un sistema de control para los módulos lógicos programables.	- Diseñar un sistema de control para el movimiento del sistema de poleas empleando el PLC S7 1200. - Diseñar un sistema de control para los paros de emergencia, sistema <i>interlock</i> y señalización de la de advertencia en Jaula de Faraday empleando el LOGO 230RC.	- Compilar los sistemas de control en los dispositivos correspondientes. - Simular el funcionamiento de los sistemas de control para detectar posibles fallas o un mal funcionamiento.	- PC con Windows 10 - TIA Portal, LOGO <i>Soft Comfort</i> V8.2 y AutoCAD - PLC S7 1200 y LOGO 230RC - <i>Joystick</i> de 4 posiciones, pulsadores, paros de emergencia, luces tipo licuadora y sirena tipo turbina. - Cable red RJ45
Realizar pruebas de operación para verificar el correcto funcionamiento del sistema de automatización.	- Pruebas del sistema de control de poleas, <i>interlock</i> , controles de emergencia, etc. - Calibraciones en los módulos de sistema de	- Puesta en marcha del sistema de control de movimiento, señalización y bloqueo de la fuente de alimentación para el	- Computadora - Cable red RJ45 - Cable PPI - Pinza Amperimétrica - Multímetro - Herramientas de mano

	control de la Jaula de Faraday.	transformador de Alto Voltaje. - Verificación del correcto funcionamiento de la automatización en el Laboratorio.	
--	---------------------------------	--	--

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

En la actualidad no existe una normativa específica para el trabajo con alto voltaje en laboratorios en el país, la aplicación de la normativa legal ecuatoriana aplica sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas contra riesgos que puedan surgir del uso de la electricidad en bajo voltaje [1], [2]. Las normativas indicadas previamente están basadas en otros campos de aplicación y no concretamente en los sistemas de laboratorio, por lo que la instalación de cualquier sistema electrónico con alto voltaje establece un riesgo personal y material.

Generalmente los laboratorios de Alto Voltaje no se rigen bajo normativas específicas, sino que consideran normas de seguridad en función de los equipos y niveles de voltaje empleados. El nivel de voltaje considerado como Alto Voltaje según la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) son aquellos circuitos que manejan más de 1000 V en corriente alterna y 1500 V en corriente continua [3], por otro lado, dentro del país se considera en corriente alterna Alto Voltaje valores mayores a 40 y menor igual a 138 kV [4].

Bajo recomendaciones de [3] un área de Alto Voltaje debe encontrarse separada de otras partes del laboratorio por una valla, situación fundamental si hay partes metálicas móviles expuestas, pero recomendada en el caso contrario. Lo mejor es usar una valla de malla metálica, conectada a tierra con aberturas de dimensión inferior a 60 mm máximo, lo que impide la entrada desde el exterior (una mano). La malla permite el contacto visual desde el exterior, lo que es un factor de seguridad a la hora de identificar sus peligros. Otra posibilidad es un vallado con paneles sólidos que deberán tener una certificación aislante acorde al voltaje en uso, además, la valla se puede sustituir por cadenas y carteles de señalización de peligro por alta tensión para sistemas temporales.

La toma de tierra es requerida en cualquier equipo de alto voltaje, empleando una conexión con herramienta mecánica impidiendo de esta forma, ser desconcertada de manera manual. Además, debe estar a la vista, sin ningún tipo de aislamiento, identificado y señalado. Las salidas de los equipos de alto voltaje deben ser puestas a tierra cuando no estén en uso. No se recomienda el uso de resistencias en la puesta a tierra, por el riesgo de fundirlas ante una sobreintensidad y quedarse flotante si no hay el conocimiento de ello. Cualquier equipo o parte de un sistema electrónico debe conectar a tierra todo el metal expuesto. Ciertos sistemas donde el metal expuesto es parte del circuito deben ser excepciones, y se deben seguir las recomendaciones de distancia de seguridad [5].

La puerta de acceso al vallado debe contar con una llave de acceso, y fácil de abrir desde su interior en caso de una emergencia. Debe estar provista de un sistema *interlock* (enclavamientos) que actúe sobre unos conmutadores que desconectan la energía en las fuentes de Alto Voltaje, en caso de apertura de la misma. Además, el mallado debe contar con paros de emergencia internos y externos de color rojo colocados a simple vista y marcados con etiquetas la zona que protegen, cuya función es la misma que la de los conmutadores [3], [5]. Según [3] es recomendable instalar luces de avisos que deben activarse cuando el sistema active Alta Tensión, de igual manera deben colocarse paneles de peligro, letras en negro y fondo amarillo.

3.2 MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL

3.2.1 Jaula de Faraday

3.2.1.1 Michael Faraday

La Jaula de Faraday lleva el nombre de su inventor, el científico británico Michael Faraday. Fue inventado en 1836. Las jaulas de Faraday también se llaman escudos de Faraday. La Jaula de Faraday consta de una capa exterior hecha de materiales que pueden contener cargas móviles y electricidad. La carcasa también puede estar hecha de una malla del mismo material. Este tipo de carcasa tiene la capacidad de bloquear campos externos y electricidad estática [6].

3.2.1.1 Principio de Funcionamiento

Se denomina Jaula de Faraday de sistema cerrado, fabricada en material conductor y formado por blindaje electrostático. El sistema tiene las características de estar inmerso en el campo eléctrico, además el campo es nulo en su interior. Esto se debe a que cuando un conductor se somete a un campo electromagnético externo, se polarizará, por lo que se cargará positivamente

en la dirección de propagación del campo electromagnético y se cargará negativamente en la dirección opuesta. Dado que el conductor ha sido polarizado, generará un campo eléctrico de igual magnitud, pero opuesto al campo electromagnético, por lo que la suma de los dos campos en el conductor será cero [7], [8].

El propósito de construir la jaula es probar la ley de Gauss. Faraday construyó una habitación cubierta con una capa de metal y una descarga de alto voltaje golpeó el exterior de la habitación. Para probar la hipótesis en la habitación, se introdujo un electroscopio, lo que indica que no hay carga eléctrica en él. Esto explica la ley de Gauss de que el flujo eléctrico total en una superficie cerrada es cero [7].

Por otra parte, cada práctica dentro de la Jaula de Faraday generará un gran campo electromagnético, estos campos electromagnéticos deben aislarse para no afectar los equipos electrónicos y el cuerpo humano. Estos campos electromagnéticos deben ser retenidos y luego descargados a tierra en caso de una falla [9]. Por consiguiente, la Jaula de Faraday que se encuentra en el Laboratorio de Alto Voltaje de La Universidad Técnica de Cotopaxi se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Jaula de Faraday del Laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.2.1.2 Aplicaciones de la Jaula de Faraday

Las jaulas de Faraday tienen una gran cantidad de aplicaciones en la vida diaria, es decir, muchos de los objetos que se utilizan a diario son posibles gracias a la investigación del científico Michael Faraday [10]. A continuación, se describe algunos ejemplos en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Aplicaciones tecnológicas en la Jaula de Faraday [10].

Aplicaciones	Descripción
Seguridad contra relámpagos	Tanto los coches como los aviones, pueden someterse alguna vez a una tormenta eléctrica, debido a su estructura se puede comprobar que en este caso pueden actuar como jaulas de Faraday para proteger a todo aquel que viaje en su interior.
Protecciones para los productos electrónicos	Los equipos electrónicos pueden ser blindados y protegidos de los perdidos campos electromagnéticos mediante el uso de cables coaxiales que contienen una capa conductora que actúa como una Jaula de Faraday.
Trajes de protección para los linieros	Los linieros regularmente usan trajes de protección que trabajan como jaulas de Faraday para garantizar su seguridad mientras se trabaja con líneas eléctricas de alta tensión. Estos trajes de protegerlos de electrocutarse.
Microondas	Se utiliza para calentar los alimentos.
Dispositivos electrónicos	En los teléfonos móviles, dispositivos de audio, utilizan la Jaula de Faraday para evitar interferencias y ruidos.

3.2.2 Alto Voltaje en laboratorios

Se necesitan equipos de alto voltaje para estudiar el aislamiento de materiales y equipos bajo las condiciones de operación más probables que puedan ocurrir. Los ensayos se llevan a cabo con voltajes elevadas a la nominal para determinar el factor de seguridad [11]. La forma convencional de Alto Voltaje en el Laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi es en voltaje alterna, utilizado para ensayos de disrupción dieléctrica en distintos tipos de materiales utilizados en aisladores eléctricos y pruebas de disrupción en aceite.

Por lo general, se pueden realizar pruebas para obtener el voltaje de descarga u obtener el voltaje de resistencia de los materiales aislantes [11].

3.2.2.1 Las 5 reglas de oro de seguridad eléctrica

Las 5 reglas de oro son una serie de instrucciones obligatorias que los trabajadores del campo eléctrico deben ejecutar en secuencia antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento en instalaciones o redes eléctricas. Es decir, son unos procedimientos estándar obligatorios para minimizar los riesgos eléctricos en trabajos sin voltaje, además de garantizar la seguridad de los usuarios antes de realizar cualquier actividad con voltajes considerables [12].

Por lo antes mencionado siempre que opere un sistema de un voltaje considerable, se debe recordar lo siguiente, como se muestra en la Figura 3.2.

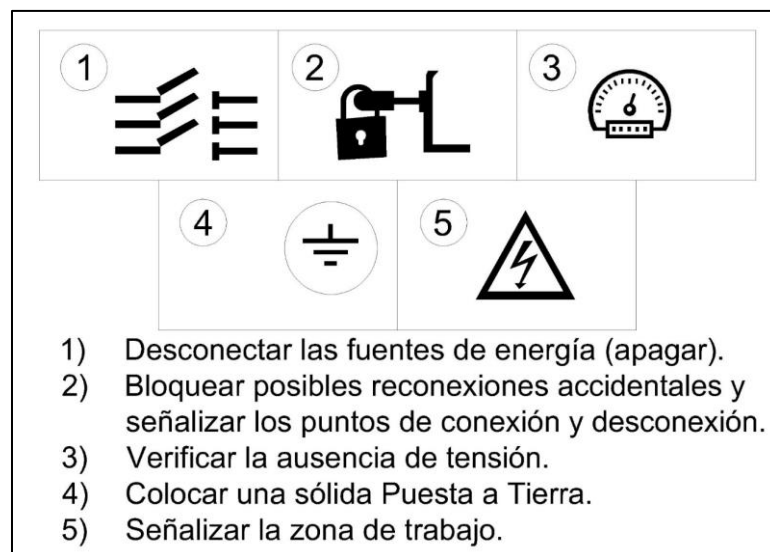


Figura 3.2. Las 5 Reglas de Oro del mantenimiento eléctrico [12].

3.2.3 Automatización

La automatización se define como un conjunto de métodos y procedimientos para reemplazar a los operadores en tareas físicas y mentales previamente programadas. Según esta definición original se desprende el esclarecimiento de automatización como la aplicación en el control de procesos industriales [13].

Considerando la aplicación de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y computarizados, la automatización se relaciona con eliminar o reducir la participación humana en los diferentes procesos productivos, para operar y controlar la producción de manera más eficaz. También es un medio por el cual los procesos de producción utilizan la tecnología para controlar las variables de entrada, proceso y salida de un proceso de producción específico, por lo que esto significa que estas variables son controladas a través de un programa [14].

La automatización industrial es una rama de la ingeniería electrónica que aplica la integración de tecnologías en los campos del control automático industrial, los sistemas de control y la supervisión de datos, el control de procesos y las redes de comunicación industrial. Además, existe un término aplicable a la automatización de procesos industriales, que se denomina tecnología basada en la aplicación de sistemas mecánicos, electrónicos y eléctricos complejos a las operaciones y el control de la producción [15].

3.2.3.1 Ventajas

La principal ventaja de la automatización frente a los procesos de producción manual es asegurar que la calidad del proceso de producción sea mejor, lo que dependerá directamente de

la eficiencia del sistema de control implementado [16]. Además, en la Tabla 3.2 se indica otras ventajas como:

Tabla 3.2. Ventajas de la automatización [16].

Ventajas	Descripción
Costo óptimo de operación	La integración de varios procesos y maquinaria automatizada en la industria minimiza el tiempo de ciclo y la carga de trabajo, reduciendo así la necesidad de mano de obra. Esto ha provocado una reducción de la inversión en personal.
Alta productividad	La automatización de fábricas y procesos industriales mejoran las tasas de producción, reduciendo significativamente el tiempo de ensamblaje de cada producto y mejorando la calidad. Por otro lado, permite que la industria opere las 24 horas del día.
Producto de alta calidad	La automatización reduce la participación humana, por tanto, también elimina la posibilidad de errores humanos. Permite mantener un nivel uniforme de calidad del producto mediante el control adaptativo y la monitorización del proceso industrial en todas las etapas.
Alta flexibilidad	Agregar una nueva tarea a la línea de ensamblaje implica la capacitación necesaria de todos los operadores manuales involucrados. En cambio, los robots y las máquinas pueden programarse para realizar diversas tareas, lo que proporciona una mayor flexibilidad en el proceso de producción.

3.2.3.2 Jerarquía de automatización

Los sistemas de automatización industrial pueden ser de naturaleza muy compleja, con una gran cantidad de dispositivos que funcionan sincrónicamente con la tecnología de automatización, la disposición jerárquica consta de diferentes niveles [17], como se muestra en la Figura 3.3.

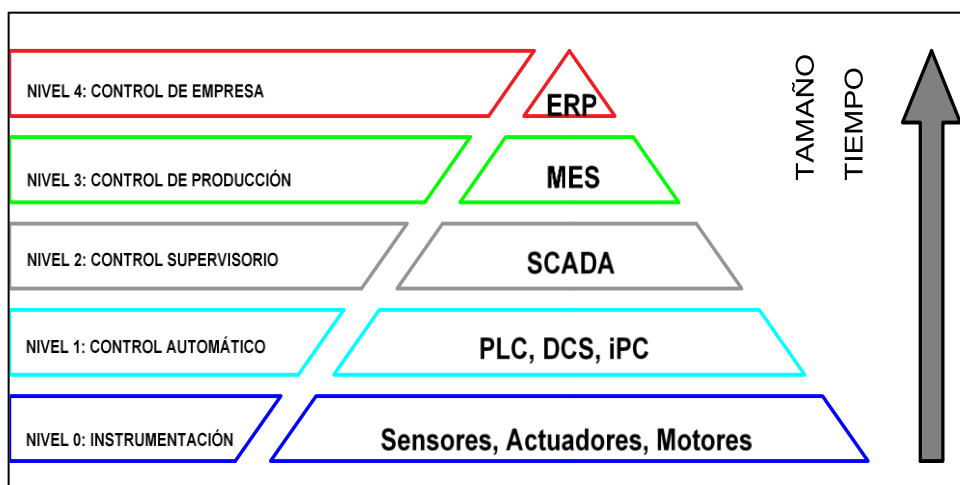


Figura 3.3. Pirámide jerárquica de automatización [18].

La jerarquía de la automatización también puede clasificarse dependiendo del nivel al cual es aplicada, como se muestra a continuación:

a. Nivel de campo

Es el nivel más bajo incluye dispositivos de campo como sensores, actuadores y controladores. La tarea principal de estos dispositivos de campo es transmitir datos de proceso y de máquina al siguiente nivel superior para monitoreo y análisis, así como el control de parámetros de proceso a través de actuadores. Por ejemplo, podemos describir este nivel como los ojos y los brazos de un proceso en particular [18].

b. Nivel de control

Este nivel está compuesto por varios equipos de automatización, como máquinas herramienta CNC, PLC, etc., que obtienen los parámetros del proceso de varios sensores. Los controladores automáticos accionan los actuadores basándose en el procesamiento de señales de sensores y tecnología de programación o control [18].

3.2.3.3 Tipos de sistemas de automatización

Dentro de los tipos de automatización se tiene:

a. La automatización fija

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, por lo que es adecuado para diseñar equipos especializados para procesar el producto o un componente de producto con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción.

Su desventaja es que el costo de inversión inicial es alto y, una vez finalizado el ciclo de vida del producto, es probable que el equipo quede obsoleto [19].



Figura 3.4. Automatización fija industrial [19].

b. La automatización programable

Se utiliza cuando el volumen de producción es relativamente bajo y es necesario obtener rendimientos múltiples. Los equipos de producción se diseñan para adaptarse a los cambios en

la configuración del producto por lotes. Cuando se completa un lote de productos, el equipo está programado para procesar el siguiente lote [19].



Figura 3.5. Automatización programable en paneles solares [19].

c. La automatización flexible

Este es un concepto desarrollado en los últimos 15 o 20 años. Tiene algunas características de automatización fija y automatización programable. Estos sistemas generalmente consisten en una serie de estaciones de trabajo interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. A través de la automatización flexible, se pueden obtener múltiples productos simultáneamente en el mismo sistema de fabricación [18], [19].



Figura 3.6. Automatización flexible en brazos mecánicos [19].

En general, los primeros métodos para el desarrollo de automatismos eran puramente intuitivos, llevados a términos por expertos y desarrollados basándose en la experiencia. Sin embargo, en la actualidad se utilizan métodos más sistemáticos con lo que no es necesario ser un experto en automatismos para llevarlos a término [15].

3.2.3.4 Automatización con Grafcet

Grafcet es una herramienta gráfica para el diseño de programas de usuario para autómatas programables en forma grafo o diagrama funcional, normalizado, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones [14], [15].

Todo automatismo secuencial o concurrente se puede estructurar en una serie de etapas que representan estados o subestados del sistema en los cuales se realiza una o más acciones, así como transiciones, que son las condiciones que deben darse para pasar de una etapa a otra [15].

a. Reglas del Grafcet

Un diagrama de Grafcet está compuesto de:

- Etapa: define un estado en el que se encuentra el automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.
- Acción asociada: es la acción que va a realizar la etapa, por ejemplo, conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.
- Transición: es la condición o condiciones que, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el Grafcet de una etapa a la siguiente, por ejemplo, un pulsador, un detector, un temporizador, etc.

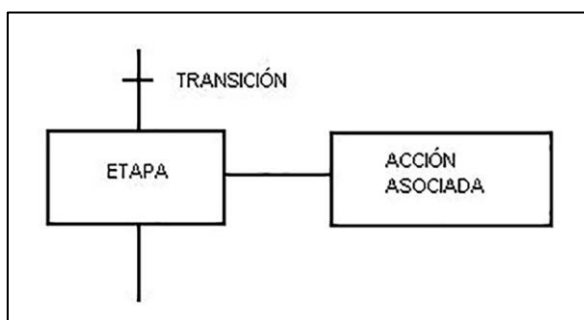


Figura 3.7. Partes de un diagrama de Grafcet [14].

b. Niveles del Grafcet

De puede describir tres niveles de especificaciones de un automatismo. Estos tres niveles son los que habitualmente se utilizan para diseñar y para describir un automatismo [15].

- Grafcet de nivel 1: Descripción funcional

Es una descripción global (normalmente poco detallada) del automatismo que permita comprender rápidamente su función. Es el tipo de descripción que haríamos para explicar lo que queremos que haga la máquina a la persona que la ha de diseñar.

- Grafcet de nivel 2: Descripción tecnológica

Se hace una descripción a nivel tecnológico y operativo del automatismo. Quedan perfectamente definidas las diferentes tecnologías utilizadas para cada función. El Grafcet describe las tareas que han de realizar los elementos escogidos (estructura de la máquina).

- Grafcet de nivel 3: Descripción operativa

Este nivel define la secuencia de actuaciones que realizará este automatismo. En el caso de que se trate, por ejemplo, de un autómatas programable, definirá la evolución del automatismo y la activación de las salidas en función de la evolución de las entradas.

c. Clasificación de las secuencias

Podemos encontrarnos con tres tipos de secuencias: Lineales, con direccionamientos o alternativas y simultáneas [15].

- Lineales: componen una sucesión lineal de etapas, en esta secuencia, el programa irá activando cada una de las etapas y desactivando la anterior conforme se vayan cumpliendo cada una de las condiciones.
- Con direccionamiento: en esta secuencia el ciclo puede variar en función de la condición que se cumpla.
- Simultáneas: estas permiten la ejecución paralela de varios ciclos, funcionando a la vez por activación simultánea de etapas.

3.2.3.5 Modelo estructural de la automatización

El modelo estructural de la automatización consta de dos partes: una parte operativa, que se encarga de realizar diferentes actividades como parte del proceso a través de los diferentes elementos que componen el proceso. Es decir, la parte operativa está compuesta por un conjunto de equipos y máquinas diseñados para realizar determinadas funciones de fabricación; en concreto, pueden ser máquinas herramienta para operaciones de mecanizado [14].

La otra parte es de control que es responsable de coordinar las actividades del proceso, incluyendo el control de calidad, la gestión de herramientas y la supervisión de las operaciones. El sometimiento de la parte operativa se logra manteniendo continuamente el intercambio de

información entre la parte operativa y la parte de control o mando. El intercambio se establece a través de sensores binarios, convertidores analógicos, digitales y dispositivos de pre accionamiento [14].

Considerando las partes que lo componen, el esquema del sistema de automatización es el siguiente (Figura 3.8):

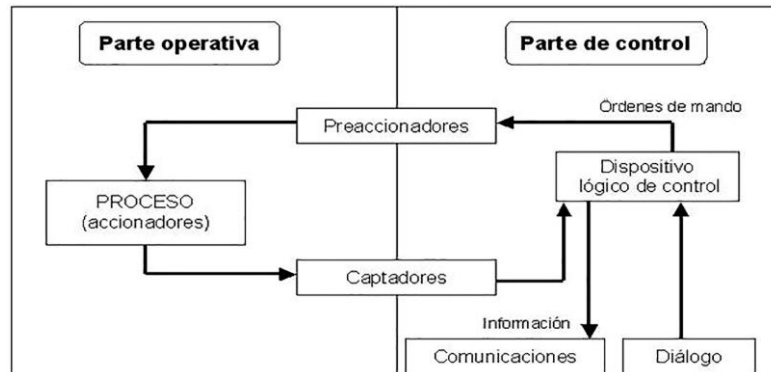


Figura 3.8. Modelo estructural de un sistema automatizado [14].

A partir de los dos primeros, se recoge información de los valores de las magnitudes físicas a controlar y su cambio de estado, enviando la información a la parte de control para su procesamiento a través de los captadores. Después de procesar la información se envía acciones de mando por medio del preaccionador. Los preaccionadores se utilizan para activar un accionador que permite ejecutar movimientos dentro de un sistema, que pueden ser hidráulicos, neumáticos, o eléctricos [14].

Para tener una idea más clara de la estructura básica de un sistema de automatización, se muestra en la Figura 3.9.

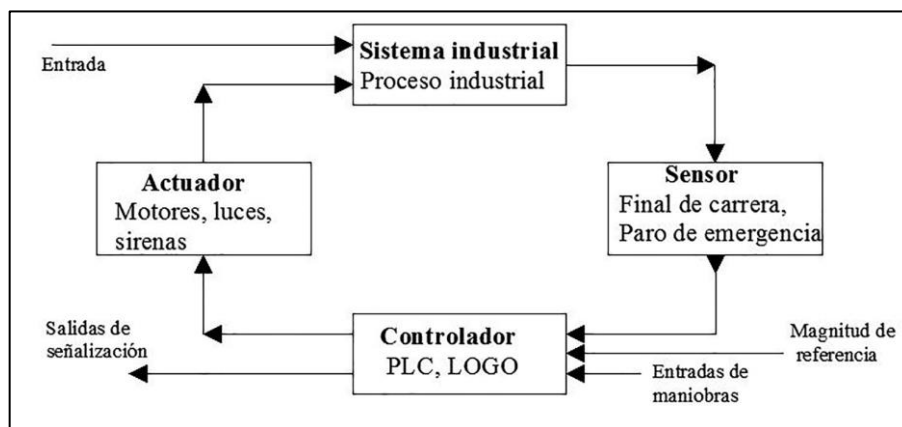


Figura 3.9. Estructura básica de un sistema automatizado.

3.2.3.6 Componentes del sistema de automatización

La automatización está compuesto por varios equipos y componentes que realizan diversas funciones relacionadas con los procesos industriales, como detección, control, supervisión y monitoreo [19]. Los principales componentes de un sistema automatizado se muestran en la Figura 3.10.

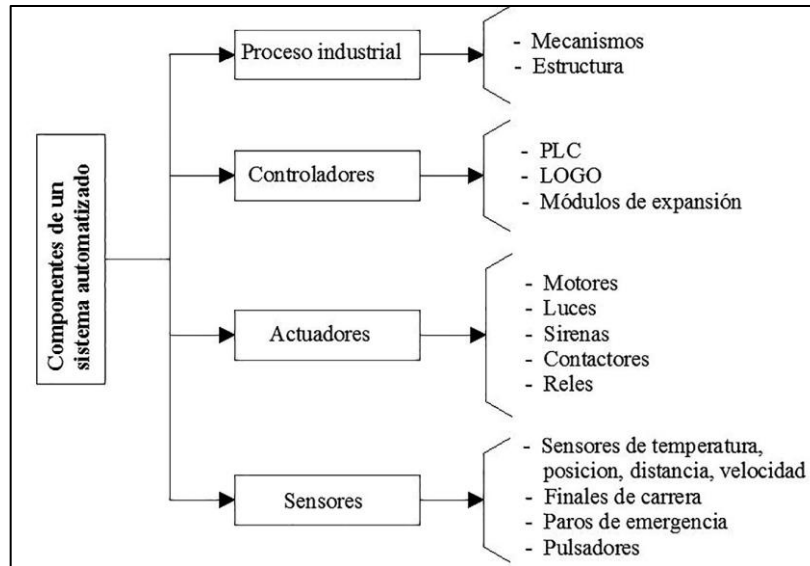


Figura 3.10. Principales componentes de un sistema automatizado.

3.2.3.7 Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización

Existen complejos procesos automatizados que requieren la colaboración entre varios departamentos de una empresa (gestión, logística, automatización, distribución, etc.) [13]. Por ende, es de importancia enfocar el problema en concreto en la parte de automatización, la cual consta de las siguientes fases que el operario debe realizar:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

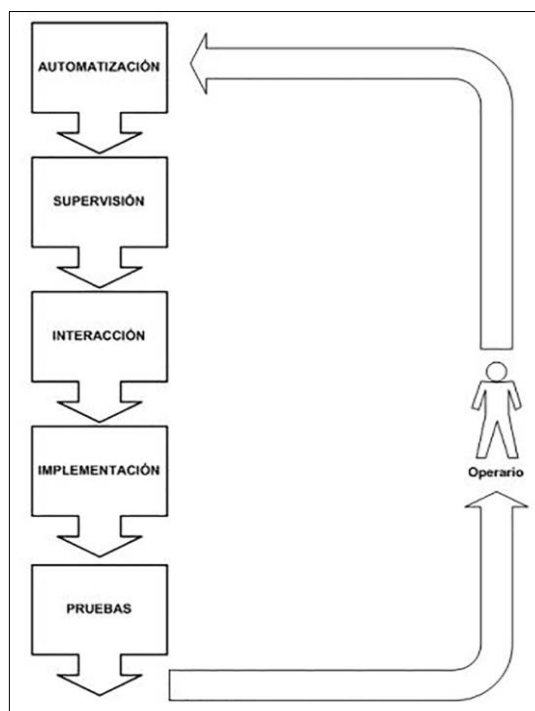


Figura 3.11. Secuencia de fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización [13].

En el caso de llevar a la práctica un proyecto de automatización, se debe seguir la secuencia ordenada de fases como se muestra en la Figura 3.11. En otras palabras, si se quiere poner en práctica la metodología, se debe seguir paso a paso el método de forma secuencial. Además, el papel de los operadores en este programa es llevar a cabo cada una de las fases [13].

3.2.4 Módulo lógico

El módulo lógico es un controlador programable que permite a la máquina ejecutar el proceso sin intervención manual, por lo tanto, el módulo lógico es un controlador inteligente. El uso de estos controladores se utiliza principalmente en la industria, donde las instalaciones grandes y complejas funcionan con muchos procesos, pero gracias a los módulos lógicos modernos y económicos, estos controladores hoy en día se pueden utilizar en procesos más pequeños o incluso en el ámbito privado, por ende sus características le permite soportar entornos hostiles y continuar brindando una larga vida útil, utilizando pequeños espacios en comparación con otras opciones de automatización [20], [21].

3.2.4.1 Controlador Lógico Programable

El controlador lógico programable o más conocido PLC (por sus siglas en inglés, *Programmable Logic Controller*) es un dispositivo digital electrónico con un número establecido de entradas y salidas que se utiliza en la ingeniería de la automatización [22]. En

otras palabras, es un dispositivo con una memoria para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la utilización de funcionalidades concretas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objetivo de mantener el control de máquinas y procesos [23].

El PLC trabaja en secuencia según pautas e instrucciones perfectamente definidas, por lo que sus operaciones son secuenciales y cíclicas, es decir, estas operaciones se realizan una tras otra y se repiten continuamente cuando el PLC este alimentado. Este proceso se denomina " Ciclo de Scan" [22].

En el ciclo Scan se pueden realizar las operaciones básicas siguientes:

- Ejecución de los procesos comunes: comprobación de tensiones, capacidades de memorias.
- Lectura del valor de las entradas.
- Ejecución del programa definido por el usuario.
- Activación de las salidas correspondientes.

Los ciclos Scan se ejecutan secuencialmente, pero algunas instrucciones le permiten saltar de una línea de programación a otra o leer subrutinas. Estas instrucciones están diseñadas para acelerar el proceso del ciclo. Cuanto más corto sea el período de exploración, más rápida será la velocidad de lectura del PLC [22], [24].



Figura 3.12. Controlador Lógico Programable [23].

En la etapa de la selección del Controlador Lógico Programable se puede regir a la normativa IEC 61131.

3.2.4.2 Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación bastante largo. Su implementación se da prácticamente en esas instalaciones en donde se necesita un proceso

de maniobra, control y señalización. Por consiguiente, su aplicación encierra a partir de procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras [23], [24]. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la probabilidad de guardar los programas para su posterior e inmediata implementación, la modificación o variación de los mismos, por ende, provoca que su eficacia se aprecie primordialmente en procesos en que se generan necesidades como, por ejemplo:

- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

3.2.4.3 TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal)

El software TIA PORTAL es denominado por SIEMENS como un concepto que integra diferentes herramientas de automatización en un solo paquete, teniendo una utilidad para los PLC, paneles de operador, redes de comunicación y otros dispositivos. Proporciona acceso ilimitado a un conjunto completo de servicios de automatización digital, desde planificación digital e ingeniería integrada hasta operaciones integradas [25], [26].

a. Software en TIA Portal

Con TIA Portal se integra no solamente el software básico (STEP 7, WinCC, SINAMIX, Startdrive, SIMOCODE ES y SIMOTION SCOUT TIA), además incluye funcionalidades como multiusuario y administración de energía en una sola interfaz [26].

b. Hardware en el TIA Portal

Permite integrar todos los componentes clave de su proyecto de automatización: controles, HMI, motores, periféricos distribuidos, gestión de motores y ahora controla el movimiento y la distribución de energía [26].

