



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

DISEÑO DE SIMULADOR DE PRUEBAS DE CALIDAD EN CABLES THHN/THWN-2

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

11541030

HEYLLER JAFETH LAGOS GALINDO

11541191

LISANDRO ANDRÉS MENDOZA REYES

ASESOR METODOLÓGICO: ING. RIGOBERTO CASTRO CASTRO

ASESOR TEMÁTICO: ING. MARTIN EDUARDO ROSALES

CAMPUS TEGUCIGALPA; ENERO, 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias, amigos y maestros, quienes nos han ayudado a superarnos como estudiantes y personas a lo largo de nuestra vida estudiantil.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo incondicional que nos ha brindado la empresa Diamond Electric Company (DEC), quienes nos instruyeron y asistieron a lo largo de la realización de este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

Los cables eléctricos han sido el componente fundamental de todo sistema eléctrico de importancia. La capacidad de realizar pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2 ha sido una necesidad de gran importancia en el sistema de producción de Diamond Electric Company (DEC) debido a que lograr certificaciones por medio de pruebas de calidad según la empresa tiene un valor de 15000 dólares contando el precio de la contratación de una persona extranjera con el equipo necesario para la realización de las pruebas de calidad que rondarían los 3000 mil dólares anuales (DEC, 2019).

El proyecto se ha basado en el diseño de cinco módulos y una cámara de flama con la capacidad de verificar la calidad de cables eléctricos THHN/THWN-2, mediante la aplicación de pruebas destructivas y no destructivas. Dichas pruebas han sido determinadas, en conjunto con DEC, como las pruebas de mayor relevancia en los procesos de monitoreo de calidad. De esta forma, se asegura el cumplimiento de las diversas normativas de calidad y el correcto funcionamiento de los cables en condiciones de operación normales, así como adversas. De la misma forma se han diseñado los diagramas eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento de las diversas partes del sistema.

Mediante el uso del software de diseño Autodesk Inventor se ha logrado diseñar cada módulo, sus respectivos componentes y equipos. De la misma manera, mediante la utilización de CAdE_SIMU se ha logrado el diseño y simulación de los distintos esquemas eléctricos del sistema.

De esta forma se ha logrado realizar el diseño de un simulador de monitoreo de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2. Con la capacidad de realizar pruebas de ampacidad, caídas de tensión, capacidad de corrientes mínimas y máximas, resistencia de aislamiento, así como de temperatura de operación. Logrando así, que DEC y otras posibles empresas enfocadas al ámbito de la producción de cables eléctricos, sean capaces de realizar pruebas de calidad en cables eléctricos de una forma rápida y sencilla y de esta manera disminuir los costos que implican realizar estas pruebas en el extranjero.

ABSTRACT

Electric cables have been the fundamental component of every important electrical system. The ability to perform quality tests on THHN / THWN-2 cables has been a very important need in the production of Diamond Electric Company. Achieving certifications through quality tests according to the company has a value of \$15,000 counting the price of hiring a foreigner with equipment to perform the quality tests that would be around 3000 thousand dollars annually (DEC, 2019).

The project has been based on the design of five modules and a flame chamber with the ability to verify the quality of electrical cables, through the application of destructive and non-destructive tests. These tests have been determined, together with DEC, as the most relevant tests in quality monitoring processes. In this way, compliance with the various quality standards and the correct operation of the cables in normal and adverse operating conditions is ensured. In the same way, the electrical diagrams necessary for the correct functioning of the various parts of the system have been designed.

Through the use of Autodesk Inventor design software, each module, its respective components and equipment have been designed. In the same way, through the use of CADe_SIMU, the design and simulation of the different electrical diagrams of the system has been achieved.

In this way, the design of a quality monitoring simulator in THHN / THWN-2 electric cables has been achieved. With the ability to perform ampacity tests, voltage drops, minimum and maximum current capacity, insulation resistance as well as operating temperature. Thus, DEC and other possible companies focused on the field of electric cable production, are able to perform quality tests on electric cables quickly and easily and thus reduce the costs involved in carrying out these tests abroad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	4
II. Planteamiento del Problema.....	6
2.1 Precedentes del Problema	6
2.2 Definición del Problema	6
2.3 Justificación	6
2.4 Preguntas de Investigación	7
2.5 Objetivos.....	7
2.5.1 Objetivo General.....	7
2.5.2 Objetivos Específicos	7
III. Marco teórico	9
3.1 Prototipos Previos.....	9
3.1.1 Diseño de Probador CA7024	9
3.1.2 Diseño de Probador Megger PFL40-20000.....	10
3.1.3 Diseño de Probador SPARK 2000 UL.....	11
3.1.4 Patente de Probador Portátil de Cables Multifunción	12
3.2 Cables Eléctricos	14
3.2.1 Partes de los Cables Eléctricos	18
3.2.2 Cables de Aislación Termoplástica	19
3.3 Estándares de Calidad	22
3.3.1 Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).....	23
3.3.2 Underwriter Laboratories (UL).....	23
3.3.3 American National Standards Institute (ANSI).....	25

3.3.4 Telecommunications Industry Association (TIA).....	27
3.3.5 National Electrical Manufacturers Association (NEMA)	27
3.3.6 Insulated Cable Engineers Association (ICEA)	28
3.4 Pruebas de Calidad.....	29
3.4.1 Pruebas No Destructivas (PND)	30
3.4.2 Pruebas Destructivas (PD).....	32
3.4.3 Pruebas Eléctricas en Cables Eléctricos.....	34
3.4.4 Prueba de Medición de Aislamiento.....	34
3.4.5 Prueba de Medición de Impedancia en Cables Eléctricos	35
3.4.6 Pruebas de Flama en Cables Eléctricos.....	35
3.4.7 Pruebas de Materias Primas.....	37
3.4.8 Pruebas de Soporte y Sobretensión de Corriente Constante	37
3.4.9 Pruebas de Doblado en Frio de Cables Eléctricos	38
IV. Metodología.....	39
4.1 Enfoque.....	39
4.2 Variables de Investigación	39
4.2.1 Pruebas a Realizar.....	39
4.2.2 Componentes a Utilizar.....	39
4.2.3 Definición de Módulos.....	39
4.2.4 Equipos de Prueba a Utilizar.....	39
4.2.5 Fuentes de Alimentación Energética.....	40
4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados	40
4.3.1 Diseño en CAD	40

4.3.2 Desarrollo de Diagramas Eléctricos.....	40
4.3.3 Instalaciones Eléctricas.....	40
4.4 Materiales.....	41
4.4.1 Módulo de Fuentes Eléctricas.....	41
4.4.2 Módulo de Instrumentación de Medición Metrológica	43
4.4.3 Módulo de Selección y Conmutación	44
4.4.4 Módulo de Equipo Domestico	45
4.4.5 Módulo de Equipo Industrial	46
4.4.6 Cámara de Flama.....	47
4.5 Metodología de estudio	48
4.5.1 Análisis de Equipos Especializados en Pruebas de Calidad en Cables.....	48
4.5.2 Determinación de Pruebas de Calidad a las Cuales son Sometidos los Cables	48
4.5.3 Pruebas de Calidad con Uso del Simulador	51
4.5.4 DISEÑO DE SIMULADOR Y DIAGRAMAS ELÉCTRICOS.....	51
4.5.5 Validación del Diseño	61
4.5.6 Elaboración del Presupuesto	62
4.5.7 Análisis de Factibilidad	62
4.6 Metodología de Validación.....	62
4.7 Cronograma de Actividades.....	64
V. Resultados y Análisis.....	67
5.1 Análisis de Equipos.....	67
5.2 Determinación de Pruebas de Calidad.....	67
5.3 Pruebas a Realizar	68

5.4 Diseño del Simulador y Diagramas Eléctricos	68
5.4.1 Diseño del Simulador.....	69
5.4.2 Diseño Total del Simulador	76
5.4.3 Diseño de Diagramas Eléctricos	77
5.5 Validación del Diseño	89
5.5.1 Validación de Diagrama del Módulo de Fuentes Eléctricas y Módulo de Medición e Instrumentación Metrológica.....	89
5.5.2 Validación del Diagrama Eléctrico del Módulo de Selección y Conmutación	91
5.5.3 Validación del Diagrama Eléctrico del Módulo de Equipos Domésticos	96
5.5.4 validación de Modulo de Equipos Industriales.....	98
5.6 Presupuesto.....	100
5.7 Análisis de Factibilidad	100
VI. Conclusiones.....	102
VII. Recomendaciones	104
VIII. Aplicabilidad.....	105
IX. Trabajo Futuro.....	106
Bibliografía.....	107
Anexos.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Probador Fault Mapper.....	10
Ilustración 2. Probador Megger.....	11
Ilustración 3. Probador Spark 2000 UL.....	12
Ilustración 4. Esquema de probador portátil.....	13
Ilustración 5. Diseño de probador portátil.....	14
Ilustración 6. Cuadro de calibres de cables eléctricos.....	16
Ilustración 7. Tabla de amperajes y temperaturas en cables eléctricos.....	17
Ilustración 8. Partes del cable eléctrico.....	19
Ilustración 9. Terminología de los cables de aislación termoplástica.....	20
Ilustración 10. Cuadro de cables de aislación termoplástica.....	22
Ilustración 11. Comisión Electrotécnica Internacional.....	23
Ilustración 12. Tabla de estándares según UL para cables eléctricos (parte 1).....	24
Ilustración 13. Tabla de estándares según UL para cables eléctricos (parte 2).....	25
Ilustración 14. Telecommunications Industry Association.....	27
Ilustración 15. National Electrical Manufacturers Association.....	28
Ilustración 16. Principales fabricantes de cables a nivel mundial.....	29
Ilustración 17. Equipo de inspección de cable de acero.....	31
Ilustración 18. Equipo de pruebas corrosivas en cables eléctricos.....	33
Ilustración 19. Prueba de fatiga en cables eléctricos.....	34
Ilustración 20. Cuadro de criterios para pruebas de flama según CSA.....	36
Ilustración 21. HV Tester 25.....	37
Ilustración 22. Cámara de prueba de doblado en frío.....	38

Ilustración 23. Bastidor.....	52
Ilustración 24. Tablero eléctrico general	53
Ilustración 25. Tablero de medidores múltiples	54
Ilustración 26. Modulo DL 2110AH	56
Ilustración 27. Equipo de pruebas TECH-LABS	57
Ilustración 28. Modulo DL EM-TEST.....	58
Ilustración 29. Dimensiones de mesa soporte en milímetros	59
Ilustración 30. Dimensiones de cámara de flama en milímetros	60
Ilustración 31. Diseño ELAND CABLES de cámara de flama	61
Ilustración 32. Diagrama de Gantt (parte 1).....	65
Ilustración 33. Diagrama de Gantt (parte 2).....	66
Ilustración 34. Diseño de bastidor	69
Ilustración 35. Diseño de módulo de fuentes eléctricas.....	70
Ilustración 36. Diseño de módulo de medición e instrumentación metrológica.....	71
Ilustración 37. Diseño de módulo de selección y conmutación.....	72
Ilustración 38. Diseño de módulo de equipos domésticos.....	73
Ilustración 39. Diseño de módulo de equipos Industriales.....	74
Ilustración 40. Diseño de cámara de flama	75
Ilustración 41. Diseño total del simulador	76
Ilustración 42. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de fuentes eléctricas y de módulo de medición e instrumentación metrológica.....	78
Ilustración 43. Diagrama eléctrico de módulo de fuentes eléctricas y de módulo de medición e instrumentación metrológica	79

Ilustración 44. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación.....	82
Ilustración 45. Diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación.....	83
Ilustración 46. Diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación parte 2	84
Ilustración 47. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de equipos domésticos.....	85
Ilustración 48. Diagrama eléctrico de módulo de equipos domésticos.....	86
Ilustración 49. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de equipos industriales.....	87
Ilustración 50. Diagrama eléctrico de módulo de equipos industriales.....	88
Ilustración 51. Simulación del diagrama eléctrico de fuentes eléctricas y módulo de medición y instrumentación metrológica	90
Ilustración 52. Selección de equipo de caso 1.....	91
Ilustración 53. Selección de fuente eléctrica de caso 1	91
Ilustración 54. Resultado de caso 1.....	92
Ilustración 55. Selección de fuente en caso 2	92
Ilustración 56. Resultado de caso 2.....	93
Ilustración 57. Selección de equipo de caso 3.....	93
Ilustración 58. Selección de fuente eléctrica caso 3.....	94
Ilustración 59. Resultados de caso 3.....	94
Ilustración 60. Leyenda utilizada en simulación del diagrama de selección y conmutación	95
Ilustración 61. Simulación del diagrama eléctrico del módulo de equipos domésticos.....	97
Ilustración 62. Simulación del diagrama eléctrico del módulo de equipos industriales.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de porcentajes de conductividad relativa.....	15
Tabla 2. Código de colores.....	18
Tabla 3. Estándares para cables eléctricos ANSI/NEMA/ICEA.....	26
Tabla 4. PND y estándares aplicables.....	32
Tabla 5. Materiales y costos del módulo de fuentes eléctricas (parte 1).....	41
Tabla 6. Materiales y costos del módulo de fuentes eléctricas (parte 2).....	42
Tabla 7. Materiales y costos de módulo de fuentes eléctricas (parte 3).....	43
Tabla 8. Materiales y costos de módulo de instrumentación de medición metrológica.....	44
Tabla 9. Materiales y costos de módulo de selección y conmutación.....	45
Tabla 10. Materiales y costos de módulo de equipo domésticos.....	46
Tabla 11. Materiales y costos de módulo de equipo industriales.....	47
Tabla 12. Materiales y costos de cámara de flama.....	48
Tabla 13. Cronograma de actividades.....	64
Tabla 14. Especificaciones del módulo de selección y conmutación.....	81
Tabla 15. Presupuesto final.....	100
Tabla 16. Análisis de factibilidad.....	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de aprobación.....	1111
Anexo 2. Diagrama de simulación de módulo de selección y conmutación.....	1122
Anexo 3. Planos de bastidor	1133
Anexo 4. Planos de mesa de la cámara de flama.....	1155
Anexo 5. Planos de la cámara de flama.....	1177

LISTA DE SIGLAS

AWG	American Wire Gauge (Calibres de Alambre Estadounidense, en español)
AEMC	Australian Energy Market Commission (Comisión Australiana del Mercado de la Energía, en español)
ANSI	American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, en español)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales, en español)
CA	Corriente Alterna
CD	Corriente Directa
CSA	Canadian Standards Association (Asociación Canadiense de Estándares, es español)
DEC	Diamond Electric Company
ICEA	Insulated Cable Engineers Association
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional, en español)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local, en español)
NEMA	National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, en español)

PD	Pruebas Destructivas
PND	Pruebas No Destructivas
PVC	Policloruro de Vinilo
TIA	Telecommunications Industry Association (Asociación de la Industria de Telecomunicaciones, en español)
THHN	Thermoplastic High Heat Resistant Nylon-coated (Termoplástico Recubierto de Nylon de Alta Resistencia al Calor, en español)
THWN	Thermoplastic Heat and Water Resistant Nylon-coated (Termoplástico Recubierto de Nylon Resistente al Calor y el Agua, en español)
UL	Underwriter Laboratories
USPTO	United States Patent and Trademark Office (Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos, en español)

GLOSARIO

INTERTEK: Empresa con base en el Reino Unido proveedora de aseguramiento de calidad total para las industrias de todo el mundo (INTERTEK, 2019).

Termoplásticos: Dicho de un material: Maleable por el calor (RAE, 2019).

Conductor Eléctrico: Hilo metálico destinado a transmitir la electricidad (RAE, 2019).

I. INTRODUCCIÓN

Los cables eléctricos son los encargados de transmitir la energía entre dos o más componentes de una instalación eléctrica (ElectroIndustria, 2018). Por lo cual es de vital importancia el correcto funcionamiento de estos, ya que una falla puede significar importantes pérdidas materiales e incluso de vidas humanas. Las empresas que se incursionan en la producción de cables eléctricos en Honduras se enfrentan a una gran problemática que es el hecho que los potenciales clientes tienden a preferir el producto internacional, lo que provoca que dichas empresas tengan dificultades al comercializar y distribuir este producto. Esto se debe a que en Honduras no existe un método rápido y confiable de comprobar que un cable eléctrico cumpla con todos los estándares de calidad necesarios para poder competir con el mercado internacional. Asimismo, verificar que el mismo posea todas las especificaciones técnicas ofrecidas por el fabricante.

En este momento la única empresa productora de cables eléctricos en Honduras es Diamond Electric Company (DEC), una empresa recién establecida en el mercado de venta de dichos cables. DEC es caracterizada por la producción de cables eléctricos de calidad que cumplen con distintos estándares y normas de calidad. Asimismo, DEC se encuentran en proceso de obtener un certificado de calidad expedido por parte de una empresa internacional de certificación llamada INTERTEK.

El presente trabajo tiene como finalidad mostrar el proceso de diseño de un simulador de pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2. En este prototipo simulador se podrán realizar distintas pruebas con el propósito de validar las diversas especificaciones indicadas por el fabricante, como lo son la resistencia a la temperatura, amperaje y voltaje máximo.

Este trabajo está compuesto por las siguientes secciones que se detallan a continuación:

Planteamiento del problema: se identifica y analiza la problemática que afrontan las empresas de producción de cables eléctricos, en este caso DEC, de la misma forma se define la importancia de su solución.

Marco teórico: se exponen los fundamentos técnicos y teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto.

Metodología: se especifican las variables de investigación que se tomaran en cuenta para la realización del proyecto. Asimismo, se define la metodología seguida para realizar el diseño, los componentes que forman el diseño, las técnicas implementadas, los costos por módulo, así como el cronograma de las actividades realizadas durante el proyecto.

Resultados y análisis: se muestra una colección de los datos obtenidos a lo largo de la realización del proyecto, así como un análisis de los mismos.

Conclusiones: se presentan las conclusiones obtenidas del desarrollo del proyecto.

Las posteriores secciones presentan las sugerencias y recomendaciones propuestas por los autores para el desarrollo de este proyecto. De la misma forma, se especifica la aplicabilidad del proyecto como las posibles evoluciones del trabajo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Actualmente en Honduras, las empresas que incursionan en el rubro de la fabricación de cables eléctricos THHN/THWN-2 son escasas o nulas debido a la falta de experiencia y capital económico que se requiere para poder incursionar en este rubro. Debido a esto, la venta de dichos cables en su mayoría está controlado por empresas internacionales. En este momento, la única empresa en Honduras fabricante de estos cables eléctricos es DEC, que con ayuda de personal capacitado y con experiencia han logrado producir cable eléctrico basado en normativas y estándares de calidad mundial. El hecho que DEC no cuente con un sistema con el cual puedan comprobar la calidad de su producto, normativas y estándares especificados ha provocado una baja confianza en los potenciales clientes del producto, es por ello que se ha dificultado su posicionamiento e inclusión en el mercado de venta de cables eléctricos.

Diferentes equipos en el mercado han sido fabricados con la finalidad de realizar distintas pruebas de calidad en los cables eléctricos, uno de ellos es el Spark Tester 2000 UL con el cual, al momento de la fabricación de cable, se puede observar la respuesta del recubrimiento del cable eléctrico a las distintas pruebas de calidad realizadas y así detectar si existe alguna falla significativa que podría afectar la integridad del cable eléctrico (Sikora, 2016).

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Honduras no existe un sistema o simulador con el cual la empresa Diamond Electric Company (DEC) pueda realizar pruebas de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2 de forma rápida y confiable.

2.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto ha sido realizado a solicitud de la empresa Diamond Electric Company (DEC) que tiene la dificultad de demostrar y verificar que los cables eléctricos THHN/THWN-2 fabricados en dicha empresa cumplen con todas las normativas y estándares de calidad que la empresa ofrece en su producto. Por las razones mencionadas se ha considerado que es de vital importancia

lograr realizar el diseño de un simulador de pruebas de calidad en cable eléctrico THHN/THWN-2 que cumpla con las distintas especificaciones de la empresa.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las pruebas de calidad más importantes realizadas en cables eléctricos?
- ¿Cómo están compuestos los cables eléctricos?
- ¿Cuáles son los instrumentos que se utilizarán para la obtención de datos en las distintas pruebas realizadas en el simulador?
- ¿Qué software se implementarán para la realización del diseño?
- ¿Qué componentes forman parte del diseño del simulador?
- ¿Qué presupuesto sería necesario para la realización de este simulador?
- ¿Qué ventajas le proporcionaría el simulador a la empresa?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un simulador de pruebas eléctricas y físicas para control de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2, con el propósito de comprobar y analizar distintos parámetros de operación de cables de distintos calibres.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar cuatro equipos especializados en diferentes pruebas de calidad en cables, con la finalidad de adquirir un conocimiento previo a la realización del diseño.
2. Determinar las pruebas de calidad a las cuales son sometidos los cables eléctricos, mediante la entrevista a dos Ingenieros especialistas en el tema.
3. Definir las pruebas de calidad más importantes que podrían realizarse con uso del simulador de cables eléctricos THHN/THWN-2.
4. Realizar el diseño y esquemas eléctricos del simulador, mediante la utilización de dos softwares de diseño.