- Software de programación STEP 7

En el entorno de programación STEP 7 se puede desarrollar, modificar y supervisar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluidas las herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos de un proyecto, como los controladores y dispositivos HMI.

Además, proporciona lenguajes de programación estándar que permiten desarrollar el programa de control de forma eficiente y cómoda como se muestra en la Figura 3.13 [27].



Figura 3.13. Entorno de programación STEP 7 en TIA Portal [27].

Dentro del manual de operación proporcionado por el fabricante [27], los lenguajes de programación estándar que proporciona STEP 7 son los siguientes:

- FUP (diagrama de funciones): Lenguaje de programación basado en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.
- KOP (esquema de contactos): Es un lenguaje de programación gráfico, con representación similar a los esquemas de circuitos.
- SCL (*Structured Control Language*): Lenguaje de programación de alto nivel basado en texto.

3.2.5 Control de movimiento S7 1200

3.2.5.1 Funcionalidad *Motion* CPU S7 1200

Dentro del TIA portal existe la funcionalidad *Motion Control* en la CPU s7 1200 para controlar motores paso a paso y servomotores con interfaz de impulsos para monitorizar y controlar los accionamientos [28]. Donde:

- En el objeto tecnológico “Eje” se configuran los datos de los parámetros mecánicos, dinámicos, la interfaz y otras propiedades para el accionamiento.
- Se configuran las salidas correspondientes a las señales de dirección e impulso en la CPU.
- La interfaz de PROFINET se emplea para establecer una conexión online entre el programa y la CPU.

Todas las variantes DC/DC/DC de la CPU s7 1200 tienen incorporadas en sus salidas el control directo de los accionamientos. Las variantes de relé de la cpu necesitan una *signal board* con

salidas DC para el control de los accionamientos [28]. En el ANEXO B se encuentra la información de las distintas CPU habilitadas con el control de movimiento, el número máximo de unidades controlables y frecuencia.

3.2.5.2 Escalonamiento

Dentro de las interfaces disponibles de sincronización con un motor paso a paso tenemos:

- PTO (impulso A y sentido B). – La salida P0 controla los impulsos y la siguiente P1 el sentido. Donde P1 es activo (*high*) si hay impulsos en sentido positivo, en cambio P1 es inactivo (*low*) si hay impulsos en sentido negativo, gráficamente su funcionamiento se indica en Figura 3.14 [28].

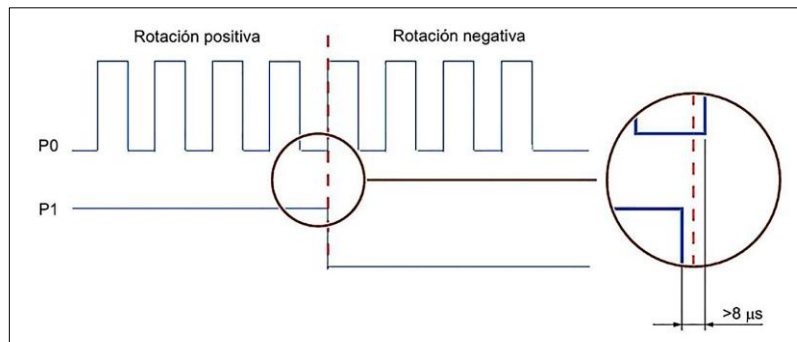


Figura 3.14. Señal de salida PTO (impulso A y sentido B) [28].

- PTO (impulso ascendente A e impulso descendente B). – En esta configuración la salida P0 controla los impulsos para sentidos positivos y una salida diferente P1 los impulsos para sentidos negativos, gráficamente su funcionamiento se indica en Figura 3.15 [28].

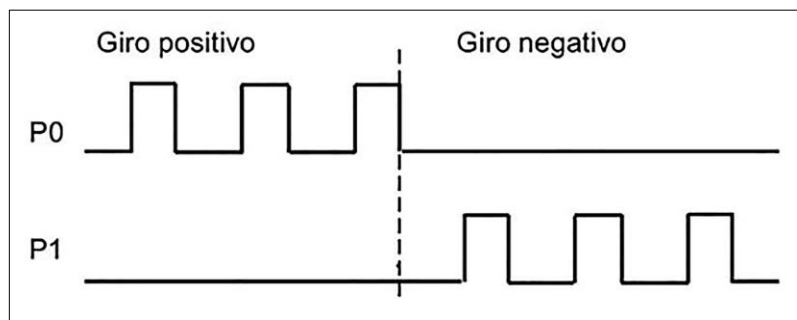


Figura 3.15. Señal de salida PTO (impulso ascendente A e impulso descendente B) [28].

3.2.5.3 Control de movimiento en bucle abierto

Para esta configuración de control el eje en lazo abierto del PLC, el accionamiento se produce mediante la conexión de una PTO (*Pulse Train Output*). La CPU necesaria debe tener entradas

y salidas digitales integradas o de *Signal Board* (SB), en la Figura 3.16 se indica las configuraciones disponibles en la librería de objetos tecnológicos.

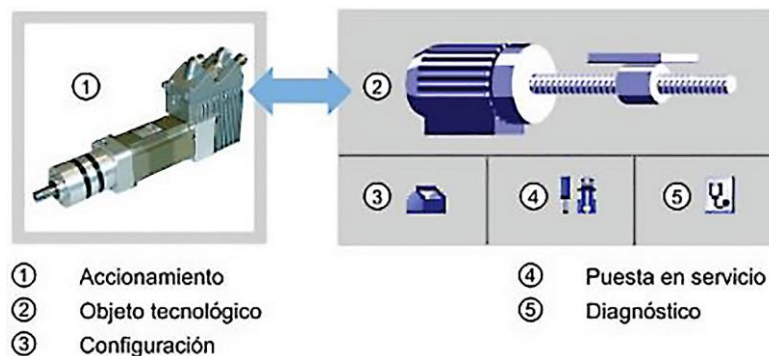


Figura 3.16. Herramientas de configuración, puesta en servicio y diagnóstico [28].

3.2.6 Motores paso a paso

Actualmente el número de motores que son los alimentados por fuentes monofásicas, es muy superior al resto, esto se debe a que gran parte de estas máquinas se encuentran en electrodomésticos pequeños, equipos de medición, servomecanismos especiales, con una potencia inferior a un caballo de fuerza. Por otro lado, la aplicación de los motores paso a paso se encuentra en otros campos como la tecnología aeroespacial, robótica, sistemas informáticos, posicionamiento de herramientas y piezas en general, etc. Generalmente funcionan con un bajo factor de potencia y un rendimiento inferior al de los motores trifásicos, resultando en un mayor precio que aquellos a igual potencia [29].

3.2.6.1 Características Técnicas

En un motor paso a paso las bobinas tienen que cargarse para producir el giro del motor, esta característica provoca que al aumentar la velocidad se reduzca el par del motor, esto se produce por la duración de los pulsos que reciben las bobinas, al aumentar la velocidad este tiempo se ve reducido, ocasionando la falta de tiempo para que se carguen totalmente, lo que disminuye su fuerza. Este proceso se trata de una curva, por lo tanto, hay que esperar un lapso de tiempo para que la curva llegue a un mínimo [30].

3.2.6.2 Características Constructivas

Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica. Estos motores empleando una configuración en lazo cerrado son fáciles de operar, además, con su tamaño proporcionan un excelente torque

a baja velocidad. Existe una amplia variedad de diseños y configuraciones en su fabricación, entre las cuales comprenden las de reluctancia variable, imán permanente e híbridas [29]–[31].

3.2.6.3 Principios de Funcionamiento

En este tipo de motores el número de pulsos es directamente proporcional a la cantidad de rotación y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los pulsos. Según [30] entre sus múltiples beneficios se incluyen:

- Diseño efectivo y bajo costo
- Alta confiabilidad
- Libres de mantenimiento (No disponen de escobillas)
- Lazo abierto (No requieren dispositivos de realimentación)
- Límite conocido al “error de posición dinámica”

3.2.6.4 Resolución de un motor por pasos y ángulo de pasos

Para determinar el número y el ángulo de pasos de un motor dependerá de los siguientes aspectos [30]:

- El número de polos del rotor
- El número de fases del motor
- El modo de impulsión (completa o medio paso)

3.2.7 Control de motores paso a paso en lazo abierto

Existen dos etapas dentro del sistema de control de un motor paso a paso [31], las cuales son:

- Etapa de control, generadora de las señales de control
- Etapa de excitación o driver electrónico

3.2.7.1 Etapa de control

3.2.7.2 Etapa de excitación o Driver electrónico

Gran parte de los dispositivos eléctricos y electrónicos requieren tensiones y corrientes que pueden dañar los circuitos digitales, por lo que, en general, debemos delegar este trabajo a los denominados circuitos controladores o drivers, en esta etapa se lleva a cabo la conmutación de los devanados [31], [32].

Generalmente, la salida de un microcontrolador tiene tres estados (alto, bajo y alta impedancia). Por supuesto, esto debe tenerse en cuenta al diseñar el controlador. De modo que, primero debe proteger el pin de salida del microcontrolador con una resistencia para limitar la corriente a través de ese pin, lo que hace que el dispositivo que está diseñando sea muy versátil. La corriente de salida es de aproximadamente 20 mA y el voltaje es inferior a 5 V. Puede utilizar estos datos para asegurarse de que el controlador sea útil para la mayoría de los microcontroladores que se pueda manejar [32].

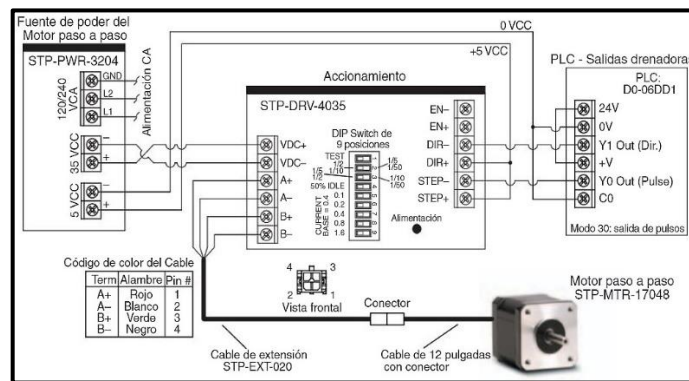


Figura 3.17. Cableado típico de un motor paso a paso [33].

Los circuitos impulsores más comunes para controlar cargas están compuestos por transistores NPN bipolares. El voltaje digital es de 5 V (VCC), el estado alto digital "H" es 5 V y el estado bajo digital "L" es 0 voltios (VSS), en otras palabras, se entregará 5V en el interior del chip cuando este en un estado alto y será conectado a tierra dentro del chip estado bajo. El tercer estado digital, llamado estado flotante, está abierto tanto a VCC como a VSS y tiene una alta impedancia [32]. En la Figura 3.17 se indica una conexión típica de un motor paso a paso con su driver electrónico.

3.2.7.3 Drivers Opto-Acopladores

Con el uso de opto-acopladores es posible aislar totalmente la conexión de las fuentes de alimentación totalmente con los circuitos digitales de baja tensión y con esto se puede cambiar la polaridad de las tensiones de alimentación altas, sin tener en cuenta el circuito digital, negativo común a masa si es necesario [32].

3.2.7.4 Procedimiento de selección

Para determinar el torque dinámico requerido para crear el movimiento y poder desplazar la carga a través de los acoples mecánicos colocados en el eje del motor, se debe determinar los elementos físicos que tienen masa, siendo la carga del motor y los actuadores acoplados a este.

a. Cálculo de torque para aceleración y operación

En el manual de sistema de los motores paso a paso [33], se establecen las fórmulas del torque necesario para acelerar o decelerar una carga que presente inercia con un cambio lineal en velocidad, para ello el modelamiento seleccionado para calcular el torque requerido se indica en la Figura 3.18.

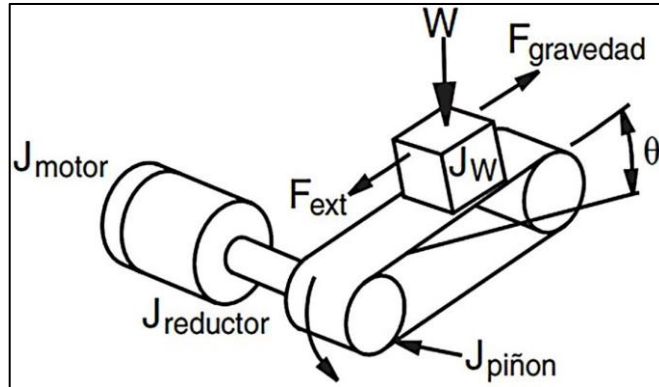


Figura 3.18. Modelo de correas transportadoras acoplado a motores paso a paso [33].

En la Figura 3.19 se indica la curva de aceleración que presentan los motores paso a paso, donde se expresa el periodo de aceleración y desaceleración expresada en radianes/segundo (rad/seg) [33].

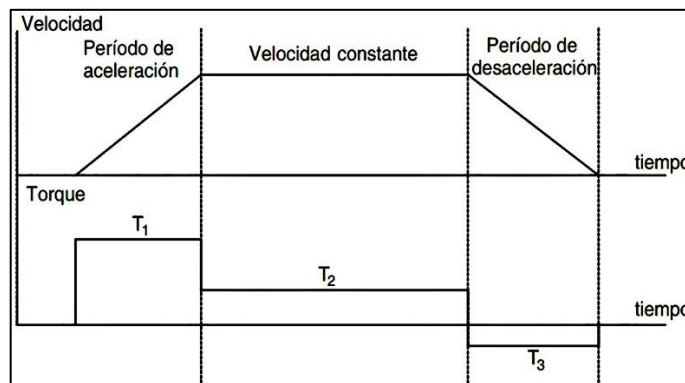


Figura 3.19. Perfil Trapezoidal donde se incluye el movimiento de aceleración y deceleración de los motores paso a paso [33].

Adicionalmente se debe considerar el modelo que representan las inercias de la ecuación (4.2), para ellos se empleó los siguiente: Para modelar la inercia que aporta los acoples a los ejes de los motores y los piñones o poleas acoplados a estos se empleó el modelo indicado en la Figura 3.20. (a) Modelo de un cilindro hueco; (b), mientras que para el peso que van a desplazar el modelo indicado en la Figura 3.20. (a) Modelo de un cilindro hueco; (b).

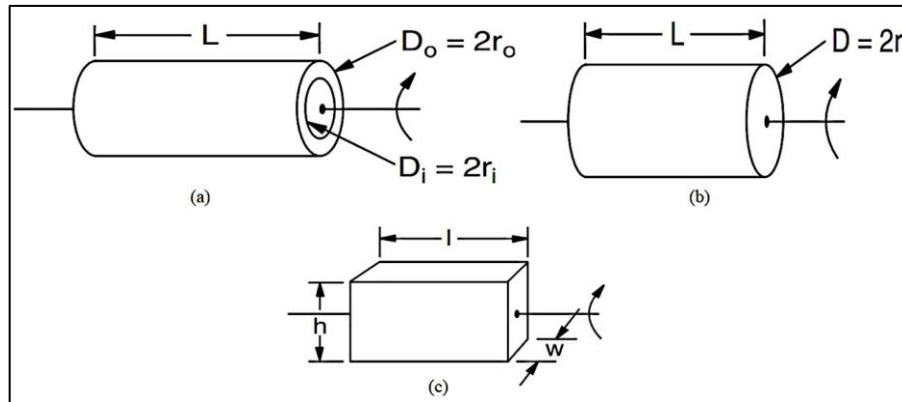


Figura 3.20. (a) Modelo de un cilindro hueco; (b) Modelo de un cilindro sólido; (c) Modelo de un bloque rectangular [33].

4. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Con el propósito de conocer en profundidad y detalle las implicaciones técnicas como económicas presentes en la automatización de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras, el proyecto enmarcó una investigación cualitativa al describir la solución de un problema puntual, el cual es la manipulación del conductor de puesta a tierra utilizada para ensayos con módulos de Alto Voltaje, esto mediante un sistema de control de movimiento que permita realizar el desplazamiento del cable de tierra a través de un sistema de poleas de tal forma que su movimiento sea en el eje x, y, z, además un segundo sistema de control de seguridad, que incluye botones de parada de emergencia, un sistema *interlock* y la señalización de advertencia de forma visual y sonora, al momento de realizar trabajos en la Jaula de Faraday. Por lo tanto, se desarrolló la implementación de tablero de control que permita realizar maniobras seguras al realizar prácticas de laboratorio con módulos de Alto Voltaje.

4.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 Investigación exploratoria

Se utiliza este tipo de investigación con la finalidad de obtener información histórica para poder continuar con la investigación, es decir para realizar el proyecto es necesario determinar las condiciones actuales de la Jaula de Faraday, así como también el Laboratorio de Alto Voltaje para la ejecución donde se pretende establecer la elaboración del proyecto, lo que permitirá conocer parámetros eléctricos, electrónicos y sistemas de control.

4.2.2 Investigación de campo

Se aplica este tipo de investigación, para la recopilación de información necesaria, que permita obtener los problemas existentes en torno a la manipulación de equipos de ensayos de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday.

4.2.3 Investigación bibliográfica

Se basa en la revisión bibliográfica del tema, con la investigación, recopilación, organización, evaluación, crítica e información, que permita obtener una visión panorámica referente a la automatización y sus tipos de sistemas control. Mediante la cual se determinó la información teórica relacionada con seguridad en laboratorios de Alto Voltaje, los equipos y materiales necesarios para el sistema de control.

4.2.4 Investigación descriptiva

Consiste en describir lo que se realizó con el tema, se establecerán los sistemas a controlar, componentes eléctricos y electrónicos utilizados en la construcción del tablero, todo esto enfocado en la creación de un manual de usuario, que sirva de apoyo para estudiantes y docentes que hagan uso de la Jaula de Faraday.

4.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos aplicados dentro del proyecto con el fin de obtener resultados y conclusiones útiles dentro de la investigación fueron escogidos de tal manera que permita obtener información de manera rápida y concisa a través de la aplicación correcta de estos métodos, la información recolectada permitirá modelar un mejor sistema de control para la Jaula de Faraday.

4.3.1 Método deductivo

Este método consiste en observar el problema actual en la Jaula de Faraday, con el fin de generar las propuestas de automatización lo cual lleva a un análisis completo y sustancial acerca del problema planteado.

4.3.2 Método Experimental

En base al método experimental se determinó las condiciones mecánicas necesarias y se adecuó las existentes, para el accionamiento del sistema de poleas y la elaboración de los elementos mecánicos a acoplarse en el eje de los motores, realizando diversas pruebas de operación en el sistema de control de movimiento.

4.3.3 Método Científico

En este método, las propuestas tecnológicas se pueden resolver según un orden lógico, el proceso de selección de instrumentos, controlador lógico programable y el cableado correcto del equipo al PLC y sus protecciones correspondientes.

4.4 NORMATIVAS

4.4.1 Guía técnica de recomendaciones para trabajo con Alto Voltaje en el Instituto de Física Corpuscular (IFIC)

La guía técnica [3], recomienda que las áreas de Alto Voltaje deben estar separadas del resto del laboratorio mediante una valla metálica mallada y deben estar aterrizadas. Estas vallas deben tener una altura de 2m de alto con aperturas de 60 mm, esto permite visualizar desde la parte exterior de los equipos, lo que es un factor de seguridad a la hora de identificar los peligros del mismo. Además, esta guía mediante la norma española indica las distancias de seguridad cuando existe riesgo de sobretensión por rayo, esto se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Distancias de peligro [3].

V (kV)	D1(cm) Distancia cuando existe peligro de sobretensión (partes activas expuestas)	D2(cm) Distancia cuando no existe peligro de sobretensión (partes activas no expuestas)
<1	50	50
3	62	52
6	62	53
10	65	55
15	66	57
20	72	60
30	82	66
45	98	73
66	120	85
110	160	100
132	180	110
220	260	160
380	390	250

Esta guía técnica, establece que las áreas de Alto Voltaje deben tener puerta con llave con un sistema *interlock*, que permite desconectar las fuentes de Altos Voltajes en la apertura de las puertas. También debe contar con paradas de emergencia internos y externo, con el mismo funcionamiento de la puerta.

La guía técnica recomienda, la instalación de una luz de aviso, una sirena al momento de activar altos voltajes y carteles de entrada al Laboratorio.

4.4.2 Norma IEC 61131-1

La norma internacional IEC-61131-1 especifica todas las definiciones e identifica las principales características relevantes para la selección y aplicación de controladores programables y sus periféricos asociados [34].

4.4.3 Norma IEC 1082-1

La comisión electrotécnica internacional (IEC), que es una organización de normalización en campos técnicos eléctricos, electrónicos y relacionados. Por lo que la norma IEC 1082-1, es la estandarización de esquemas, define y fomenta el uso de símbolos gráficos y números o reglas alfanuméricas para identificar equipos, diseñar diagramas para realizar sistemas eléctricos. Por ende, el uso de estándares internacionales elimina cualquier riesgo de confusión y facilita la investigación y propuesta tecnológica, la puesta en servicio y el mantenimiento de las instalaciones [35].

4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.5.1 Sintetización de la información

Esta técnica se empleó porque la información obtenida en diferentes fuentes bibliográficas es la base para efectuar un análisis que brinde el mejor desempeño de la propuesta tecnológica como sustento contextual y práctico. Además, resalta los aspectos más importantes, con el objetivo de diseñar un sistema de control veraz y útil para la seguridad de maniobras en la Jaula de Faraday.

4.5.2 Observación

Para el análisis de la seguridad de maniobras de la Jaula de Faraday, fue necesario emplear la observación en cada etapa del proyecto, la cual ayudó a seleccionar los elementos mecánicos y parte de los elementos eléctricos, para diseñar un sistema de control óptimo en el desplazamiento del cable de puesta a tierra utilizada en ensayos de disrupción dieléctrica y señalización de Alto Voltaje.

4.5.3 Selección de materiales

Esta técnica de selección de materiales se empleó debido a los requerimientos prácticos, técnicos y económicos presentados en el proyecto de propuesta tecnológica, esto se lo realiza a través de una comparación de los elementos eléctricos más principales.

4.5.3.1 Motores

Para seleccionar los motores se realiza un cuadro comparativo entre dos tipos de motores como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Cuadro comparativo de aplicaciones de motores

	Motores de corriente continua paso a paso	Motores de corriente alterna
Torque	alta	alta
Revoluciones	baja	alta
Tamaño	pequeño	grande
Control de Velocidad	drivers	variadores de frecuencia
Costo del motor	elevado	elevado
Costo del control de velocidad	bajo	elevado

Mediante el cuadro comparativo, se identificó que los motores paso a paso cumplen las necesidades técnicas para el accionamiento del sistema de control de movimiento, ya que presentan bajas revoluciones a alto torque, ideales para desplazar el peso de la estructura mecánica a través del sistema de poleas.

4.5.3.2 Controladores lógicos programables

Para seleccionar los controladores lógicos programables se realiza un cuadro comparativo entre algunos tipos como se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Cuadro comparativo de los controladores lógicos programables.

	Arduino Mega	PLC S7-1200 DC/DC/DC 1212 C	PLC S7-1200 DC/DC/DC 1214 C	LOGO 230 RC	LOGO 8
Útil en la industria	X	✓	✓	✓	✓
Ethernet	✓	✓	✓	X	✓
Expansión	✓	✓	✓	✓	✓
Tamaño	pequeño	grande	grande	medio	medio
Salidas habilitadas de dirección y sentido	✓	X	✓	X	X
Costo	bajo	elevado	elevado	bajo	medio

Mediante el cuadro comparativo, se identificó que el PLC S7-1200 con cpu DC/DC/DC 1214C cumple con los requerimientos técnicos para controlar motores paso a paso que accionan el desplazamiento de los ejes x, y, z, ya que presenta salidas habilitadas de dirección y sentido útiles para el movimiento de los tres ejes. No obstante, se identificó que el LOGO 230RC cumple con los requerimientos para realizar el control de los sistemas de seguridad, debido a su bajo costo, con entradas y salidas analógicas, ideales para el bloqueo de la energía del transformador de Alto Voltaje.

4.5.3.3 Luces para señalización

Para seleccionar las luces de emergencia se realiza un cuadro comparativo entre dos tipos como se muestra en la

Tabla 4.4. Cuadro comparativo de las aplicaciones de las luces para señalización.

	Luces Led	Luces tipo Baliza
Señalización	X	✓
Intermitentes	✓	✓
Tamaño	pequeño	grande
Costo	bajo	elevado

Mediante el cuadro comparativo, se identificó que las luces tipo baliza es ideal para la señalización de los trabajos que se realicen en la Jaula de Faraday.

4.5.4 Sistema de poleas

En base a experimentación, se determinó las modificaciones necesarias que debe tener el sistema de poleas. Para el acoplamiento de las poleas con el eje de los motores, se elaboró un diseño empleando rodamientos tipo cachimba acoplados a los extremos de un eje de acero. Estos rodamientos se encuentran empotrados a la estructura de la Jaula de Faraday, para reducir el esfuerzo mecánico que presenta la tensión del sistema de poleas, finalmente este mecanismo se acoplo al eje del motor paso a paso.

4.5.5 Cálculo

4.5.5.1 Torque requerido para los motores paso a paso

El modelo seleccionado del sistema se basa en la Figura 3.18, el cual permite identificar el torque requerido que necesitan los motores paso a paso para desplazar un peso a través de las siguientes ecuaciones:

$$T_{acel}[N.m] = J_{TOTAL}[Kg.m^2] \cdot \left(\frac{\Delta_{velocidad}[RPM]}{\Delta_{Tiempo}[s]} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{60} \right) \quad (4.1)$$

$$J_{TOTAL}[Kg.m^2] = J_{motor} + J_{reductor} + \left((J_{piñon} + J_W) \div i^2 \right) \quad (4.2)$$

Donde:

T_{acel} : Es el torque requerido para acelerar o desacelerar una carga con inercia.

J_{TOTAL} : Es la inercia del motor más la inercia de la carga reflejada al eje del motor.

$\Delta_{velocidad}$: Variación de la velocidad de arranque.

Δ_{tiempo} : Duración de la variación de la velocidad.

i : Es la razón de las velocidades del acople del motor.

Para el modelado de las inercias que intervienen en el desplazamiento, se empleó los modelos indicados en la Figura 3.20, Las ecuaciones (4.3), (4.4) y (4.5) representan la inercia que presenta un cilindro hueco, sólido y un bloque rectangular respectivamente.

$$J[kg.m^2] = \pi \cdot L[m] \cdot \rho[Kg/m^3] \cdot (r_o^4[m] - r_i^4[m]) \div 2 \quad (4.3)$$

$$J[kg.m^2] = (\pi \cdot L[m] \cdot \rho[Kg/m^3] \cdot r^4[m]) \div 2 \quad (4.4)$$

$$J_W[kg.m^2] = (Peso[Kg] \div 12) \cdot (h^2[m] + w^2[m]) \quad (4.5)$$

Donde:

J : Es la inercia total de los cilindros.

L : Es la longitud del cilindro.

ρ : Es la densidad del material del cilindro

r_o : Es el radio exterior del cilindro hueco.

r_i : Es el radio interior del cilindro hueco.

r : Es el radio del cilindro sólido.

J_W : Es la inercia total de un bloque rectangular.

h : Es la altura del bloque.

w : Es el ancho del bloque.

4.5.5.1 Relación de pasos de los motores paso a paso

Calcular la relación de pasos es un parámetro necesario a identificar, ya que con este valor es posible identificar el número de impulsos por vuelta del motor que debe asignarse dentro de la programación. El ángulo de paso puede ser calculado dividiendo la rotación (360) por el número de pasos.

$$a = \frac{360}{Z} \quad (4.6)$$

Donde:

a : Ángulo de paso del motor

Z : Número de pasos

4.5.6 Programación

Para realizar la automatización de la Jaula de Faraday, fue necesario emplear la programación, la cual ayudó a ejecutar los respectivos desplazamientos y el sistema de seguridad de maniobras del proyecto. La programación del sistema de control de movimiento del sistema de poleas, se realizó en el *software* TIA Portal vinculadas al PLC S7-1200, el cual permitió realizar la manipulación mecánica del cable de tierra desde el tablero de control. Mientras que la programación del sistema de seguridad, se realizó en el *software* Soft Comfort V8.2 vinculadas al LOGO 230RC, el cual permite controlar el accionamiento de energía en el transformador de Alto Voltaje, integrando señalización visual y acústica al momento de su energización.

4.5.6.1 Programación en TIA Portal

Programa en el cual se realizó la programación en el PLC S7 – 1200 para el control de movimiento del sistema de poleas, y realizar la manipulación mecánica del cable de tierra desde la parte externa de la Jaula de Faraday.

4.5.6.2 Programación en LOGO *Soft Comfort V8.2*

Software empleado para la programación en el LOGO 230RC, para el sistema de seguridad y advertencia en la Jaula de Faraday, para controlar el accionamiento de energía en el transformador de Alto Voltaje, integrando señalización visual y acústica al momento de su energización.

4.5.7 Simulación

Aplicando el *software* ATPDraw versión 6.1, se simuló las corrientes de fuga a lo largo de la estructura al producirse una disrupción eléctrica, con el propósito de determinar la magnitud de las corrientes que pueden circular a lo largo de los motores y el cable de tierra, garantizando que el cable de tierra colocado tenga una adecuada capacidad de descarga hacia la malla a tierra, evitando un daño en los motores paso a paso cuando se realicen pruebas con el transformador de Alto Voltaje.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el desarrollo de este proyecto, se llevaron a cabo una serie de actividades relacionadas con la aplicación de conocimientos eléctricos para automatizar la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras en el Laboratorio de Alto Voltaje en la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO IMPLEMENTADO

El presente proyecto de propuesta tecnológica se realiza dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicada en la Avenida Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido Sector San Felipe, parroquia Eloy Alfaro, perteneciente al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi; específicamente en la Jaula de Faraday del Laboratorio de Alto Voltaje de la carrera de Ingeniería Eléctrica (Figura 5.1, Figura 5.2), que con la ayuda del programa Google Earth se obtienen las coordenadas mostradas en la

Tabla 5.1.