5. Validar el diseño y esquemas eléctricos propuestos, por medio de simulaciones de funcionamiento y de la aprobación de la empresa DEC.
6. Desarrollar un presupuesto para el diseño del simulador, con la finalidad de establecer los costos que significaría la compra de todos los elementos, excluyendo costos energéticos y de mano de obra.
7. Analizar la factibilidad de desarrollo del proyecto, mediante un análisis de las ventajas y desventajas del simulador en conjunto con DEC.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 PROTOTIPOS PREVIOS

Los cables eléctricos desde sus inicios en pequeños experimentos de telegrafía electrostática hasta aplicaciones modernas que tienen que ver con cables para súper tensión y fibra óptica en telecomunicaciones han ido evolucionando a modo que cada día aumenta la demanda por los cables eléctricos (Black, 1983).

Debido a esto es de vital importancia que los cables eléctricos cumplan con todas las normativas y estándares de calidad necesarios para su correcta utilización y de esta forma brindar seguridad a cada una de las instalaciones eléctricas donde los mismos sean aplicados.

Para la debida protección de los cables eléctricos y asegurar que estos cumplan con todos los estándares de calidad existen diferentes instrumentos o máquinas que sirven para la realización de pruebas eléctricas o físicas con las cuales se verifican las diferentes características del cable.

3.1.1 DISEÑO DE PROBADOR CA7024

Un instrumento utilizado para realizar diferentes pruebas en cables es el probador Fault Mapper modelo CA7024 que identifica y localiza averías en cables de comunicación y potencia, estos probadores sirven para medir longitudes de cables, detección de circuitos abiertos, cortocircuitos y la distancia de estas fallas desde un extremo del cable así como también localizar fallas por cables multiconductores (AEMC, 2019).



MODELO CA7024
Fault Mapper Medidor de Longitud
de Cables y Localizador de Fallas TDR
Alfanumérico

Ilustración 1. Probador Fault Mapper

Fuente: (AEMC Instruments 2019, p.5)

3.1.2 DISEÑO DE PROBADOR MEGGER PFL40-20000

Otro de los equipos de pruebas de calidad en cables eléctricos, específicamente destinado a la localización de fallas en cables de potencia es el localizador de fallas PFL40-2000 diseñado para uso portátil y capaz de realizar distintas pruebas como lo son: pruebas a 40 KV de Corriente Directa (DC), frente de onda de alta tensión a 34 KV, pruebas de reflexión de arco, impulsos de corriente y disminución de tensión (Megger, 2008).



Ilustración 2. Probador Megger

Fuente: (Megger 2008, p.31)

3.1.3 DISEÑO DE PROBADOR SPARK 2000 UL

Los equipos más utilizados para la realización de pruebas en cables son de la marca Sikora que se caracteriza en brindar aseguramiento de la calidad durante el proceso de fabricación de cables. Entre ellos existe SPARK 2000 UL un equipo de alto voltaje para la realización de pruebas para la detección de defectos en el aislamiento del cable durante la producción de este. La prueba de aislamiento se realiza utilizando voltaje de corriente directa el cual es continuamente monitoreado y regulado. El voltaje puede ser establecido entre un rango de 0.75 a 15 KV en Corriente Alterna (CA). Este equipo está especialmente construido para conductores con pequeñas dimensiones, cables de comunicación, cables coaxiales, cables automotrices, cables de Local Area Network (LAN) y cables de información. El SPARK 2000 UL está equipado con distintas interfaces por las cuales toda la información relevante puede ser transferida, por medio de estas poder responder mediante un control externo de computadora (Sikora, 2016).



Ilustración 3. Probador Spark 2000 UL

Fuente: (Sikora 2016, p. 1)

3.1.4 PATENTE DE PROBADOR PORTÁTIL DE CABLES MULTIFUNCIÓN

El 1 de abril 2015 a las Oficinas de Patentes y Marcas de los Estados Unidos con sus siglas USPTO entro la solicitud de la patente de Brent E. Davis para su proyecto de Probador Portátil de Cables Multifunción el cual tiene la finalidad que un usuario pruebe la continuidad del cable usando un conector direccional configurable por cable. Los métodos y aparatos pueden transmitir un primer y segundo pulso de voltaje a través de un primer y segundo cable de un cable bajo prueba, respectivamente, que tiene un conector direccional configurable por cable conectado. Ambos pulsos de voltaje viajan a través del cable conector direccional configurable. Los métodos y aparatos pueden almacenar un patrón predeterminado de un voltaje de retorno, pulso específico para el cable bajo prueba y determinar el estado del primer, segundo y tercer cable en respuesta a la recepción del primer y segundo pulsos de voltaje (Estados Unidos Patente nº 10094866, 2015).

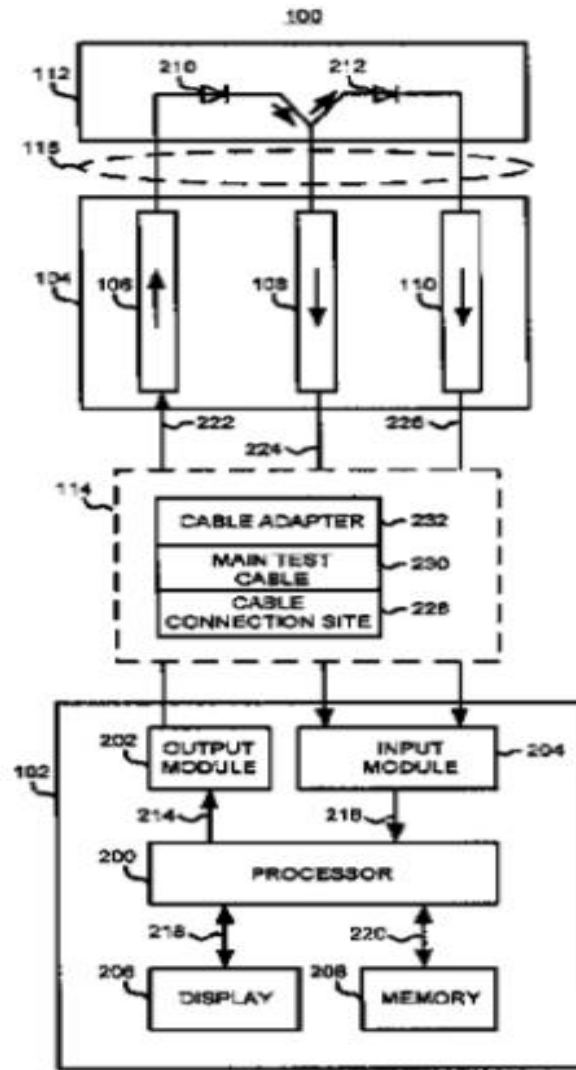


Ilustración 4. Esquema de probador portátil

Fuente: (Estados Unidos Patente nº 10094866 2015, p. 2)

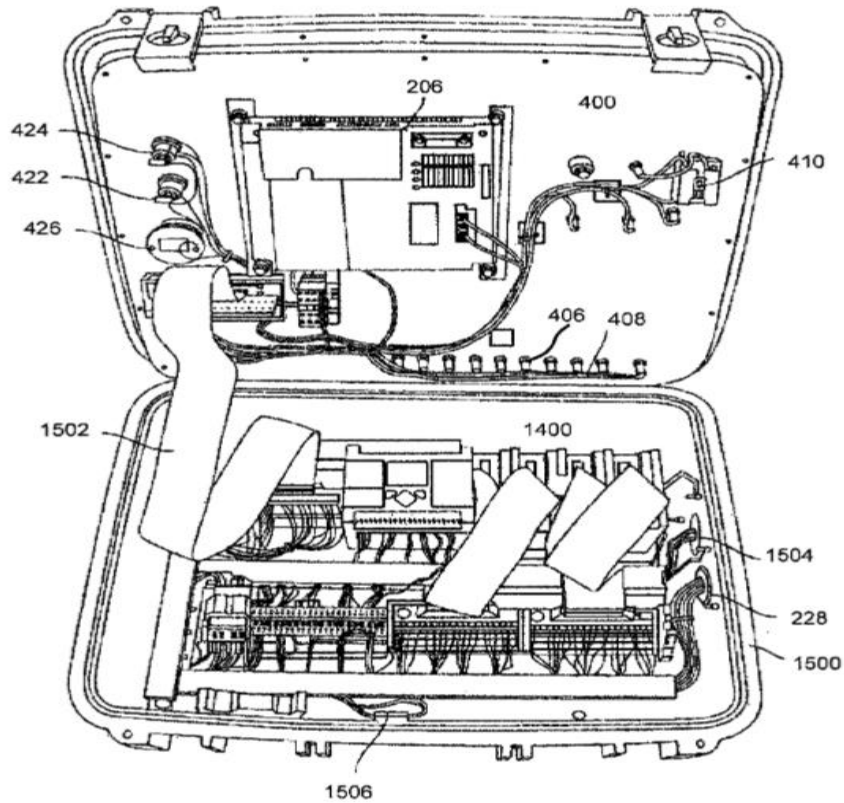


Ilustración 5. Diseño de probador portátil

Fuente: (Estados Unidos Patente nº 10094866 2015, p. 15)

3.2 CABLES ELÉCTRICOS

(Cisneros Martin, 2015) Afirma: "Un cable eléctrico es un conductor o un grupo de ellos [...] que se envuelve con algún protector o material aislante. Estos cumplen la función de conducir electricidad y varían su composición de acuerdo a la finalidad que tengan" (p. 293).

Los cables son utilizados en la mayoría de los aspectos que forman la vida diaria del ser humano. La generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica solo es posible gracias a los conductores eléctricos.

Los cables eléctricos están formados por uno o más metales conductores, un material aislante y una funda protectora. Cada conductor que conforma el cable es llamado un núcleo y los cables que contienen más de un núcleo son llamados cables multi-núcleo. Estos son increíblemente

versátiles y son utilizados en una gran cantidad de aplicaciones, especialmente en esas que llaman la utilización de gran cantidad de cables y con espacio limitado. El mejor metal conductor es la plata con una conductividad relativa del 100% pero por su costo se limita su uso en aplicaciones especiales. Debido a esto, el cobre con una conductividad relativa del 95% se convierte en el conductor más utilizado ya que es un recurso natural más común lo que abarata los costos (Waygood, 2013).

La Tabla 1 muestra los porcentajes de conductividad relativa de los distintos conductores utilizados en los cables eléctricos.

Tabla 1. Cuadro de porcentajes de conductividad relativa

Conductor	Conductividad Relativa
Plata	100%
Cobre	95%
Oro	67%
Aluminio	58%
Tungsteno	30%
Hierro	14%
Constantán	3.3%
Carbón	1.5%

Fuente: (Waygood, 2013).

Los cables eléctricos son fabricados en una gran variedad de calibres o tamaños dependiendo del uso o aplicación que se destina para dicho cable. Las medidas de los cables se categorizan en calibres cuando se habla del sistema American Wire Gauge (AWG) o en milímetros cuadrados en medida del área de sección del cable cuando se refiere al Sistema Internacional (MásVoltaje, 2016).

FOTO	CALIBRE / AWG	SECCIÓN EN MM2	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	4	25mm ²	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	6	16mm ²	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.
	8	10mm ²	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	10	6mm ²	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	12	4mm ²	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	14	2.5mm ²	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	16	1.5mm ²	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

Ilustración 6. Cuadro de calibres de cables eléctricos

Fuente: (MásVoltaje, 2016)

Asimismo, los cables eléctricos operan a diferentes amperajes y temperaturas, dependiendo de su calibre, como se muestra en la Ilustración 7.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Ilustración 7. Tabla de amperajes y temperaturas en cables eléctricos

Fuente: (MásVoltaje, 2016)

De la misma forma, la mayoría de los cables eléctricos siguen un código de colores establecido. En la siguiente Tabla se muestra un ejemplo.

Tabla 2. Código de colores

SISTEMA	MONOFÁSICO		TRIFÁSICO				
			(Y) ESTRELLA		(Δ-) DELTA	(Δ) DELTA	
Tensión (V)	120	120/240	208/120	480/277	240/208/ 120	240	480
Fases	1	2	3	3	3	3	3
Neutro	1	1	1	1	1	N/A	N/A
Fases	Negro	Negro	Amarillo	Amarillo	Negro	Negro	Amarillo
		Rojo	Azul	Naranja	Naranja	Azul	Naranja
			Rojo	Café	Azul	Rojo	Café
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	Gris	Blanco	N/A	N/A
Tierra de Protección	Desnudo	Desnudo	Desnudo	Desnudo	Desnudo	Desnudo	Desnudo
	o Verde	o Verde	o Verde	o Verde	o Verde	o Verde	o Verde
Tierra Aislada	Verde Amarillo	Verde Amarillo	Verde Amarillo	N/A	Verde Amarillo	N/A	N/A

Fuente: (López & Pastrana 2012, p. 15)

3.2.1 PARTES DE LOS CABLES ELÉCTRICOS

Los cables electros utilizados en baja tensión constan de 3 partes:

- Alma conductora
- Aislante
- Cubierta protectora

El alma conductora es el elemento por el cual circula la corriente eléctrica. En la mayoría de los casos el alma conductora es fabricado de cobre por su alta disponibilidad y comodidad de precios comparado con sus contrapartes. El material aislante es el elemento por el cual no circula la corriente y que mantiene la misma dentro del alma. Mientras la cubierta protectora cumple la función de proteger al cable ya sea de daños físicos o químicos (AreaTecnologia, 2015).

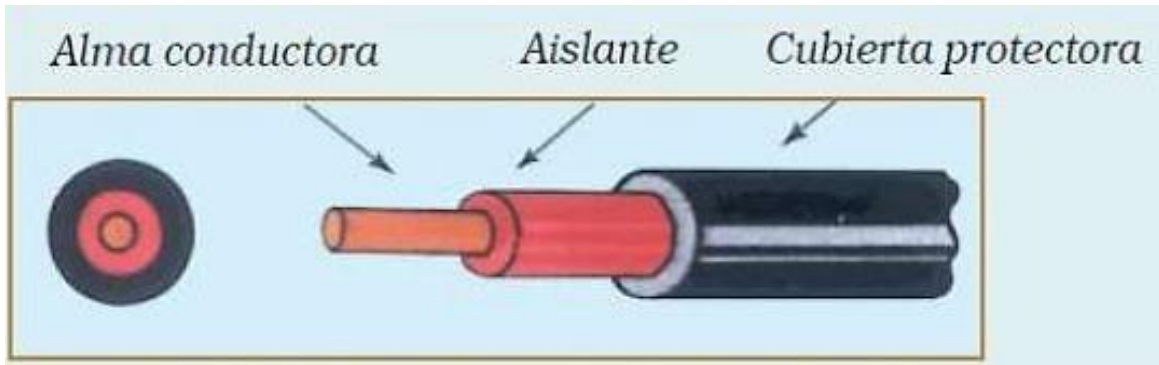


Ilustración 8. Partes del cable eléctrico

Fuente: (AreaTecnología, 2016)

3.2.2 CABLES DE AISLACIÓN TERMOPLÁSTICA

El aislamiento termoplástico es uno de los materiales de aislamiento más utilizados hoy en día en la fabricación de cables eléctricos por las distintas características que este material puede tener, los termoplásticos son materiales que se ablandan o endurecen de acuerdo a las condiciones a las que esté sometido, debido a que estos procesos son reversibles y pueden repetirse es de los principales materiales que se utilizan para la aislación de los cables eléctricos (William D. Callister, 2007).

Entre los cables con aislación termoplástica más utilizados se encuentran los siguientes:

- Cables THHN
- Cables THWN
- Cables THWN

Cada letra en el nombre del cable identifica una característica del mismo, como se muestra en la siguiente ilustración:

1 - T (Thermoplastic): Aislamiento termoplástico (este lo tienen todos los cables).

2 - H (Heat resistant): Resistente al calor hasta 75° centígrados (167° F).

3 - HH (Heat resistant): Resistente al calor hasta 90° centígrados (194° F).

4 - W (Water resistant): Resistente al agua y a la humedad.

5 - LS (Low smoke): Este cable tiene baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes.

6 - SPT (Service parallel thermoplastic): Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex.

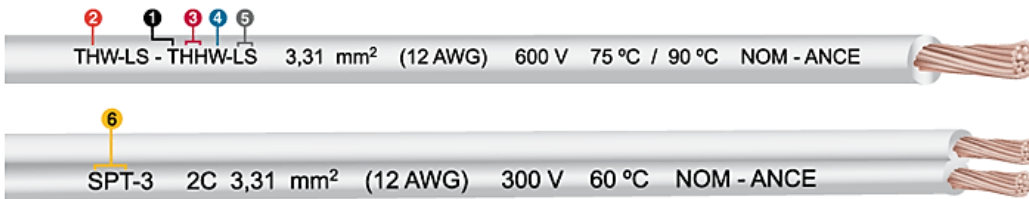


Ilustración 9. Terminología de los cables de aislamiento termoplástica

Fuente: (CEAC, 2019)

Los cables THHN son cables de cobre con un aislamiento termoplástico de Policloruro de Vinilo (PVC) resistente al calor y humedad. Estos cables se caracterizan por tener una resistencia de temperaturas hasta los 90 grados Celsius y con un voltaje máximo de operación de hasta 600 voltios. Los cables THHN son mayormente utilizados en instalaciones y aplicaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales ya que estos cables ofrecen la mayor cantidad de beneficios en comparación con sus rivales. El cable THHN es simple de manejar y en algunos casos sigue un código de colores para así identificar sus características fácilmente. Como se mencionó anteriormente, los cables THHN tienen un recubrimiento exterior de termoplástico un material que al quemarse emite gases tóxicos dañinos a la salud por eso se deben de utilizar conductos para su protección. Estos cables están diseñados con el propósito de ser utilizado exclusivamente en lugares secos o húmedos ya que la exposición del mismo al agua puede comprometer el funcionamiento del cable (Johnny, 2018).

En lugares de instalación mojados se utilizan cables de especificación THWN. Son caracterizados por resistir temperaturas hasta los 75° Celsius como se especifica en la ilustración 12. Es un cable con una aislación externa de termoplástico (PVC) resistente al calor y agua. La resistencia al agua es la mayor razón por la cual se utiliza este tipo de cable, esta característica hace que el cable

THWN sea el preferido por los contratistas eléctricos. Estos cables son instalados en lugares donde el uso de conductores no es mandatorio como lo especifica el Código Eléctrico Nacional (NEC) (Lipscomb, 2019).

Los cables de doble calificación THHN/THWN-2 son cables que combinan las características más importantes de los cables THHN y THWN con el motivo de brindar un cable con muchas menos limitaciones en su aplicación. Entre las características de estos cables destacan la resistencia a temperaturas hasta los 90° Celsius aun en lugares mojados y la capacidad de un voltaje máximo de operación de 600 Voltios (Johnny, 2018).

En la Ilustración 10 se muestra un extracto del cuadro 310-13 según la Norma NTC 2050, donde se muestran las diferentes características de los cables de aislación termoplástica.

NOMBRE COMERCIAL	TIPO DE AISLANTE	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	MATERIAL AISLANTE	CUBIERTA PROTECTORA	UTILIZACIÓN
Termoplástico o resistente a la humedad	TW	60	Termoplástico resistente a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales húmedos y secos
Termoplástico o resistente al calor y la humedad	THW	75	Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama	Ninguna	Locales secos y húmedos
Termoplástico o resistente al calor	THHN	90	Termoplástico resistente al calor, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales secos
Termoplástico o, resistente al calor y la humedad	THWN	75	Termoplástico, resistente al calor y a la humedad, retardador de la flama	Nylon o equivalente	Locales secos y húmedos

Ilustración 10. Cuadro de cables de aislación termoplástica

Fuente: (López & Pastrana 2012, p. 48)

3.3 ESTÁNDARES DE CALIDAD

Los cables eléctricos en su formación deben seguir distintas regulaciones para poder operar de la mejor manera en la aplicación que se requiera es por eso que la certificación de los cables eléctricos es de vital importancia debido a que garantiza la seguridad de las personas y equipos en las instalaciones eléctricas en cualquier infraestructura (ElectroIndustria, 2018).