Figura 5.1. Localización Geográfica de la Jaula de Faraday del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi [39].

Tabla 5.1. Localización del Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi [39].

Coordenadas				Altura (m)
Grados Decimales (DD)		Grados Minutos y Segundos (DMS)		
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
0.9173° S	78.6331° O	0°55'8.19"S	78°37'57.22"O	2791



Figura 5.2. Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

5.2 METODOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS

El diagrama de flujo realizado para el proyecto de automatización de la Jaula de Faraday indica la secuencia de pasos que sigue nuestro sistema para el correcto desarrollo del mismo, como se muestra a continuación:

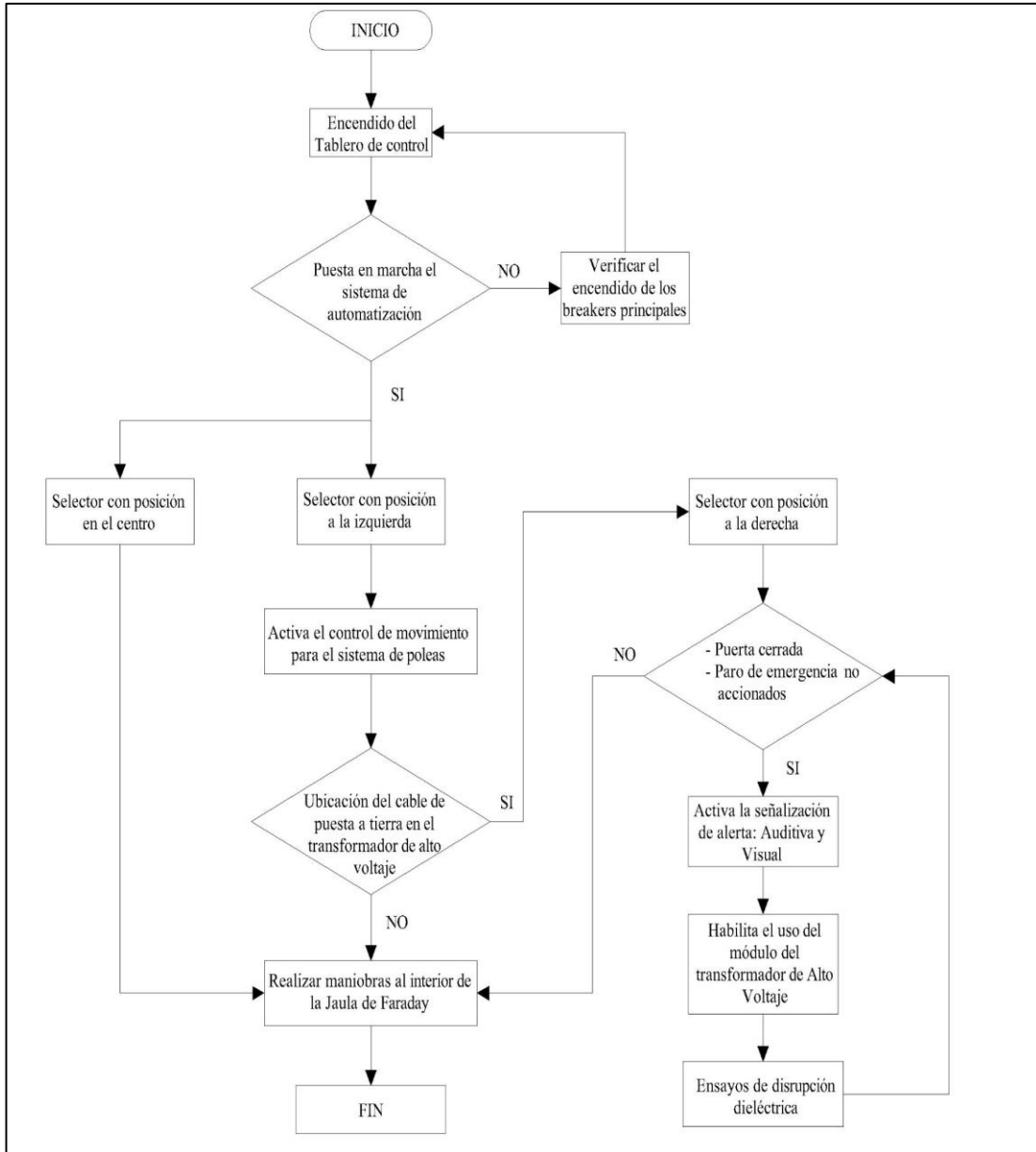


Figura 5.3. Diagrama de flujo del sistema de control de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras.

5.3 MATERIALES EMPLEADOS

Tomando en cuenta el diagrama de flujo del funcionamiento de la automatización de la Jaula de Faraday (Figura 5.3), se adquirió los principales materiales eléctricos y electrónicos para el desarrollo de esta propuesta tecnológica, considerando su eficacia y eficiencia estos elementos se detallan a continuación:

5.3.1 PLC S7 1200 CPU 1214C DC/DC/DC

Para la automatización de la Jaula de Faraday se adquirió un PLC S7 1200, marca SIEMENS con CPU compacta 1214C, DC/DC/DC (Figura 5.4), permite activar el sistema de control de movimiento (movimiento del sistema de poleas), a través de motores paso a paso [36].



Figura 5.4. PLC S7 1200 con CPU 1214C, DC/DC/DC.

5.3.2 LOGO 230RC

En el presente proyecto se optó por adquirir un LOGO 230RC marca SIEMENS (Figura 5.5), utilizado para el control de luces, sirena de advertencia de Alto Voltaje, energización y desenergización de los equipos de ensayos con Alto Voltaje [37].



Figura 5.5. LOGO 230RC.

5.3.3 Motores paso a paso

Este tipo de motores son de corriente continua útiles para torques elevados a bajas revoluciones, por lo tanto, los modelos utilizados en este proyecto fueron tres motores bipolares paso a paso (Figura 5.18), utilizados para el movimiento de las poleas en el eje x, y, z. Por ende, cada uno de estos motores cumple la función del desplazamiento del sistema de poleas para el movimiento del cable de puesta a tierra para realizar ensayos de disrupción dieléctrica [29].

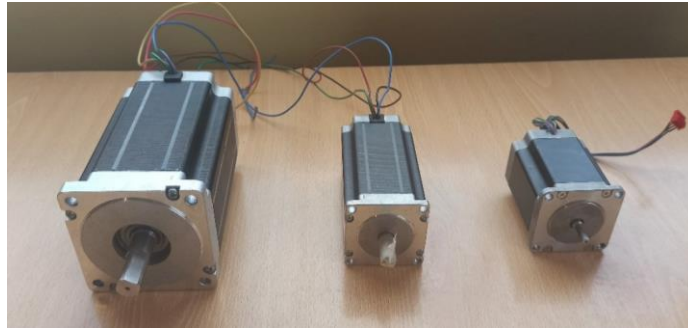


Figura 5.6. Motores bipolares paso a paso.

5.3.4 Controlador de motores paso a paso

Los controladores utilizados en este proyecto fueron tres Microstep Driver (Figura 5.7), empleados para generar señales de potencia para activar motores paso a paso, que son usados en el movimiento del sistema de poleas [32].



Figura 5.7. Controladores Microstep Driver.

5.3.5 Fuentes de Alimentación AC/DC

Las fuentes de alimentación para este proyecto fueron de la marca Iled (Figura 5.8), las cuales corresponden a fuentes de poder de 110/220VAC-24VDC utilizados para alimentar el entradas y salidas del PLC, circuito acoplador y controladores de motores a paso a paso [38].



Figura 5.8. Fuentes de alimentación 110/220VAC-24VDC.

5.3.6 Circuito Optoacoplador

Los circuitos optoacopladores fue utilizado para aislar las señales de control con la de potencia, con la finalidad de evitar interferencias en las señales de salida del PLC Figura 5.9.

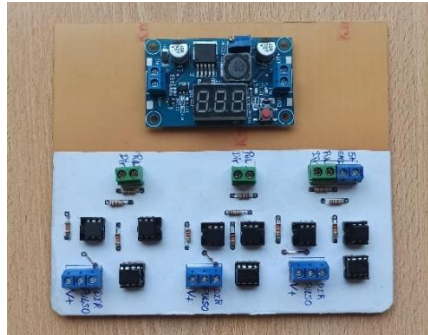


Figura 5.9. Circuitos Optoacopladores.

5.3.7 Contactores eléctricos

Los contactores tienen la función de energizar o desenergizar la energía eléctrica en el módulo del transformador de Alto Voltaje, los modelos utilizados en este proyecto fueron contactores marca Siemens y marca LSelectric (Figura 5.10).



Figura 5.10. Contactores eléctricos.

5.3.8 Joystick de 4 posiciones

El joystick de 4 posiciones HW1M-F2222-22N9, con contactos NC y NA, fue utilizado para enviar señales de entrada al PLC y accionar el movimiento de los motores para el desplazamiento de las poleas en los ejes frontal y horizontal.



Figura 5.11. Palanca joystick de 4 posiciones.

5.3.9 Pulsador paro de emergencia

El paro de emergencia fue empleado para bloquear la energía en los equipos de ensayos con Alto Voltaje ubicados en la Jaula de Faraday (Figura 5.12)



Figura 5.12. Pulsador paro de emergencia.

5.3.10 Luz de Advertencia

La luz de advertencia fue utilizada en este proyecto para indicar la operación de los equipos de ensayos de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday, el cual corresponde a luces de color rojo de voltaje nominal de 110Vca (Figura 5.13).



Figura 5.13. Luz tipo licuadora.

5.3.11 Sirena tipo turbina

La sirena se empleó como señalización acústica para indicar la operación de los ensayos de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday (Figura 5.31).



Figura 5.14. Mini sirena tipo turbina.

5.3.12 Conductores

Los conductores fueron escogidos de acuerdo con la ampacidad soportada en el diseño de sistema de control, así también por la capacidad indicada por el fabricante, en este caso el Código Eléctrico Nacional (NEC) indica la capacidad de corriente (en Amperes) permitida de conductores, esto se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Calibre de conductores.

Tamaño del conductor AWG	Rango de temperatura del conductor		
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)
18	-	-	14 A
16	-	-	18 A
14	20 A	20 A	25 A
12	25 A	25 A	30 A
10	30 A	35 A	40 A
8	40 A	50 A	55 A
6	55 A	65 A	75 A
4	70 A	85 A	95 A
3	85 A	100 A	110 A
2	95 A	115 A	130 A
1	110 A	130 A	150 A
1/0	125 A	150 A	170 A
2/0	145 A	175 A	195 A
3/0	165 A	200 A	225 A
4/0	195 A	230 A	260 A

5.3.13 Sistema de cámaras CCTV

El modelo utilizado en este proyecto fue el kit de circuito cerrado de TV de la marca bticino, con el fin de visualizar por pantalla el movimiento de sistema de poleas, facilitando al operador el desplazamiento de los ejes x, y, z del conductor de puesta a tierra.

5.4 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE POLEAS

Para la implementación del sistema de control en la Jaula de Faraday, en primer lugar, fue necesario adaptar un sistema de poleas, lo que permitió desplazar el conductor de tierra que se utiliza en ensayos de disrupción dieléctrica con módulos de Alto Voltaje, en los ejes y, x y z, este desplazamiento se logró gracias a la estructura mecánica con rodamientos colocada en los extremos de la Jaula.

5.4.1 Desplazamiento en el eje x

La Jaula de Faraday constaba con una estructura mecánica a una altura determinada con rodamientos colocados en sus extremos, que se desplazaba hacia adelante y hacia atrás. Por lo que sobre la estructura ya existente se acoplo un sistema de tres poleas que, a través de un cable de acero y rodamientos, permitió el movimiento hacia la izquierda y derecha de un mecanismo acoplado para el desplazamiento del conductor de puesta a tierra. Este mecanismo se acoplo al eje del motor 1 (Figura 5.15.), la adaptación y adecuación del sistema de poleas para el eje x se muestra en el ANEXOS



Figura 5.15. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje x.

5.4.2 Desplazamiento en el eje y

De forma similar que el sistema anterior, el desplazamiento de la estructura mecánica para el eje y fue mediante dos poleas (Figura 5.16), utilizando el principio de funcionamiento de un

elevador, lo que permitió el movimiento del conductor de puesta a tierra hacia arriba y abajo, este sistema de poleas se conectó al eje del motor 2, la adaptación y adecuación del sistema de este sistema de poleas se muestra en el ANEXO A.



Figura 5.16. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje y.

5.4.3 Desplazamiento en el eje z

El desplazamiento de la estructura mecánica para el eje z que pertenece al movimiento hacia adelante y hacia atrás ya se encontraba en la Jaula de Faraday, por lo que se llevó a cabo una modificación en la polea ubicada en la parte superior de las puertas de acceso ver Figura 5.17. Debido a la tensión ejercida por los cables de acero no fue posible acoplar directamente el eje del motor a la polea ya que podía causar un deterioro paulatino en el movimiento del eje. Para solucionar este inconveniente se empleó dos rodamientos tipo cachimba colocados en los extremos de un eje de acero, en la mitad se ubicó la polea y posteriormente este mecanismo se acoplo al eje del motor 3 empleando prisioneros de 8 mm hexagonales. No obstante, la adaptación y adecuación de este sistema de poleas se muestra en el ANEXO A.



Figura 5.17. Adaptación de la estructura mecánica para el motor en el eje z.

5.5 CÁLCULO DEL TORQUE PARA LA SELECCIÓN DEL ESTANDAR DE LOS MOTORES PASO A PASO

Para accionar los mecanismos del sistema de poleas se optó por elegir motores en corriente continua específicamente motores paso a paso, ya que estas máquinas prestan un torque elevado a bajas revoluciones, cubriendo las necesidades de movimiento requeridas para una mayor precisión en el desplazamiento. Por ello el acoplamiento de los motores paso a paso con el sistema de poleas se planteó la adaptación de un acople reductor a cada uno de los ejes planteados, como se indica en el apartado 5.4.1. Para determinar el torque necesario debemos aplicar la ecuación (4.1), pero primero debemos determinar las inercias individuales que intervienen para determinar la inercia total ecuación (4.2) con los siguientes datos mostrados en:

Tabla 5.3. Datos para el cálculo de la inercia total.

	Datos del acople reductor				Datos de la polea			Datos del peso		
	L (m)	ρ (kg/m ³)	r_o (m)	r_i (m)	L (m)	r (m)	ρ (kg/m ³)	Peso (kg)	h^2	w^2
Motor 1	0,2	7700	0,01	0,007	0,03	0,04	7700	4	0,0064	0,0025
Motor 2	0,16	7700	0,008	0,005	0,08	0,06	1105	2	0,0025	0,0016
Motor 3	0,3	7700	0,015	0,01	0,06	0,02	7700	25	0,0049	0,0016

Con los datos de la Tabla 5.3 se aplica la ecuación (4.3) a los datos del acople reductor, la ecuación (4.4) para las poleas y la (4.5) para obtener la inercia que aporta los pesos que desplazan los motores paso a paso. Una vez determinado estos parámetros aplicamos la ecuación (4.2) adicionando los datos de inercia de los motores que se encuentran en su *datasheet* ver ANEXO B. Con estos resultados se determina la inercia total, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.4. Inercia total de los motores paso a paso.

	Inercia de los acoples reductores (kg.m ²)	Inercia de la polea acoplada (kg.m ²)	Inercia del peso (kg.m ²)	Inercia Total J_{TOTAL} (Kg.m ²)
Motor 1	$1,85 \times 10^{-5}$	$9,29 \times 10^{-4}$	0,003	0,0157
Motor 2	$6,72 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$6,83 \times 10^{-4}$	0,011
Motor 3	$1,47 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$	0,0135	0,055

Con los resultados obtenidos de la inercia total, más los datos de la variación de la velocidad en función del tiempo que son configurados en los parámetros dinámicos, ver ANEXO D, es posible calcular el torque de aceleración necesario para los motores paso a paso. Con estos valores se escogió el estándar requerido, que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Torque y estándar de los motores paso a paso seleccionados.

Motores	Torque calculado (<i>N.m</i>)	Estándar seleccionado
Motor 1	2,96	Nema 23 de 3 <i>N.m</i>
Motor 2	2,08	Nema 23 de 3 <i>N.m</i>
Motor 3	8,53	Nema 34 de 12 <i>N.m</i>

5.6 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

En el proceso de programación de un sistema de control para la seguridad de maniobras en la Jaula de Faraday se toma en cuenta todas las señales de entrada y los dispositivos o equipos que se desean controlar realizando así una serie de pasos para operar de forma segura el tablero de control, en la Figura 5.18 se muestra un diagrama de bloques en lazo cerrado del sistema de control planteado para realizar ensayos con módulos de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday garantizando la seguridad de las maniobras (control para el desplazamiento y de control para señalización), además para realizar la programación de este sistema de control se tomó en cuenta el diagrama de flujo presentado.

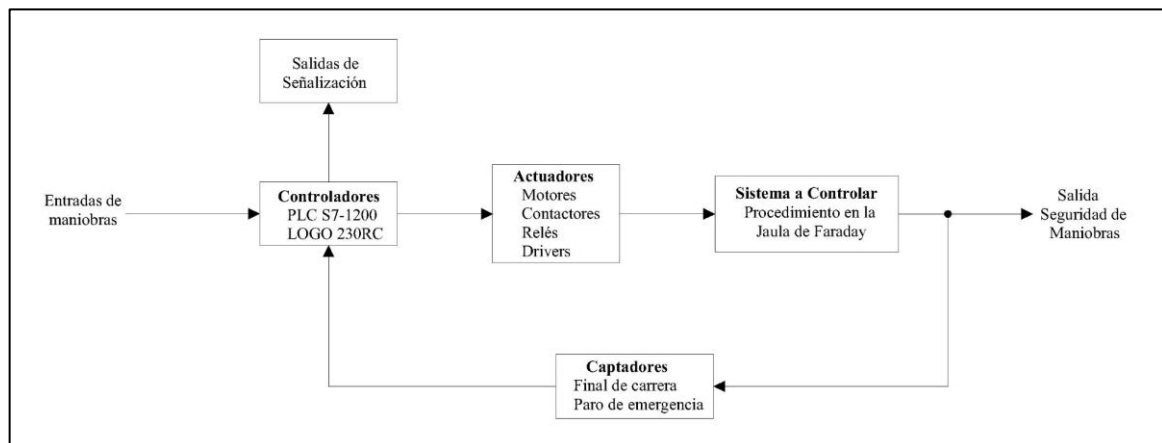


Figura 5.18. Diagrama de bloques para la automatización de la Jaula de Faraday.

5.6.1 Sistema de control para el desplazamiento de las poleas

5.6.1.1 5.6.1.1 Grafcet para la automatización del control de movimiento

El Grafcet un diagrama funcional que se realizó para describir los movimientos de los tres ejes planteados a automatizar, de este modo en primer lugar se define las variables de entradas y salidas para conocer las acciones que cada elemento va a realizar (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Variables de entrada y salida para la automatización de movimiento.

Nombre	Sigla	Descripción
Pulsador A	P	Inicia el control de movimiento (<i>star</i>)
Pulsador B	Z	Detiene del control de movimiento (<i>stop</i>)
Pulsador 1	P1	Movimiento a la izquierda
Pulsador 2	P2	Movimiento a la derecha
Pulsador 3	P3	Movimiento hacia arriba
Pulsador 4	P4	Movimiento hacia abajo
Pulsador 5	P5	Movimiento hacia adelante
Pulsador 6	P6	Movimiento hacia atrás
Motor 1	M1	Encargado de hacer girar el sistema de poleas en el eje x
Motor 2	M2	Encargado de hacer girar el sistema de poleas en el eje y
Motor 3	M3	Encargado de hacer girar el sistema de poleas en el eje z
Final de carrera 1	S1	Detiene el motor cuando llegue al final de la izquierda
Final de carrera 2	S2	Detiene el motor cuando llegue al final de la derecha
Final de carrera 3	S3	Detiene el motor cuando llegue al final de adelante
Final de carrera 4	S4	Detiene el motor cuando llegue al final de atrás

Luego de definir las variables con sus respectivas acciones, se realizó un diagrama de entradas y salidas como se muestra en la Figura 5.19, para de esta forma realizar el Grafcet de la automatización para el control de movimiento en los ejes x, y z.



Figura 5.19. Diagrama de entradas y salidas para el Grafcet.

En la Figura 5.20 se muestra Grafcet para automatizar el sistema de poleas para el movimiento del cable de puesta a tierra, el cual fueron 4 etapas que nos indican el accionamiento de los motores para el movimiento de cada eje. En la primera etapa, se encuentra los tres motores apagados, luego pasa a través de la transición (acción) que debe estar el pulsador A iniciado y accionado el pulsador 1 o el pulsador 2 para que se cumpla la segunda etapa, donde el motor 1 y el motor 2 actúan al mismo tiempo, pero el motor 3 se mantiene apagado, posteriormente pasa por la transición que al estar el pulsador 3 o el pulsador 4 accionados se cumple la tercera etapa, en el cual solo el motor 2 se enciende y los motores 1 y 3 se apagan, seguidamente pasa por la transición que al estar el pulsador 5 o el pulsador 6 accionados se cumple la cuarta etapa, en que el motor 3 se enciende y los motores 1 y 2 se apagan. No obstante, cuando cada etapa llega al final de carrera los motores se detienen debido que se dirige a la etapa uno, lo mismo sucede cuando se active el pulsador B.

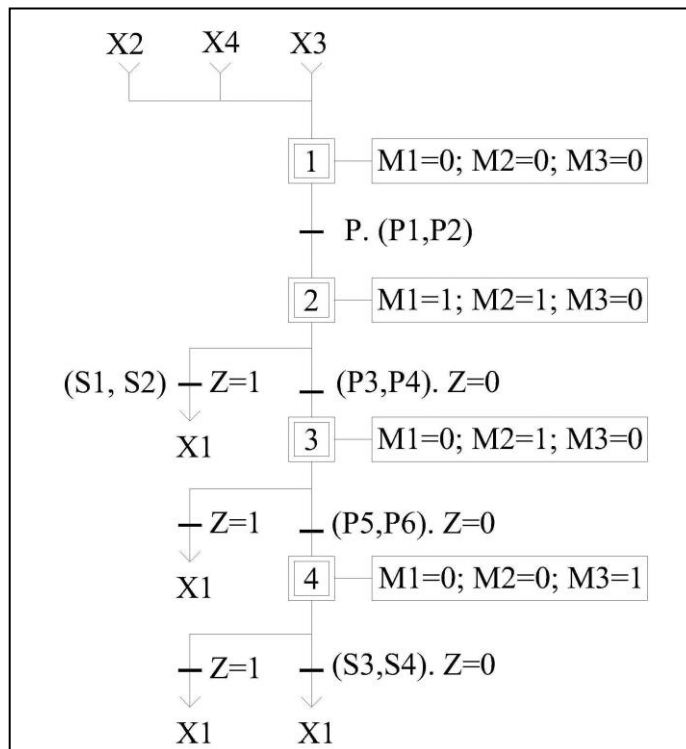


Figura 5.20. Diagrama de Grafcet para la automatización de control de movimiento.

A partir del diagrama de Grafcet, se realizó la programación de este sistema de control de movimiento en un PLC S7-1200 con CPU 1214C DC/DC/DC, ya que funcionan con entradas y salidas en corriente continua de 24/12 VDC ideales para hacer actuar a los motores paso a paso. Por ello se debe conocer que para iniciar la fase de programación se debe instalar el software TIA Portal de la marca Siemens, es importante mencionar que este software cuenta con la librería de objetos tecnológicos que contienen todos los parámetros necesarios para el

control de movimiento de los motores paso a paso, a continuación, se detalla los pasos realizados en la programación del control de movimiento.

5.6.1.2 Programación en el PLC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC

b. Configuración de los parámetros de los objetos tecnológicos

TIA Portal cuenta con una librería de objetos tecnológicos, dentro de sus diversas funciones existe el control de movimiento "Eje de posicionamiento" (TO_PositioningAxis), para el accionamiento físico profidrive a través de una salida configurada como tren de pulsos pto (*pulse train outpput*). Es una configuración simple y rápida para controlar a un motor paso a paso a través de un *encoder* o *driver*.

Los parámetros a configurar dentro del objeto tecnológico en el apartado de parámetros básicos, son la interfaz de hardware en la cual se establece el generador impulsos con el tipo de señal, para este propósito es el PTO (impulso A y sentido B), y se seleccionan las salidas del PLC correspondientes a dirección e impulsos para cada eje del motor y se escoge la unidad de medida de referencia, para este caso los grados ver ANEXO D.

Los siguientes son los parámetros avanzados empezando por el apartado de mecánica, donde se debe configurar los impulsos por vuelta del motor, para ello es necesario calcular la cantidad necesaria de impulsos en función de los grados por paso del motor y la relación del pulso/rev establecida en cada driver (como se indica en la Tabla 5.7).

Los el dato del ángulo de paso vienen establecidos en cada motor por lo que, se debe calcular el número de pasos despejando la ecuación (4.6), posteriormente este resultado se debe multiplicar por la relación de pasos establecida en cada uno de los *drivers*.

Tabla 5.7. Combinación de los *switch* asignada en cada driver.

Drivers	Posición de los <i>switch</i>				Relación de pasos
	S5	S6	S7	S8	
DQ860HA	OFF	OFF	OFF	ON	4
DM542T	ON	OFF	ON	ON	4
	Posición de los <i>switch</i>				Relación de pasos
<i>Microstep Driver</i>	S1	S2	S3		
	ON	OFF	OFF		4

En la tabla de datos de los drivers para los motores empleados en el control de los ejes x y z, no se indica la relación de pasos, en cambio muestra la cantidad de pulso/rev, estos valores se encuentran referenciados para una cantidad de 200 pasos por revolución, haciendo necesario dividir la cantidad asignada en función de la combinación de *switch* empleada para este valor, los resultados obtenidos se indican en la Tabla 5.8. Posteriormente se asigna el valor de movimiento de la carga por vuelta del motor, en este caso es 360° debido al mecanismo de acoplamiento del eje del motor.

Tabla 5.8. Cálculo de la cantidad de impulsos por vuelta del motor.

Driver	Número de pasos o impulsos por vuelta
DQ860HA	800
DM542T	800
<i>Microstep Driver</i>	1600

Posteriormente se establecen los límites de posición mediante finales de carrera por *hardware* o *software*. Para el control de desplazamiento de los ejes x y z se empleó finales de carrera físico (*hardware*), asignado a las entradas I0.6, I0.7, I0.8 e I0.9 de igual forma para el movimiento en el eje x y eje y se asignaron las entradas I1.0, I1.1, I1.2 e I1.3 respectivamente.

Para asegurar el correcto funcionamiento de los drivers, en el parámetro de dinámica se debe establecer los límites de velocidad, en función de la frecuencia de entrada máxima de cada uno de estos dispositivos. Posteriormente, se establecen los límites aceleración y deceleración configurando los tiempos de funcionamiento al momento de desactivar o accionar la entrada de impulsos, además, es recomendable activar la limitación de tirón, para que la aceleración vaya cambiando gradualmente y no se generen tirones fuertes que puedan romper los mecanismos acoplados al eje de los motores. Finalmente se establece el tiempo de deceleración en parada de emergencia considerando un tiempo reducido y evitar un posible desplazamiento no deseado.

El objeto tecnológico configurado es el encargado de generar las señales de impulsos y dirección a las salidas del PLC anteriormente configuradas, este proceso se repite para cada uno de los motores como se indica en la Figura 5.21, donde se asigna cada uno de los valores correspondiente en función de las salidas preestablecidas del generador de impulsos.

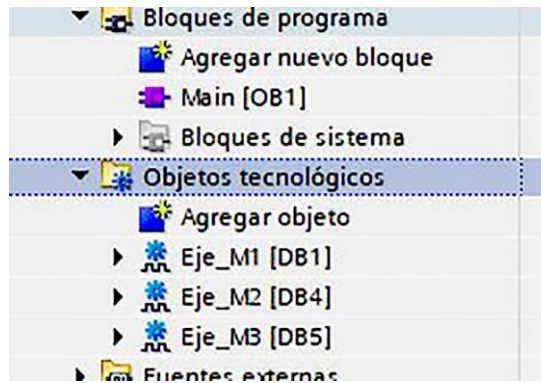


Figura 5.21. Configuración de Objetos tecnológicos para los motores a pasos.

c. Programación *Ladder* en el bloque principal del sistema

Una vez configurado los parámetros necesarios dentro de los objetos tecnológicos, se debe programar en bloque principal del sistema el accionamiento para poder cargar el programa de forma individual sin la necesidad de tener vinculado la PC con el PLC. TIA portal dentro en sus instrucciones cuenta con un apartado de tecnología donde se encuentra los bloques necesarios para programar control de movimiento de los motores Figura 5.22.

Tecnología		
Nombre	Descripción	Versión
▶ Contadores		V1.1
▶ PID Control		
▼ Motion Control		V4.0
MC_Power	Habilitar/bloquear eje	V4.0
MC_Reset	Confirmar error, reinici...	V4.0
MC_Home	Referenciar eje, estable.	V4.0
MC_Halt	Detener eje	V4.0
MC_MoveAbsolute	Posicionar el eje de for...	V4.0
MC_MoveRelative	Posicionar eje relativa...	V4.0
MC_MoveVelocity	Mover eje a la velocidad..	V4.0
MC_MoveJog	Mover eje en modo Jog	V4.0
MC_CommandTable	Ejecutar órdenes de eje.	V4.0
MC_ChangeDynamic	Modificar los ajustes di...	V4.0
MC_WriteParam	Escribir parámetros de ..	V4.0
MC_ReadParam	Leer parámetros de un ..	V4.0
▶ SINAMICS		V1.0

Figura 5.22. Bloques de instrucciones tecnológicas para el control de movimiento.

Para la programación de los motores se empleó el bloque MC_Power para habilitar y bloquear el control del accionamiento, adicionalmente para el movimiento del eje de los motores se usó el bloque MC-MoveJog ya que el accionamiento se lo realizó mediante un *joystick*.



Figura 5.23. Programación de los bloques de control para el desplazamiento del eje de los motores.

Como se observa en la Figura 5.23 la variable de datos de entrada derivado de posición *TO_PositioningAxis* se configura en función del objeto tecnológico correspondiente a cada eje del motor, tanto en el bloque de habilitación como en el de movimiento. Para habilitar el bloque *MC_Power* se debe colocar la constante 1 o la palabra *true*; posteriormente se configuró las variables del control de avance (*JogForward*) y retroceso (*JogBackward*) con una programación típica con lenguaje *ladder* para los accionamientos. Este proceso se realizó para cada uno de los motores.

- Control de accionamiento del bloque de programa *MC_MoveJog*

Para el control del desplazamiento de los ejes x y z se empleó un *joystick* de cuatro posiciones en cambio para el eje restante se utilizó dos pulsadores, imitando con esto el entorno de funcionamiento de una *claw machine*. Cada una de las salidas de los elementos de accionamientos se conectó a las entradas físicas del PLC, posteriormente en el entorno de programación de TIA Portal se asignaron las variables de entrada como dato de tipo booleano. Como se observa en la Figura 5.24 cada una de las entradas activa a una marca, la cual es asignada dentro del bloque *MC_MoveJog* para el avance o retroceso del eje del motor, las variables de entrada no son asignadas directamente al bloque debido a las necesidades requeridas que debe cumplir los mecanismos de movimiento.



Figura 5.24. Programación en lenguaje *ladder* para el control de movimiento del Motor 1.

Debido a la disposición de las poleas para el desplazamiento en el eje x y eje y, fue necesaria la coordinación de movimiento de los motores que accionan estos mecanismos, ya que al desplazar el eje horizontalmente la polea que acciona el movimiento vertical para el cable de tierra no mantenía su posición, se extendía o recogía al desplazarse a la derecha o izquierda respectivamente. Para solucionar este inconveniente se realizó una programación conjunta de estos accionamientos como se indica en las Figura 5.24 y Figura 5.25, con la condición de al funcionar el Motor 2 encargado del desplazamiento en el eje y, bloquear el movimiento del Motor 1 encargado del desplazamiento en el eje x, para evitar posibles daños en los ejes de cada motor ocasionados por exceso de esfuerzo en caso de realizar un desplazamiento opuesto entre los mismos. La programación del eje z es similar a la del Motor 1, sin contar con el bloqueo de movimiento por parte del Motor 2.

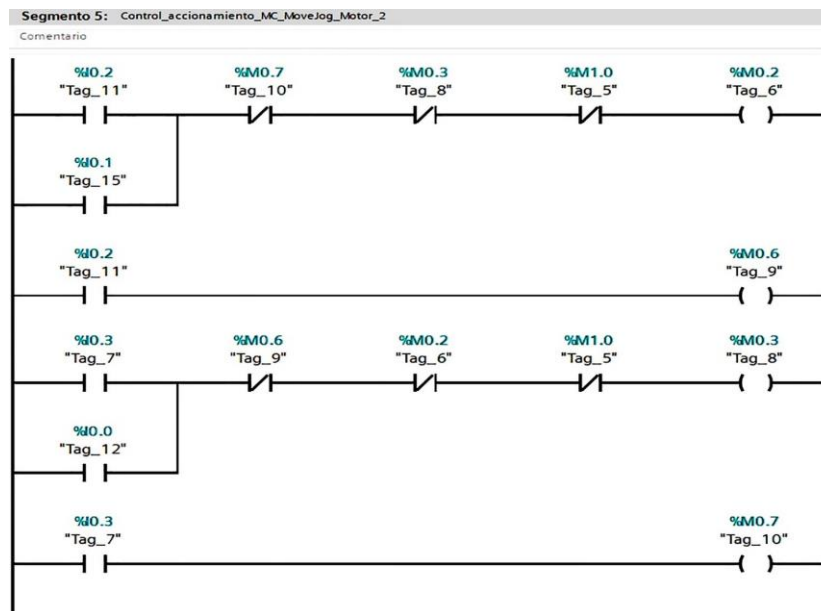


Figura 5.25. Programación en lenguaje *ladder* para el control de movimiento del Motor 2.

Para limitar la posición del cable de puesta a tierra se colocaron finales de carrera en los extremos de los mecanismos que realizan el desplazamiento.

5.6.2 Sistema de control para señalización, el sistema *interlock* y botones de emergencia

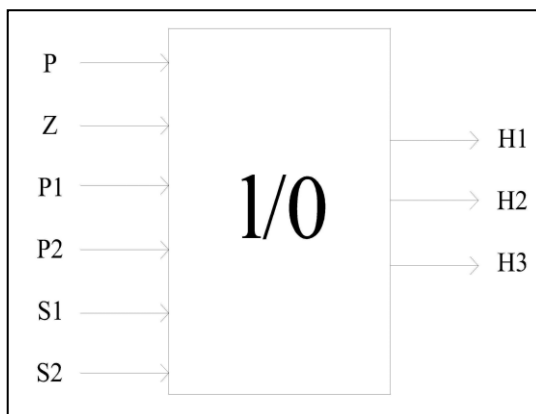
5.6.2.1 Graficet para la automatización del sistema de seguridad para maniobras

Se realizó para describir mediante un diagrama el sistema de automatización de advertencia, sistema *interlock* y botones de emergencia, de este modo en primer lugar se define las variables de entradas y salidas para conocer las acciones que cada elemento va a realizar (Figura 5.9).

Tabla 5.9. Variables de entrada y salida para la automatización de movimiento.

Nombre	Sigla	Descripción
Pulsador A	P	Inicio del sistema de control de advertencia (star)
Pulsador B	Z	Detiene el sistema de advertencia (stop)
Paro de emergencia 1	P1	Bloqueo de la energía al módulo del transformador de Alto Voltaje
Paro de emergencia 2	P2	Bloqueo de la energía al módulo del transformador de Alto Voltaje
Baliza color verde	H1	Encargado de dar una señal visual de aviso que se puede realizar maniobras seguras en la Jaula de Faraday
Baliza color rojo	H2	Encargado de dar una señal visual de advertencia que se realiza ensayos con el transformador de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday
Sirena tipo turbina	H3	Encargado de dar una señal auditiva de advertencia que se realiza ensayos con el transformador de Alto Voltaje en la Jaula de Faraday
Final de carrera 1	S1	Al abrir la puerta de Ingreso de la Jaula de Faraday bloquea la energía al módulo del transformador de Alto Voltaje
Final de carrera 2	S2	Al abrir la puerta de Ingreso de la Jaula de Faraday bloquea la energía al módulo del transformador de Alto Voltaje

Luego de definir las variables con sus respectivas acciones, se realizó un diagrama de entradas y salidas como se muestra en la Figura 5.26, para de esta forma realizar el Grafcet de la automatización para el sistema de seguridad para maniobras.

**Figura 5.26.** Diagrama de entradas y salidas para el Grafcet.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra Grafcet para automatizar el sistema de seguridad para maniobras en la Jaula de Faraday, el cual fueron 3 etapas que nos indican el funcionamiento de las luces de advertencia, sistema *interlock* y botones de emergencia ante la energización del transformador de Alto Voltaje. En la primera etapa, se encuentra la baliza verde, la baliza roja y sirena apagados, luego pasa a través de la transición que debe estar el pulsador A accionado para que se cumpla la segunda etapa, donde la baliza

verde se apagada, la baliza roja y sirena se encienden, posteriormente pasa por la transición que al dejar de accionar el final de carrera de cualquiera de las dos puertas se cumple la tercera etapa, en el cual la baliza verde se prende, la baliza roja y la sirena se apagan, seguidamente pasa por la transición que al accionar cualquiera de los paros de emergencia regresa a la etapa tres. No obstante, cada etapa al activarse el pulsador B se detiene el sistema por el hecho de regresar a la etapa uno.

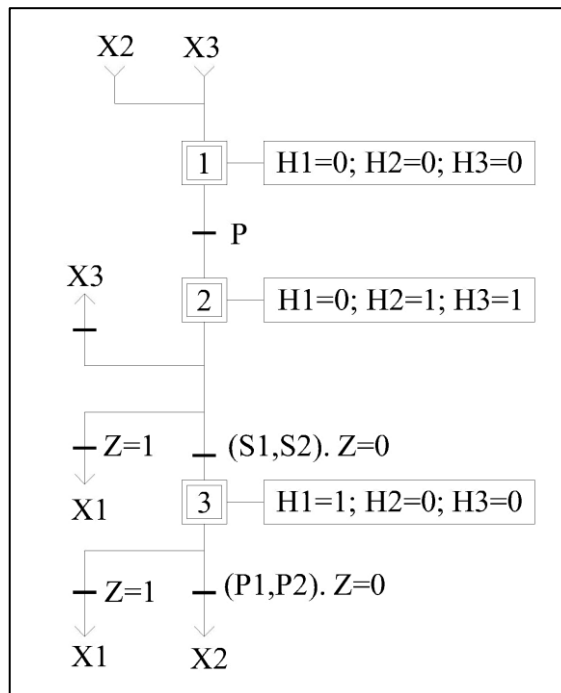


Figura 5.27. Diagrama de Grafset para la automatización del sistema de seguridad de maniobras.

A partir del diagrama de Grafset, se realizó la programación de este sistema de seguridad en un LOGO 230RC que cuenta con salidas *Relay* necesarias para el accionamiento de los componentes eléctricos restantes del sistema, además por la diferencia en el voltaje de funcionamiento en el sistema de control para el movimiento de los ejes funciona con un voltaje en corriente continua de 24 VDC y en cambio este sistema trabaja con un voltaje en corriente alterna de 120 VAC. Debido a las características requeridas para el control fue necesario emplear un módulo de expansión DM8 230R por la falta de salidas en el módulo principal.

5.6.2.2 Programación en lenguaje *ladder* del LOGO 230 RC

El accionamiento de los motores paso a paso y el módulo de control del transformador de Alto Voltaje se estableció mediante el accionamiento de un selector de dos posiciones para evitar un posible daño en los motores paso a paso por las corrientes y voltajes de fuga al momento de

realizar pruebas de interrupción eléctrica. La programación para el accionamiento del módulo de control del transformador se encuentra bloqueado por las señales de salida del accionamiento del sistema *interlock* y los paros de emergencia desactivan la salida Q1 encargada de controlar el accionamiento de la bobina del contactor KM1. El funcionamiento de la programación se basa en mantener al contactor desenclavado mientras no se accionen los paros de emergencia asignados en las entradas I1 y el final de carrera asignado en la entrada I2, además el selector asignado en entrada I4 debe encontrarse en la posición de transformador de Alto Voltaje.

El sistema de alimentación para el transformador de Alto Voltaje se encuentra bloqueado por los siguientes sistemas:

- El primer sistema de bloqueo es producido por el sistema *interlock*, que es el encargado de enviar la señal de apertura al contactor, si se encuentra abierta alguna de las puertas de acceso hacia el interior de la Jaula de Faraday.
- El segundo sistema de bloqueo está conformado por los botones de emergencia ubicados al exterior e interior de la Jaula de Faraday, cuyo funcionamiento es similar al anterior, si se encuentra accionado alguno de los botones el contactor no se accionará.

Si todos los sistemas de bloqueo mencionados anteriormente se encuentran apagados, la luz piloto de color rojo y tanto la señalización acústica como visual se activarán, si por el contrario la luz piloto de color naranja se encuentra encendida indica que alguno de los sistemas de bloqueo se encuentra activo, ver Figura 5.28.



Figura 5.28. Luces piloto del tablero de control.

Las salidas Q2 y Q3 corresponden a la señalización de advertencia de las luces tipo licuadora y la sirena respectivamente, se activan cuando reciben una señal en las entradas I3 e I4, que es el breaker de encendido de la alimentación para el módulo de control del transformador de Alto Voltaje y el selector de posición. El funcionamiento de la sirena está asociado a un temporizador que regula su tiempo de encendido, además, se agregó un bloque generador de impulsos que controla el encendido y apagado durante el lapso de tiempo establecido en el temporizador, para no provocar una molestia auditiva cuando se realicen pruebas en la Jaula de Faraday.

Ubicando el selector en la posición restante se habilitará el control de movimiento de los motores paso a paso, la señal de entrada correspondiente es la I5 que acciona la salida Q4 del LOGO 230 RC, la cual se encarga de activar las bobinas de los relés A1, A2 y A3 que dan paso a las señales tipo tren de impulso PTO hacia los motores. Los relés se colocarán como medio de control y protección hacia los controladores o *drivers*, ya que si el movimiento de la estructura se hace manualmente los motores generan un voltaje que puede llegar a dañar a estos dispositivos. Las luces piloto se accionan con las salidas restantes del LOGO, en función del control que se encuentre activado en ese momento ver ANEXO D.

La asignación de contactos se realiza en función del tipo asignado en cada entrada como se indica en la Figura 5.29.

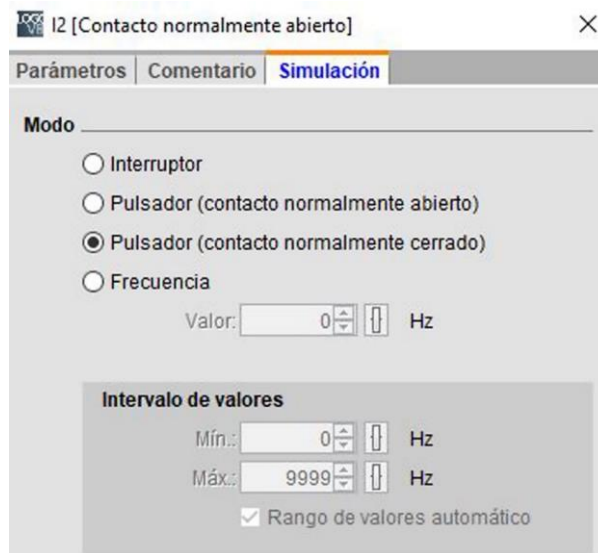


Figura 5.29. Asignación del tipo de contacto de las entradas en la programación.

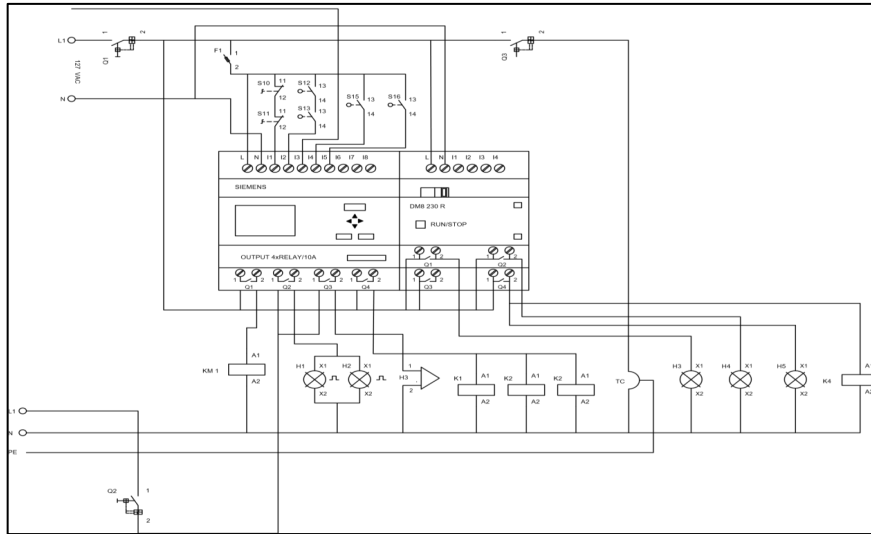


Figura 5.31. Esquema eléctrico de la instalación del sistema de control de señalización.

En la Figura 5.32 se muestra el diagrama multifilar de conexión del sistema de control de movimiento. Para una mejor apreciación del esquema con su simbología eléctrica véase el ANEXO C.

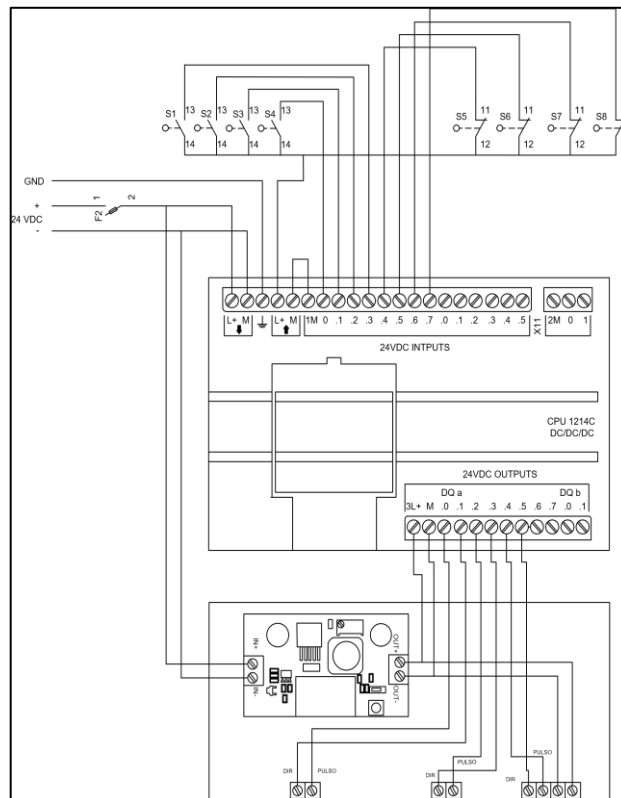


Figura 5.32. Esquema eléctrico de la instalación del sistema de control de movimiento.

5.7 SIMULACIÓN DE LAS CORRIENTES DE FUGA EN ATPDraw

Para simular se realizó un modelamiento de dos circuitos equivalentes, el primero está conformado por los cables de puesta a tierra conectados en paralelo ver Figura 5.33, conformado por un cable flexible 6 AWG con una capacidad de 65 A, el cual deberá descargar a tierra la mayor parte de la corriente. Para proporcionar una resistencia mecánica a este conductor se colocó en conjunto un cable de acero de 3mm. El cálculo de la resistencia de estos elementos y la de los acoples a los ejes de los motores paso a paso se realizó aplicando la ecuación (5.1). La resistencia de la malla a tierra se obtuvo del diseño realizado por *referencia*.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (5.1)$$

Donde:

R : Resistencia eléctrica en Ω .

ρ : Resistividad del material en $\Omega \cdot m$.

l : Longitud del material en m.

S : Sección del material en m^2 .

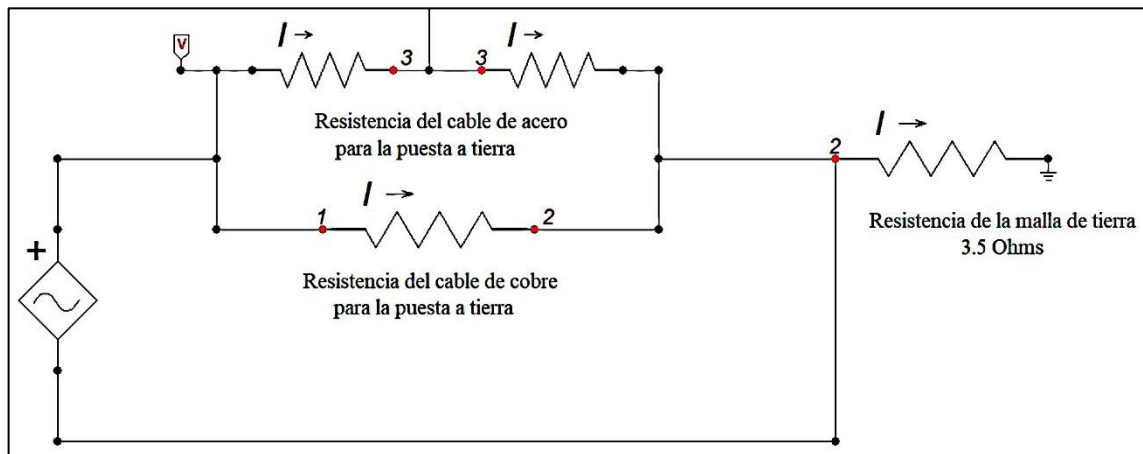


Figura 5.33. Circuito equivalente del cable de puesta a tierra.

El segundo circuito (Figura 5.34), está conformado a partir del primer punto de contacto entre el cable de acero y el vallado metálico donde puede fugarse la corriente. La resistencia eléctrica de la estructura se dividió en distintas partes en función de la distribución de corriente a partir de este punto, posteriormente pasando por los motores y finalizando en los puntos donde el vallado se encuentra conectado a la malla de puesta a tierra. Para determinar la resistencia se aplicó la ley de Ohm empleando la ecuación (5.2), utilizando una fuente de alimentación

variable que se colocó entre dos puntos, donde se midió la corriente que circula y se calculó la resistencia de estos elementos.

$$R = \frac{V}{I} \quad (5.2)$$

Donde:

V : Voltaje seleccionado en V.

I : Corriente media en A.

Una vez determinado estos valores se procedió a realizar la simulación en ATPDraw, empleando una fuente de corriente con una magnitud de 60 A RMS, valor registrado al producirse una disrupción eléctrica con el transformador de Alto Voltaje.

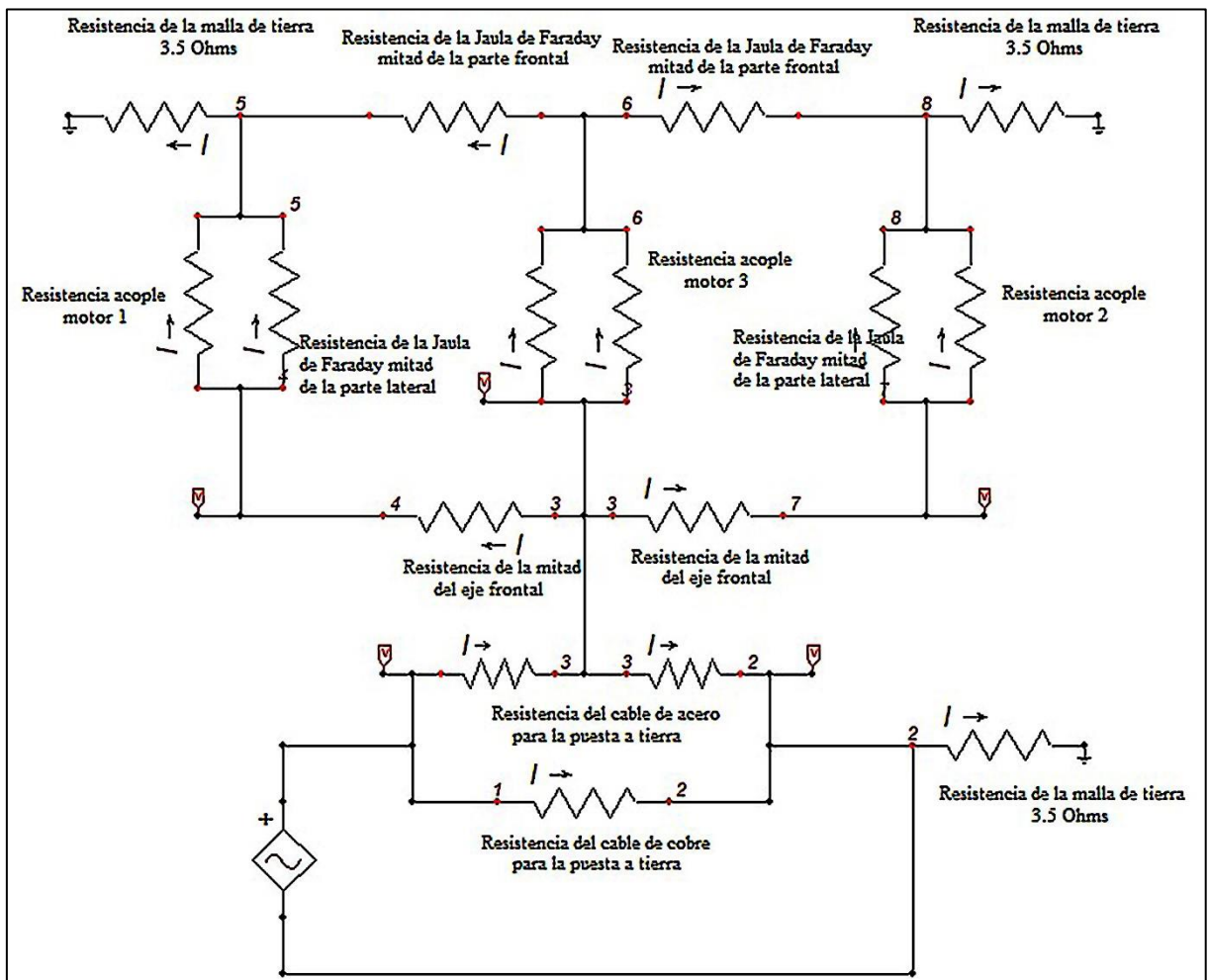


Figura 5.34. Circuito equivalente de la Jaula de Faraday

Los parámetros obtenidos se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5.10. Resultados obtenidos de la simulación en ATPDraw.

	Nodo 1 - 2	Nodo 1 - 3	Nodo 4 - 5	Nodo 3 - 6	Nodo 7 - 8
Corriente RMS (A)	57,31	2,68	0,01965	0,02462	0,01965
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 7
Voltaje RMS (V)	0,5514	0,1918	0,1753	0,0959	0,0959

En base a los resultados se identifica que el flujo de corriente que circula por el conductor de puesta a tierra es del 95,52% es decir 57,31 amperios y los 2,69 restantes equivalente al 4,48% se disipa a lo largo de la estructura. Las corrientes que pueden circular por los motores son inferiores a 0,01 A, de igual forma el voltaje que puede alcanzar en esos puntos es inferior a 0,6 V.

5.8 CALCULO DE PROTECCIONES Y CABLEADO

El nivel de voltaje de alimentación seleccionado fue monofásico de 110 VAC. Para el cálculo de las protecciones en AC se determinó la corriente máxima en base al funcionamiento simultaneo que van a tener los dispositivos. La corriente máxima que pueden consumir los motores paso a paso es de 7,42 ver considerando el mayor consumo de corriente de consumo se produce entre la coordinación del motor 2 y 3, ya que debido al funcionamiento del *joystick* no es posible controlar el movimiento del motor 1 y 3 simultáneamente.

Tabla 5.11. Consumo de corriente en amperios de los motores paso a paso.

Tipo de Motor	Consumo de corriente en amperios (A)
Motor 1 (Nema 23 de 3 Nm)	3
Motor 2 (Nema 23 de 3 Nm)	3
Motor 3 (Nema 34 de 12 Nm)	6
Consumo Total simultaneo	12

Aplicamos el factor por arranque de motores

$$I_{diseño} = 12 \cdot 4,5 = 54 A$$

Multiplicando este valor por un voltaje de 24 VDC obtenemos una potencia de 1296 Watts (w) en corriente directa, para obtener el consumo en corriente alterna (AC) dividimos este valor por el voltaje de suministro obteniendo el siguiente resultado:

$$I_{AC1} = \frac{1296}{127} = 10,2 \approx 10 A$$

La corriente de 10,2 A es el aporte mayoritario es por parte de los motores en el sistema de control para desplazamiento del sistema de poleas, despreciando las perdidas por parte del PLC, los circuitos electrónicos y los finales de carrera debido a su valor reducido. Se selecciono un breaker de 10 A como protección para las fuentes de alimentación.

Posteriormente tenemos el aporte en AC de las luces tipo licuadora, la sirena tipo turbina y la cámara de vigilancia, para ello se determina la potencia total como se indica en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Potencia de los elementos en AC.

Tipo de Carga	Potencia Total (w)
Luces tipo licuadora	30
Sirena tipo turbina	40
Cámara de vigilancia	440
Potencia Total	510

Dividimos la potencia total para el voltaje del sistema y obtenemos la corriente que consumen estos dispositivos:

$$I_{AC2} = \frac{510}{127} = 4,02 A$$

Aplicamos el factor de diseño

$$I_{diseño} = 4,02 \cdot 1,25 = 5,03A$$

Sumamos las dos corrientes para obtener la corriente total del sistema y dimensionar la protección general.

$$I_{ACTOTAL} = 1,75 + 5,03 = 6,8 A$$

Aplicamos el factor de diseño

$$I_{diseño} = 6,8x 1,25 = 8,5 A \approx 9A$$

En base a los resultados obtenidos se seleccionó un breaker general de un polo a 16 A, mismo que fue ubicado en el tablero general del suministro de energía del Laboratorio de Alto Voltaje.

Con el resultado de la corriente se selecciona el calibre del conductor, en función de la ampacidad de los calibres de conductores indicada en la Tabla 5.2, al interior del tablero de control en función de la normativa del Código Eléctrico Nacional (NEC) donde se especifica que el calibre en 18 AWG se puede utilizar hasta una distancia de 20 metros con una capacidad de carga de 20 A y para la alimentación del tablero de control un conductor 14 AWG con una misma capacidad.

El sistema fue dividido en 7 circuitos con protecciones individuales, tres en AC y cuatro CD respectivamente, los circuitos en AC fueron conformados por un seccionador porta-fusible de 6 A para protección del LOGO, un breaker de 4 A para las fuentes y uno de 6 A para la cámara de vigilancia sirena tipo turbina y las luces tipo licuadora, empleando para cada circuito conductores calibre 14 AWG para su conexión. Los circuitos restantes (DC) constan de un seccionador porta-fusible de 6 A para protección al PLC donde, se empleó conductores calibre 18 AWG para las conexiones de las señales de entrada y salida.

Finalmente se determinó las protecciones para los motores paso a paso en función de la corriente indicada en la Tabla 5.11, el motor 1, 2 y 3 están conectadas a una misma fuente de alimentación de 24 VDC con un máximo consumo en corriente de 12. El cálculo de protección contra sobrecorriente se determinó con un factor de corrección de un 25% considerando el pico de arranque de los motores.

$$I_{F\ MOTOR\ 1} = 3 \cdot 1,25 = 3,75\ A$$

$$I_{F\ MOTOR\ 2} = 3 \cdot 1,25 = 4,75\ A$$

$$I_{F\ MOTOR\ 3} = 6 \cdot 1,25 = 7,5\ A$$

Con los resultados obtenidos se escogió seccionadores porta-fusibles De 4 y 8 A.