Diferentes organizaciones alrededor del mundo se especialización en certificaciones y estándares de calidad que los conductores eléctricos requieren ya sea su composición física y características técnicas.

3.3.1 COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL (IEC)

La IEC es una organización de reconocimiento mundial el cual se especializa en normas internacionales que se basa en consenso y así evalúa la conformidad para diferentes productos, sistemas y servicios eléctricos y electrónicos (IEC, 2019). Esta organización es una de las más reconocidas en estándares de calidad para la producción de cables eléctricos. La IEC ha publicado diferentes estándares para cables eléctricos en los cuales están la IEC TC 20 para cables eléctricos, en el prepara normas internacionales que se utilizan en el diseño y prueba de cables de alimentación y control eléctricos aislados así como también IEC TC 89 de pruebas en peligros de incendio y IEC 60502:2018 (Martin-King, 2011).



Ilustración 11. Comisión Electrotécnica Internacional

Fuente: (IEC, 2019)

3.3.2 UNDERWRITER LABORATORIES (UL)

UL es una empresa global de certificación en la cual se evalúan más de 70 categorías de productos diferentes de cables según estándares internacionales de seguridad, rendimiento y calidad así como también el impacto ambiental y cumplimiento normativo que se requiere en América del norte, América Latina, Medio Oriente, Europa y Asia (UnderwriterLaboratories, 2019).

UL ha desarrollado distintos estándares de calidad para cables alrededor del mundo los cuales pueden consultarse en las Ilustraciones 12 y 13.

Numero estandar	Título estándar
13	Estándar para cables de circuito de potencia limitada
44	Alambres y cables con aislamiento termoestable
62	Cordones y cables flexibles
83	Alambres y cables con aislamiento termoplástico
102,4	MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA CARACTERÍSTICAS DE FUEGO Y HUMO DE CABLEADO ELÉCTRICO, CABLES Y CARRERAS NO METÁLICAS
102,4	MÉTODO ESTÁNDAR DE ENSAYO PARA CARACTERÍSTICAS DE FUEGO Y HUMO DE CABLEADO ELÉCTRICO, CABLES Y CARRERAS NO METÁLICAS
139	Norma para pruebas de fuego para la integridad del circuito de cables de potencia, instrumentación, control y datos resistentes al fuego
444	Cables de comunicaciones
493	Estándar para alimentadores subterráneos con aislamiento termoplástico y cables de circuito derivado
719	Norma para cables con revestimiento no metálico
854	Estándar para cables de entrada de servicio
1063	Estándar para alambres y cables para máquinas herramienta
1072	Estándar para cables de alimentación de media tensión
1277	Estándar para cables de alimentación eléctrica y bandejas de control con miembros opcionales de fibra óptica

Ilustración 12. Tabla de estándares según UL para cables eléctricos (parte 1)

Fuente: (UnderwriterLaboratories, 2019)

1424	Norma para cables para circuitos de alarma de incendio con limitaciones de potencia
1425	Estándar para cables para circuitos de alarma de incendio sin limitaciones de energía
1426	Norma para cables eléctricos para embarcaciones
1569	Cables revestidos de metal
1581	Estándar de referencia para cables eléctricos, cables y cables flexibles
1655	Estándar para cables de televisión con antena comunitaria
1666	Estándar para prueba de altura de propagación de llama de cables eléctricos y de fibra óptica instalados verticalmente en ejes
1673	Norma para cables eléctricos de calefacción de espacios
1680	Outline of Investigation for Stage and Lighting Cables
1685	Norma para la prueba de propagación de incendios en bandejas verticales y de liberación de humo para cables eléctricos y de fibra óptica
1839	Estándar para cables de refuerzo de batería automotriz
2196	Norma para pruebas de fuego para la integridad del circuito de cables de potencia, instrumentación, control y datos resistentes al fuego
2225	Norma para cables y accesorios de cable para uso en ubicaciones peligrosas (clasificadas)

Ilustración 13. Tabla de estándares según UL para cables eléctricos (parte 2)

Fuente: (UnderwriterLaboratories, 2019)

3.3.3 AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI)

La ANSI es una organización privada sin fines de lucro que está dedicada a apoyar los estándares voluntarios de los Estados Unidos de América. Se especializa en mejorar la competitividad global de los negocios proporcionando estándares de calidad con los cuales se busca mejorar la conformidad del cliente y salvaguardar su integridad (ANSI, 2019).

La ANSI trabaja en colaboración con distintas asociaciones para la realización de distintos estándares para cables eléctricos los cuales pueden encontrarse en la Tabla 3.

Tabla 3. Estándares para cables eléctricos ANSI/NEMA/ICEA

Código	Estándar
ANSI / NEMA WC 51/ ICEA P/54-440-2009 (R2014)	Capacidades de cables instalados en bandejas de cables.
ANSI / NEMA WC 53 / ICEA T-27-281-2016	Métodos de prueba estándar para energía eléctrica extruida, control, instrumentación y cables portátiles para prueba.
ANSI / NEMA WC 54 / ICEA T-26-465-2013	Guía para la frecuencia de muestreo de energía dieléctrica extruida, control, instrumentación y cables portátiles para prueba.
ANSI / NEMA WC 57-2014 / ICEA S-73-532-2014	Estándar para control - Extensión de termopar y cables de instrumentación
ANSI / NEMA WC 66 / ICEA S-116-732-2013	Estándar para las categorías 6 y 6A, 100 ohmios, pares trenzados sin blindaje individual, cables para interiores (con o sin protección general) para usar en sistemas de cableado de comunicación LAN.
ANSI / NEMA WC 70 / ICEA S-95-658	Cables de alimentación sin blindaje de 2000 voltios o menos clasificados para la distribución de energía eléctrica.
ANSI / NEMA WC 71 / ICEA S-96-659-2014	Cable de alimentación blindado de 5-46kV para uso en la transmisión y distribución de energía eléctrica.

Fuente: (ANSI, 2019)

3.3.4 TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION (TIA)

La ANSI además de realizar estándares calidad también es capaz de otorgar diferentes acreditaciones para que una asociación pueda manufacturar productos siguiendo estándares propios, un ejemplo es la TIA la cual es una organización de desarrollo de estándares para diferentes equipos como lo son radios, torres celulares, equipos VOIP, cableado estructurado, satélites, centros de datos y redes de malla de servicios inteligentes (TIA, 2019).

Todos los estándares para estos servicios desarrollados por la TIA tienen como pautas establecidos diferentes requisitos esenciales por parte de la ANSI, estos estándares de calidad permiten comparar productos de la competencia, al tiempo que garantiza la calidad. De la misma manera, beneficia a la salud pública, la seguridad y el medio ambiente (TIA, 2019).



Ilustración 14. Telecommunications Industry Association

Fuente: (TIA, 2019)

3.3.5 NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION (NEMA)

Una de las asociaciones más importantes a nivel mundial es la NEMA, la cual es responsable de la realización de distintos estándares de calidad especialmente en equipos eléctricos dentro de los cuales se encuentran distintos estándares especializados para cables eléctricos. Esta asociación representa casi a 325 fabricantes a nivel mundial de distintos equipos confiables y eficientes como son sistemas de iluminación, productos y sistemas industriales, sistemas de transporte y demás. Los cuales de la misma manera que la TIA siguen las bases establecidas por la ANSI para la realización de estándares de calidad (NEMA, 2019).



Ilustración 15. National Electrical Manufacturers Association

Fuente: (NEMA, 2019)

3.3.6 INSULATED CABLE ENGINEERS ASSOCIATION (ICEA)

La ICEA es una asociación sin fines de lucro cuyos miembros están patrocinados por los principales fabricantes de cables estadounidenses y europeos. Esta organización está dedicada al desarrollo de estándares de cables para industrias de telecomunicaciones, control o hasta energía eléctrica. Para la realización de estos estándares de calidad en los diferentes cables eléctricos la ICEA como sus similares de la TIA Y NEMA se basa en el seguimiento de las pautas dictadas por la ANSI en la certificación de sus estándares (ICEA, 2019).



Ilustración 16. Principales fabricantes de cables a nivel mundial

Fuente: (ICEA, 2019)

3.4 PRUEBAS DE CALIDAD

Según la norma ISO 9001:2015 los sistemas y pruebas de calidad deben de demostrar la capacidad que tiene una empresa de proveer productos y/o servicios que cumplan las normativas, regulaciones y requerimientos del cliente. Asimismo, son capaces de satisfacer las necesidades del cliente mediante la aplicación efectiva de dichas pruebas (ISO, 2019).

Dependiendo de la utilidad de la pieza o material luego de ser sometido a la prueba, estas pueden ser de dos tipos:

- Pruebas no destructivas
- Pruebas destructivas

3.4.1 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (PND)

Las pruebas no destructivas son técnicas utilizadas para medir cuantitativamente alguna característica de un objeto o determinar la integridad de un material, componente o estructura (ASNT, 2019).

Entre los ensayos más utilizados de PND se encuentran:

- Corrientes Eddy
- Emisión Acústica
- Líquido penetrante
- Medición Magnética
- Microondas
- Rayos X
- Ultrasónico
- Visual



Ilustración 17. Equipo de inspección de cable de acero

Fuente: (Zawada, 2019)

Las PND son una parte importante de las industrias de petróleo y gas, así como de una gran variedad de industrias. El principal objetivo de estas industrias es la detección de fallas en componentes para así reducir las mismas e incrementar la confiabilidad. La utilización de PND en estas industrias provee información sobre la frecuencia en la que un componente debe ser inspeccionado, reparado o cambiado. La frecuencia de las pruebas en los componentes varía dependiendo del ciclo de vida de dicho componente, ya que un producto nuevo está menos propenso a fallar que uno relativamente viejo (Inspectioneering, 2019).

Asimismo, las PND forman una parte integral de todo proceso de producción ya que son utilizadas para encontrar diversos tipos de fallas. Dependiendo de la aplicación de cada prueba se puede identificar diversos usos como lo son: detección y evaluación de fallas, detección de fugas, medidas dimensionales, estimación de propiedades mecánicas y físicas, determinación química y respuesta al estrés (ASNT, 2019).

Las PND en su mayoría son regidas por estándares para asegurar la correcta aplicación de las mismas. La Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM) se encarga de proveer estándares a estos tipos de ensayos como se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. PND y estándares aplicables

Tipo de Prueba	Estándares Aplicables
Visual y Dimensional	MSS SP55
Líquidos Penetrantes	ASTM E165
Partículas Magnéticas	ASTM E709
Radiografías y Rayos Gamma	ASTM E446-E186-E280
Ultrasonidos	ASTM A609
Identificación positiva del material	ASTM A781
Dureza	ISO 15156
Prueba de corrosión	ASTM A262/ ASTM G28/ ASTM G48

Fuente: (Valvospain, 2019)

3.4.2 PRUEBAS DESTRUCTIVAS (PD)

Las pruebas destructivas son técnicas utilizadas en las cuales el material de prueba queda inutilizable, ya sea para pruebas futuras o para cualquier otro tipo de uso. Esto es debido a que estos tipos de pruebas se encargan de evaluar propiedades en los límites o más allá de estos en los que puede fallar un material, para así lograr analizar su comportamiento en condiciones extremas (Quijada, 2019).

Algunas de las PD más comunes son: las pruebas a tracción, pruebas corrosivas y pruebas de fatiga.

3.4.2.1 Prueba a Tracción

La prueba a tracción es la manera más simple de obtener información sobre la forma en que se comportan mecánicamente los materiales. Las pruebas a tracción se utilizan para definir la plasticidad del material, la resistencia elástica y resistencia última de un material. Mediante la utilización de una máquina de ensayos se deforma una muestra del material a analizar, aplicando una fuerza uniaxial en el sentido del eje de la muestra. A medida que se deforma la muestra se

registra la información de la fuerza que se está aplicando y así hasta llegar a la fractura de la muestra (UPV, 2019).

3.4.2.2 Pruebas Corrosivas

Las pruebas corrosivas se utilizan para determinar la resistencia de los materiales a la corrosión bajo ciertas condiciones ambientales, incluyendo temperatura, humedad y agua salada (LabTesting, 2019).

Las pruebas corrosivas son comúnmente divididas en tres grupos. En el primer grupo se encuentran las pruebas de laboratorios en las cuales las muestras son sometidas a ambientes simulados. En el segundo, las pruebas se realizan en el campo las cuales se efectúan en ambientes reales sometiendo a los materiales a las condiciones que se presentan en los procesos. Finalmente, el tercer grupo está conformado por las pruebas de servicio en las cuales las muestras son sometidas a condiciones específicas similares a las que serán utilizadas en los procesos reales (Valero, 2019).

En la siguiente Ilustración se muestra un equipo de pruebas corrosivas en cables eléctricos, basado en las pruebas IEC 60754 parte 1 y 2.



Ilustración 18. Equipo de pruebas corrosivas en cables eléctricos

Fuente: (Firetesting, 2019)

3.4.2.3 Pruebas de Fatiga

Las pruebas de fatiga son utilizadas para analizar las diversas características resistentes de los materiales cuando se someten a cargas variables. Este tipo de prueba ayuda a determinar la capacidad de un material para soportar cargas cíclicas que varían con el tiempo. Las pruebas de

fatiga son de gran ayuda para que las compañías cumplan los requerimientos de calidad de producción y así crear productos más seguros, fuertes y duraderos (UPV, 2019)

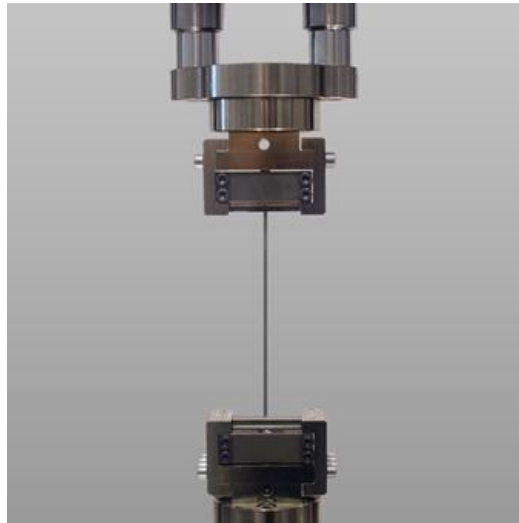


Ilustración 19. Prueba de fatiga en cables eléctricos

Fuente: (Zwick, 2019)

3.4.3 PRUEBAS ELÉCTRICAS EN CABLES ELÉCTRICOS

Los cables eléctricos son una parte importante en cualquier instalación eléctrica industrial o doméstica en cualquier parte del mundo por lo que es de vital importancia que estos siempre puedan operar de la mejor manera posible. Estos cables deben poder proporcionar todas las características técnicas que el fabricante ofrece al momento de su fabricación, por lo que los fabricantes deben realizar diferentes pruebas ya sea eléctricas o físicas con las cuales pueden asegurar la fiabilidad que los cables proporcionan.

3.4.4 PRUEBA DE MEDICIÓN DE AISLAMIENTO

El conjunto de instalaciones eléctricas y equipos en los cuales se pueden encontrar diferentes cables eléctricos respetan ciertas características de aislamiento para que estos puedan funcionar con toda la seguridad posible. El aislamiento en los conductores eléctricos es de los elementos más importantes debido a que mediante este material se presentan resistencias eléctricas que se utilizan para limitar al máximo la circulación de corrientes por fuera del cable eléctrico.

Para realizar mediciones de aislamiento en los cables eléctricos se utiliza un método de perforación con el cual se mide la capacidad de un aislante para aguantar sobretensión de duración media sin que se produzca una descarga disruptiva. Esta situación en ocasiones podría ser provocada por un rayo o por un defecto de línea de transporte de energía (Chauvin Arnoux, 2016).

3.4.5 PRUEBA DE MEDICIÓN DE IMPEDANCIA EN CABLES ELÉCTRICOS

Para la realización de esta prueba se utiliza la inyección de corrientes de prueba en diferentes bucles de pruebas diferentes. Cada uno de estos asemeja un posible escenario en el cual existe una falla, de este modo las impedancias de bucle que se miden son iguales a las impedancias que un dispositivo de protección conectado determinaría durante la falla en la línea (OMICRON, 2019).

Para la realización de esta prueba existen diferentes equipos con los cuales se podría simular la prueba y determinar la impedancia en los cables eléctricos. Los equipos que se pueden encontrar en el mercado son los equipos de inyección primaria para activos de subestaciones y una unidad de acoplamiento para inyección en líneas eléctricas y cables de alta tensión (OMICRON, 2019).

3.4.6 PRUEBAS DE FLAMA EN CABLES ELÉCTRICOS

Dentro de las pruebas físicas más importantes en los cables eléctricos se encuentra la prueba de flama la cual tiene como propósito principal evaluar la capacidad de un cable eléctrico para poder mantener la integridad del circuito eléctrico durante un periodo definido de tiempo mientras este se encuentra expuesto al fuego, así como también la capacidad que los conductores eléctricos poseen para poder extinguir el fuego en diferentes situaciones para reducir la emisión de gases tóxicos (RISE, 2019).

Para la realización de esta prueba normalmente se utiliza una cámara de flama vertical u horizontal en la cual se expone a un solo cable o a una serie de cables a una flama por cierto tiempo y de esta forma observar su comportamiento. La Canadian Standards Association (CSA) es la principal organización en colaboración con un UL para la estandarización de esta prueba (ANIXTER, 2019).

	FT1	FT2	FT4	FT5	FT6
Preparar	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Horizontal
Salida de llama	3.000 BTU / hora	1,700 BTU / hora	70,000 BTU / hora	1,700 BTU / hora	300,000 BTU / hora
Duración (segundos)	5 x 15	30	20	60 60	20
Criterios de aprobación / reprobación	Un conductor terminado no deberá transmitir llama ni continuará ardiendo durante más de 60 segundos después de cinco aplicaciones de 15 segundos de la llama de prueba. Si se quema más del 25 por ciento de la porción extendida del indicador, se considerará que el conductor ha transmitido la llama.	La longitud de la porción carbonizada de la muestra de cable no debe exceder los 100 mm ni dejar caer partículas en llamas.	Los alambres o cables terminados no deberán exhibir material carbonizado más allá de una longitud superior a 1,5 m (5 pies) desde el borde inferior de la cara del quemador cuando se sometán a la prueba.	El cable no debe tener una longitud de área quemada superior a 150 mm y no debe continuar ardiendo durante más de cuatro minutos cuando se somete a la prueba de llama.	Una distancia de recorrido de la llama que no excede de 1,52 m (5 pies), una densidad óptica de humo máxima que no excede de 0,5 y una densidad óptica promedio que no excede de 0,15 se describen como que tienen características adecuadas de baja resistencia al fuego y baja producción de humo.
Estándares aplicables)	CSA C22.2 No.38 CSA C22.2 No.75 CSA C68.5 CSA C68.10	CSA C22.2 No.49	CSA C22.2 No.38 CSA C22.2 No.51 CSA C22.2 No.75 CSA C22.2 No.123 CSA C22.2 No.131 CSA C22.2 No.230 CSA C68.10	CSA No.96	CSA C22.2 No.214 UL 444 NFPA 262

Ilustración 20. Cuadro de criterios para pruebas de flama según CSA

Fuente: (ANIXTER, 2019)

3.4.7 PRUEBAS DE MATERIAS PRIMAS

En este tipo de ensayos el objetivo es controlar y a su vez garantizar que se están cumpliendo todos los requisitos necesarios en las especificaciones acerca de los materiales que componen el cable eléctrico. Las principales materias primas que se ensayan son conductores fabricados ya sea con cobre, PVC, XLPE, polietileno, poliéster o caucho termoplástico.

A los distintos tipos de materiales utilizados para la conducción eléctrica se les evalúa cuál es su alargamiento y resistencia eléctrica, mientras que a los materiales que están destinados a servir como aislamientos se evalúa sus aptitudes mecánicas como es el alargamiento en estado natural, envejecido, doblado en frío y a su vez su carga de rotura (Marlew, 2019).

3.4.8 PRUEBAS DE SOPORTE Y SOBRETENSIÓN DE CORRIENTE CONSTANTE

La protección contra sobretensiones es de vital importancia para la salud a largo plazo de cualquier cable. La prueba de sobretensión de corriente constante, conocida como la prueba de resistencia es la forma más popular para la evaluación de las tensiones que se pueden encontrar en el área industrial y doméstico.

Entre los equipos que se especializan para la realización de pruebas de sobretensión de corriente constante podemos encontrar HV Tester 25 el cual es un generador de alta tensión con una tensión de salida de corriente constante indefinidamente variable de 0 a 25 kV (Megger, 2019).