Debido a la ubicación de los motores con respecto al tablero de control, fue necesario comprobar el nivel de caída de tensión aplicando las siguientes ecuaciones.

$$R_C = \frac{\rho \cdot D \cdot 2}{d} \quad (5.3)$$

$$R_L = V \cdot I \quad (5.4)$$

$$V_T = \frac{R_L}{R_L + R_C} \cdot V \quad (5.5)$$

$$\%Regulación = \left(1 - \frac{V_T}{V}\right) \cdot 100 \quad (5.6)$$

Donde:

ρ : Resistividad del cobre en $\Omega \cdot mm^2/m$

D : Distancia del tramo

d : Diámetro del conductor

R_C : Resistencia del conductor

R_L : Resistencia de la carga

V : Voltaje del sistema

I : Corriente de la carga

V_T : Voltaje en terminales

La distancia más lejana es de 13 m con un voltaje de 24 VDC para el motor 2, aplicando las ecuaciones indicadas para un conductor calibre 18 AWG obtuvimos el siguiente porcentaje de regulación de voltaje:

$$R_C = \frac{0,018 \cdot 13 \cdot 2}{1,16} = 0,4 \Omega$$

$$R_L = 24 \cdot 3 = 72 \Omega$$

$$V_T = \frac{17,04}{72 + 0,4} \cdot 24 = 23,86 V$$

$$\%Regulación_{Motor\ 2} = \left(1 - \frac{23,86}{24}\right) \cdot 100 = 0,58\%$$

El motor 1 tiene una distancia en el tramo de 10m y el motor 3 una de 3m, ambos con un voltaje de 24 VDC, aplicando las ecuaciones para un conductor 18 AWG obtenemos el siguiente resultado:

$$\%Regulación_{Motor\ 1} = \left(1 - \frac{23,79}{24}\right) \cdot 100 = 0,46\%$$

$$\%Regulación_{Motor\ 3} = \left(1 - \frac{23,97}{24}\right) \cdot 100 = 0,083\%$$

El calibre de conductor que se escogió para la conexión de los motores paso a paso, en base al resultado obtenido de las ecuaciones es el 18 AWG al no presentar un elevado porcentaje de caída de voltaje.

5.9 DISEÑO GENERAL DEL TABLERO DE CONTROL

5.9.1 Diseño del modelo del tablero de control

En este apartado se diseñó un tablero eléctrico tipo gabinete en AutoCAD, para lo cual se tomó en consideración la disposición de los componentes empleados, y se optó por una modificación al modelo general de un tablero típico, agregando en la parte superior un espacio donde colocar los elementos en función de la conexión entre los dispositivos. Se escogió el diseño presentado en la Figura 5.35 por la disposición del *joystick*, pulsadores para el movimiento del sistema de poleas y la pantalla de las cámaras con sus respectivos accesorios garantizando tener una ergonomía adecuada y manipulación óptima. En la parte inferior del tablero se colocaron los componentes restantes, aprovechando al máximo el espacio disponible evitando una circulación excesiva de conductores por los conductos de cables. Fue fabricado de acero inoxidable y recubierta con pintura electroestática que presenta gran resistencia a cambios ambientales, temperaturas extremas y rayos UV, por lo que es muy difícil de dañar. En la Figura C.6 y C.7 del ANEXO C se encuentra la visualización completa del diseño del tablero de control.



Figura 5.35. Tablero de control terminado.

5.9.2 Ubicación de componentes eléctricos

Este punto es una de las partes más importantes ya que se define la ubicación de todos los componentes eléctricos en base a criterios como seguridad, comodidad, estética y uso eficiente

del espacio disponible esto con la finalidad de facilitar el cableado y entendimiento del sistema de control. La ubicación se realizó en base al diseño planteado en el ANEXO C.

Luego de haber concluido con la limpieza del tablero eléctrico se procedió a instalar los soportes como: tornillos, borneras, riel din, remaches, canaletas, etc. Todos estos materiales se utilizan con la finalidad de asegurar los componentes eléctricos y obtener una mejor estética del tablero de control. Posteriormente se colocó las protecciones y todos los componentes necesarios para el sistema de control al interior del gabinete como se indica en el ANEXO E.

El tablero se ubicó a un costado de la puerta de ingreso hacia la Jaula de Faraday, para tener una mayor visibilidad de la posición del cable de tierra como se indica Figura 5.36. Además, se instaló un sistema de dos cámaras ubicados en forma diagonal, su monitor de visualización se ubicó en la parte frontal izquierda del tablero, la cual tiene un ángulo de inclinación para visualizar las imágenes de forma completa. Su sistema de encendido y apagado se realiza mediante pulsadores, además se colocaron luces piloto para indicar el estado activo del sistema de control o la energización de la fuente de Alto Voltaje.

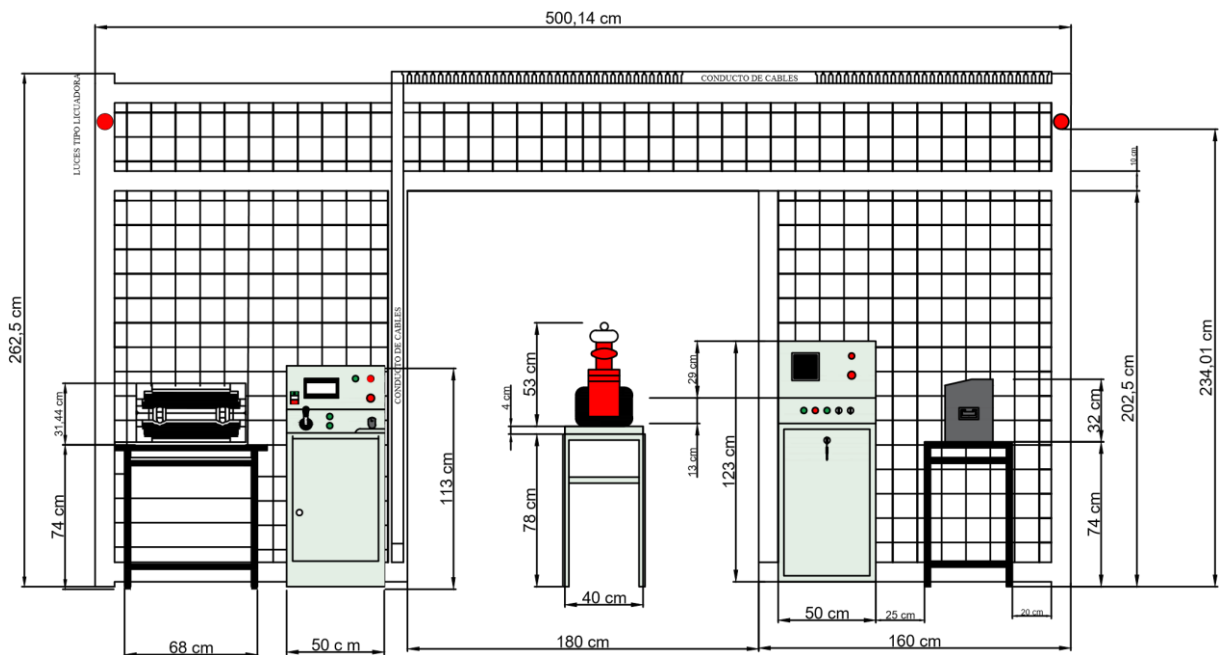


Figura 5.36. Ubicación del tablero de control en la Jaula de Faraday.

Las luces tipo licuadora se ubicaron en las esquinas superiores de la parte frontal de la Jaula de Faraday, para que las personas que se encuentren en estas instalaciones visualicen de manera rápida que existe un peligro de Alto Voltaje al interior de la Jaula de Faraday, la señal acústica (sirena tipo turbina) se ubicó en la parte posterior para que el ruido no sea tan fuerte.

5.9.3 Cableado del sistema

El tipo de conductor seleccionado en la etapa de mando fue el cable concéntrico o también denominado Sucre, para organizar e identificar de manera adecuada cada una de las salidas del PLC hacia los actuadores. El número de conductores fue seleccionado en función del requerimiento de las salidas, por ejemplo, los motores a pasos son bipolares y constan de dos bobinados con cuatro salidas, en este caso se seleccionó un conductor 4x18 AWG, de manera similar se escogió los conductores para cada componente. Por otro lado, en la etapa de control situada al interior del tablero, se empleó conductores flexibles individuales, debido al espacio limitado, la comodidad y la facilidad de manejo que presentan.

La ubicación exterior del cableado se realizó a través de canaletas ranuradas 40x40 mm ubicadas en la parte frontal y superior de la Jaula de Faraday, donde se encuentran la mayoría de las conexiones hacia los dispositivos actuadores, para las conexiones restantes dispuestas en otras ubicaciones se empleó canaletas normales 10x10 mm por el número de conductores limitado a un máximo de dos, por ejemplo, una cámara de video y un paro de emergencia. Al interior del tablero de control se empleó canaletas ranuradas de 20x30 mm, que proporcionaron espacio suficiente para el cableado de la etapa de control. Este proceso se puede visualizar en el ANEXO E.

5.9.4 Conexión de componentes eléctricos

La conexión de los componentes en el sistema de control se realizó diferenciando dos partes dentro del circuito, la primera considerada como la parte de mando o control y la segunda especificada como la parte de los actuadores con la finalidad de separar y proteger los elementos de control ante posibles fallas en el sistema. Posteriormente se energizó cada uno de los componentes para verificar la ausencia de alguna irregularidad en el conexionado, una vez realizado este proceso se vinculó las entradas, salidas hacia el PLC y el LOGO, realizando así una conexión conjunta de todos los componentes manteniendo una relación con el controlador lógico programable.

5.9.5 Calibración de los equipos

5.9.5.1 Tablero de control

Antes del encendido del tablero se revisó que todos los terminales de conexión de cada elemento se encuentre conectado adecuadamente, después de la puesta en marcha el tablero de control se

revisó que todos los dispositivos eléctricos funcionen correctamente, para ello se empleó un multímetro para verificar que los niveles de voltaje en cada componente sea el adecuado y tenga una polaridad correcta, además con la función de continuidad se comprobó el estado de enclavamiento de los contactores y relés (Figura 5.37).

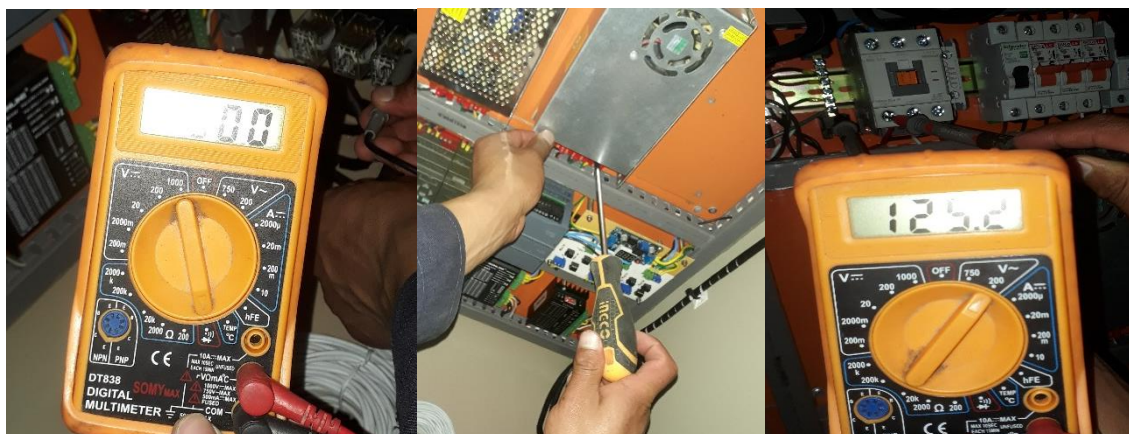


Figura 5.37. Pruebas de operación en el tablero de control.

Posteriormente se verificó el estado de los elementos de control de accionamiento manual empezando por el selector de posición y constatando su funcionamiento al accionar las luces piloto que indican el estado de encendido de los sistemas de control.

Se elaboró un manual de operación que contiene el procedimiento a seguir para manipular el tablero de control, cada uno de los puntos presentados deben seguirse al pie de la letra para evitar un mal funcionamiento del sistema de automatización, ver ANEXO G.

5.9.5.2 Motores paso a paso

Previamente para la selección de los motores paso a paso se estableció el troque requerido en función un proceso de cálculo matemático a través de modelar un sistema equivalente empleando la Figura 3.18 y obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5.5, por lo que al momento de realizar las pruebas de funcionamiento en los motores paso a paso con el tablero de control no presentaron problemas al momento de desplazar los sistemas de poleas.

Se identificó un problema en la velocidad de desplazamiento, por lo que, se reguló la velocidad de los motores, realizando una reducción en su velocidad para tener un mejor control al momento de posicionar el cable de tierra. Originalmente la cantidad de pulsos enviada por el driver del motor 3 encargado del desplazamiento del eje z era de 800 pul/rev, esto representaba un movimiento demasiado rápido, para arreglar este problema se aumentó la cantidad de pul/rev de 800 a 1600 configurando la posición de los *dip switch* (Figura 5.38) manteniendo

una velocidad de 400 °/s en la programación de TIA Portal, consiguiendo con esto reducir su velocidad a la mitad.



Figura 5.38. Configuración de los *dip switch* en el *driver* del motor Nema 34.

Posteriormente se coordinó el sentido de giro del motor 2 con respecto al 1, cambiando la polaridad de las bobinas en la salida del driver del motor 1, además se aumentó la velocidad al motor 2 modificando los pul/rev de 1600 a 800 consiguiendo de tal manera compensar la diferencia en la cantidad de vueltas que presentaba con respecto al 1, ver Figura 5.39. Este cambio se realizó principalmente por la disposición de estos motores, ya que, al aplicar un desplazamiento en el eje x a través del motor 1, debía girar el motor 2 en el mismo sentido, al mismo tiempo e igual cantidad de vueltas para mantener en una misma posición el cable de tierra.

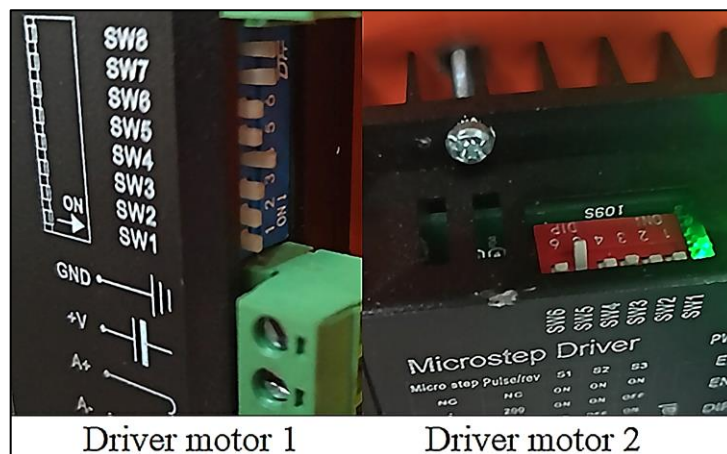


Figura 5.39. Configuración de los *dip switch* en los *drivers* de los motores Nema 23.

5.9.5.3 Sistema de poleas

El objetivo de este sistema es posicionar el cable de tierra en el interior de la Jaula de Faraday por lo que no se debe colocar pesos adicionales, ya que el torque de los motores que

proporcionan el movimiento de estos sistemas se dimensionó en base a los elementos y dispositivos que se encuentran colocados.

a. Eje x

El movimiento del eje instalado incorpora un tensor para regular la tensión del cable de acero. Se realizó maniobras de desplazamiento con este eje, donde se presentaron inconvenientes en su movimiento, para ello se manipuló el tensor hasta que el movimiento del eje fue fluido, como se indica en la Figura 5.40.



Figura 5.40. Regulación de la tensión del cable de acero en el eje x.

b. Eje y

El mecanismo incorporado para realizar el desplazamiento del cable de tierra soporta el peso proporcionado por los pesos colocados en este conductor, ver Figura 5.41.



Figura 5.41. Cable de tierra empleado en el eje y

El número de vueltas colocado en el carrete que se encuentra acoplado al eje del motor 2 se determinó realizando varias pruebas de movimiento, hasta que el conductor se desplazó a lo largo de esta posición sin enredarse en el carrete y salir de su posición, ver Figura 5.42.



Figura 5.42. Carrete de plástico acoplado al eje del motor 2.

c. Eje z

El sistema de poleas instalado soporta el peso y la tensión de todos los componentes acoplados para el posicionamiento del cable a tierra. Durante la prueba de desplazamiento de este eje se presentó un desequilibrio hacia los lados, para corregir este problema se regulo la posición de los grilletes ubicadas en los extremos, ver Figura 5.43.



Figura 5.43. Modificación de la posición de los grilletes en el cable de acero del eje z.

5.10 PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA JAULA DE FARADAY

5.10.1 Sistema de seguridad

5.10.1.1 Sistema *interlock*

Para el funcionamiento del sistema *interlock* se empleó un contactor, que se acciona de forma instantánea cuando se desactivan los finales de carrera al abrirse las puertas de la Jaula de Faraday. Los finales de carrera se encuentran ubicados en la parte superior central de las puertas de acceso, garantizando que el bloqueo de la fuente de energía hacia el módulo de control para el transformador de Alto Voltaje se desactive si están abiertas, esto funciona a la par con los botones de emergencia ubicados en el interior y exterior de la Jaula de Faraday. Durante un ensayo de disrupción eléctrica se probó la capacidad de apertura del sistema ante un posible escenario de emergencia, ver Figura 5.44 y se evidencio que el sistema cuenta con la capacidad de desconectar la energía durante ensayos de disrupción eléctrica.



Figura 5.44. Prueba del sistema *interlock*.

5.10.1.2 Señalización de advertencia

La señalización visual y acústica proporcionada por las luces tipo licuadora y la sirena tipo turbina respectivamente, se acciona al momento de energizar el módulo de control del transformador de Alto Voltaje, el funcionamiento de las luces es ininterrumpido y durara el tiempo que se mantenga energizado, ver Figura 5.45.



Figura 5.45. Funcionamiento de la señalización de advertencia.

Adicionalmente se modificó el tiempo de funcionamiento de la sirena, limitando su accionamiento dentro de la programación a intervalos de tiempo con una duración de 20 segundos, para no distraer o molestar a las personas que se encuentren dentro de las instalaciones, ver Figura 5.46.

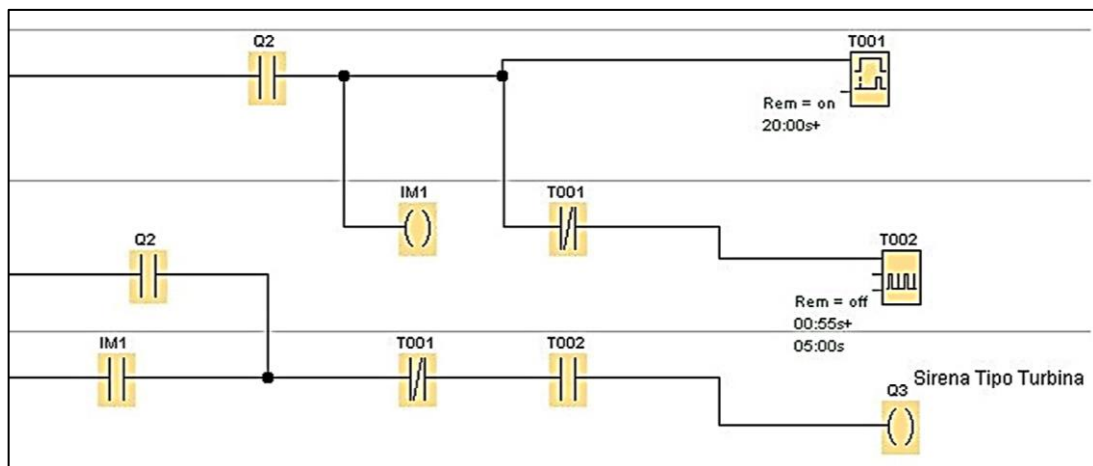


Figura 5.46. Programación del funcionamiento de la sirena tipo turbina.

5.10.2 Ensayo de interrupción eléctrica con el transformador de Alto Voltaje

Una vez realizadas las pruebas anteriormente mencionadas, se realizó una prueba de interrupción dieléctrica con el transformador de Alto Voltaje. Para la prueba se empleó un aislador tipo retenida GAMMA Corona ANSI 54-3 con un valor de flameo en seco a baja frecuencia de 35 kV y una carga mecánica nominal de 8,9 kN. Tomando en consideración las medidas de seguridad establecidas en el protocolo de seguridad ver ANEXO H, se procedió a ubicar el aislador encima del transformador y posteriormente se colocó de igual forma el cable de tierra ver Figura 5.47.

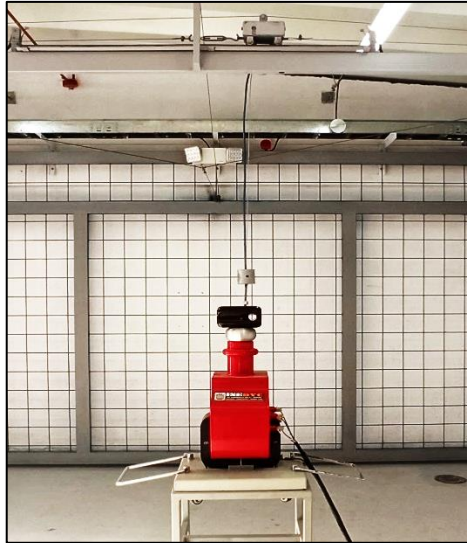


Figura 5.47. Ubicación del cable de tierra en el aislador tipo retenida

Una vez acomodado de forma adecuada los componentes se acciono el selector en posición de transformador de Alto Voltaje para, accionar el contactor y energizar la fuente de alimentación del módulo de control este equipo. Posteriormente se seleccionó el nivel de protección contra sobrecorriente para evitar un tiempo prolongado en la duración de la disrupción dieléctrica y se acciono el botón de inicio. Luego se acciono la perilla de control de voltaje como se indica en la Figura 5.48, variando poco a poco su magnitud hasta llegar el punto de producirse la disrupción dieléctrica.



Figura 5.48. Control del nivel de voltaje en el módulo de control del transformador de Alto Voltaje.

Al finalizar la prueba de disrupción se posiciono el selector en control de movimiento para accionar el sistema de poleas y comprobar el estado del sistema. Se verifico que no había ningún fallo en el tablero de control ni en los motores paso a paso una vez realizado las pruebas de disrupción eléctrica.

5.11 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

5.11.1 Presupuesto

En la implementación del sistema de control de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras en el Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Se tiene los gastos que incurrieron en el desarrollo de la presente propuesta tecnológica, los cuales fueron divididos en dos tipos de gastos, los directos y los indirectos.

5.11.1.1 Gastos directos

Los gastos directos están relacionados directamente con los materiales utilizados para la construcción del sistema de poleas y tablero del sistema de control de la Jaula de Faraday, en la Tabla 5.13 se detallan los materiales.

Tabla 5.13. Gastos directos de materiales:

Gastos Directos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Breaker LS riieldin 1 polo x 4 A	c/u	3	\$ 2,45	\$ 7,35
Breaker schneider riieldin 1 polo x 10 A	c/u	1	\$ 4,50	\$ 4,50
Breaker riieldin schneider 2 polos x 32 A	c/u	1	\$ 11,28	\$ 11,28
Base portafusible 10x38mm 1 polo	c/u	5	\$ 1,35	\$ 6,75
Canaleta ranurada 40x40 mm gris	c/u	2	\$ 7,50	\$ 15,00
Canaleta ranurada 25x25 mm gris	c/u	2	\$ 3,70	\$ 7,40
Conductor concentrico SJT 3x10 AWG	m	11	\$ 3,10	\$ 34,10
Conductor concentrico SJT 3x12 AWG	m	14	\$ 2,55	\$ 35,70
Conductor concentrico SJT 3x14 AWG	m	11	\$ 1,50	\$ 16,50
Conductor concentrico SJT 3x18 AWG	m	26	\$ 0,75	\$ 19,50
Conductor flexible #18 AWG	m	200	\$ 0,13	\$ 26,00
Conductor de cobre flexible #6 AWG	m	10	\$ 2,20	\$ 22,00
Contacto LS trifasico - 32 A	c/u	1	\$ 28,32	\$ 28,32
Contacto siemens 50 A 3RT2037-1AN20	c/u	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Fusible cerámico 10x38 tipo GG CSC	c/u	5	\$ 0,45	\$ 2,25
Final de carrera con rodillo	c/u	6	\$ 5,00	\$ 30,00
Joystick de 4 posiciones 22mm	c/u	1	\$ 21,00	\$ 21,00
Pulsador plastico normalmente abierto verde	c/u	2	\$ 2,66	\$ 5,32
Pulsador plastico 22mm - Doble on/off C/LUZ	c/u	1	\$ 3,74	\$ 3,74
Pulsador paro de emergencia LMB-ES5	c/u	2	\$ 2,85	\$ 5,70
Caja plastica CAMSCO - 1 Hueco	c/u	2	\$ 1,50	\$ 3,00
Luz Piloto Led 22mm Verde, Rojo, Naranja - 220 V	c/u	1	\$ 1,59	\$ 1,59
Riieldin 35 mm	m	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Estructura para el eje z	c/u	1	\$ 80,00	\$ 80,00

Estructura para el eje x	c/u	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Estructura para el eje y	c/u	1	\$ 90,00	\$ 90,00
Fuente De Poder 24 VDC 10 A - 110/220 VAC	c/u	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Fuente De Poder 24 VDC 5 A - 110/220 VAC	c/u	1	\$ 16,26	\$ 16,26
Motor paso a paso NEMA 34 - 12 Nm	c/u	1	\$ 170,00	\$ 170,00
Motor paso a paso NEMA 23 - 3 Nm	c/u	2	\$ 100,00	\$ 200,00
Driver de Motor NEMA 34 - DQ860HA	c/u	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Driver de Motor NEMA 23 - DM542T	c/u	2	\$ 75,00	\$ 150,00
PLC S7 1200, CPU 1214C - DC/DC/DC	c/u	1	\$ 450,00	\$ 450,00
LOGO 230RC	c/u	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Módulo de expansión DM8 230R	c/u	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Circuito Optoacoplador	c/u	3	\$ 8,00	\$ 24,00
Circuito Reductor de Voltaje 24/12 a 6VDC	c/u	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Selector 22mm 3 posiciones	c/u	1	\$ 2,80	\$ 2,80
Base 14 pines planos LY	c/u	3	\$ 2,25	\$ 6,75
Relé 14 pines planos LY 110VAC	c/u	3	\$ 3,00	\$ 9,00
Luz tipo licuadora de Advertencia	c/u	2	\$ 24,00	\$ 48,00
Kit Vigilancia CCTV - 2 camaras BTICINO	c/u	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Mouse Alambrico USB	c/u	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Barra Colectora Equipotencial Puesta a Tierra	c/u	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Gabinete de acero inoxidable	c/u	1	\$ 180,00	\$ 180,00
Total gastos directos				\$ 2.335,81

5.11.1.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que influyen en el proyecto, pero no directamente, sin embargo, son necesarios, a continuación, en la Tabla 5.14 se muestran los gastos indirectos del proyecto.

Tabla 5.14. Gastos indirectos de materiales.

Gastos Indirectos			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Alimentación	80	\$ 1,75	\$ 140,00
Transporte	80	\$ 1,00	\$ 80,00
Total gastos directos			\$ 220,00

5.11.1.3 Presupuesto total

En la Tabla 5.15 se indica el presupuesto total que incurrieron en el desarrollo de este proyecto de propuesta tecnológica.

Tabla 5.15. Presupuesto total.

Presupuesto			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Total gastos directos	1	\$ 2.335,81	\$ 2.335,81
Total gastos indirectos	2	\$ 220,00	\$ 440,00
Presupuesto Total			\$ 2.775,81

5.11.2 Análisis de impactos

Los impactos en la implementación de este proyecto de propuesta tecnológica son los siguientes:

5.11.2.1 Impacto tecnológico

La implementación de la automatización en la Jaula de Faraday establece un precedente a nivel local dentro los Laboratorios de Alto Voltaje, dando paso a crear nuevas ideas innovadoras a futuro que permitan este campo de aplicación y se establezcan diversos métodos de automatización que aseguren la seguridad de maniobras al realizar ensayos con equipos de Alto Voltaje.

5.11.2.2 Impacto social

Al implementar el sistema de automatización en la Jaula de Faraday de la Universidad Técnica de Cotopaxi, los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica se benefician de manera directa, al tener un sistema seguro al realizar ensayos con equipos de Alto Voltaje, de esta manera mejora la calidad en los conocimientos adquiridos y por ende se beneficia el prestigio entorno a la institución.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Mediante la recolección de información bibliográfica basadas en la automatización industrial se desarrolló un sistema Grafcet que aporta en el diseño de los sistemas de control de movimiento y seguridad para maniobras, estableciendo secuencias lineales a seguir en la programación de los controladores lógicos.

Se concluye que se necesita 3 motores para proveer el movimiento en los ejes x, y, z; mediante cálculos en el documento se determinó que el torque del motor 1 y 2 es de 3 Nm y del motor 3 es 12 Nm, para garantizar que pueda desplazar el peso de la estructura mecánica que

proporciona el movimiento del cable de tierra. Para su accionamiento eléctrico fue necesario un PLC habilitado con 3 salidas incorporadas de dirección y sentido, además de un LOGO con su módulo de expansión que va a manejar la carga eléctrica de los dispositivos restantes.

La automatización implementada para la seguridad de maniobras en la Jaula de Faraday permite alertar de forma visual y auditiva la presencia de Altos Voltajes, de igual manera el sistema *interlock* ubicado en la Jaula de Faraday es capaz de realizar el bloqueo hacia la fuente de alimentación del transformador ante situaciones de emergencia, cumpliendo con las recomendaciones establecidas por el IFIC.

El aporte proporcionado por el sistema de automatización garantiza la seguridad de maniobras en la Jaula de Faraday, gracias al protocolo de seguridad establecido y las secuencias programadas dentro de este documento, debido a que estas deben cumplir un orden secuencial para poder realizar ensayos de disrupción eléctrica.

6.2 RECOMENDACIONES

Extender el campo de aplicación de este proyecto enfocándolo a reducir la participación de las personas entorno a la manipulación de los equipos al interior de la Jaula de Faraday.

Trabajar en mejorar el modelo mecánico y eléctrico empleado, para que al momento de realizar el movimiento del cable de tierra lo haga de forma automática o especificando un sistema de coordenadas para su posicionamiento y posteriormente genere una base de los datos adquiridos.

Recomiendo que este sistema de automatización sea aplicado en las prácticas de laboratorio de la Universidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma Ecuatoriana de la Construcción, “Instalaciones Eléctricas,” 2018. Accessed: Jun. 05, 2021. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>.
- [2] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “CÓDIGO DE PRÁCTICA ECUATORIANO CPE INEN 19:2001 CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL,” Quito, 2001.
- [3] J. Bernabeu, “Guía Técnica de recomendaciones para el trabajo con Alto Voltaje en el IFIC,” Valencia, 2010. Accessed: Jun. 20, 2021. [Online]. Available: <https://ific.uv.es/elec/files/GuiaTecnicaAltoVoltajeIFIC.pdf>.

- [4] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “ARCONEL-053/18,” Quito, 2019. Accessed: Jun. 06, 2021. [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Regulacion-de-Calidad-Suscrita.pdf>.
- [5] University of Canterbury, “High Voltage Safety,” New Zealand.
- [6] Gigahertz, “Jaula de Faraday.” https://www.gigahertz.es/la_jaula_de_faraday.html (accessed Apr. 17, 2021).
- [7] B. Machado, “Diseño y adecuación de una sala para un equipo de resonancia magnética nuclear,” Escuela de Ingeniería Electrónica, 2013.
- [8] N. Ibacache, P. Delgado, Y. Godoy, and C. Bórquez, “Jaula de Faraday Contenidos de la Presentación,” 2011. [Online]. Available: <https://nelsonpz.files.wordpress.com/2011/08/jaula-de-faraday.pdf>.
- [9] L. Furlan, “Estudio de factibilidad para un centro de control del laboratorio de alta tensión en la universidad politécnica salesiana, campus kennedy,” Universidad politécnica Salesiana, 2013.
- [10] O. Muñoz, “Jaula de Faraday.” <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n10/r3.html> (accessed Apr. 17, 2021).
- [11] J. A. Martínez, *Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión*, McGraw Hi. 2007.
- [12] E. A. Valdebenito and E. A. Ruíz, “Elaboración de ensayos y maniobras para el sistema de distribución d media tensión, ubicado en el laboratorio de electricidad UTFSM sede concepción,” Universidad Técnico Federico Santa María, 2018.
- [13] P. Ponsa and A. Granollers, “Diseño y automatizacion industrial,” 2014. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59929955/Diseno_y_automatizacion_industrial20190704-62066-78x95n-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1624913074&Signature=gtCME7gE4cBgK0b1HT8ZLQCv2eqmRL7y3C~~NHOMD7HGcWaAqZUc66SOyLE6EtLUUwlRYRxpWJCN6x8WORyn9MCB033p-9gAQRVr.
- [14] D. M. Romero, “Propuesta de automatización de los procesos de verificación y

- despachos en una empresa panificadora,” Universidad Javeriana, 2009.
- [15] H. Páez-Logreira, V. Zabala-Campo, and R. Zamora-Musa, “Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización,” *Educ. en Ingeniería*, vol. 11, no. 21, pp. 39–44, 2016.
- [16] D. Díaz, “Automatización Industrial,” 2020. <https://es.calameo.com/read/004878870f3bd4aacc6de>.
- [17] Exsol, “Automatización Industrial.” <http://www.exsol.com.ar/automatizacion-industrial/>.
- [18] Exsol, “Automatización Industrial.” .
- [19] E. García, “Automatización de Procesos Industriales,” 2012.
- [20] E. Mandado, J. Marcos, C. Fernández, and J. Armesto, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*, Marcombo S. Barcelona, España, 2009.
- [21] N. Sanchez, “Aplicación del módulo lógico de siemens logo! siplus como alternativa domótica en condominio ‘casa amanecer,’” Universidad Politécnica de Sinaloa, 2016.
- [22] J. Muso and E. Quillupangui, “Diseño e implementación del control de humedad en un invernadero del campus salache,” Universidad Técnica De Cotopaxi, 2018.
- [23] I. Pachacama, “Universidad técnica de cotopaxi,” Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019.
- [24] R. Solbes, *Automatismos Industriales (Contenidos conceptuales y procedimientos)*, Nau Llibre. Valencia, 2014.
- [25] J. Álvarez Salazar and J. G. Mejía Arango, *TIA PORTAL. Aplicaciones de PLC*. Instituto Tecnológico de Medellín, 2017.
- [26] Siemens Argentina, “Portal de automatización totalmente integrada | Software Industrial,” 2015. <https://new.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html> (accessed Jun. 28, 2021).
- [27] SIEMENS, “SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200 Manual de sistema,” Nürnberg, 2018. Accessed: Jun. 28, 2021. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/es/>.
- [28] SIEMENS, “SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200 Manual de sistema,”

- Nürnberg, 2018.
- [29] F. Conti, *Motores paso a paso*, Alsina. Buenos Aires, 2005.
- [30] S. Jennings, “Motores paso a Paso,” *Inf. Técnico*, vol. 65, pp. 47–58, 2002.
- [31] A. Pérez París, “Motores paso a paso, introducción a su funcionamiento y control en lazo abierto,” *Vivat Acad.*, vol. 0, no. 15, May 2000, doi: 10.15178/va.2000.15.13-27.
- [32] V. García, “Controladores básicos (Drivers). – Electrónica Práctica Aplicada,” Apr. 10, 2013. <https://www.diarioelectronico hoy.com/blog/controladores-basicos-drivers> (accessed Jun. 28, 2021).
- [33] SureSTEP, *MANUAL Sistema de motores paso a paso*, Segunda Edición. Automationdirect.com TM Incorporated, 2007.
- [34] International Electrotechnical Commission, “International Standard 61131-1,” 2003.
- [35] I. E. Commission, “Estandarización de Esquemas IEC 1082-1,” 2018.
- [36] INTRAVE, “Vector de Ingeniería en automatización industrial, instrumentación y control de procesos,” 2018. <https://intrave.com/que-es-y-para-que-sirve-un-plc/>.
- [37] SIEMENS, “Logo! Manual,” 2003. [Online]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf.
- [38] Final Test, “Fuente de Poder DC,” 2021. <https://www.finaltest.com.mx/product-p/art-6.htm>.
- [39] Goolgle, “Google Earth,” 2019. <https://earth.google.com/web/>.

ANEXOS

8. ANEXOS

ANEXO A: Proceso de adaptación mecánica en la Jaula de Faraday



Figura A.1. Estado inicial de la Jaula de Faraday.



Figura A.2. Ubicación de la estructura metálica para el eje z.



Figura A.3. Proceso de soldadura para el movimiento del eje x.



Figura A.4. Proceso de soldadura para el movimiento del eje y.



Figura A.5. Proceso de soldadura para el movimiento del eje z.



Figura A.6. Ubicación del sistema de poleas para el eje x.



Figura A.7. Ubicación del sistema de poleas para el eje y.



Figura A.8. Ubicación del sistema de poleas para el eje z.

ANEXO B: Datos de los dispositivos electrónico empleados

Tabla B.1. Número máximo de unidades controlables [28].

Tipo de CPU		E/s Incorporadas/ Ninguna SB instalada		Con una SB (2 salidas DC)		Con una SB (4 salidas DC)	
		Con sentido	Sin sentido	Con sentido	Sin sentido	Con sentido	Sin sentido
CPU 1212C	DC/DC/DC	3	4	3	4	4	4
	AC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
	DC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
CPU 1214C	DC/DC/DC	4	4	4	4	4	4
	AC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
	DC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
CPU 1215C	DC7DC/DC	4	4	4	4	4	4
	AC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
	DC/DC/relé	0	0	1	2	2	4
CPU 1217C	DC/DC/DC	4	4	4	4	4	4

Tabla B.2. Frecuencias límites de salidas de impulsos [28].

Salida de impulsos	Frecuencia
Integrada	4 PTO: $2\text{ Hz} \leq f \leq 1\text{ MHz}$, 4 PTO: $2\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$ o una combinación de estos valores para 4 PTO
SB estándar	$2\text{ Hz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$
SB rápidas	$2\text{ Hz} \leq f \leq 200\text{ kHz}$

Tabla B.3. Herramientas STEP 7 para el control de movimiento [28].

Herramienta	Descripción
Configuración	Configura las propiedades siguientes del objeto tecnológico “Eje”: <ul style="list-style-type: none"> • Selección del PTO que se va a utilizar y configuración de la interfaz del accionamiento. • Propiedades de los mecanismos y de la velocidad de transmisión del accionamiento (máquina o sistema) • Propiedades de los límites de posición, dinámicas y referenciado Guarde la configuración en el bloque de datos del objeto tecnológico.
Puesta en servicio	Prueba la función del eje sin tener que crear un programa de usuario. Cuando se inicia la herramienta, aparece el panel de mando. En el panel de mando se dispone de los comandos siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Habilitar y deshabilitar el eje • Desplazar el eje en modo jog • Posicionar el eje en términos absolutos y relativos • Referenciar el eje • Acusar errores Para los comandos de desplazamiento es posible especificar la velocidad y la aceleración o deceleración.
Diagnostico	Observa el estado actual y la información de error del eje y del accionamiento.

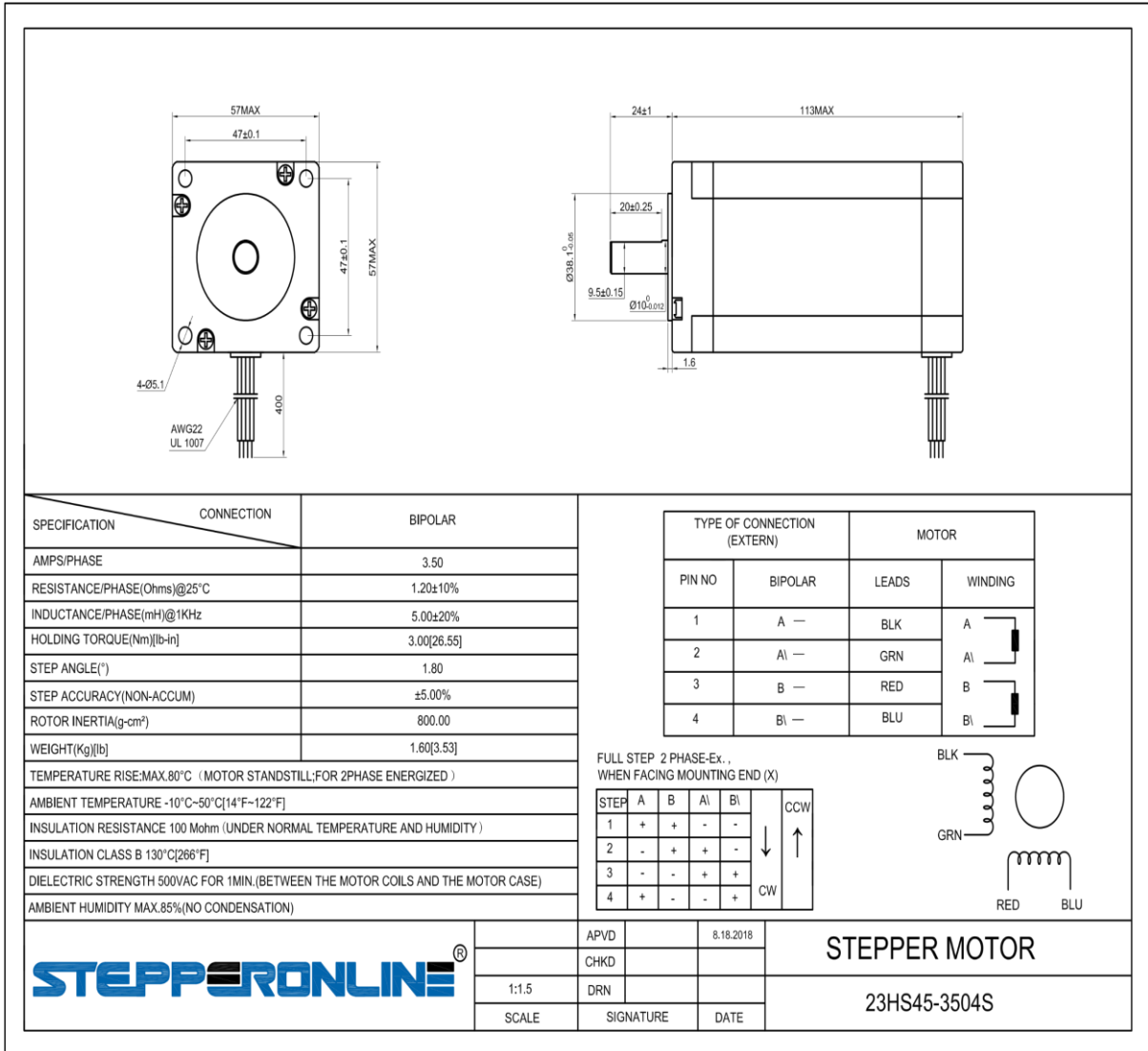
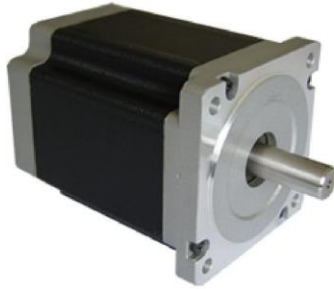


Figura B.1. Datasheet de los motores paso a paso 1 y 2

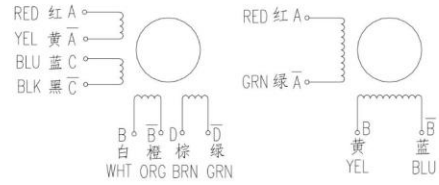


MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

2 Phase Hybrid Stepper Motor 34H2A series-Size 86mm(1.8 degree)



Wiring Diagram:



UNI/BI-POLAR(8 LEADS)

BI-POLAR(4LEADS)

Electrical Specifications (UNI-POLAR):

Series Model	Old P/N	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (kg)
34H2A6840	34HS6801	66	4.0	0.6	1.6	220	5.5	850	8	2.0
34H2A6850	34HS6802	66	5.0	0.4	1.0	220	5.5	850	8	2.0
34H2A6827	34HS6803	66	2.7	1.2	3.5	220	5.5	850	8	2.0
34H2A8840	34HS8801	78	4.0	0.7	3.0	300	6.5	1050	8	2.5
34H2A8850	34HS8802	78	5.0	0.5	1.8	300	6.5	1050	8	2.5
34H2A8827	34HS8803	78	2.7	1.6	5.6	300	6.5	1050	8	2.5
34H2A9840	34HS9801	98	4.0	0.98	4.1	490	9.5	1550	8	3.0
34H2A9850	34HS9802	98	5.0	0.65	2.4	490	9.5	1550	8	3.0
34H2A9827	34HS9803	98	2.7	1.9	8.6	490	9.5	1550	8	3.0
34H2A4840	34HS4801	114	4.0	1.1	5.5	580	12.5	1800	8	4.0
34H2A4850	34HS4802	114	5.0	0.75	3.2	580	12.5	1800	8	4.0
34H2A4827	34HS4803	114	2.7	2.0	11.5	580	12.5	1800	8	4.0
34H2A2840	34HS2801	126	4.0	1.3	5.8	640	18.5	2200	8	4.5
34H2A2850	34HS2802	126	5.0	0.85	3.4	640	18.5	2200	8	4.5
34H2A2827	34HS2803	126	2.7	2.5	12.5	640	18.5	2200	8	4.5
34H2A5840	34HS5801	150	4.0	1.4	9.2	850	24.5	2500	8	5.0
34H2A5850	34HS5802	150	5.0	0.9	5.2	850	24.5	2500	8	5.0
34H2A5827	34HS5803	150	2.7	2.9	17.5	850	24.5	2500	8	5.0
34H2A5456	34HS5804	150	5.6	0.7	9.2	1200	24.5	2500	4	5.0

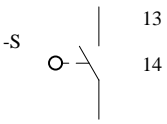
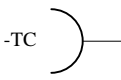
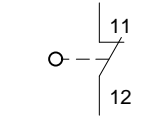
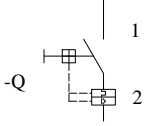
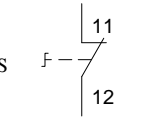
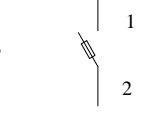
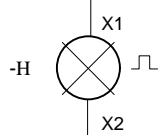
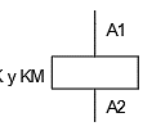
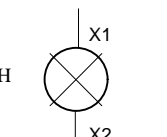
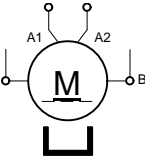
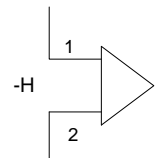
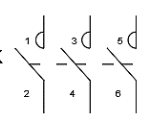
*Note:

1) We can manufacture products according to customer's requirements.

Figura B.2. Datasheet del motor paso a paso 3

ANEXO C: Esquemas eléctricos y planos estructurales realizados en AutoCAD

Tabla C.1 Simbología empleada en los esquemas multifilares.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
-S 	Final de carrera NA	-TC 	Tomacorriente
-S 	Final de carrera NC	-Q 	Breaker 1 polo
-S 	Paro de emergencia NC	-F 	Porta fusible
-H 	Luz tipo licuadora	-K y KM 	Bobina de relés y contactores
-H 	Luz piloto		Motor a pasos 2 polos
-H 	SIRENA	-K 	Contactos de relés de automatismos

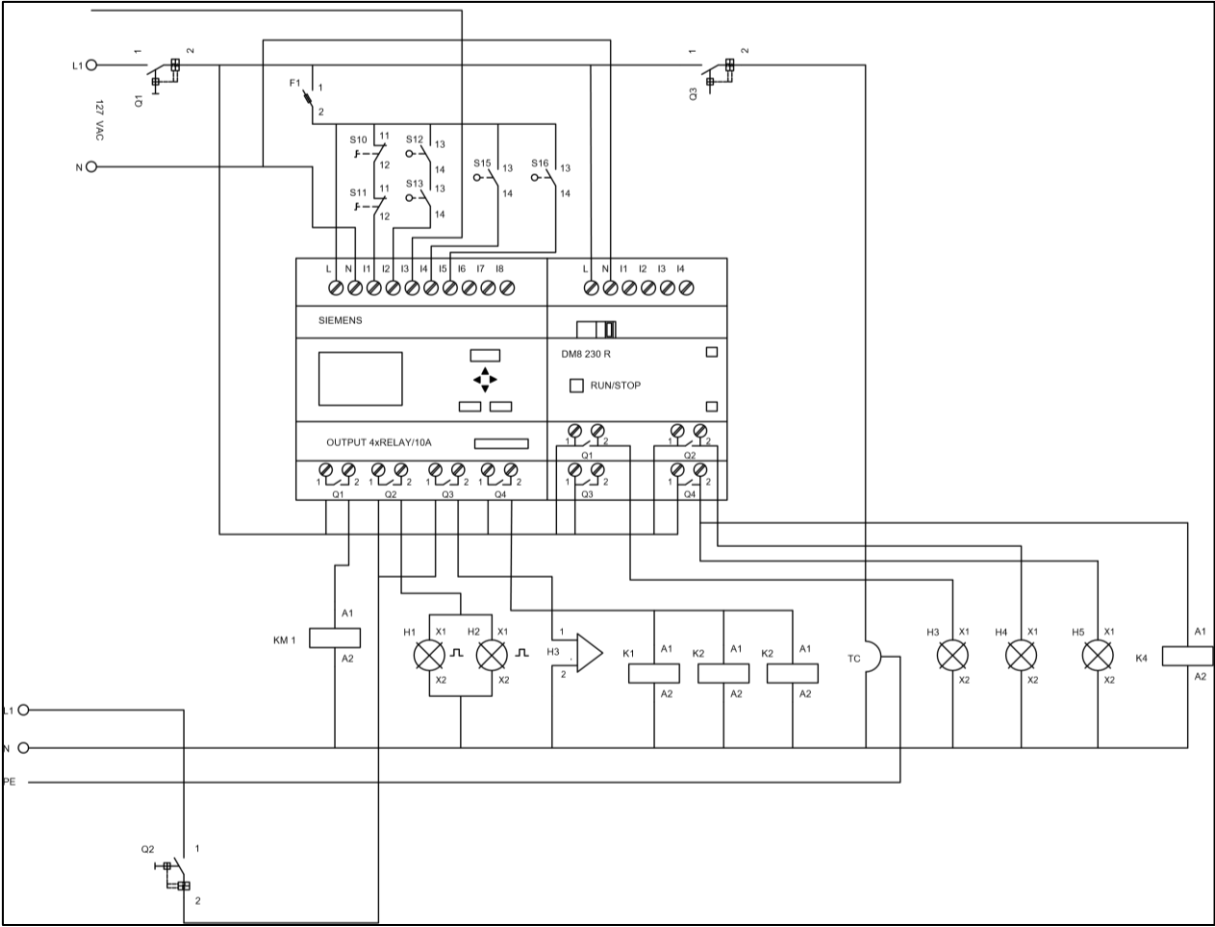


Figura C.1. Esquema multifilar de las conexiones en el LOGO 230 RC.

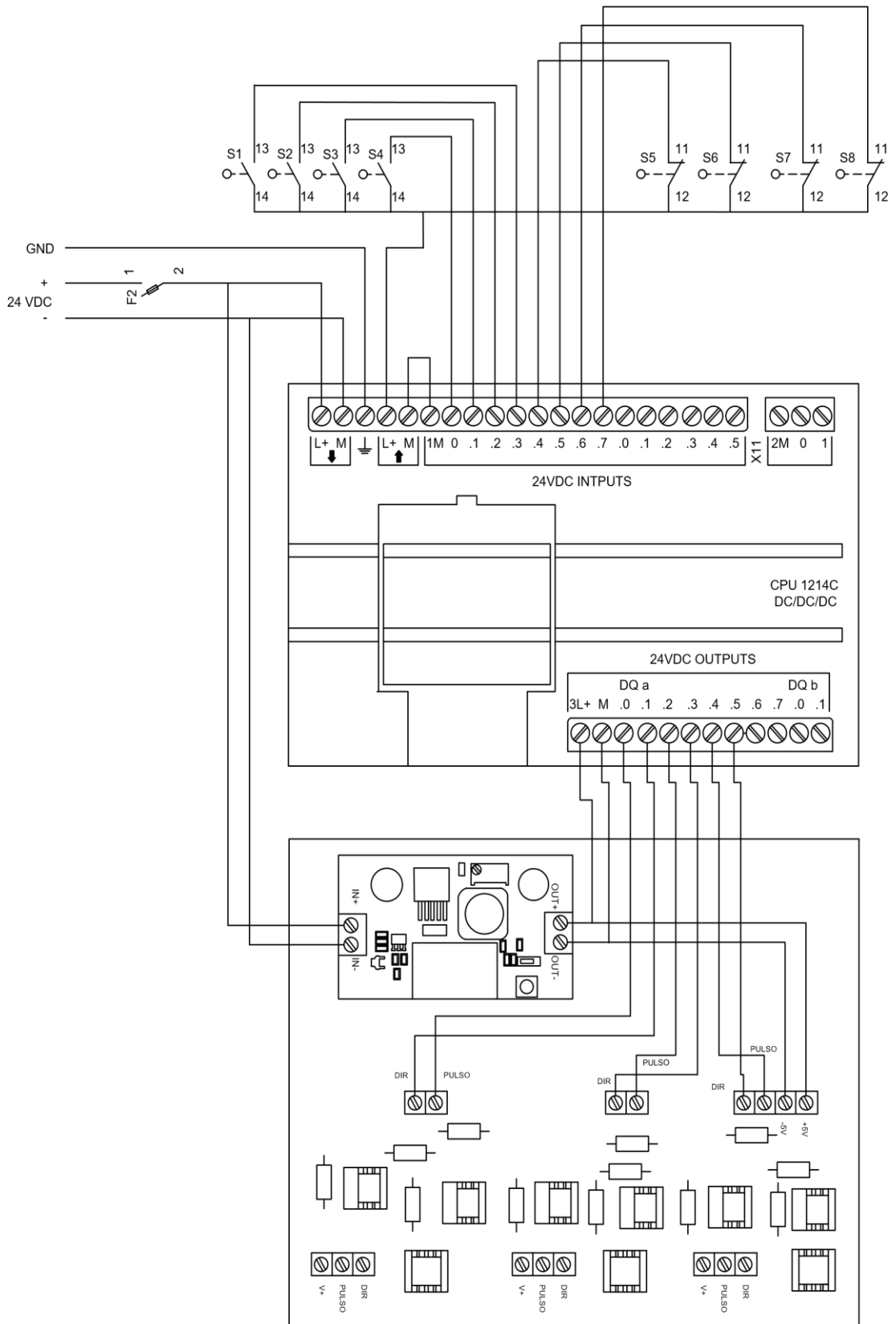


Figura C.2 Esquema Multifilar de las conexiones del PLC S7 1200.

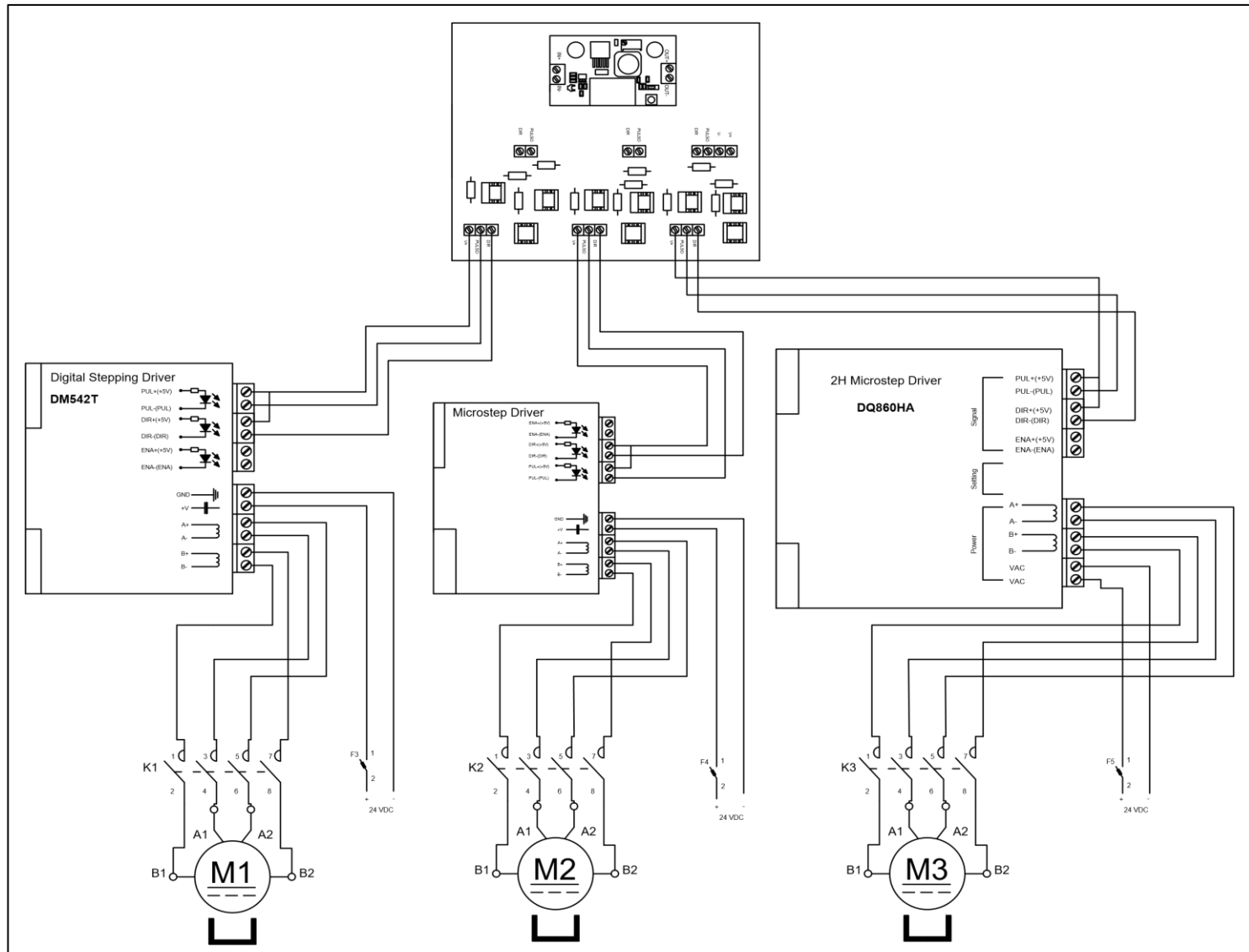


Figura C.3. Esquema Multifilar de las conexiones del circuito optoacoplador con los drivers.

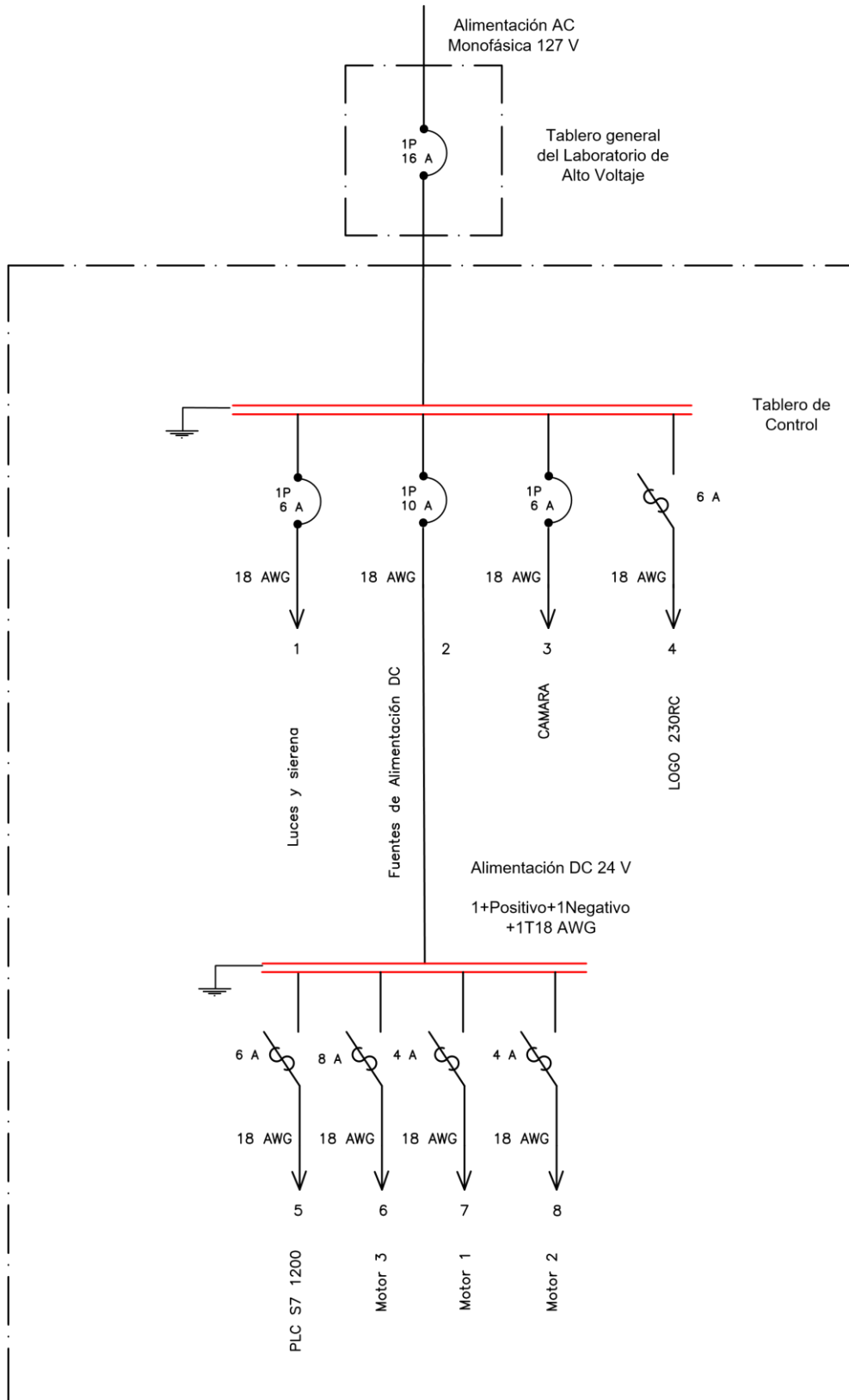


Figura C.4. Esquema Unifilar de las protecciones del sistema de control.