Ilustración 21. HV Tester 25

Fuente: (Megger, 2019)

3.4.9 PRUEBAS DE DOBLADO EN FRIO DE CABLES ELÉCTRICOS

Dentro de las pruebas físicas más importantes que se pueden realizar, se encuentra la prueba de doblado de cables en frío con la cual se introducen los cables eléctricos a una cámara en frío a una temperatura y tiempo determinado ya sea enrollándolos en un mandril o a un peso colgante. Al finalizar la prueba si el cable cumple con las características indicadas este no presentara ni grietas ni fisuras en el aislamiento (INCABLE, 2019).



Ilustración 22. Cámara de prueba de doblado en frío

Fuente: (Aralab, 2016)

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

El proyecto se basó en la realización del diseño de un prototipo simulador de pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2. El diseño realizado satisface un enfoque cuantitativo ya que se basa en datos cuantificables que posteriormente serán procesados y analizados. Estos datos cuantificables se refieren a niveles de voltaje, amperaje y temperatura a los que serán sometidos los cables eléctricos en la realización de las pruebas de calidad, medidas a seguir para la realización del diseño y asimismo el presupuesto del proyecto.

Asimismo, es un proyecto de desarrollo tecnológico debido a la realización de un prototipo que vendrá a mejorar las formas de realizar pruebas de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 PRUEBAS A REALIZAR

Fue necesario definir las distintas pruebas a realizar en los cables eléctricos ya que estas debían replicar las diversas condiciones de operación a las cuales estos cables son expuestos en la vida real, ya sea en el ámbito doméstico o industrial.

4.2.2 COMPONENTES A UTILIZAR

La elección de los componentes a utilizar implicó un estudio de las distintas especificaciones técnicas de dichos componentes, para de esta forma asegurar el correcto funcionamiento del simulador.

4.2.3 DEFINICIÓN DE MÓDULOS

El diseño del simulador se basó en la utilización de diferentes módulos. Por lo que fue necesario el diseño individual de cada módulo, así como de su respectivo diagrama eléctrico, para así cumplir una función específica en el simulador.

4.2.4 EQUIPOS DE PRUEBA A UTILIZAR

Para la selección de los distintos equipos que estarán sometidos a las pruebas de calidad, se tomó en cuenta el nivel de uso de dichos equipos en el ámbito doméstico e industrial.

4.2.5 FUENTES DE ALIMENTACIÓN ENERGÉTICA

Para la realización de las distintas pruebas de calidad fue necesario la implementación de distintas fuentes de alimentación energética, con las cuales se podrán simular distintas condiciones a las cuales los cables serán sometidos. De la misma manera se tomó en cuenta los equipos de prueba a utilizar durante la ejecución de las pruebas de calidad.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1 DISEÑO EN CAD

Para la realización de este proyecto es necesario tener conocimiento de Dibujo Técnico y de Diseño CAD, ya que es un pilar importante del diseño del prototipo y de sus diversos componentes. Específicamente, en este proyecto se utilizó el Software CAD llamado Autodesk Inventor para la realización de todos los diseños.

Autodesk Inventor es un software CAD que permite el diseño de piezas, automatización de partes, análisis de estrés y simulación dinámica de las piezas. Su gran versatilidad y cantidad de funciones hace que sea un software utilizado en una gran variedad de industrias (Gurdita, 2019).

4.3.2 DESARROLLO DE DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

Para la elaboración de los diagramas eléctricos que corresponden a cada módulo se requiere un conocimiento amplio sobre el funcionamiento de circuitos eléctricos bajo diferentes condiciones de operación. Para el diseño y simulación de dichos diagramas se utilizó el software de diseño CADe_SIMU.

CADe_SIMU es un software que permite la creación, edición y simulación de esquemas eléctricos. Al simular el esquema eléctrico, CADe_SIMU permite la corrección y comprobación de la lógica del circuito para así asegurar el correcto funcionamiento del esquema eléctrico (Garrido, 2017).

4.3.3 INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Para la correcta elección y distribución de los diversos componentes en el diseño del simulador es de vital importancia contar con un amplio conocimiento en instalaciones eléctricas y de esta manera brindar la mayor seguridad operativa al simulador y las personas que lo utilicen.

Asimismo, es necesario el conocimiento de un software de esquemas eléctricos. En este caso se utilizó CAdE_SIMu, un software que permite la creación, edición y simulación de esquemas eléctricos y los componentes a utilizar.

4.4 MATERIALES

Para el desarrollo adecuado del alcance del proyecto se necesitaron una gran cantidad de materiales, los cuales se especificarán de acuerdo al módulo al cual correspondan. Cada uno de los módulos consta con un bastidor, dicho diseño está justificado y explicado en la sección 4.5.4.1 de metodología de estudio.

4.4.1 MÓDULO DE FUENTES ELÉCTRICAS

Este módulo consta con todos los equipos y materiales a utilizar para la alimentación de los demás módulos del diseño. Los equipos y materiales que forman parte del módulo de fuentes eléctricas se muestran en la Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Materiales y costos del módulo de fuentes eléctricas (parte 1)

Componentes	Cantidad	Marcas	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Bastidor	1	Genérico	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Bornera para cable #10 AWG	1	Eagle	\$ 6.12	L 150.00	\$ 6.12	L 150.00
Bornera para cable #12 AWG	2	Eagle	\$ 4.90	L 120.00	\$ 9.80	L 240.00
Bornera para cable #8 AWG	2	Eagle	\$ 10.20	L 250.00	\$ 20.41	L 500.00
Canaleta ranurada de 1 pulgada	1	Conelec	\$ 1.22	L 30.00	\$ 1.22	L 30.00

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

Tabla 6. Materiales y costos del módulo de fuentes eléctricas (parte 2)

Contactador Trifásico bobina 120v/70 amperios	1	Siemens	\$ 57.14	L 1,400.00	\$ 57.14	L 1,400.00
Contactador Trifásico de 40 A bobina 120 V	1	Schneider	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Luces piloto/pulsador	13	Schneider	\$ 26.53	L 650.00	\$ 344.89	L 8,450.00
Protectores termomagnéticos de 1 a 4 A regulables	6	Schneider	\$ 24.49	L 600.00	\$ 146.94	L 3,600
Rectificador de 1000 Vac/20 A de onda completa tipo puente	1	NTE Electronics	\$ 8.16	L 200.00	\$ 8.16	L 200.00
Rectificador de 20A / 1000 Vac de onda completa tipo puente	1	NTE Electronics	\$ 8.16	L 200.00	\$ 8.16	L 200.00
Relés de 120 V	7	Hatco	\$ 18.37	L 450.00	\$ 128.57	L 3,150.00
Riel DIN para bornes 1 1/2 pulgada x 50 cm	1	Degson	\$ 2.45	L 60.00	\$ 2.45	L 60.00
Seccionador Trifásico de 70 A	1	Federal	\$ 44.90	L 1,100.00	\$ 44.90	L 1,100.00
Termomagnético de 10 amperios monofásico	1	Schneider	\$ 26.53	L 650.00	\$ 26.53	L 650.00
Termomagnético de 25 amperios monofásico	1	Schneider	\$ 28.57	L 700.00	\$ 28.57	L 700.00
Termomagnético de 50 Amperios trifásico	1	Schneider	\$ 36.73	L 900.00	\$ 36.73	L 900.00
Termomagnético de 70 Amperios trifásico	1	Schneider	\$ 51.02	L 1,250.00	\$ 51.02	L 1,250.00
Termomagnético trifásico de 40 A	1	Siemens	\$ 32.65	L 800.00	\$ 32.65	L 800.00

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

Tabla 7. Materiales y costos de módulo de fuentes eléctricas (parte 3)

Tomacorriente trifásico Cuadripolar Macho	1	Siemens	\$ 18.37	L 450.00	\$ 18.37	L 450.00
Tomacorriente Trifilar Hembra	1	Eagle	\$ 6.12	L 150.00	\$ 6.12	L 150.00
Tomacorrientes trifásico Cuadripolar Hembra	1	Siemens	\$ 18.37	L 450.00	\$ 18.37	L 450.00
Tomacorrientes Trifilar Macho	1	Eagle	\$ 6.53	L 160.00	\$ 6.53	L 160.00
Transformador 120v/24v/12v	1	Steren	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Transformador seco de 5KVA 480/220 Vac	1	Eaton	\$ 106.12	L 2,600.00	\$ 106.12	L 2,600.00
				COSTO SUMADOS	\$ 1256.73	L 30,790.00

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.4.2 MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN METROLÓGICA

Algunos de los componentes más importantes de este módulo son los voltímetros y amperímetros utilizados para medir los respectivos voltajes y corrientes. A continuación, se especifica sus principales funciones y características.

Voltímetros de caratula Dixsen: este módulo constara con cuatro voltímetros analógicos, a diferentes rangos de operación dependiendo de la función que desempeñen. Estos voltímetros son de gran utilidad para detectar cambios bruscos o picos de voltaje en el sistema. Se utilizarán los siguientes rangos de operación: 0-200V, 0-300V y 0-500V.

Amperímetros de caratula Dixsen: asimismo, este módulo contara de cuatro amperímetros analógicos de rangos de 0-40A y de 0-100A.

Voltímetros y amperímetros digitales Red Lions: encargados de mediciones precisas y rápidas de niveles de voltaje y/o amperaje. Caracterizados por su alta estabilidad, facilidad de uso y capacidad de ser programados (Editor, 2017).

Tabla 8. Materiales y costos de módulo de instrumentación de medición metrológica

Componentes	Cantidad	Marcas	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Amperímetro de caratula de 0 a 100 A	2	Dixsen	\$ 60.35	L 1,478.61	\$ 120.70	L 2,957.22
Amperímetro de caratula de 0 a 40 A	2	Dixsen	\$ 60.35	L 1,478.61	\$ 120.70	L 2,957.22
Bastidor	1	Genérico	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Controles de temperatura	2	Watlow	\$ 352.05	L 8,625.20	\$ 704.10	L 17,250.40
Donas Amperimétricas de relación 100/5	6	General Electric	\$ 14.29	L 350.00	\$ 85.71	L 2,100.00
Protector termomagnético de 1 a 4 A regulables	3	Schneider	\$ 24.49	L 600.00	\$ 73.47	L 1,800.00
Relés de 120 voltios	7	Hatco	\$ 18.37	L 450.00	\$ 128.57	L 3,150.00
Termocupla tipo J	2	Jamco	\$ 18.37	L 450.00	\$ 36.73	L 900.00
Voltímetro de caratula de 0 a 200 V	1	Dixsen	\$ 60.35	L 1,478.61	\$ 60.35	L 1,478.61
Voltímetro de caratula de 0 a 300 V	2	Dixsen	\$ 60.35	L 1,478.61	\$ 120.70	L 2,957.22
Voltímetro de caratula de 0 a 500 V	1	Dixsen	\$ 69.40	L 1,700.40	\$ 69.40	L 1,700.40
Voltímetros/Amperímetros digitales	4	Red Lions	\$ 12.24	L 300.00	\$ 48.98	L 1,200.00
				COSTOS SUMADOS	\$ 1,618.41	L 39,651.07

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.4.3 MÓDULO DE SELECCIÓN Y CONMUTACIÓN

Este módulo consta de los siguientes componentes principales: un PLC LOGO 8 y extensión PLC LOGO 8 utilizados para la transmisión de datos.

Asimismo, consta de los siguientes componentes mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9. Materiales y costos de módulo de selección y conmutación

Componentes	Cantidad	Marca	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Bastidor	1	Genérico	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Conector Hembra tipo Banana	40	Orgon	\$ 0.21	L 5.15	\$ 8.41	L 206.00
Conector Macho tipo Banana	40	Orgon	\$ 0.26	L 6.44	\$ 10.51	L 257.60
Extensión PLC LOGO 8	2	Siemens	\$ 130.61	L 3,200.00	\$ 261.22	L 6,400.00
Interruptor Giratorio de 2 Posiciones	1	ABB	\$ 24.77	L 606.90	\$ 24.77	L 606.90
Interruptor Giratorio de 6 Posiciones	3	ABB	\$ 24.77	L 606.90	\$ 74.31	L 1,820.70
Luces piloto	13	Schneider	\$ 16.33	L 400.00	\$ 212.24	L 5,200.00
PLC LOGO 8	1	Siemens	\$ 244.90	L 6,000.00	\$ 244.90	L 6,000.00
Relés de 120 voltios	10	Hatco	\$ 18.37	L 450.00	\$ 183.67	L 4,500.00
				COSTOS SUMADOS	\$ 1,069.03	L 26,191.20

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.4.4 MÓDULO DE EQUIPO DOMESTICO

El módulo de equipo domestico consta con los equipos y materiales necesarios para efectuar pruebas de calidad en cables simulando su uso diario en viviendas. Los equipos y componentes que forman este módulo se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Materiales y costos de módulo de equipo domésticos

Componentes	Cantidad	Marca	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Bastidor	1	Genérico	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Contactador de 20 A	6	Schneider	\$ 20.41	L 500.00	\$ 122.45	L 3,000.00
Lámpara T8	1	Philips	\$ 8.16	L 200.00	\$ 8.16	L 200.00
Microondas	1	Genérico	\$ 106.12	L 2,600.00	\$ 106.12	L 2,600.00
Motor bomba	1	Pedrolo	\$ 224.49	L 5,500.00	\$ 224.49	L 5,500.00
Protector 0 a 15 amperios	6	Schneider	\$ 14.49	L 355.00	\$ 86.94	L 2,130.00
Pulsador/luz piloto	13	Schneider	\$ 26.53	L 650.00	\$ 344.89	L 8,450.00
Resistencia de ducha 5500 Watt	1	Lorenzetti	\$ 7.35	L 180.00	\$ 7.35	L 180.00
Resistencia de estufa 1500 Watt	1	Chromalox	\$ 14.29	L 350.00	\$ 14.29	L 350.00
Resistencia de plancha	1	Genérico	\$ 24.49	L 600.00	\$ 24.49	L 600.00
				COSTOS SUMADOS	\$ 988.16	L 24,210.00

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.4.5 MÓDULO DE EQUIPO INDUSTRIAL

De la misma forma, el módulo de equipo industrial consta con todos los equipos necesarios para la realización de pruebas de calidad en cables, simulando de esta forma la utilización de dichos cables en el ámbito industrial.

Los diversos equipos utilizados en este módulo se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Materiales y costos de módulo de equipo industriales

Componentes	Cantidad	Marca	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Banco de Capacitores	1	Siemens	\$ 163.27	L 4,000.00	\$ 163.27	L 4,000.00
Bastidor	1	Genérico	\$ 48.98	L 1,200.00	\$ 48.98	L 1,200.00
Contactador de 30 amperios	7	Schneider	\$ 20.41	L 500.00	\$ 142.86	L 3,500.00
Control de Mando	1	Genérico	\$ 81.63	L 2,000.00	\$ 81.63	L 2,000.00
Motor AC	1	Lesson	\$ 204.08	L 5,000.00	\$ 204.08	L 5,000.00
Motor DC	1	Baldor	\$ 2,011.71	L 49,286.88	\$ 2,011.71	L 49,286.88
Protector 0 a 25 amperios	7	Schneider	\$ 14.49	L 355.00	\$ 101.43	L 2,485.00
Pulsador/luz piloto	13	Schneider	\$ 26.53	L 650.00	\$ 344.89	L 8,450.00
Resistencia de Banda	1	Watlow	\$ 181.05	L 4,435.82	\$ 181.05	L 4,435.82
Variador AC	1	LS	\$ 571.43	L 14,000.00	\$ 571.43	L 14,000.00
Variador DC	1	Baldor	\$ 1,508.78	L 36,965.16	\$ 1,508.78	L 36,965.16
				COSTOS SUMADOS	\$ 5,360.12	L 131,322.86

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.4.6 CÁMARA DE FLAMA

En adición a los módulos anteriormente mencionados, el diseño consta con una cámara de flama basado en la normativa UL 1581 que fue elaborado con los equipos y componentes que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Materiales y costos de cámara de flama

Componentes	Cantidad	Marca	Precio Unitario (USD.)	Precio Unitario (LPS.)	Costo Total (USD.)	Costo Total (LPS.)
Caparazón de Acero	1	Genérico	\$ 204.08	L 5,000.00	\$ 204.08	L 5,000.00
Mesa	1	Genérico	\$ 40.82	L 1,000.00	\$ 40.82	L 1,000.00
Soplete de Flama	1	Benzomathic	\$ 67.35	L 1,650.00	\$ 67.35	L 1,650.00
Tanque de Gas Propano	1	Benzomathic	\$ 7.71	L 189.00	\$ 7.71	L 189.00
				COSTOS SUMADOS	\$ 319.96	L 7,839.00

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

4.5.1 ANÁLISIS DE EQUIPOS ESPECIALIZADOS EN PRUEBAS DE CALIDAD EN CABLES

Para la realización del diseño fue necesario un estudio y análisis a profundidad de diferentes experimentos y prototipos que son utilizados en la realización de pruebas de calidad en cables eléctricos. Debido a esto, fue de vital importancia la investigación documental de libros, revistas técnicas, patentes y páginas web de los distintos productores de estos equipos tales como pero no limitados a: Australian Energy Market Commission (AEMC), Megger y Sikora. En base a las fuentes mencionadas se logró la formulación de un marco teórico que consta de los equipos de pruebas de calidad, sus funciones y forma de trabajo.

4.5.2 DETERMINACIÓN DE PRUEBAS DE CALIDAD A LAS CUALES SON SOMETIDOS LOS CABLES

Para la realización del proyecto fue necesario un conocimiento previo de las pruebas de calidad a las cuales son sometidos los cables eléctricos, para esto se realizó una entrevista con dos

ingenieros especialistas llamados Luis Flores y Martin Rosales, ambos ingenieros en jefe en el área de producción de cables eléctricos en la empresa DEC en Tegucigalpa, Francisco Morazán.

Como primer punto, se abordó la importancia de la realización de pruebas de calidad en cables eléctricos y en el proceso de fabricación estos estén regidos por normas internacionales. Por medio de estas normas se garantiza la calidad del cable en su forma mecánica, en su forma de capacidades de aislamiento, ampacidades evaluadas en línea y condiciones anti flama para asegurar que los aislamientos no corran el riesgo de incendiarse durante su operación.

Al darle un fiel seguimiento al procedimiento de aseguramiento de calidad se garantiza que desde la compra de la materia prima hasta la finalización del proceso de corte del cable se monitoree que los parámetros descritos en las normas se cumplen.

Cada día se debe evaluar en tiempo real los conductores que son producidos en una línea de extrusión, estos registros sirven para permitir la trazabilidad y cotejar producciones anteriores con revisiones de la norma que se esté utilizando. Las pruebas de laboratorio validan que los parámetros físicos de los cables eléctricos fabricados estén por encima del parámetro mínimo requerido por la norma, en este caso para los cables THHN/THWN-2 la norma UL83.

Se comentó la existencia de pruebas ya sea eléctricas, así como físicas para un control de calidad adecuado en los cables eléctricos. Las principales pruebas eléctricas que se desarrollan a nivel de laboratorio forman parte de una estructura de aseguramiento de la condición eléctrica de los aislamientos y de las áreas conductoras de cada tipo de cable.

Entre las pruebas eléctricas principales se mencionó la prueba de resistencia de aislamiento a corto plazo normalizada por UL83 y UL1556 en el cual se toman dos rollos de muestra de quince metros, se sumerge a temperatura nominal por 6 horas dejando por fuera las puntas desnudas para la conexión de un megóhmetro con el cual se puede medir la resistencia del aislamiento, al conectar los extremos del cable al megóhmetro se selecciona un voltaje de 500 voltios y se presiona iniciar durante 2 segundos para que el aparato pase a el estado PI-DAR. Esta prueba tiene una duración de más de 60 segundos. Esta prueba debe cumplir con las normas UL83 Y UL1556

Asimismo, se mencionó la prueba dieléctrica en la cual un rollo de cable de 100 metros y uno de 15 metros se les aplica 2000 voltios a 60 Hz y la corriente del conductor no debe sobrepasar 150 Miliamperios.

En DEC normalmente se realiza una prueba en línea con un Spark Tester, en la cual de acuerdo al diámetro del cable el potencial aplicado oscilara entre 5000 a 7000 voltios a 4000 Hz. De la misma forma esta prueba está normalizada por la norma UL83.

De esta manera por medio de una segunda entrevista con los ingenieros de la empresa DEC se mencionó que en los cables eléctricos existen diferentes pruebas físicas que son de vital importancia para la comprobación de la calidad de los cables eléctricos. Entre las principales pruebas físicas que se realizan son las pruebas dimensionales que son requeridas por UL2556 y ASTM B-8 con esto se verifica que los conductores de cobre cumplan por arriba del 98% del área conductora solicitado por la norma, si este dato esta abajo del 98% es un producto fuera de norma.

Entre otra de las pruebas físicas se realiza la prueba de espesores en la cual se determina los puntos mínimos requeridos por las normas, ya sea para PVC o Nylon que son la materia prima de los aislamientos de los conductores eléctricos. Adicionalmente se realizan pruebas de esfuerzo mecánico del conductor, medidos por máquinas de tracción evaluando kilogramo-fuerza por milímetro cuadrado.

De la misma forma, se realizan alrededor de diez pruebas adicionales entre las principales las pruebas eléctricas y de envejecimiento. Algunas de estas pruebas son: pruebas de ampacidad, de temperatura de operación, de caída de tensión, de corriente de corto circuito y otras más que son importantes para el aseguramiento de la calidad del cable. Todas estas pruebas se realizan para garantizar que el conductor es de calidad mundial regido por la norma UL83:2008.

Como último punto se señaló la importancia de una prueba de flama que se realiza en los cables eléctricos con la cual se puede observar el comportamiento del cable eléctrico y su aislamiento a una llama disparada por un soplete durante 15 segundos.

4.5.3 PRUEBAS DE CALIDAD CON USO DEL SIMULADOR

El simulador se ha diseñado en base a un sistema de módulos con los cuales en conjunto podrán simular condiciones especiales a las cuales el cable eléctrico podría enfrentarse en la vida real.

Las pruebas que podrán realizarse con ayuda del simulador de cables eléctricos son:

- Ampacidad del conductor
- Caída de tensión del conductor
- Capacidad de corriente mínima y máxima operativa
- Capacidad del conductor con su aislamiento
- Corriente de corto circuito
- Evaluación de factor de potencia
- Prueba en cámara de flama
- Resistencia de aislamiento
- Temperatura de operación

La definición de las pruebas de calidad que se realizaran en el simulador se concretó por medio a un consenso con la empresa DEC de manera que estas pruebas cumplan con las diferentes normas calidad especificadas para los cables eléctricos THHN/THWN-2.

4.5.4 DISEÑO DE SIMULADOR Y DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

El diseño consta de cinco módulos y una cámara de flama. Los módulos se identifican dependiendo de la función que cumplan en el sistema. A continuación, se especifican los distintos módulos que forman parte del simulador de pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2.

- Módulo de fuentes eléctricas
- Módulo de instrumentación de medición metrológica
- Módulo de evaluación, selección y conmutación
- Módulo de equipos domésticos
- Módulo de equipos industriales

- Cámara de flama

4.5.4.1 Bastidor

El bastidor es el componente fundamental del diseño de los módulos. Debido a que este elemento es la base en donde se acoplaran los diferentes componentes a ser utilizados en cada módulo. El diseño del bastidor se basa en un diseño previo propuesto por DEC, debido a la disponibilidad de este componente en las instalaciones de dicha empresa.



Ilustración 23. Bastidor

Fuente: Elaborador por autores

4.5.4.2 Módulo de Fuentes Eléctricas

El módulo de fuentes eléctricas es la unidad encargada de suministrar los diferentes potenciales de voltaje y de corriente necesarios para el correcto funcionamiento del simulador en todo momento. Este módulo consta con los elementos necesarios para lograr transformar y derivar dos fuentes trifásicas principales de 480 V y 220 V AC a 60 Hz a tensiones que se utilizaran en los demás módulos como lo son: 220 V Trifásico, 220 V Trifilar, 120 V AC y asimismo dos potenciales de 12 V y 24 V.

El diseño de este módulo tiene como objetivo la disponibilidad de un sistema que proporcione niveles de voltaje y/o amperaje que son comúnmente utilizados en el ámbito doméstico, así como en el industrial.

Este módulo es de vital importancia debido a que es el responsable de proporcionar la tensión adecuada al momento de realizar las pruebas de calidad en los distintos módulos que conforman el simulador, debido a que se utilizarán diferentes tensiones en diversas pruebas es necesario que el módulo cuente con activadores que energizaran diferentes relés con los que se pondrán en marcha las fuentes de manera individual y controlada.

El diseño de este módulo ha sido basado en el diseño de un tablero eléctrico general que podría encontrarse en una fábrica o cualquier máquina que necesite diferentes fuentes de alimentación para poder operar adecuadamente, sobre todo en sistemas que operan de manera conjunta.



Ilustración 24. Tablero eléctrico general

Fuente: (Tecniases, 2019)

4.5.4.3 Módulo de Instrumentación de Medición Metrológica

El diseño del módulo de instrumentación de medición metrológica conlleva diferentes medidores de voltaje y amperaje, así como equipos de medición de temperatura con los que se podrán realizar diferentes mediciones durante las pruebas de calidad.

Este módulo será el encargado de monitorear y medir las diferentes tensiones y corrientes que se presentaran durante las evaluaciones a los cables eléctricos THHN/THWN-2.

Este módulo ayudara a comprender, en datos medibles, en que rango de operación estarán los conductores alimentando los diferentes módulos. Este comprenderá unidades de medida de

tensión en voltios, corriente en amperios y temperatura en grados, dadas ya sea por medidores analógicos o digitales.

Al diseño de este módulo se han agregado relés de activación los cuales pondrán en marcha los diferentes medidores, de la misma manera los componentes que serán de ayuda durante la realización de las pruebas como ser transformadores de corriente, bornes y termocuplas del módulo.

Un gabinete de mediciones es uno de los componentes de vital importancia en las instalaciones eléctricas, sin importar los niveles de tensión de operación, su tipo o tamaño. Debido esto, el diseño de este módulo se basó en un tablero de medidores múltiples realizado previamente por CADIME, empresa eléctrica argentina especializada en tableros eléctricos de medición, distribución y control (Farina, 2019).

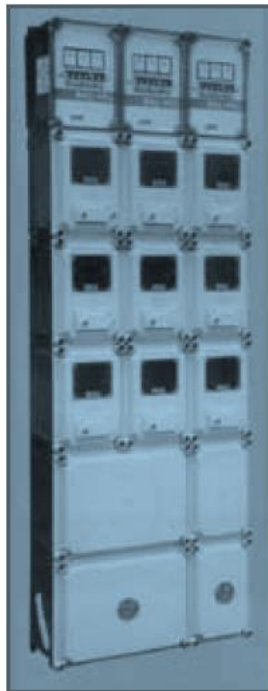


Ilustración 25. Tablero de medidores múltiples

Fuente: (Farina, 2019)

4.5.4.4 *Módulo de selección y conmutación*

Este módulo se ha diseñado para poner a prueba 20 cables eléctricos en bornes hembra tipo banana que estarán disponibles para cables diferente color y calibre. Dentro de los calibres que podrán utilizarse en este módulo serán de numero 14 hasta 6 AWG que tendrán una longitud de 25.4 cm (10 pulgadas) con terminales banana en los extremos.

Cada cable eléctrico será sometido a diferentes tensiones en voltios AC y DC, estos se conectarán por medio de conmutadores giratorios en los cuales se elegirá la fuente a utilizar y de la misma manera otro conmutador para elegir ya sea un equipo industrial o doméstico. Cada uno de los equipos domésticos e industrial que se seleccionaran contarán con una luz piloto que indicara que está listo para ser utilizado

El diseño del módulo cuenta con un PLC Siemens Logo 8 que cumple la función de conmutar los relés con los que se podría activar el equipo seleccionado previamente, este PLC de la misma forma se encarga de brindar seguridad necesaria operativa y de esta manera evitar errores que podrían causarse por una mala operación del sistema.

El módulo tiene como finalidad representar las condiciones de buena práctica en la manufactura de cables eléctricos, tanto en su área conductora de cobre, como en sus condiciones de espesores de aislamiento del PVC y el nylon que recubre al conductor. Dicho módulo es de gran importancia debido a que de acuerdo a la selección de calibre que se utilizara durante las pruebas de calidad se podrá observar, medir y evaluar las diferentes condiciones estructurales y eléctricas del cable y de esta manera verificar que cumplen con las normativas UL83 y UL2556, que especifican los requerimientos de aceptación requeridos para un cable eléctrico (UL, 2019).

El diseño del módulo y aplicación de un PLC al sistema, se basó en el equipo De Lorenzo DL 2110AH en el cual se simulan entradas a través de interruptores y salidas a través de terminales conectadas a relés, como se muestra en la siguiente Ilustración.



Ilustración 26. Modulo DL 2110AH

Fuente: (De Lorenzo, 2019)

4.5.4.5 Módulo de Equipos Domésticos

Para el diseño de este módulo se han tomado en cuenta los principales componentes que comúnmente se podrían encontrar en las residencias. Con estos componentes los cables serán evaluados de acuerdo a las cargas en amperios que generan y de esta manera lograr determinar la ampacidad operativa de cada cable eléctrico que se utilizara durante las pruebas de calidad.

Entre los componentes que se han seleccionado para el diseño de este módulo se encuentran los de mayor carga resistiva como una resistencia de estufa, una resistencia de ducha que sobresale en el diseño con 5500 watt, una resistencia de plancha, una moto bomba, un sistema de iluminación y un microondas.

Todos los componentes de este módulo se han condicionado a la activación por medio de los conmutadores que se encontraran en el módulo de selección y conmutación, debido a que si la conmutación realizada no es correcta el módulo no permitirá que los componentes entren en operación.

Cada uno de los equipos domésticos en el diseño contara con pulsadores/luz piloto rojos y verdes con los cuales si se realiza el proceso de selección correctamente en el módulo de selección y

conmutación estos podrán activarse o ya sea desactivarse individualmente por medio de estos pulsadores.

El diseño cuenta con contactores y relevadores de corriente que estarán conectados en línea con cada equipo con motivos de protección de los equipos en caso de un fallo eléctrico o una mala práctica operativa.

Para la organización de los diferentes equipos que formaran parte de este módulo se han tomado ideas del laboratorio para pruebas de motores, control y entrenador de construcción de circuitos realizado por TECH-LABS que puede observarse en la siguiente Ilustración.



Ilustración 27. Equipo de pruebas TECH-LABS

Fuente: (TECH-LABS, 2019)

4.5.4.6 Módulo de Equipos Industriales

El diseño de este módulo está compuesto por los principales componentes que podrían encontrarse en el área industrial, de la misma manera que el módulo de equipo domestico con los diferentes equipos industriales que componen este módulo se podrán evaluar los cables eléctricos de acuerdo a las diferentes cargas en amperios que cada equipo podría generar durante las distintas pruebas de calidad y analizar cuál es la capacidad amperimétrica que los cables poseen.

Para este módulo se han seleccionado equipos que poseen diferentes cargas entre los que se pueden encontrar un Variador AC, un Variador DC, un motor DC, un motor AC, un control de mando, una resistencia de banda y un banco de capacitores.

Este módulo estará ligado directamente con el módulo de selección y conmutación para la activación de los distintos equipos, cada equipo se podrá activar o desactivar por medio de pulsadores/luz piloto una vez se haya realizado el procedimiento correcto de selección en el módulo antes mencionado.

Cada equipo contara con contactores y relevadores que protegerán cada uno de los equipos que componen este módulo.

El diseño de este módulo se ha realizado basado en el diseño del laboratorio DL EM-TEST realizado por De Lorenzo en el cual se realizan pruebas en distintas situaciones con motores eléctricos AC y DC. El diseño de este laboratorio se puede observar en la siguiente Ilustración.



Ilustración 28. Modulo DL EM-TEST

Fuente: (De Lorenzo, 2019)

4.5.4.7 Cámara de Flama

El módulo de la cámara de flama se diseñó para evaluar la capacidad que el cable eléctrico posee en su aislamiento para extinguir una llama de fuego en proceso que pueda ser producida por un campo magnético, corto circuito, una sobrecarga o una mala práctica de conexión.

Todas las condiciones anteriormente mencionadas que pueden provocar una llama producen una condición extrema de temperatura que sobrepasa las condiciones físicas de diseño del aislamiento que el cable eléctrico posee, en este caso PVC y Nylon.

El diseño de la cámara de flama se realizó con el propósito de la validación de la normativa UL1581 en la cual se evaluaría una muestra del cable eléctrico que se utilizara en el módulo de selección y conmutación, en este caso se ha diseñado de forma que se tome una muestra de cable con una longitud de 43.18cm (17 pulgadas) que se colocara en la cámara de manera vertical.

Se instaló un soplete al diseño en posición de 20 grados con respecto a la verticalidad del cable eléctrico, con este componente se generará una llama de 40 mm la que será puesta en contacto con el aislamiento del cable durante 15 segundos con intervalos de descanso de 15 segundos hasta completar un ciclo de 5 pruebas. En este caso esta prueba se considerará cumplida cuando la llama se extinga rápidamente y sus residuos de carbón hacia el piso de la cámara no logran causar una llama en una muestra de algodón.

Asimismo, se diseñó una mesa en la cual descansara la carcasa de acero de la cámara de flama, así como también el soplete y el tanque de gas propano. La mesa que soportara la cámara de flama se diseñó con las dimensiones en milímetros que pueden observarse en la siguiente Ilustración.

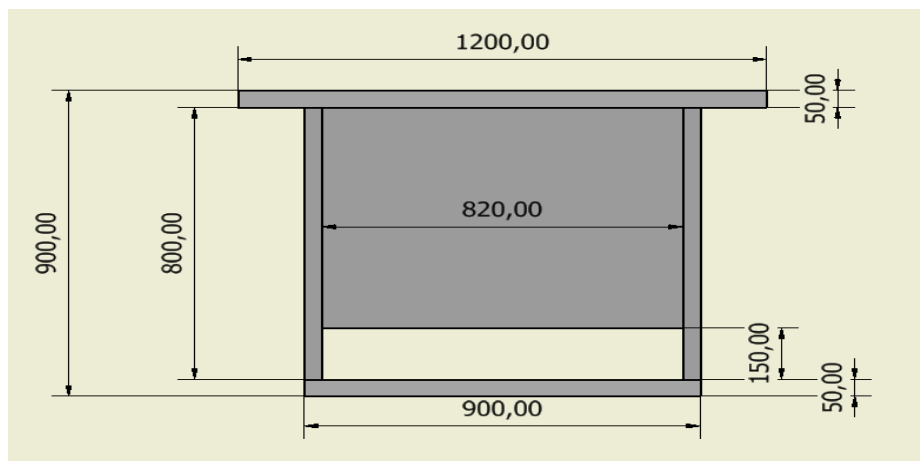


Ilustración 29. Dimensiones de mesa soporte en milímetros

Fuente: Elaborado por autores

La cámara cuenta con las siguientes dimensiones en mm que pueden observarse en la siguiente Ilustración.

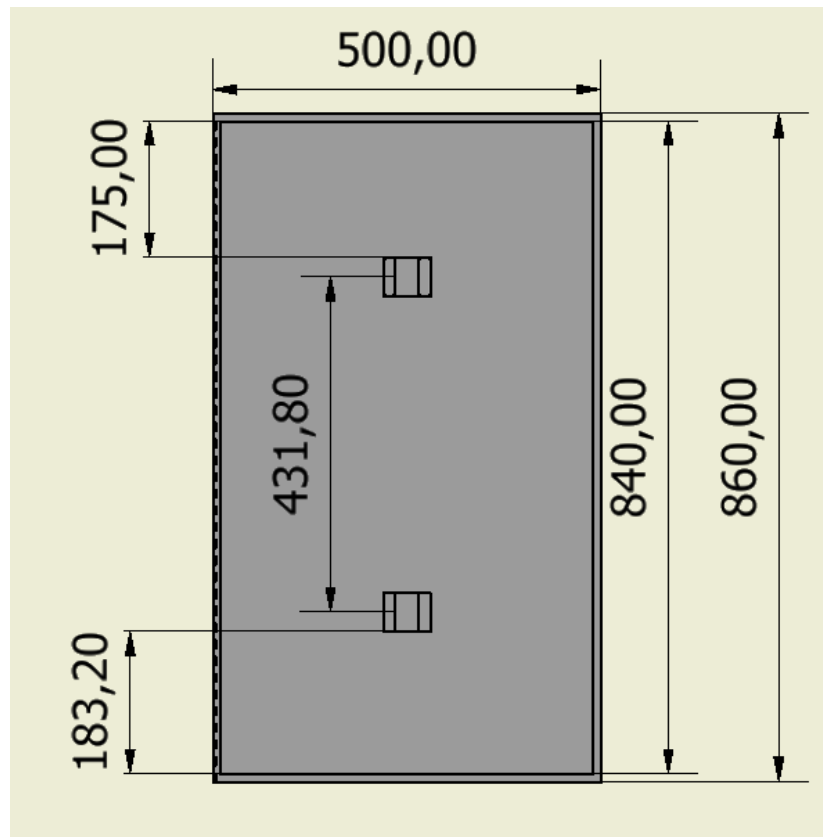


Ilustración 30. Dimensiones de cámara de flama en milímetros

Fuente: Elaborado por autores

Para la realización del diseño de la cámara de flama se ha tomado como referencia el diseño mostrado por parte de la compañía ELAND CABLES que puede observarse en la siguiente Ilustración.

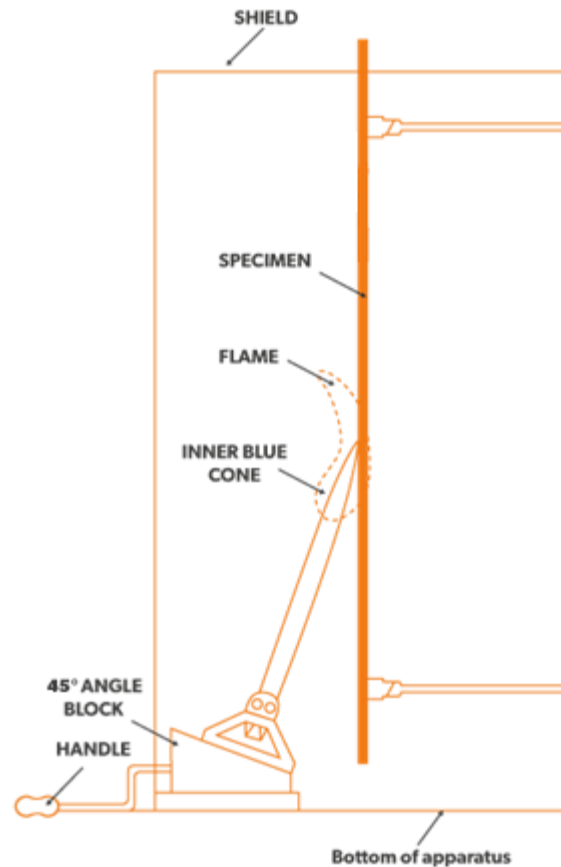


Ilustración 31. Diseño ELAND CABLES de cámara de flama

Fuente: (ELAND CABLES, 2019)

4.5.4.8 Desarrollo de Diagramas Eléctricos

El diseño y simulación de los diagramas eléctricos de cada uno de los módulos del simulador de pruebas eléctricas fue realizado en el software CADe_SIMU. Debido a la necesidad de verificar el funcionamiento eléctrico que tendría cada módulo al momento de entrar en operación y de esta forma evitar fallas en el sistema se utilizó CADe_SIMU un software que permite la creación, edición y simulación de esquemas eléctricos de una manera fácil y rápida.

4.5.5 VALIDACIÓN DEL DISEÑO

Para la validación del diseño del simulador de cables se ha presentado el diseño a la empresa a la empresa DEC que con ayuda de ingenieros especialistas examinarán los diseños y diagramas eléctricos con los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas en cada uno de los

diagramas con ayuda del simulador CADe_SIMU. De acuerdo a la respuesta de la empresa acerca del diseño se tomará la decisión de realizar o no cambios en los módulos y diagramas eléctricos para que estos puedan cumplir con las especificaciones requeridas por la empresa.

4.5.6 ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

Las cantidades y costos de los equipos, componentes y materiales necesarios para la realización del simulador de pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2, se especifican en la sección 4.4 de Materiales del presente texto. Dicha sección detalla los costos individuales que conllevará la fabricación de cada módulo sin incluir costos energéticos y de mano de obra.