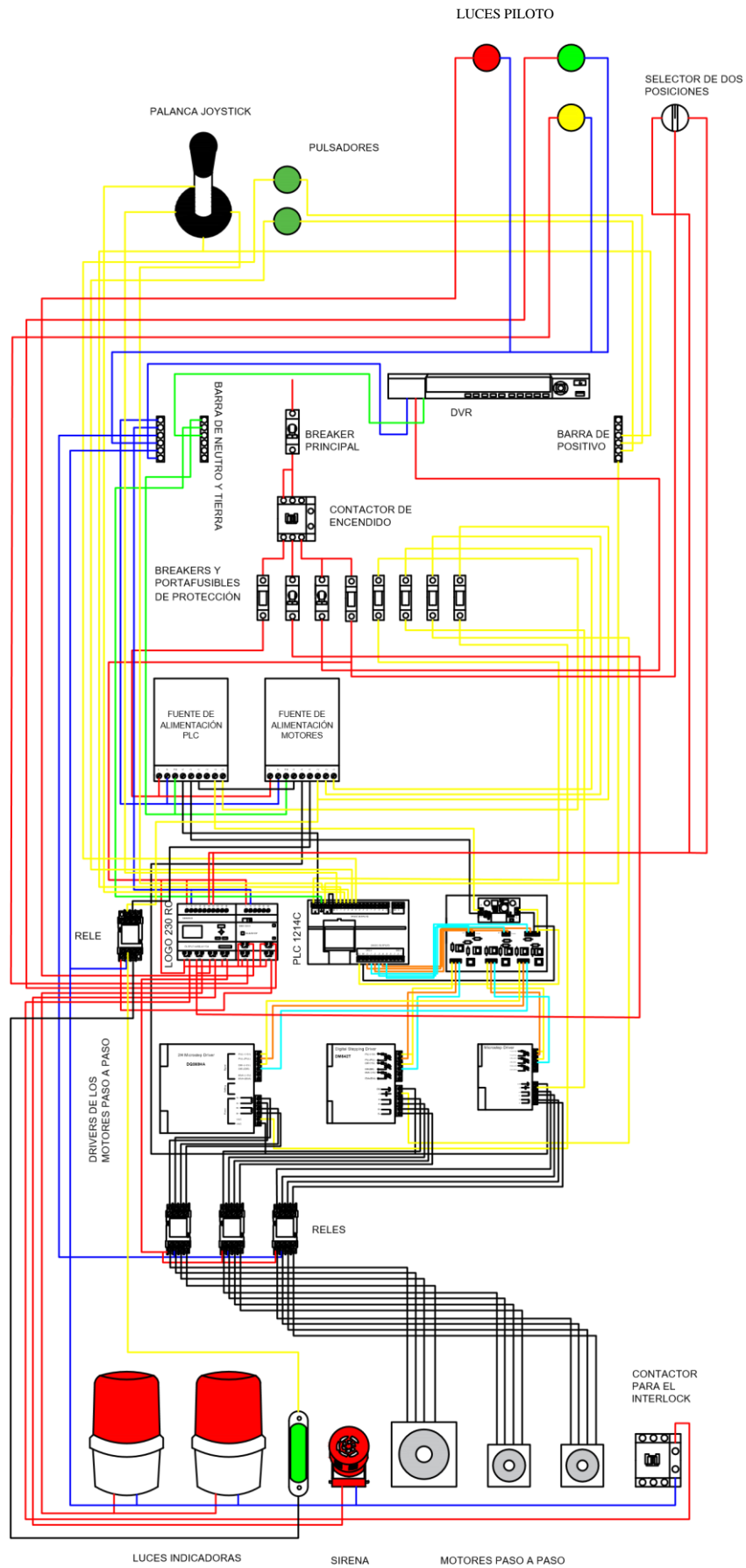


Figura C.5. Esquema de conexión del tablero de control.

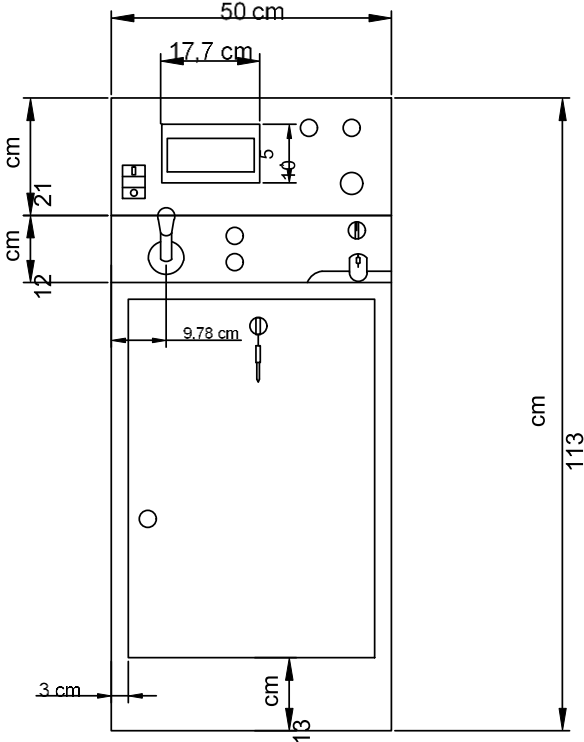


Figura C.6. Diseño del tablero de control vista frontal.

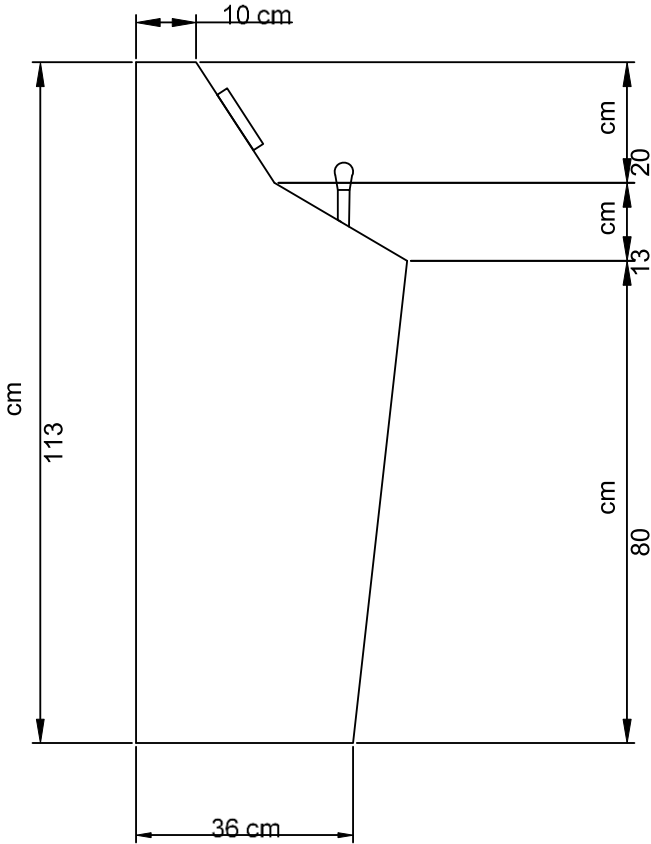


Figura C.7. Diseño del tablero de control vista lateral.

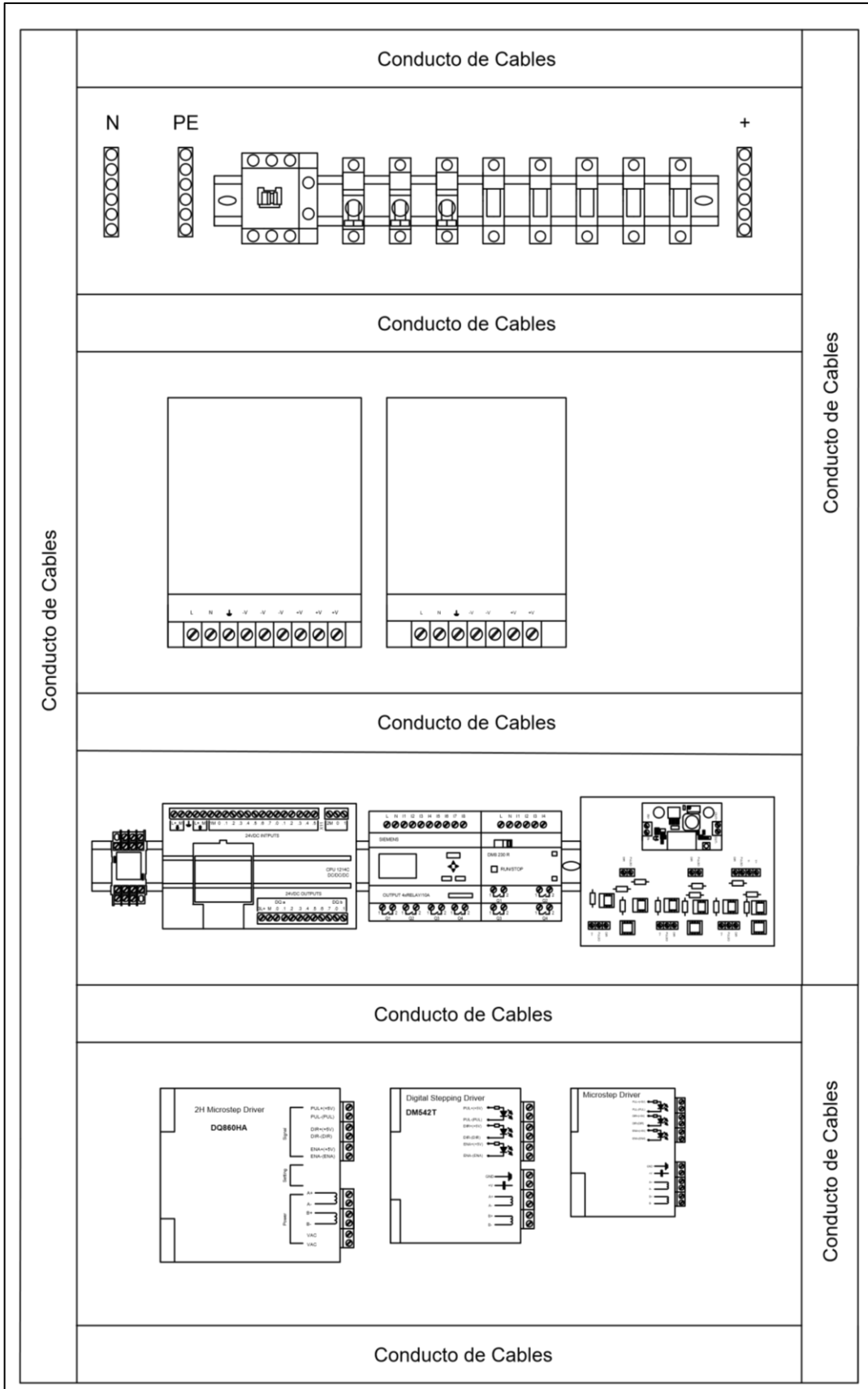


Figura C.8 Ubicación de los componentes en el doble fondo del tablero de control.

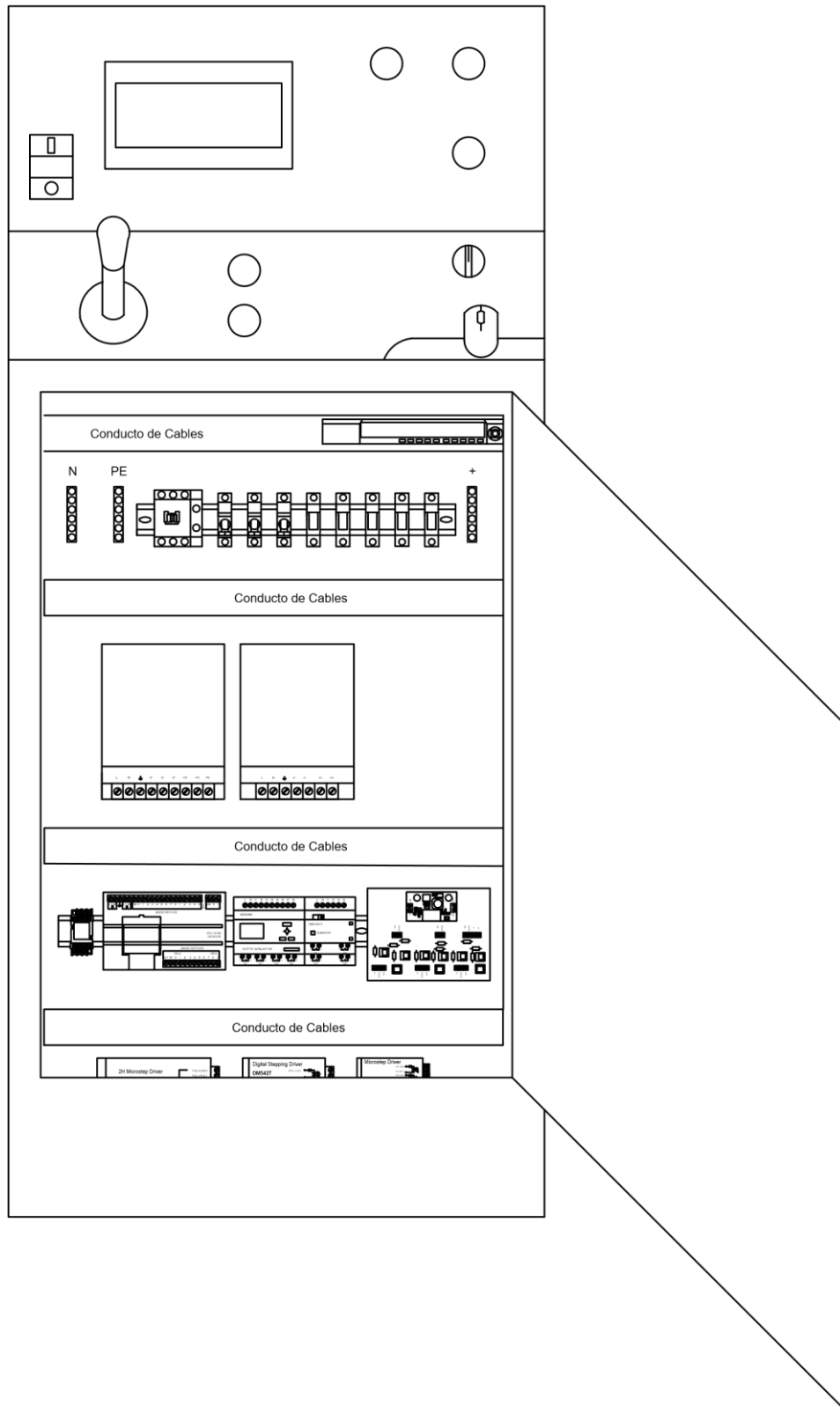


Figura C.9. Diseño de la ubicación de los componentes al interior del tablero de control.

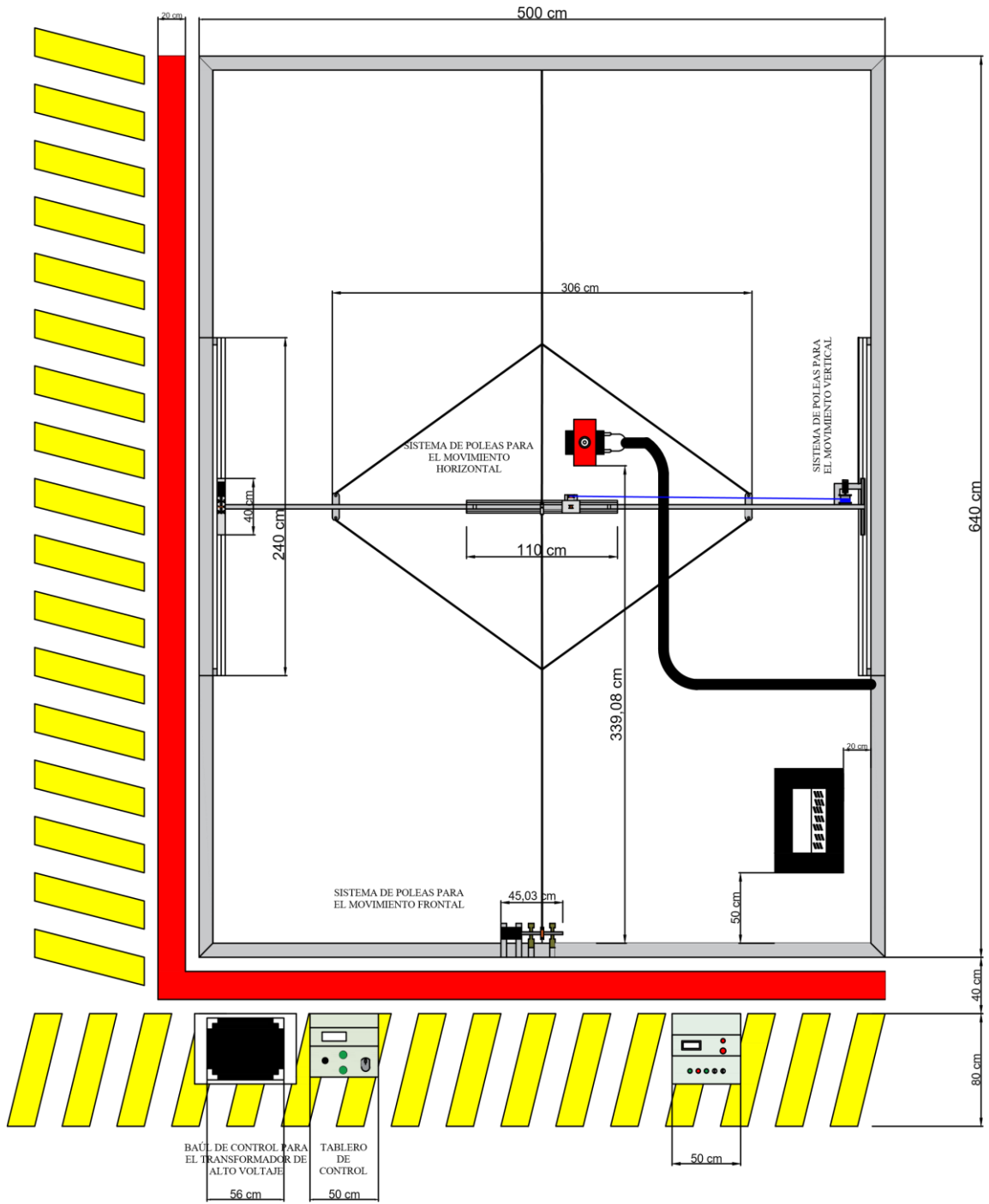


Figura C.10. Plano de planta de la Jaula de Faraday.

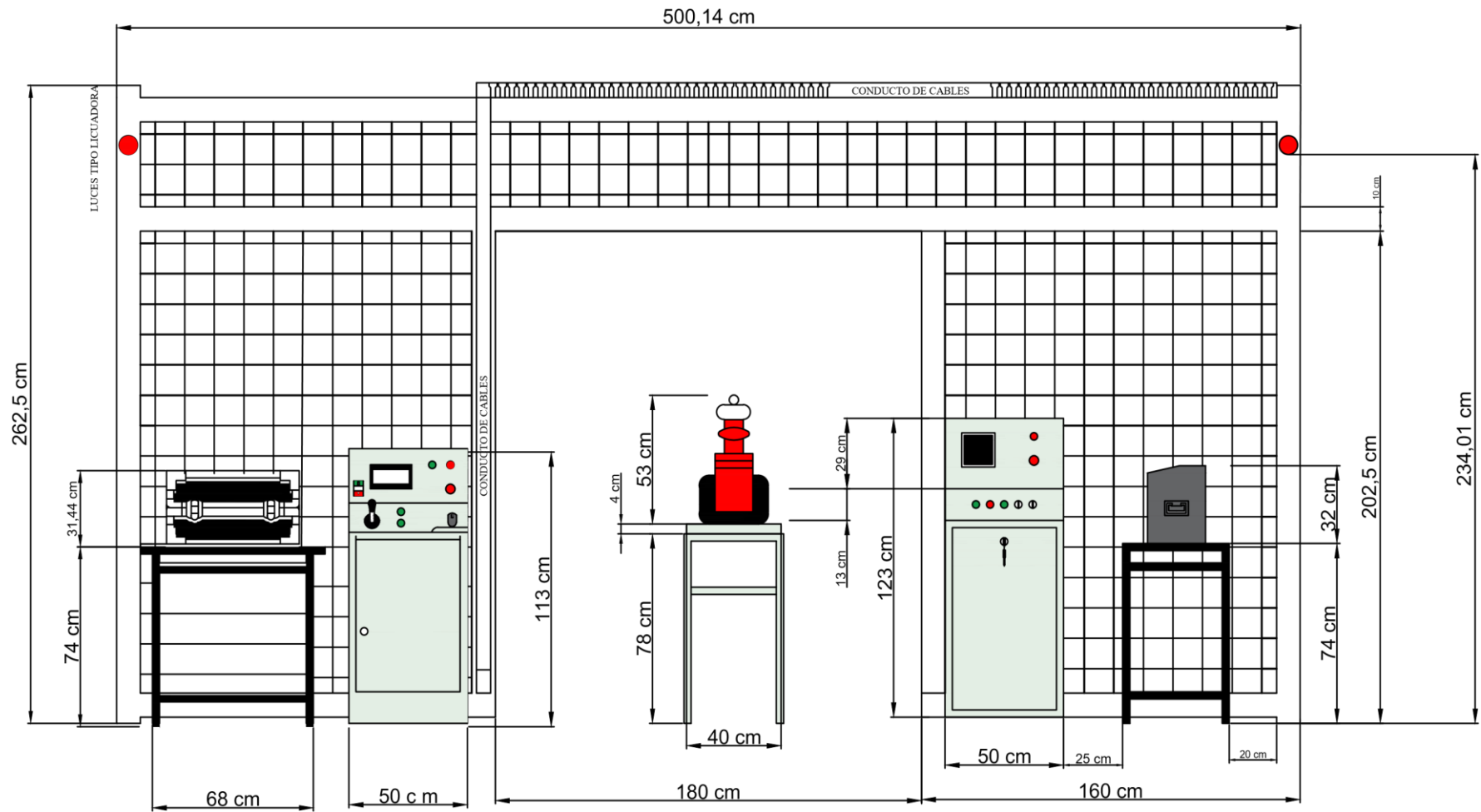


Figura C.11. Plano de la vista frontal de la Jaula de Faraday.

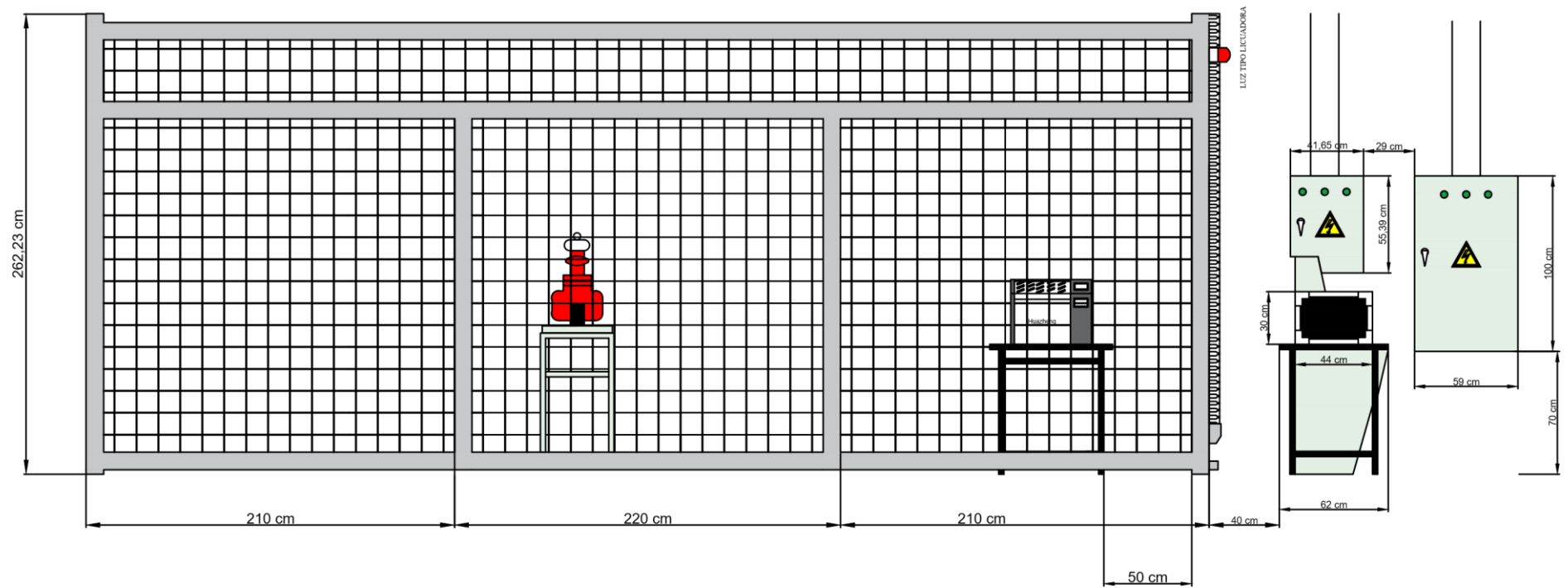


Figura C.12. Plano de la vista lateral de la Jaula de Faraday.

ANEXO D: Programación de los controladores lógicos programables

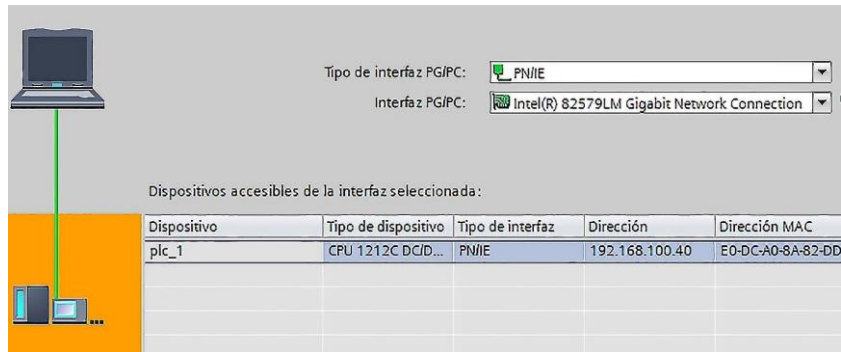


Figura D.1 Comunicación vía Ethernet entre el PLC S7 – 1200 y la computadora.

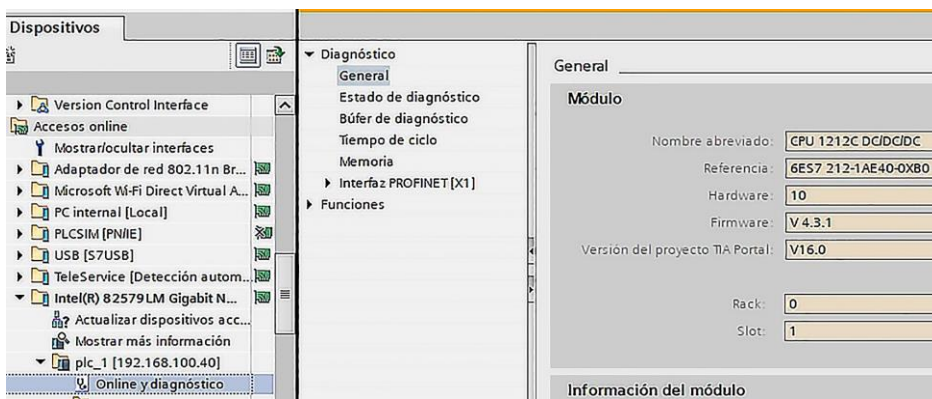


Figura D.2. Características del módulo S7 – 1200.



Figura D.3. Parámetros a configurar en el bloque tecnológico de control de movimiento.

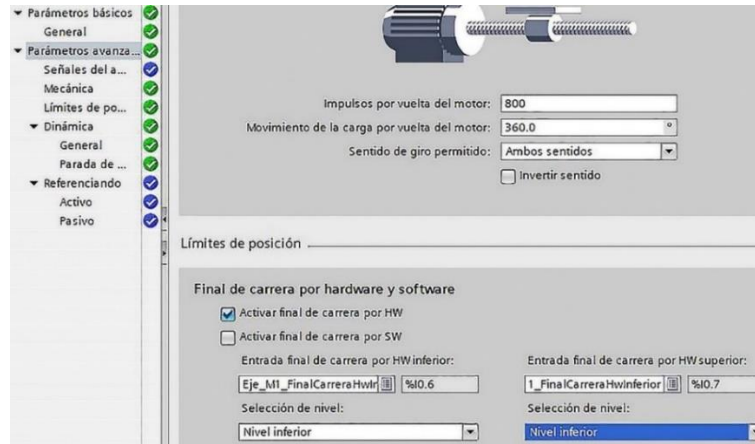


Figura D.4. Configuración de parámetros avanzados.