4.5.7 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Se realizó un profundo análisis de la factibilidad del simulador de pruebas de calidad en cable eléctrico en conjunto con la empresa DEC, en la cual se ha tomado como punto principal de análisis el costo individual que conllevaría la realización de cada módulo del simulador sin tomar en cuenta los costos energéticos y de mano de obra, estos costos se encuentran en la sección 4.4 de materiales. Asimismo, las ventajas y desventajas que este simulador podría tener para la empresa. De esta manera se podrá conocer si es factible o no la implementación de este simulador en la empresa interesada.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para la validación del simulador fue necesario la realización de diferentes simulaciones eléctricas con ayuda del simulador CADe_SIMU en cada uno de los diagramas eléctricos. De esta manera se ha comprobado que los circuitos eléctricos de cada uno de los módulos podrán cumplir con las diferentes condiciones operativas a las que cada módulo puede ser expuesto durante la realización de las pruebas de calidad.

Entre las simulaciones a las que se han sometido los diagramas eléctricos de cada módulo por medio de CADe_SIMU se encuentran:

- Simulación de generación de fuentes de alimentación.
- Verificación y ensayo de voltajes del módulo de alimentación.

- Simulación de activación de voltímetros y amperímetros.
- Conexión de amperímetros serie para medición de carga de consumo de componentes industriales y domésticos.
- Obtención de corrientes parciales y totales.
- Simulación de caída de tensión.

Se ha elaborado un manual de operación del simulador donde se podrá encontrar las diferentes formas de uso que son requeridas para la realización de diferentes pruebas, así como también precauciones y recomendaciones aprobadas por DEC que son necesarias para la correcta operación del simulador.

A manera de validación, se ha presentado el diseño a la empresa DEC que con análisis extenuantes de ingenieros especialistas se examinarán los diseños y diagramas eléctricos con los resultados obtenidos de las simulaciones desarrolladas. De acuerdo a la respuesta de la empresa acerca del diseño se tomará la decisión de realizar o no cambios en los módulos y diagramas eléctricos para que estos puedan cumplir con las especificaciones requeridas por la empresa.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 13. Cronograma de actividades

Nombre de la tarea	Fecha de Inicio	Fecha final	Duración
Identificación de la problemática	28/09/19	02/10/19	4d
Reunión con DEC	28/09/19	28/09/19	1d
Estudio de la problemática	30/09/19	02/10/19	3d
Definición del alcance del proyecto	02/10/19	09/10/19	6d
Inicio del periodo: Investigación previa	09/10/19	22/10/19	10d
Análisis de prototipos previos	09/10/19	10/10/19	2d
Investigación sobre cables eléctricos	11/10/19	15/10/19	3d
Investigación sobre estándares de calidad en cables eléctricos	16/10/19	17/10/19	2d
Investigación sobre pruebas de calidad en cable eléctricos	18/10/19	22/10/19	3d
Bosquejo de bastidor	23/10/19	25/10/19	3d
Definición de módulos	28/10/19	02/12/19	26d
Definición de pruebas a realizar	28/10/19	29/10/19	2d
Definición de componentes a utilizar	30/10/19	31/10/19	2d
Definición de equipos a utilizar	01/11/19	04/11/19	2d
Reunión con DEC	05/11/19	02/12/19	20d
Entrevista #1	05/11/19	05/11/19	1d
Entrevista #2	06/11/19	06/11/19	1d
Diseño de Módulos			
Diseño de Módulo de Fuentes Eléctricas	09/11/19	11/11/19	2d
Diseño de Módulo de Instrumentación y Medición Metrológica	12/11/19	13/11/19	2d
Diseño de Módulo Selección y Conmutación	14/11/19	15/11/19	2d
Diseño de Módulo de Equipos Domestico	18/11/19	19/11/19	2d
Diseño de Módulo de Equipos Industriales			
Diseño de Diagramas Eléctricos	25/11/19	29/11/19	5d
Validación de Diagramas Eléctricos	01/12/19	02/12/19	2d

Fuente: Elaborado por autores

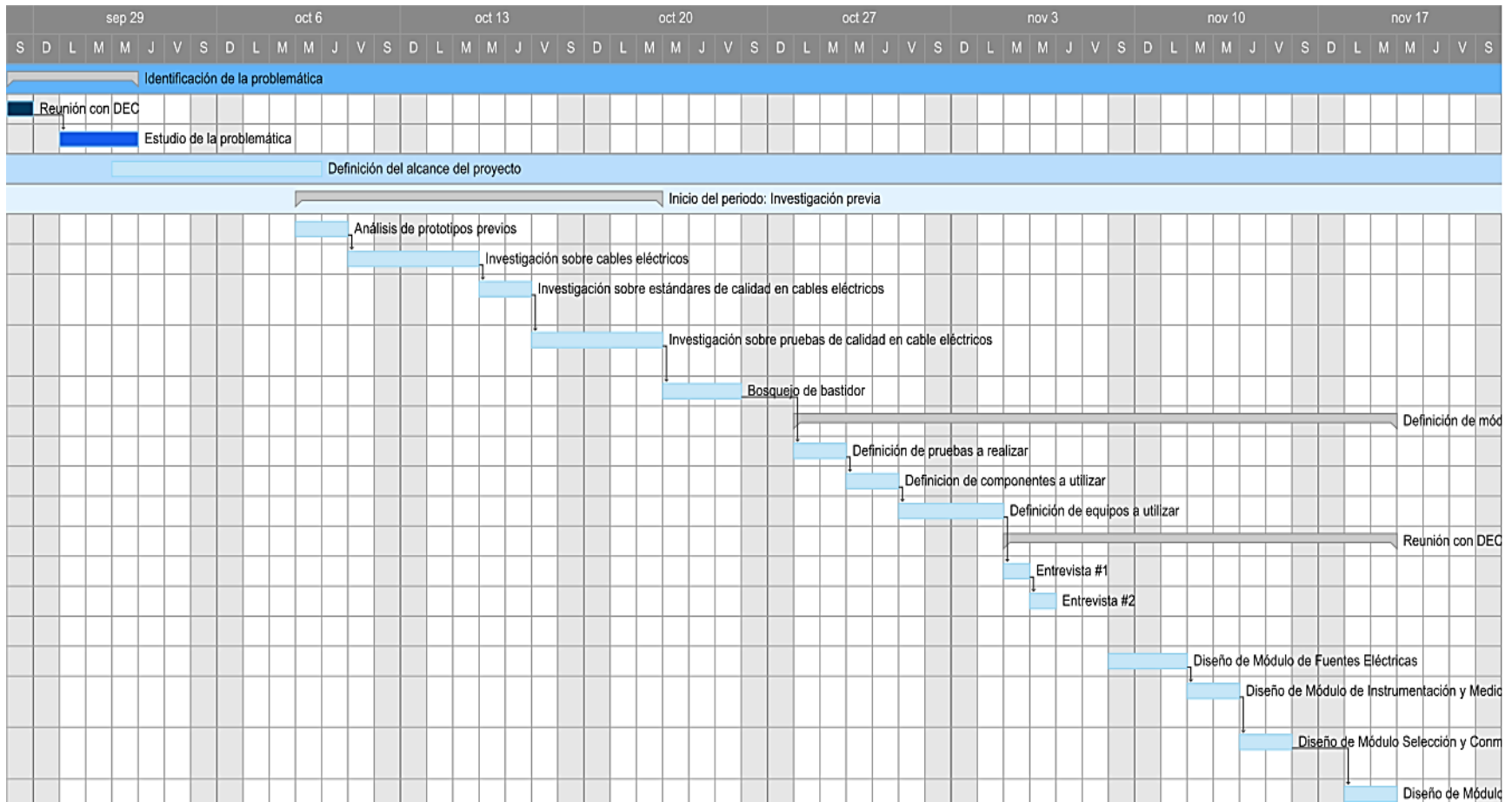


Ilustración 32. Diagrama de Gantt (parte 1)

Fuente: Elaborado por autores

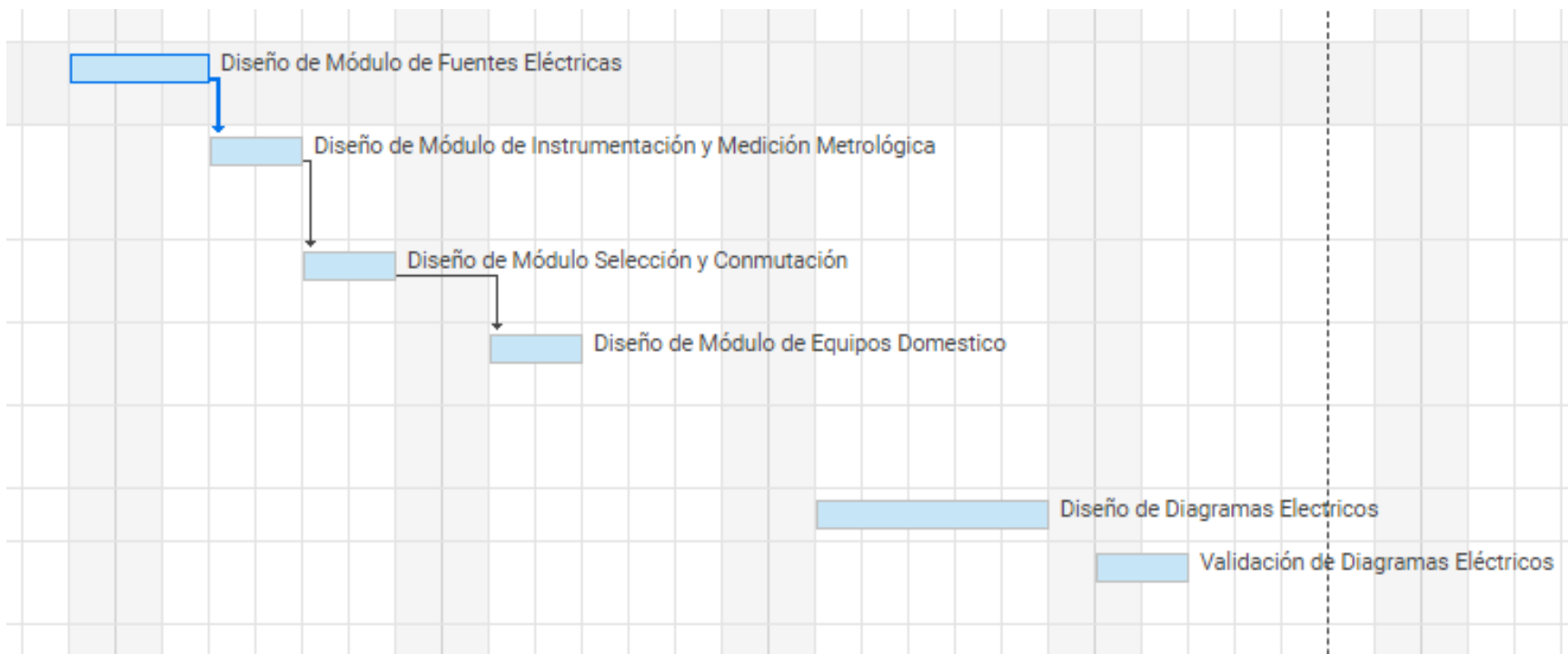


Ilustración 33. Diagrama de Gantt (parte 2)

Fuente: Elaborado por autores

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se ha logrado realizar el diseño de un simulador de monitoreo de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2. Con la capacidad de realizar pruebas de ampacidad, caídas de tensión, capacidad de corrientes mínimas y máximas, resistencia de aislamiento, así como de temperatura de operación. Logrando así, que DEC y otras posibles empresas enfocadas al ámbito de la producción de cables eléctricos, sean capaces de realizar pruebas de calidad en cables eléctricos de una forma rápida y sencilla y de esta manera disminuir los costos que implican realizar estas pruebas en el extranjero.

5.1 ANÁLISIS DE EQUIPOS

Se analizaron cuatro equipos de pruebas de calidad en cables eléctricos en los cuales se han aplicado conceptos similares a los del diseño del presente proyecto. Estos equipos son los más utilizados en el ámbito de la producción de cables eléctricos y en el monitoreo de calidad de los mismos. Del análisis de dichos equipos se obtuvieron resultados sobre las pruebas de calidad más comunes, los distintos niveles de voltaje a los cuales se realizan estas pruebas y los diferentes métodos utilizados para la localización de fallas.

Entre los equipos analizados se encuentran:

- Fault Mapper CA7024
- Probador Megger PFL40-20000
- Probador SPARK 2000 UL
- Probador Portátil de Cables Multifunción

5.2 DETERMINACIÓN DE PRUEBAS DE CALIDAD

Mediante las entrevistas a dos ingenieros de DEC, Luis Flores y Martin Rosales, especialistas en producción de cables eléctricos, se logró determinar la importancia que tiene la realización de pruebas, físicas o eléctricas, de calidad en cables eléctricos en el proceso de fabricación de los mismos. De la misma forma se logró identificar las pruebas más

importantes que se realizan en DEC y en el ámbito de la producción de cables en general, las normativas que rigen estas pruebas y los parámetros a seguir al momento de aplicar las mismas.

5.3 PRUEBAS A REALIZAR

Con el conocimiento de las pruebas de calidad más importantes realizadas a cables eléctricos, se optó por las pruebas que significarían un mayor beneficio al proceso de producción y monitoreo de calidad de la empresa interesada.

Las pruebas que se podrán realizar con el uso del simulador de pruebas de calidad de cables eléctricos THHN/THWN-2 se pueden encontrar en la sección 4.5.3 de la metodología de estudio. La finalidad de las pruebas seleccionadas es verificar la calidad de los cables eléctricos y que estos cumplan con las distintas normativas por las que se rige DEC en su producción. Por medio un análisis se concluyó que estas pruebas son de vital importancia para la comprobación de las características más importantes en cables eléctricos como son el amperaje de operación, capacidad máxima de voltaje, resistencia a la temperatura y capacidad de aislamiento.

Cabe recalcar que cada una de las pruebas que se realizaran con el simulador se decidió en colaboración con DEC y sus ingenieros.

5.4 DISEÑO DEL SIMULADOR Y DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

Mediante la utilización del software de diseño Autodesk Inventor, se logró diseñar el bastidor, los cinco módulos y la cámara de flama que forman parte del simulador de pruebas de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2.

Es importante destacar que los diseños de los módulos que conforman el simulador, están dispuestos a cambios por medio de la empresa interesada ya que estos tienen como principal función servir como una representación gráfica de como estaría conformado cada módulo.

5.4.1 DISEÑO DEL SIMULADOR

5.4.1.1 *Diseño de Bastidor*

El diseño del bastidor que se ha elegido para la realización de los distintos módulos que compondrán el diseño total del simulador a excepción de la cámara de flama es el que se muestra en la Ilustración 34. Como se mencionó en la sección 4.5.4.1 de la metodología de estudio la empresa tiene a disposición la cantidad necesaria de estos bastidores para la realización de los módulos que compondrán, asimismo, cuentan con el espacio, así como con las características necesarias para poder ser utilizados como base de los distintos módulos.

Debido a que cada módulo se basa en la utilización del bastidor, cada uno tendrá las mismas dimensiones, una longitud máxima de 520.70mm y una altura máxima de 1655.10mm.

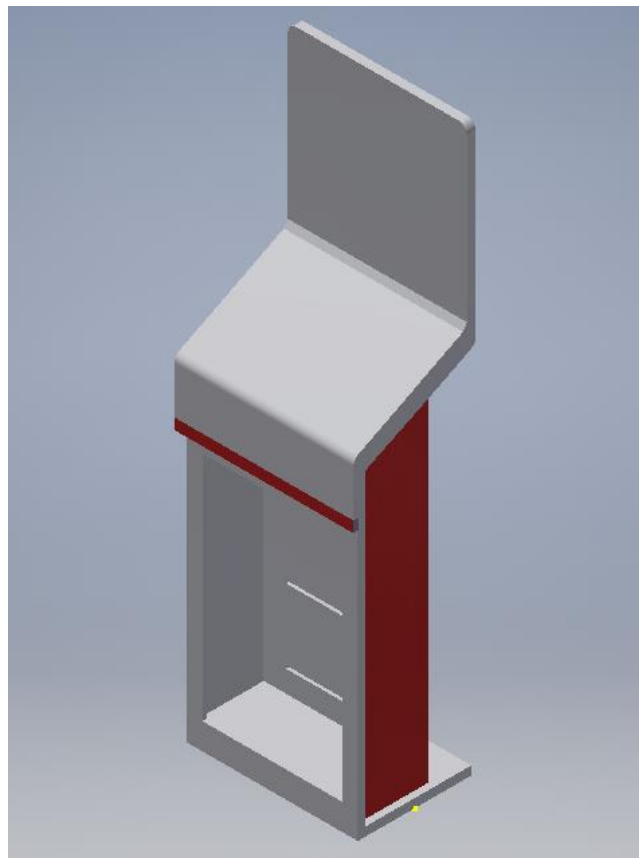


Ilustración 34. Diseño de bastidor

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.2 Diseño de Módulo de Fuentes Eléctricas

Para la elaboración del diseño del módulo de fuentes eléctricas fueron necesarios los componentes que se enlistan en la Tablas 5,6 y 7 de la sección 4.4.1. De la misma forma, en la misma Tablas se muestran los costos y cantidades de cada componente utilizado en el módulo. En la sección 4.5.4.2 de la metodología de estudio se detalla la importancia y funcionamiento de este módulo. Seguidamente se ilustra el diseño del Módulo de Fuentes Eléctricas.

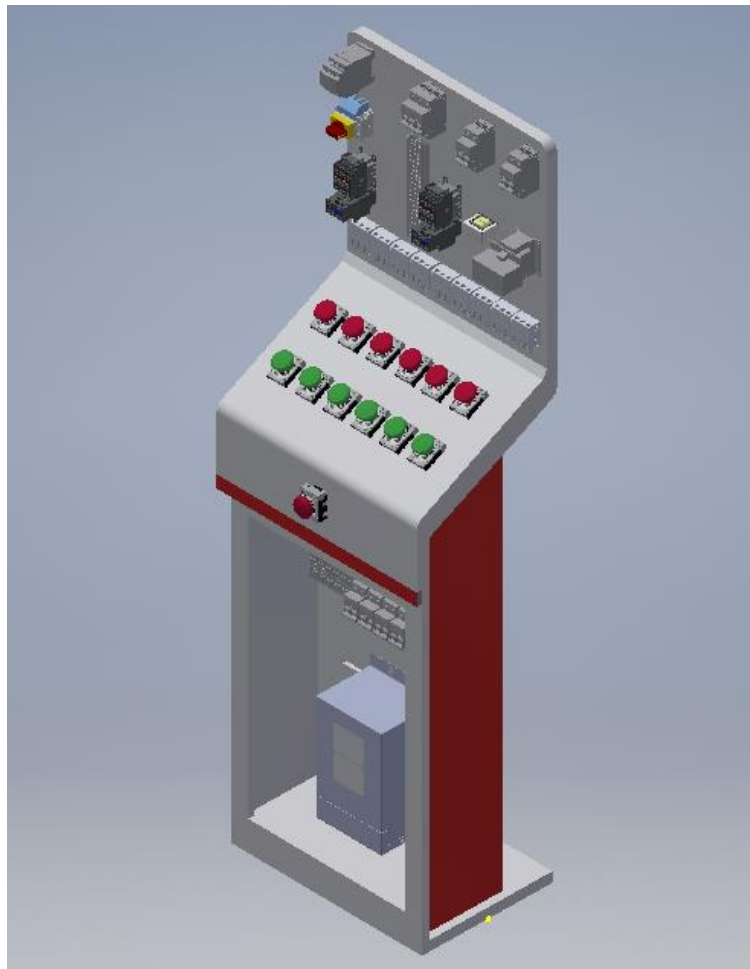


Ilustración 35. Diseño de módulo de fuentes eléctricas

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.3 *Diseño de Módulo de Instrumentación de Medición Metrológica*

Habiendo mencionado las distintas funciones que este módulo cumple en el diseño total del simulador en la sección 4.5.4.3 de la metodología de estudio. El diseño del simulador que se muestra en la Ilustración 36 cuenta con todos los diferentes componentes que se encuentran en la Tabla 8 de la sección 4.4.2 de materiales, así como el costo total que incurriría la fabricación de dicho módulo de manera individual. Este módulo es de gran importancia para conocer las diferentes tensiones y amperajes de operación durante la utilización del simulador que provendrán del módulo de fuentes eléctricas mostrado en la Ilustración 35.

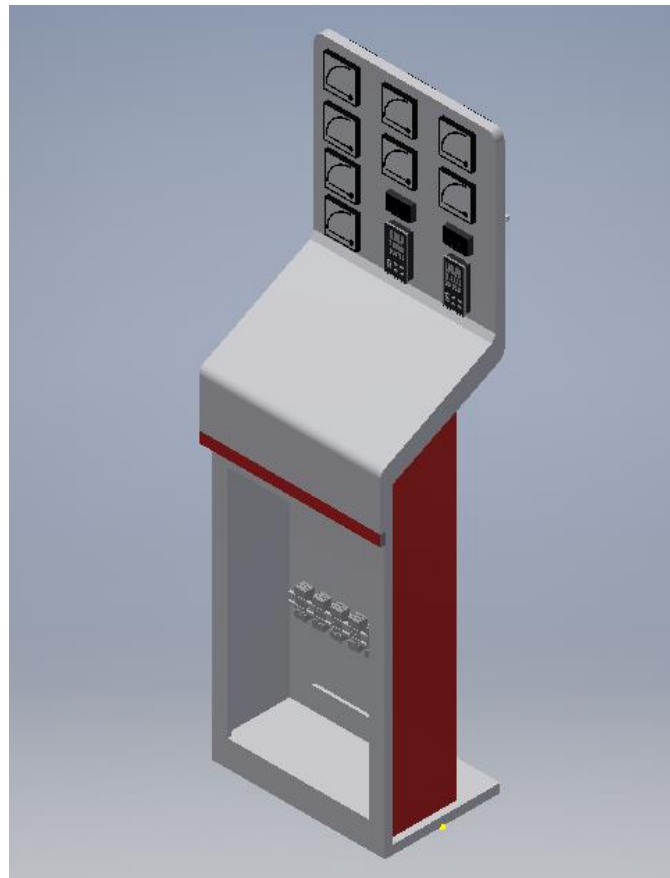


Ilustración 36. Diseño de módulo de medición e instrumentación metrológica

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.4 *Diseño del Módulo de Selección y Conmutación*

El diseño de este módulo se realizó basado en las distintas características físicas y de operación que debe cumplir, mencionadas en la sección 4.5.4.4 de la metodología de estudio. Los componentes, cantidades y costos de fabricación de este módulo se muestran en la Tabla 9 de la sección 4.4.3 de materiales.

El módulo se diseñó con el motivo de que este sea de fácil manejo y operación. De la misma manera se incluyeron diferentes luces piloto indicativas del correcto manejo del módulo en la realización de las pruebas de calidad. El diseño del módulo de selección y conmutación se muestra en la Ilustración 37.

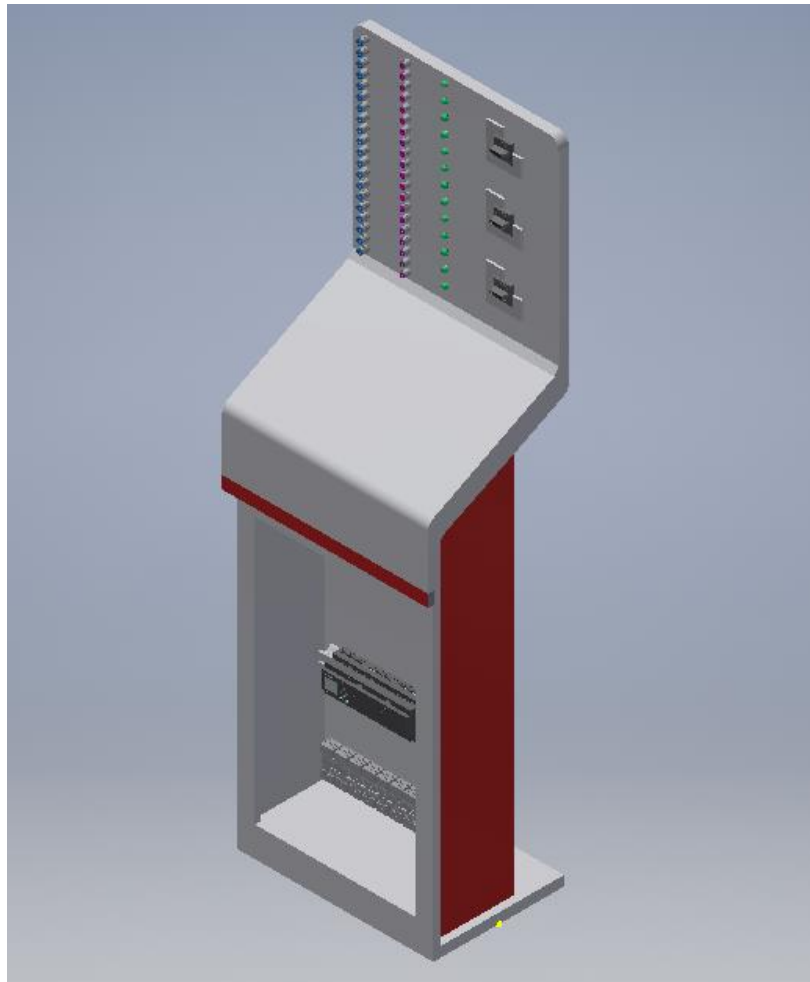


Ilustración 37. Diseño de módulo de selección y conmutación

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.5 *Diseño de Módulo de Equipos Domésticos*

Este módulo es de gran importancia debido a que su función es simular la utilización de los cables eléctricos en el área doméstica. Los equipos utilizados en este diseño son los más comunes en el ámbito doméstico, estos equipos, así como los demás componentes que conforman el diseño de este módulo se muestran en la Tabla 10 de la sección 4.4.4 con su costo individual por componente y costo total de fabricación del módulo. Seguidamente se ilustra el diseño del módulo de equipos domésticos.



Ilustración 38. Diseño de módulo de equipos domésticos

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.6 *Diseño de Módulo de Equipos Industriales*

De la misma manera que el módulo de equipos domésticos, este módulo se diseñó con la finalidad de simular la utilización de cables eléctricos en el ámbito industrial. Los equipos que conforman este módulo son los más comunes que pueden encontrarse en el área industrial, estos equipos, así como los diferentes componentes que conforman este módulo pueden ser encontradas en la Tabla 11 de la sección 4.4.5 en la cual se pueden encontrar los costos individuales de cada equipo y componente, así como el costo total que implicaría la fabricación de este módulo. En la Ilustración 39 se muestra el módulo de equipos industriales.

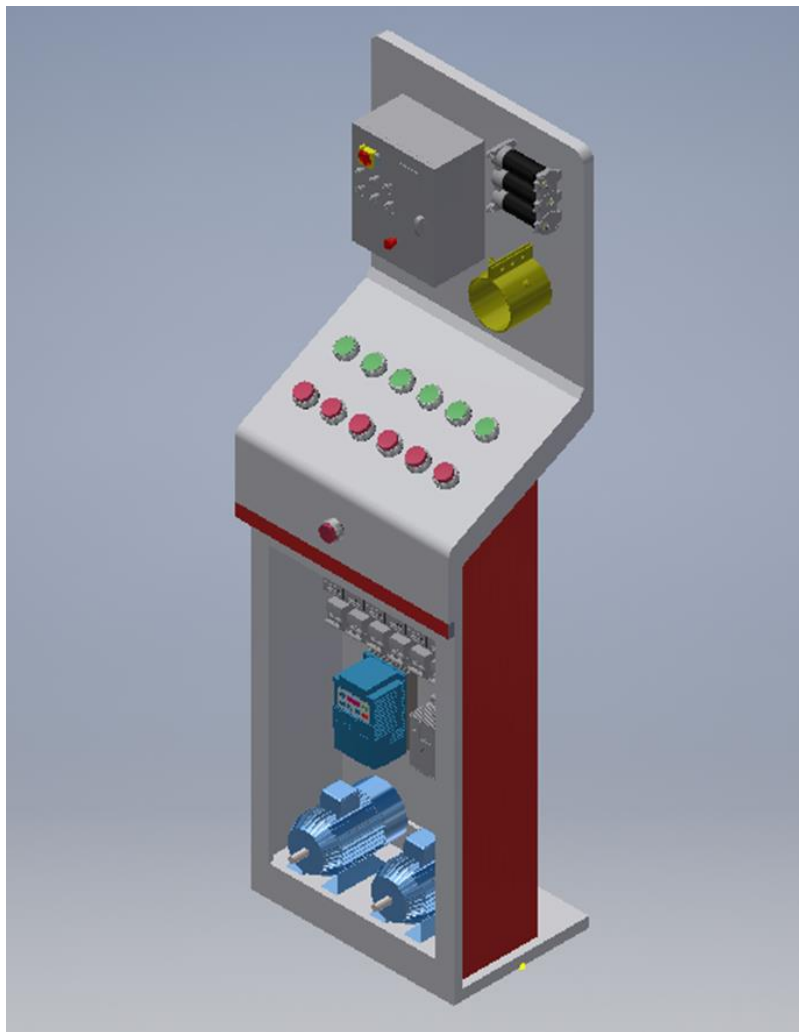


Ilustración 39. Diseño de módulo de equipos Industriales

Fuente: Elaborado por autores

5.4.1.7 Diseño de Cámara de Flama

La cámara de flama es el lugar en donde se realizan las pruebas físicas a los cables en prueba y debido a esto es de gran importancia en el sistema. Las especificaciones, medidas y el funcionamiento del módulo se detallan en la sección 4.5.4.7 de la metodología de estudio. De la misma forma los componentes, cantidades y costos se indican en la Tabla 12 de la sección 4.4.6.

El diseño de la cámara de flama se muestra en la Ilustración 40.

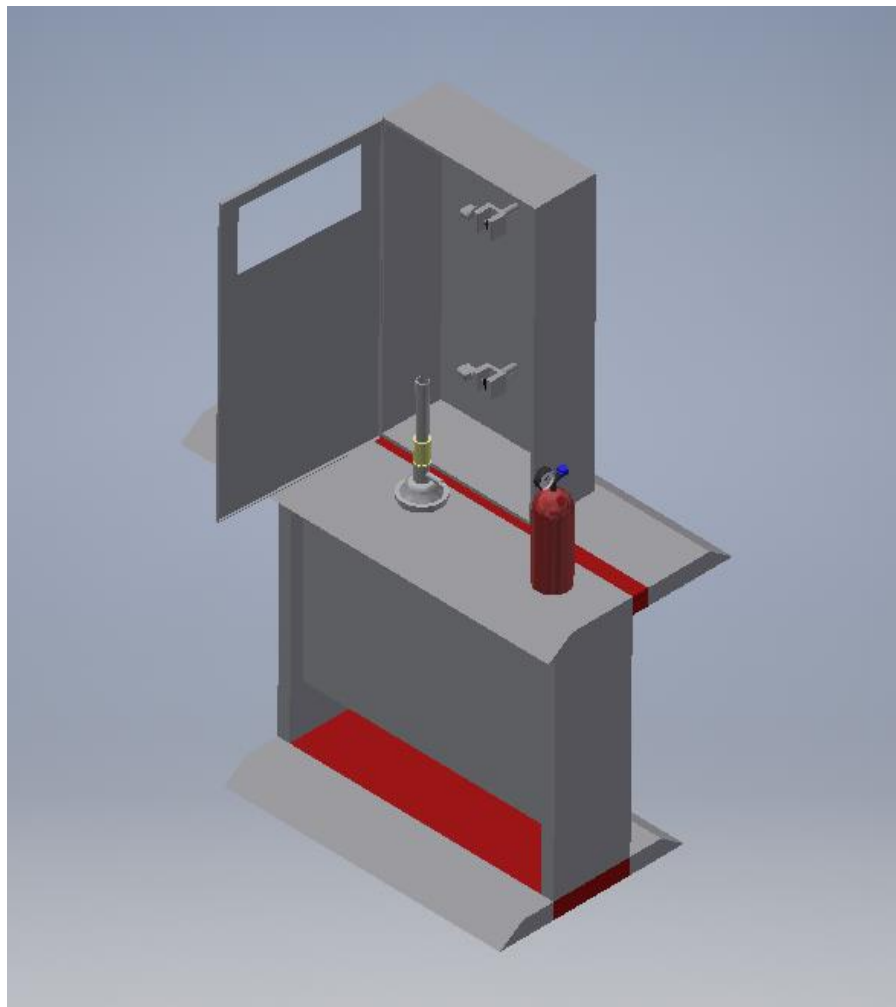


Ilustración 40. Diseño de cámara de flama

Fuente: Elaborado por autores

5.4.2 DISEÑO TOTAL DEL SIMULADOR

Como se mencionó anteriormente, el diseño del simulador consta de cinco módulos individuales y una cámara de flama. Las medidas de todos los módulos son las mismas ya que todas se basan en la utilización del bastidor como componente base. Las medidas de cada módulo se especifican en la sección 5.4.1.1.

Las medidas totales del sistema se especifican a continuación: largo total de 5.32 metros y una altura máxima de 1.76 metros. Cabe recalcar que este largo está sujeto a una separación promedio entre módulos de 35 centímetros.

El simulador con la unión de todos los módulos deberá seguir el orden que puede observarse en la Ilustración 41.

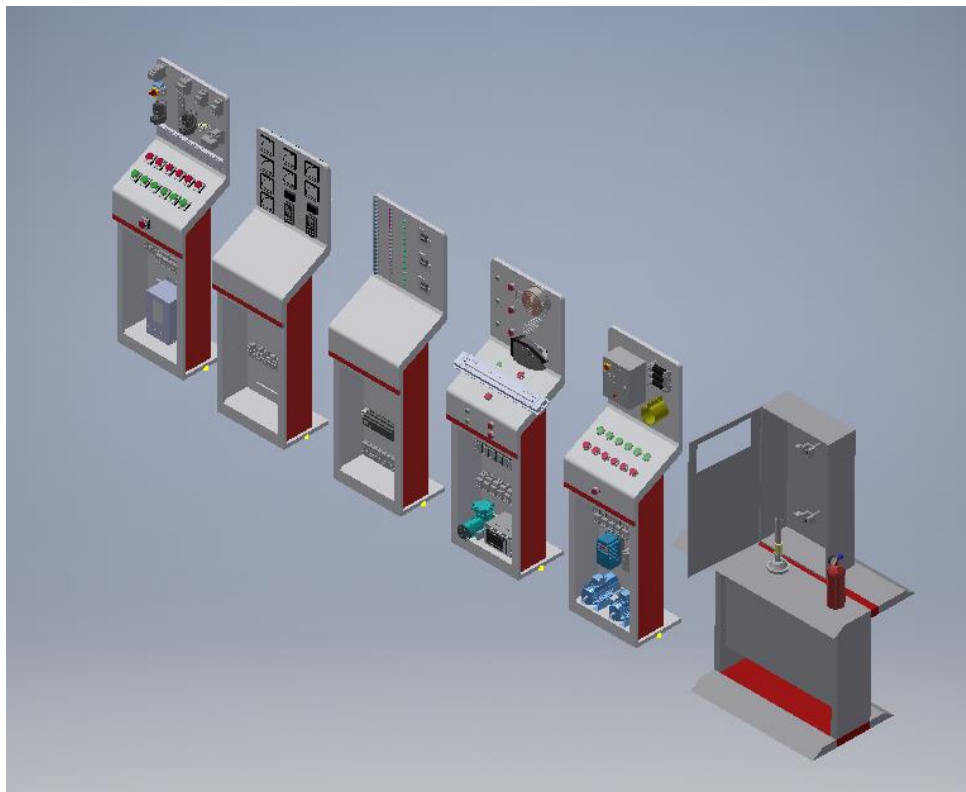


Ilustración 41. Diseño total del simulador

Fuente: Elaborado por autores

5.4.3 DISEÑO DE DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

Mediante la utilización del software de diseño CADE_SIMU, se logró diseñar los diagramas eléctricos de los cinco módulos que forman parte del simulador de pruebas de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2.

Al contrario del diseño de los módulos que sirven como representación gráfica, los diseños de los diagramas eléctricos de cada módulo están pensados y creados para ser seguidos al pie de la letra para de esta forma asegurar el correcto funcionamiento del sistema en todas ocasiones.

5.4.3.1 *Diseño de Diagrama Eléctrico de Módulo de Fuentes Eléctricas y de Módulo de Medición e Instrumentación Metrológica*

En el diagrama del módulo 1 se observan los diferentes componentes que conforman este módulo, así como las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del módulo en todas ocasiones y de esta forma asegurar que los módulos dependientes de él continúen operando de buena forma. De la misma forma, se muestra el sistema de control del módulo que permite la activación y desactivación de cada fuente.

Es importante mencionar, que el módulo 2 depende del módulo 1, debido a esto se muestran ambos módulos y sus conexiones en el mismo diagrama que se adjunta a continuación.

A continuación, se muestra la leyenda correspondiente al diagrama eléctrico del módulo 1 y 2. Y posteriormente se muestra el diseño del diagrama.

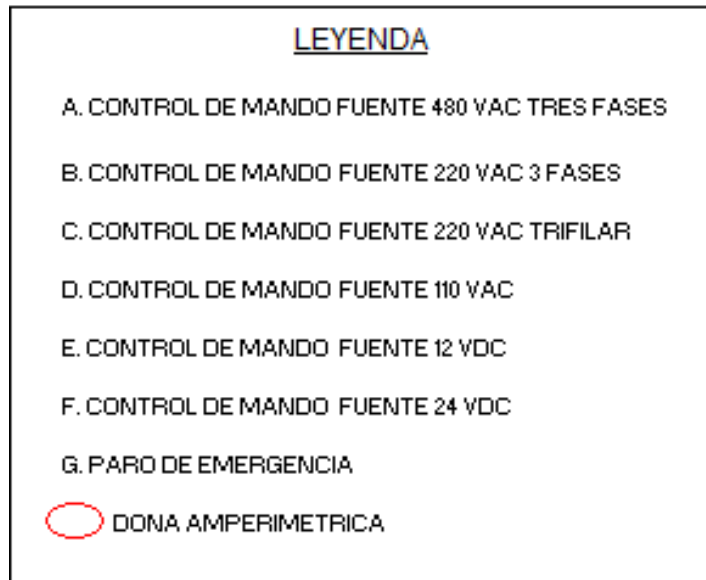


Ilustración 42. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de fuentes eléctricas y de módulo de medición e instrumentación metrológica

Fuente: Elaborado por autores

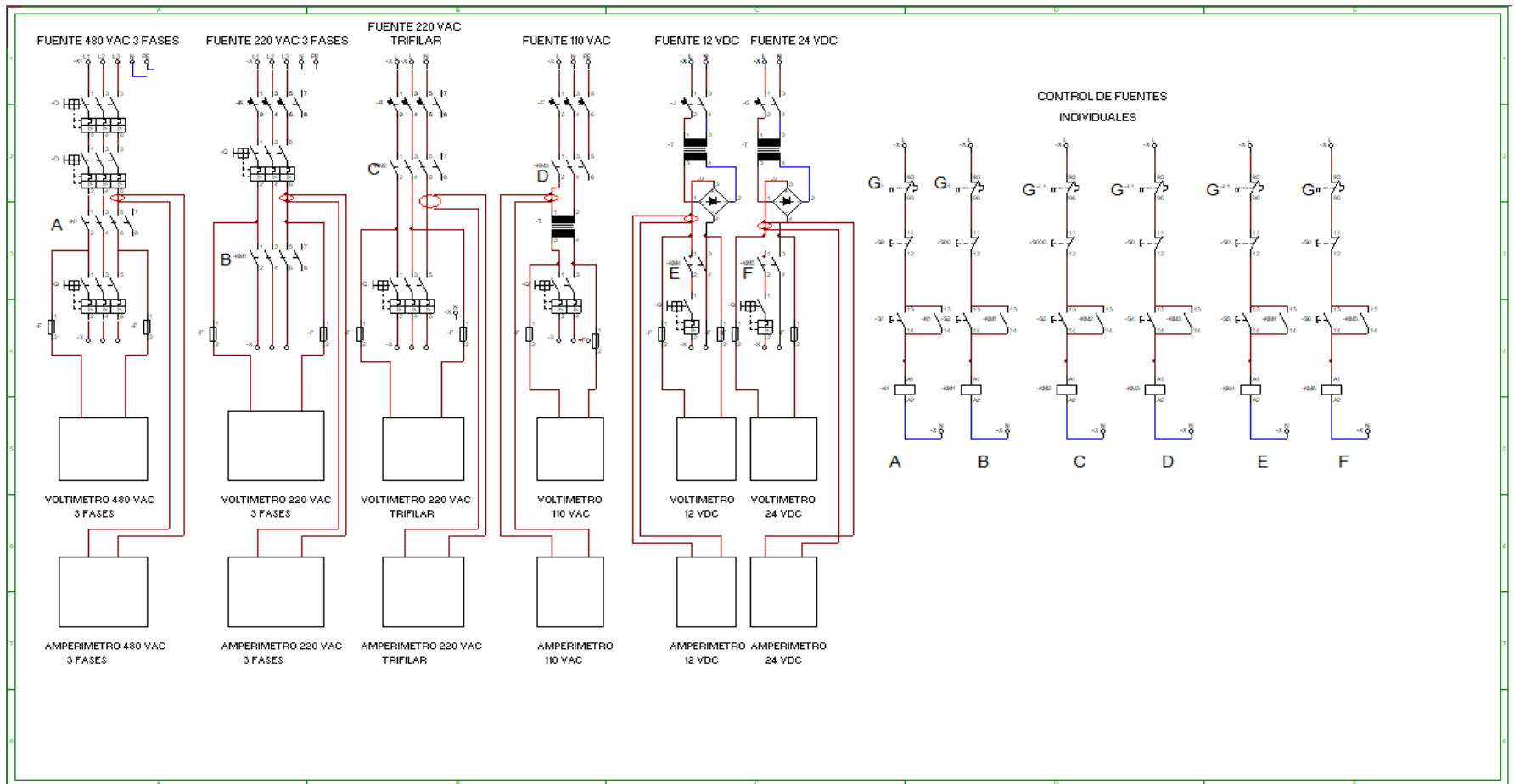


Ilustración 43. Diagrama eléctrico de módulo de fuentes eléctricas y de módulo de medición e instrumentación metrológica

Fuente: Elaborado por autores

5.4.3.2 *Diseño de Diagrama Eléctrico de Módulo de Selección y Conmutación*

El diseño del diagrama eléctrico del módulo de selección y conmutación cuenta con todas las características suficientes para realizar todas las funciones específicas que se mencionan en la sección 4.5.4.4 de la metodología de estudio. Como se muestra en la Ilustración 45 el diagrama eléctrico cuenta con un diseño donde se permite la selección individual de las distintas fuentes eléctricas, equipos domésticos y equipos industriales, asimismo, las diferentes luces piloto que indican el funcionamiento de cada equipo al ser seleccionado. El diagrama cuenta con la leyenda que se muestra en la ilustración 44.