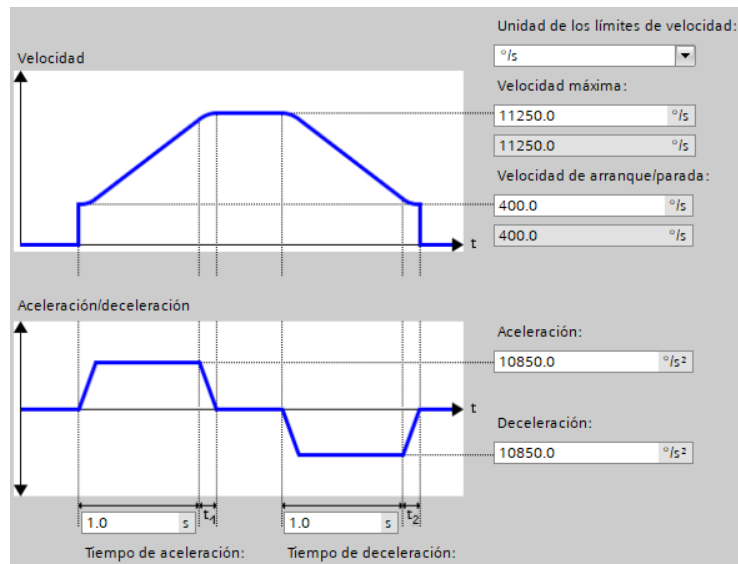


Figura D.5. Configuración de los parámetros dinámicos del motor 1.

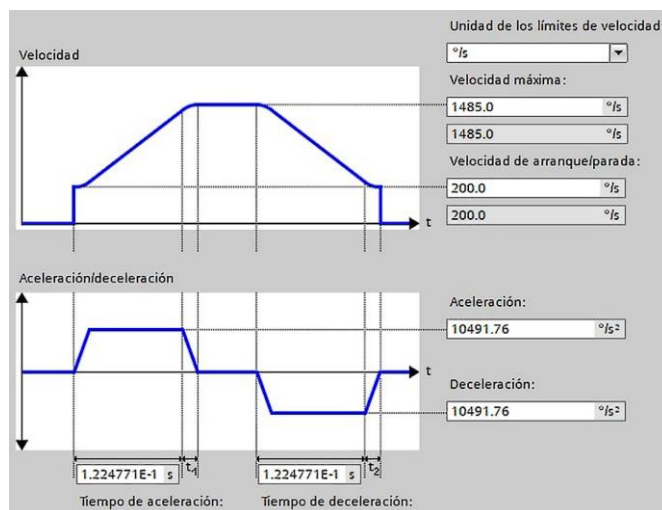


Figura D.6. Configuración de los parámetros dinámicos del motor 2.

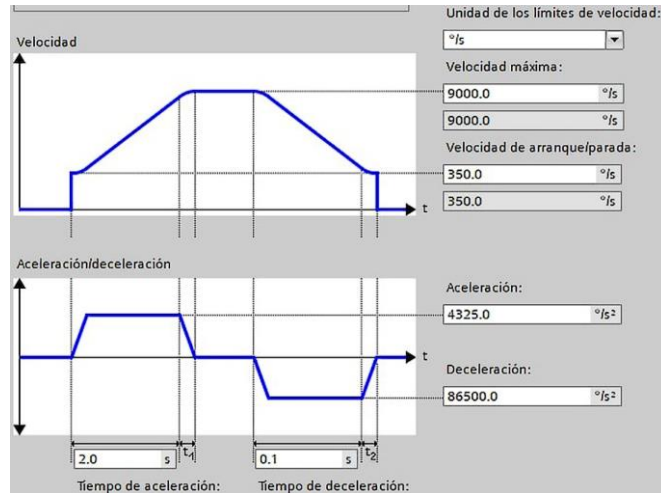


Figura D.7. Configuración de los parámetros dinámicos del motor 3.

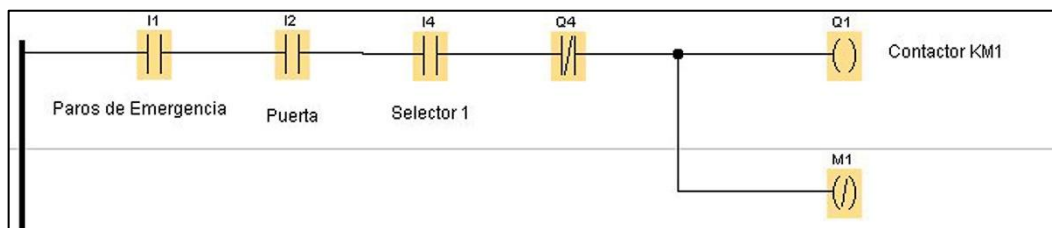


Figura D.8. Programación para el bloqueo de las fuentes de Alto Voltaje.

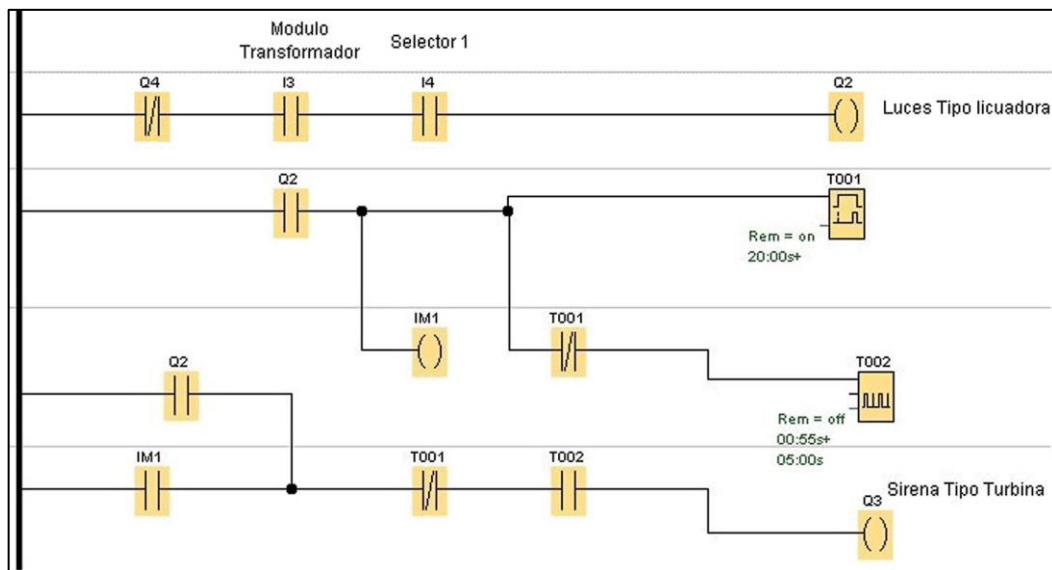


Figura D.9. Programación para el accionamiento de las luces de advertencia y la sirena tipo turbina.

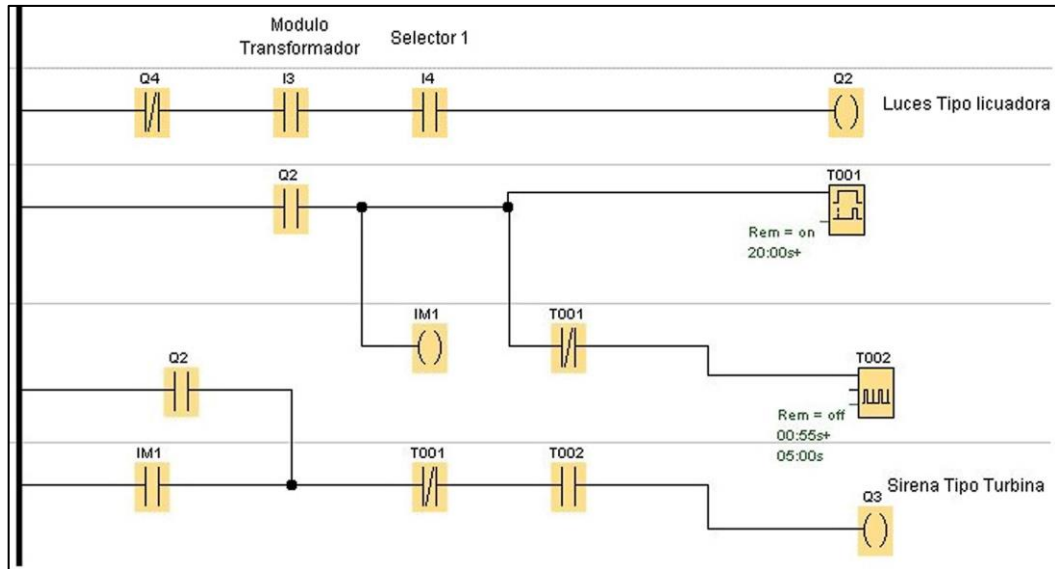


Figura D.10. Programación del encendido del tablero de control.

ANEXO E: Proceso de implementación de la propuesta tecnológica



Figura E.1. Construcción del tablero de control en material de acero inoxidable.



Figura E.2. Acabado del tablero de control con pintura electroestática.



Figura E.3. Ubicación de canaletas y rieldin en el doble fondo.



Figura E.4. Ubicación de dispositivos para el sistema de control.



Figura E.5. Ubicación de componentes de eléctricos en el tablero de control.

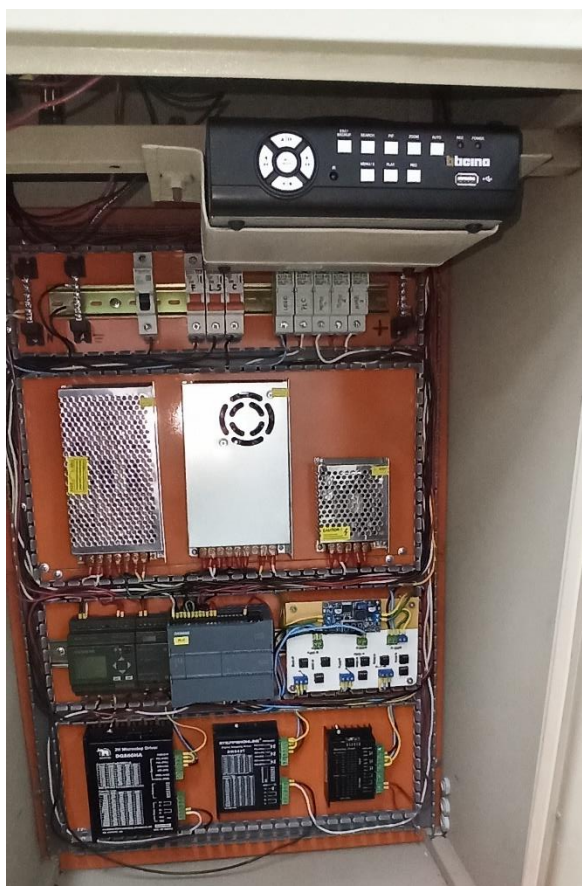


Figura E.6. Conexión de los componentes eléctricos en el tablero de control.



Figura E.7. Ubicación de canaletas en la Jaula de Faraday.



Figura E.8. Cableado del sistema de control de la Jaula de Faraday.



Figura E.9. Ubicación de finales de carrera.

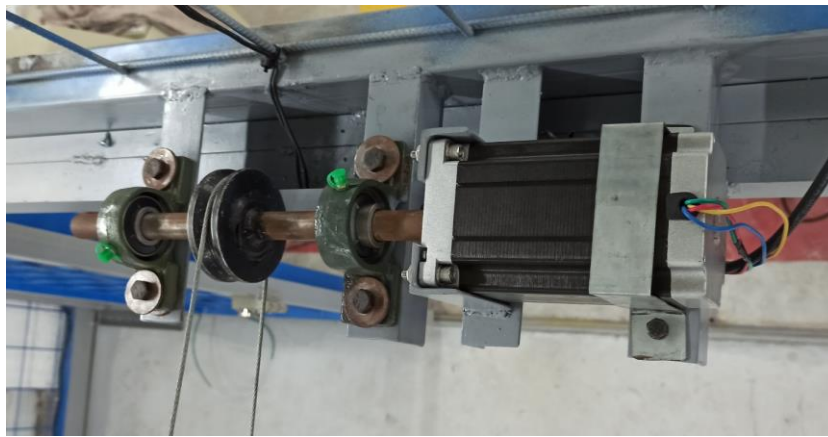


Figura E.10. Instalación de motores en el sistema de poleas.



Figura E.11. Instalación de luces de advertencia.



Figura E.12. Instalación de paros de emergencia.

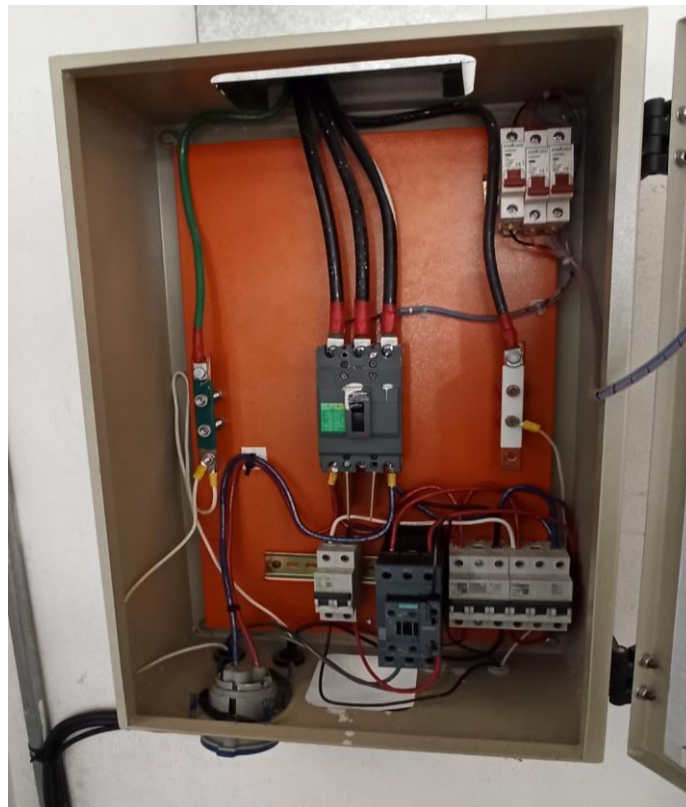


Figura E.13. Instalación de los sistemas de control con el tablero principal.

ANEXO F: Pruebas de operación de la Automatización de la Jaula de Faraday



Figura F.1. Pruebas de operación del sistema de control



Figura F.2. Calibración del sistema de control de movimientos de los ejes.



Figura F.3. Manipulación del módulo de control de transformador de Alto Voltaje para ensayos de disrupción dieléctrica.



Figura F.4. Aislador eléctrico tipo pin ANSI 55-5.



Figura F.5. Pruebas de disrupción dieléctrica mediante el transformador de Alto Voltaje, con un aislador tipo pin ANSI 55-5.

ANEXO G: Manual de operación del tablero de control para la Automatización de la Jaula de Faraday

OBJETIVOS:
GENERAL
Definir el procedimiento para la manipulación del tablero de control
ESPECIFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer recomendaciones para trabajar dentro del laboratorio. • Establecer los pasos a seguir para manipular de forma correcta el sistema de control de movimiento y el sistema de seguridad de la Jaula de Faraday.
INTRODUCCIÓN
<p>La automatización de la Jaula de Faraday para la seguridad de maniobras en el Laboratorio de Alto Voltaje de Universidad Técnica de Cotopaxi, consta de dos sistemas de control accionados en conjunto por los módulos lógicos programables empleados (S7 1200 y LOGO 230 RC).</p> <p>TABLERO DE CONTROL DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA JAULA DE FARADAY PARA LA SEGURIDAD DE MANIOBRAS</p> <p>Este tablero de control es el encargado de controlar el desplazamiento del sistema de poleas para posicionar el cable de tierra y poder realizar pruebas de disrupción eléctrica con el transformador de Alto Voltaje, además es el encargado de la seguridad de maniobras en la Jaula de Faraday.</p>

Figura 1. Tablero de control de la Automatización de la Jaula de Faraday Para la seguridad de maniobras
RECOMENDACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una breve inspección visual al equipo para comprobar que está en perfecto estado. • Verificar las que los <i>breakers</i>, fusibles y relés al interior del tablero no tengan averías. • Solo el personal autorizado debe ingresar al interior de la Jaula de Faraday • Las personas no autorizadas deben colocarse en la zona de circulación alrededor de la Jaula de Faraday. • Comprobar que el área de trabajo esté libre de contaminación. • Utilizar ropa y zapatos adecuados en el Laboratorio.

- Respetar la señalización existente en el área de trabajo.
- El desplazamiento del sistema de poleas solo se debe realizar en función de las necesidades requeridas, por lo que no se debe manipular de forma innecesaria para evitar daño en los equipos.
- No forzar el desplazamiento manual del sistema de poleas cuando los motores se encuentren encendidos.
- Se recomienda asesorarse con el docente encargado para solucionar cualquier duda.

PARTES DEL TABLERO DE CONTROL

Enchufe de alimentación

El tablero de control cuenta con un enchufe de alimentación de 127 VAC que se debe conectar en el tomacorriente ubicado en la parte posterior del tablero de control.



Figura 2. Conectores con puntas para prueba.

Botón de encendido y apagado del Tablero de Control

Tiene la función de encender y apagar el equipo.



Figura 3. Botón ON/OFF.

Selector de dos posiciones

Permite elegir entre el control de movimiento del sistema de poleas y la activación del módulo de control para el transformador de Alto Voltaje.



Figura 4. Selector de posición.

Palanca Joystick

Su función es controlar el posicionamiento del cable de tierra en 4 posiciones (adelante, atrás, izquierda y derecha) en función de las flechas de dirección colocadas a su alrededor.

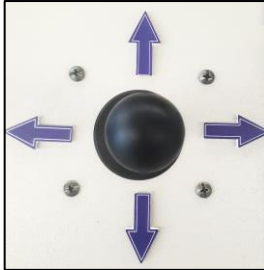


Figura 5. Palanca *joystick* para el control del movimiento frontal y horizontal.

Pulsadores para el desplazamiento vertical

Permite controlar el movimiento superior e inferior del cable de tierra en función de la dirección de las flechas colocadas a su alrededor.



Figura 6. Pulsadores para el control del desplazamiento vertical.

Luces Piloto

Las luces piloto indican el estado de funcionamiento del sistema.



Figura 6. Luces Piloto.

Monitor de video

Permite visualizar el interior de la Jaula de Faraday desde dos ángulos diferentes que se controlan con el mouse.

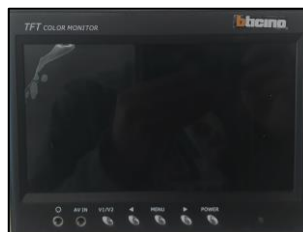


Figura 7. Monitor de video.

PROCEDIMIENTO PARA LA MANIPULACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

Accionamiento de los sistemas de control

1. Encender el equipo
2. Verificar que la luz de color verde colocada en la parte superior de la Jaula de Faraday se encuentre encendida.
3. Ingresar al interior de la Jaula de Faraday y colocar el objeto en el que se realizaran las pruebas de disrupción eléctrica en la parte superior del transformador de Alto Voltaje.
4. Cerrar la puerta y verificar que ningún paro de emergencia se encuentre accionado.
5. Colocar el selector en la posición izquierda, subsecuentemente se debe verificar que la luz piloto de color verde se encuentre encendida.
6. Una vez seleccionado el control de movimiento no manipular de forma manual el cable de tierra, para evitar daño en el eje de los motores paso a paso.
7. Accionar el control de movimiento del cable de tierra con el eje frontal y horizontal a través de la palanca joystick, al mover hacia adelante y hacia atrás se controla el movimiento del eje frontal en función de la dirección de su accionamiento, de igual manera con el movimiento horizontal, se acciona al mover hacia la derecha o izquierda.
8. Accionar el control del movimiento del eje vertical del cable de tierra con los pulsadores de color verde ubicados a la derecha de la palanca joystick. Si se acciona el pulsador ubicado en la parte superior o inferior se desplazará el cable de tierra en la dirección del accionamiento respectivo.
9. Ayudarse con el monitor para tener un mejor enfoque de la posición del cable de tierra, con el mouse seleccionar la toma adecuada con click izquierdo. Para realizar una ampliación de la toma se debe realizar click derecho y dirigirse hacia la opción configuración de pantalla y posteriormente a zoom; en la esquina superior izquierda se escoge el nivel de ampliación y le lugar de enfoque.
10. Posicionar de forma correcta el cable de tierra cerca del objeto en el que se realizara las pruebas de disrupción eléctrica.
11. Activar el módulo de control del transformador de Alto Voltaje, colocando el selector en la posición derecha.
12. Verificar que la luz piloto amarilla no se encuentre encendida, si este es el caso revisar que la puerta de la Jaula de Faraday se encuentre cerrada correctamente y que los botones de emergencia no se encuentren activados.
13. El módulo de control del transformador de Alto Voltaje se encenderá, si las luces tipo licuadora y sirena tipo turbina se encuentran activados.
14. Proseguir con la manipulación del módulo de control del transformador para realizar pruebas de disrupción eléctrica.
15. Para visualizar las pruebas de disrupción eléctrica el personal que no manipule el módulo de control del transformador de Alto Voltaje, debe ubicarse al redor de la Jaula de Faraday por la zona de circulación establecida.

ANEXO H: Protocolo de seguridad para realizar trabajos en la Jaula de Faraday

OBJETIVOS:
GENERAL
Definir el procedimiento de seguridad a seguir en ensayos con Altos Voltajes a realizar en la Jaula de Faraday.
ESPECIFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer los recursos, instrucciones y recomendaciones para iniciar un ensayo con módulos de Alto Voltaje. • Identificar los pasos a seguir al realizar ensayos en la Jaula de Faraday
INTRODUCCIÓN
<p>La electricidad es una parte tan común de nuestras vidas que es fácil olvidar los peligros asociados con su uso. La falta de respeto a estos peligros puede conducir a un gran número de muertes por electrocución en industrias, centros académicos e incluso en el hogar. De hecho, el riesgo eléctrico está presente en cualquier tarea que implique manipulación o maniobra de instalaciones eléctricas de baja, media y alta tensión.</p> <p>No obstante, los laboratorios de electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi conllevan una serie de riesgos, tanto de carácter general como específico. Por ello, al momento de realizar prácticas de laboratorio en la Jaula de Faraday se deben tomar en cuenta diferentes normas y reglas para precautelar la seguridad del personal que esa realizando los diferentes trabajos ya sean con equipos de medición o con implementos para realizar maniobras o algún tipo de trabajo con Alto Voltaje. Por consiguiente, se plantea este protocolo de seguridad en donde se hará referencia a las precauciones y distancias de seguridad que se deben tomar para preservar la integridad de los estudiantes de pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi.</p>
LISTADO DE RECURSOS
<p>Casco de seguridad</p> <p>Un casco protector tiene como función principal evitar golpes o impactos, pero cuando estemos trabajando en una situación de peligro eléctrico, debemos tener en cuenta que también debe protegernos del paso de corriente eléctrica al cuerpo de los trabajadores por la cabeza [1].</p> <div data-bbox="643 1400 1026 1668" data-label="Image"> </div> <p>Figura 1. Casco de protección.</p> <p>Gafas de seguridad</p> <p>Destinadas a proteger los ojos del trabajador ante riesgos externos como arco eléctrico de cortocircuito. Deben tener un grosor mínimo de 1,2 mm como mínimo y un nivel de protección de 2-1,2 o 3-1,2.</p>



Figura 2. Gafas de seguridad.

Zapatos de seguridad con calzado aislante de la electricidad

El calzado está diseñado para proporcionar una fuerte resistencia para evitar que la corriente eléctrica penetre en el cuerpo del usuario, es decir, deben funcionar como aislantes de la electricidad [1].



Figura 3. Botas dieléctricas.

Mandil

Su uso hace que tomes ventaja en el trabajo al sentirse seguro, al ser un elemento protector externo cuya función es la de hacer frente a diversos elementos y sustancias que pueden llegar a dañarte físicamente.



Figura 4. Mandil de la carrera de Ingeniería en Electricidad.

Guantes de protección

Es un equipo de protección individual (EPI) destinado a proteger total o parcialmente la mano. En el lugar de trabajo, las manos del trabajador, puede hallarse expuesto a riesgos debidos a acciones externas, para este propósito se empleará guantes de Categoría II.



Figura 4. Guantes de seguridad Categoría II.

MÉTODOS DE TRABAJO

Se distinguen tres métodos de trabajo, según la situación del operario respecto a trabajos de laboratorio con módulos de Alto Voltaje, conforme los medios que emplee para prevenir los riesgos de electrocución y de cortocircuito [2]. Con referencia a estos métodos, se indica que el método de trabajo a emplearse en la Jaula de Faraday es el siguiente:

- **Trabajo a Distancia.** En este método, el operario se mantiene separado de los conductores o de las partes a potencial, conservando las distancias de seguridad (tabla 1.) y ejecuta el trabajo con ayuda de herramientas montadas en el extremo de pértigas, cuerdas u otros elementos aislantes.

DISTANCIAS DE SEGURIDAD

Se define como distancias de seguridad a la separación mínima medida entre cualquier punto a tensión plena y la parte más próxima del cuerpo del operario o de las herramientas no aisladas por él utilizadas, en la situación más desfavorable que pudiera producirse. Esta distancia, se deberá tener en cuenta a los efectos de prevenir riesgos de electrocución en trabajos realizados en la proximidad de partes no aisladas de instalaciones eléctricas en servicio. Mediante la norma española indica las distancias de seguridad cuando existe riesgo de sobretensión por rayo, esto se muestra en la siguiente tabla [3].

Tabla 1. Distancias de Peligro [3].

V (kV)	D1(cm) Distancia cuando existe peligro de sobretensión (partes activas expuestas)	D2(cm) Distancia cuando no existe peligro de sobretensión (partes activas no expuestas)
<1	50	50
3	62	52
6	62	53
10	65	55
15	66	57
20	72	60
30	82	66
45	98	73
66	120	85
110	160	100
132	180	110
220	260	160
380	390	250

NORMATIVAS PARA LA ELABORACIÓN DE LA GUÍA

- *High Voltage Electrical Safety Program.* Environmental Health & Safety, University of California, Irvine, USA.
- *High Voltage Safety Manual.* Colorado State University.
- *Hv Safety.* High Voltage Laboratory, University of Canterbury, New Zealand.

PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO EN LA JAULA DE FARADAY

PROCEDIMIENTOS PRELIMINARES

1. Leer cuidadosamente las instrucciones, normas operativas o el manual del equipo antes de usar cualquier instrumento del laboratorio y asegúrese de que funcione correctamente.
2. Antes de comenzar cualquier tipo de trabajo en Alto Voltaje, determine en qué modulo se realizará los trabajos.
3. Todo trabajo en una instalación eléctrica que conlleve riesgo eléctrico, deberá efectuarse sin tensión.
4. Si es necesario, ilumine completamente el área de trabajo.
5. Prepare quipo de protección personal y verifique su estado
6. Inspeccione los cables eléctricos para determinar si tienen cortes, el aislante desgastado, terminales expuestos y conexiones sueltas.
7. Limpie el área de trabajo si presenta un exceso de suciedad o polución producida por el ambiente.

PROCEDIMIENTOS PRINCIPALES

1. Encender el tablero de control de la Jaula de Faraday, bajo supervisión del docente encargado, posteriormente verificar que la baliza de color verde se encuentre encendida.
2. Debe ingresar a la Jaula de Faraday solo el personal autorizado o bajo la supervisión del docente encargado, con el uso permanente del equipo de protección.
3. No se debe trabajar en solitario, la presencia de otra persona puede ser vital en caso de emergencia.
4. Después de entrar, comprobar que los módulos de Alto Voltaje estén en perfectas condiciones.
5. Posteriormente realizar una comprobación visual del estado de la puesta a tierra en la Jaula de Faraday.
6. Colocar el aislador en el que se van a realizar los ensayos con el transformador de Alto Voltaje.
7. Salir de la Jaula de Faraday, verificar que ninguna persona se encuentre en el interior y posteriormente cerrar las puertas de ingreso.
8. Habilitar el control de movimiento para realizar maniobras en el tablero de control y posicionar el cable de tierra.
9. El personal restante debe colocarse alrededor de la Jaula de Faraday por la zona de circulación.
10. Habilitar el transformador de Alto Voltaje en el tablero de control.
11. Verificar que la señalización de advertencia y el módulo del transformador se activen, caso contrario verificar el manual de operación del tablero de control.
12. Colocarse en el módulo del transformador de Alto Voltaje y realizar el ensayo correspondiente.
13. Una vez finalizado el ensayo, desactivar el transformador de Alto Voltaje en el tablero de control y repetir el procedimiento mencionado para ingresar a la Jaula de Faraday.

RECOMENDACIONES

- Aplicar las cinco Reglas de Oro de electricidad al realizar los ensayos:

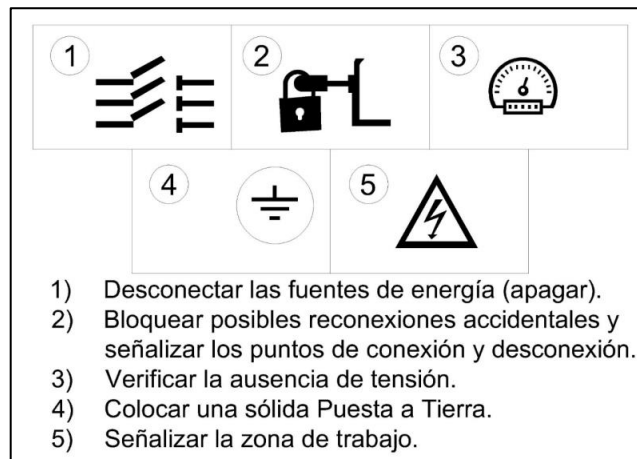


Figura 5. Las 5 reglas de oro de electricidad.

- Ventile el área de trabajo.
- Mantenga un ambiente limpio y ordenado, libre de peligros.
- Utilizar el EPP indicado.
- Respetar la señalización existente en el área de trabajo.



Figura 6. Señalización de la Jaula de Faraday.

- No realice nunca operaciones en equipos eléctricos o módulos de Alto Voltaje si no se posee la formación necesaria.
- Debe haber un responsable que tome la decisión de realizar los ensayos con Alto Voltaje.