Debido a que este módulo cuenta con un PLC LOGO 8 este podría ser adaptado como un programa que brindara mayor seguridad en la operación del módulo.

Seguidamente en la Ilustración 46 se muestra el diagrama eléctrico de los equipos industriales y domésticos que está directamente relacionado al diagrama mostrado en la Ilustración 45. En el diagrama se muestran los equipos, así como los diferentes bornes de los veinte pares disponibles que estarán directamente conectados a cada equipo, de la misma manera se muestran los diferentes colores de cables que se utilizaran por parte de DEC en las pruebas con cada uno de los equipos. Cabe recalcar que los colores de los cables entre bornes que se observan en el diagrama son estrictamente elegidos por DEC y estos simplemente son colores disponibles de producción de DEC sin ninguna característica especial por color.

En la Tabla 14 se muestra los bornes disponibles por equipo así como los calibres y colores que se utilizaran por parte de DEC

Tabla 14. Especificaciones del módulo de selección y conmutación

Equipos	Par de Bornes Disponibles	Colores de cable a utilizar	Calibre de cables a utilizar
Motor AC	1 par	Azul	Calibre 12 AWG
Variador AC	3 pares	Rojo, Negro y Blanco	Calibre 8 AWG
Variador DC	3 pares	Rojo, Negro y Blanco	Calibre 6 AWG
Banco de capacitores	1 par	Rojo	Calibre 10 AWG
Resistencia de banda	2 pares	Negro y Verde	Calibre 10 AWG
Control de mando	1 par	Rojo	Calibre 14 AWG
Motor DC	2 pares	Rojo y Blanco	Calibre 12 AWG
Resistencia de estufa	1 par	Rojo	Calibre 8 AWG
Resistencia de ducha	1 par	Blanco	Calibre 10 AWG
Resistencia de plancha	1 par	Negro	Calibre 12 AWG
Microondas	1 par	Verde	Calibre 12 AWG
Bomba	2 pares	Negro y Blanco	Calibre 14 AWG
Iluminación	1 par	Verde	Calibre 14 AWG

Fuente: Elaborado por autores

LEYENDA

A. FUENTE 480 VAC 3 FASES	K. MOTOR DC
B. FUENTE 220 VAC 3 FASES	L. MOTOR AC
C. FUENTE 220 VAC TRIFILAR	M. CONTROL DE MANDO
D. FUENTE 110 VAC	N. RESISTENCIA DE DUCHA
E. FUENTE 24 VDC	O. RESISTENCIA DE PLANCHA
F. FUENTE 12 VDC	P. MICROONDAS
G. VARIADOR AC	Q. BOMBA
H. VARIADOR DC	R. ILUMINACION
I. BANCO DE CAPACITORES	S. RESISTENCIA DE ESTUFA
J. RESISTENCIA DE BANDA	

Ilustración 44. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación

Fuente: Elaborado por autores

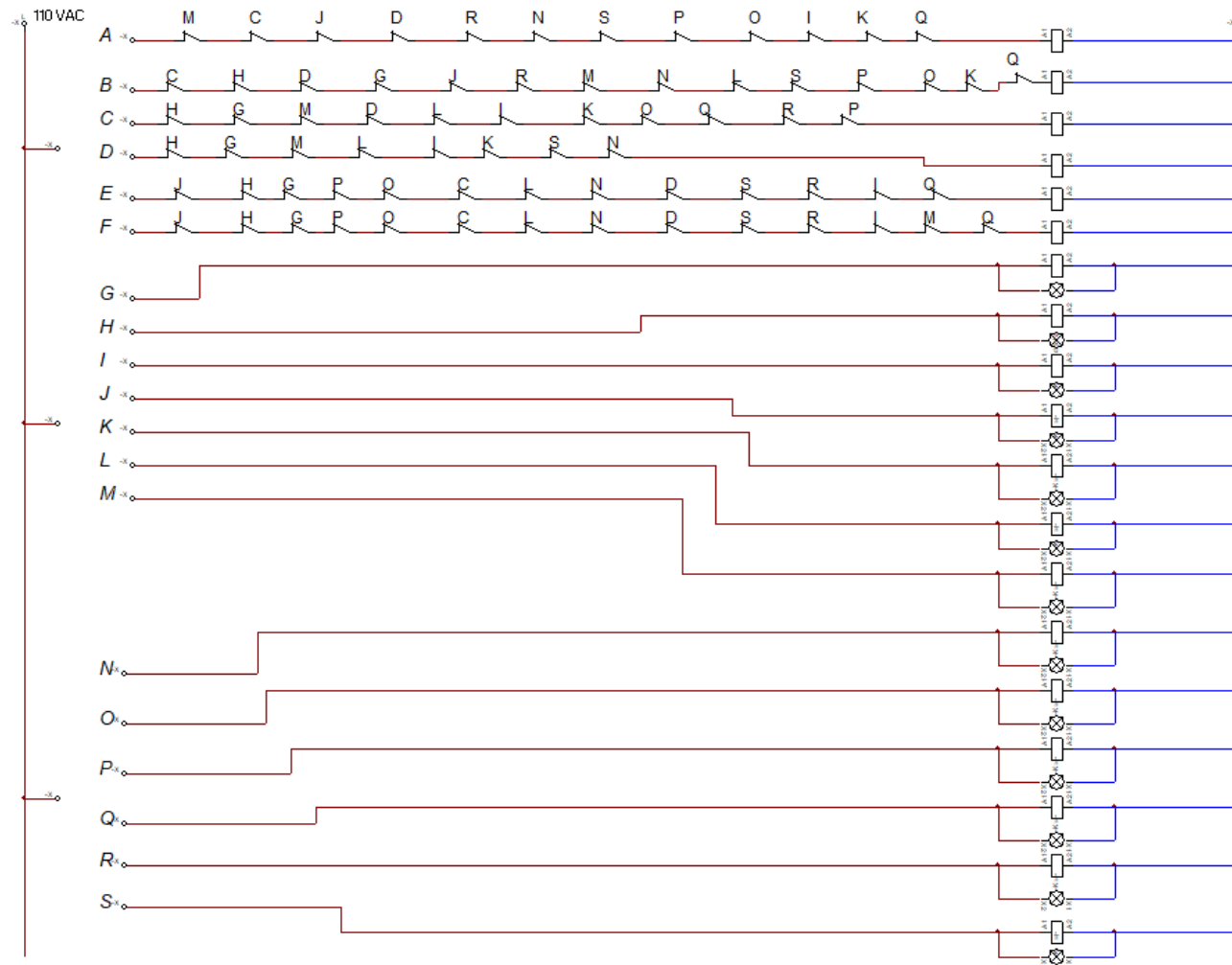


Ilustración 45. Diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación

Fuente: Elaborado por autores

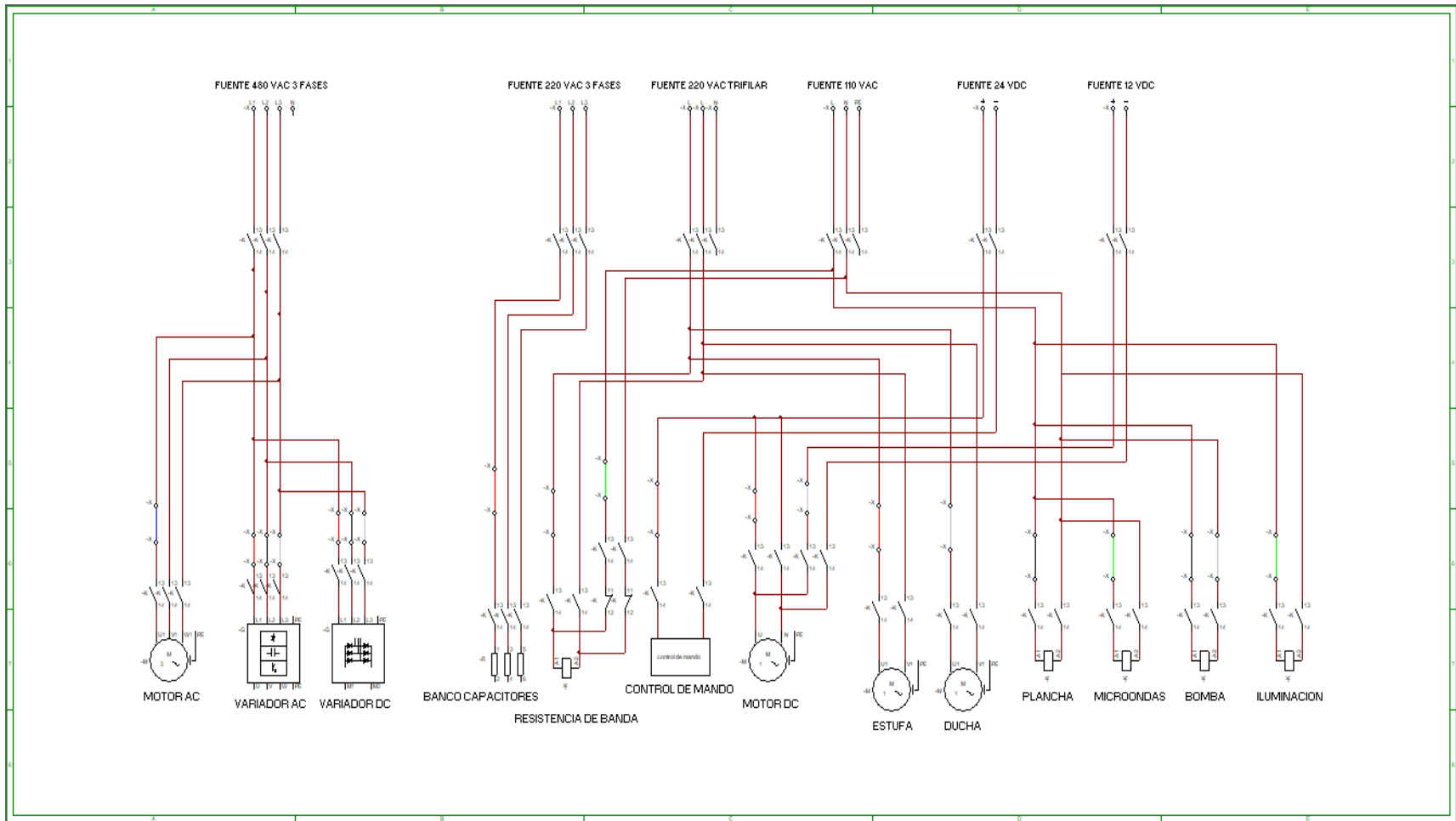


Ilustración 46. Diagrama eléctrico de módulo de selección y conmutación parte 2

Fuente: Elaborado por autores

5.4.3.3 Diseño de Diagrama Eléctrico de Módulo de Equipos Domésticos

El diagrama del módulo de equipos domésticos presenta los diversos equipos que componen el modulo, utilizados para simular el comportamiento de los cables eléctricos en su operación en el ámbito doméstico. Asimismo, muestra los controles de mando de cada equipo que tienen la funcionalidad de activar o desactivar cada equipo. Este diagrama y su leyenda se muestran en la Ilustraciones a continuación.

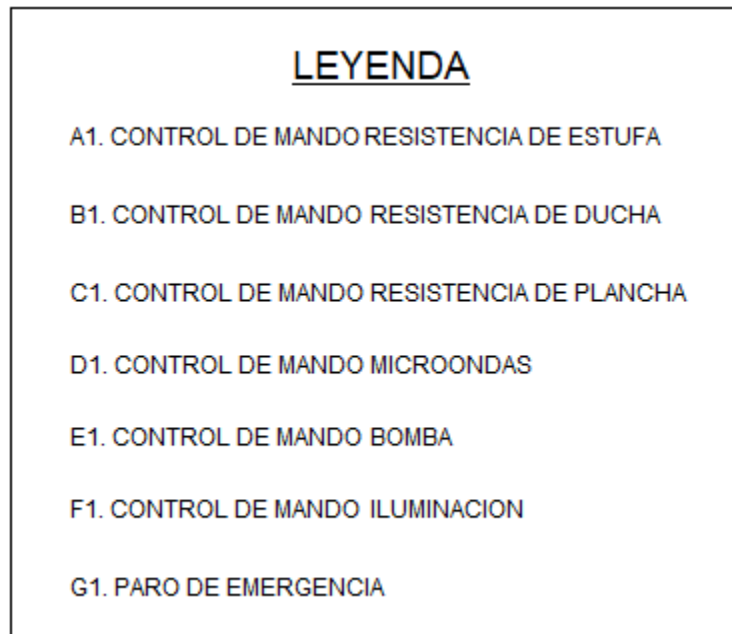


Ilustración 47. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de equipos domésticos

Fuente: Elaborado por autores

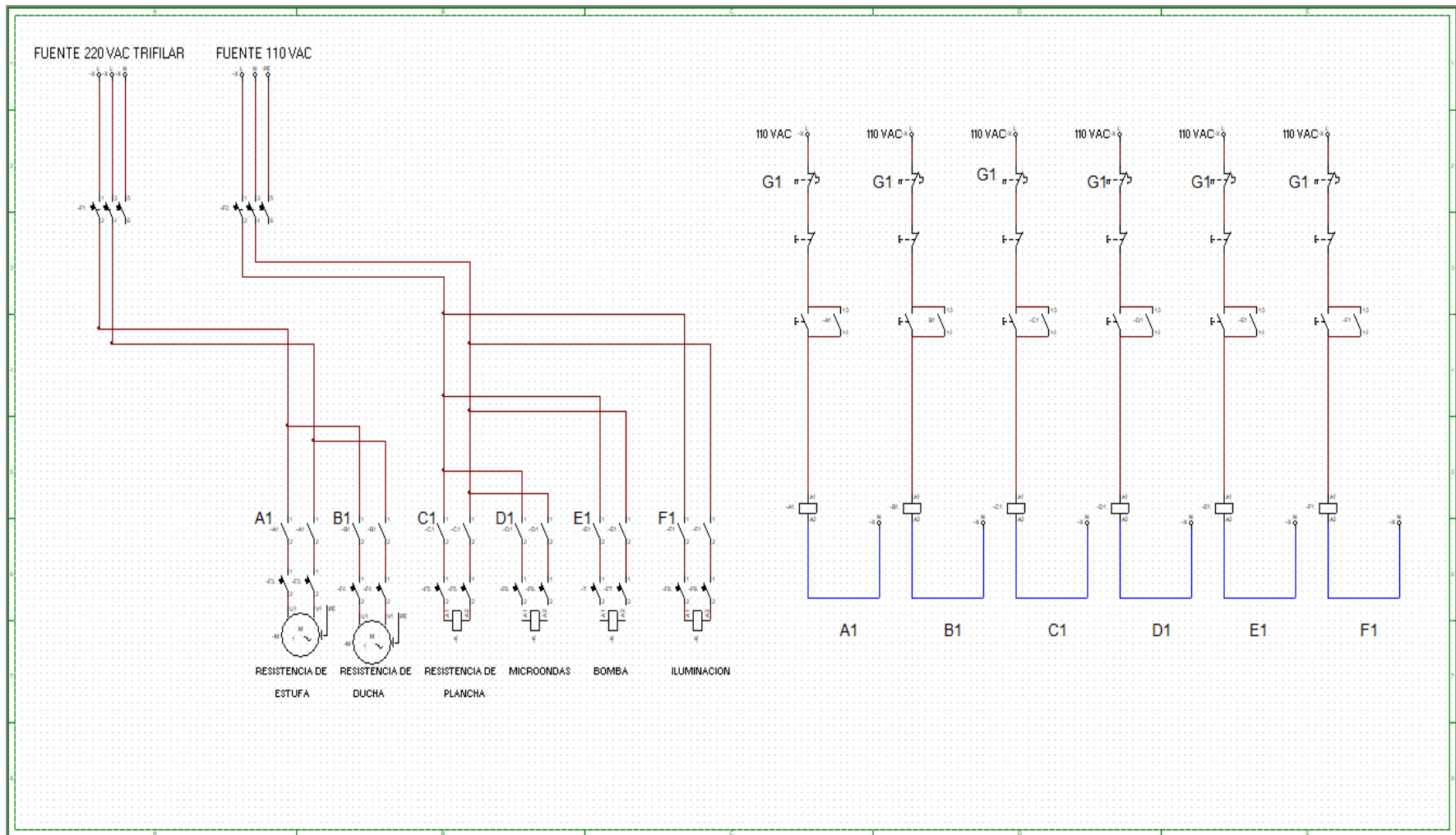


Ilustración 48. Diagrama eléctrico de módulo de equipos domésticos

Fuente: Elaborado por autores

5.4.3.4 Diseño de Diagrama Eléctrico de Módulo de Equipos Industriales

El diagrama del módulo de equipos industriales muestra de una forma detallada los diversos equipos y componentes que forman parte de este módulo. Así como las conexiones entre los variadores de corriente alterna y directa y las conexiones entre las fuentes de alimentación y los equipos industriales. De la misma forma muestra los controles de mando individuales de cada equipo en el módulo. El diagrama eléctrico del módulo de equipos industriales y su leyenda se exponen en las siguientes Ilustraciones.

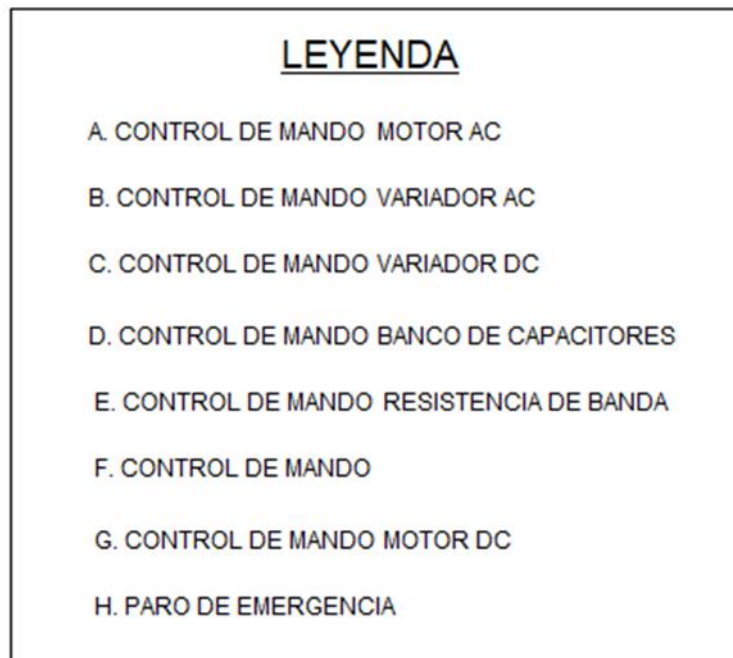


Ilustración 49. Leyenda de diagrama eléctrico de módulo de equipos industriales

Fuente: Elaborado por autores

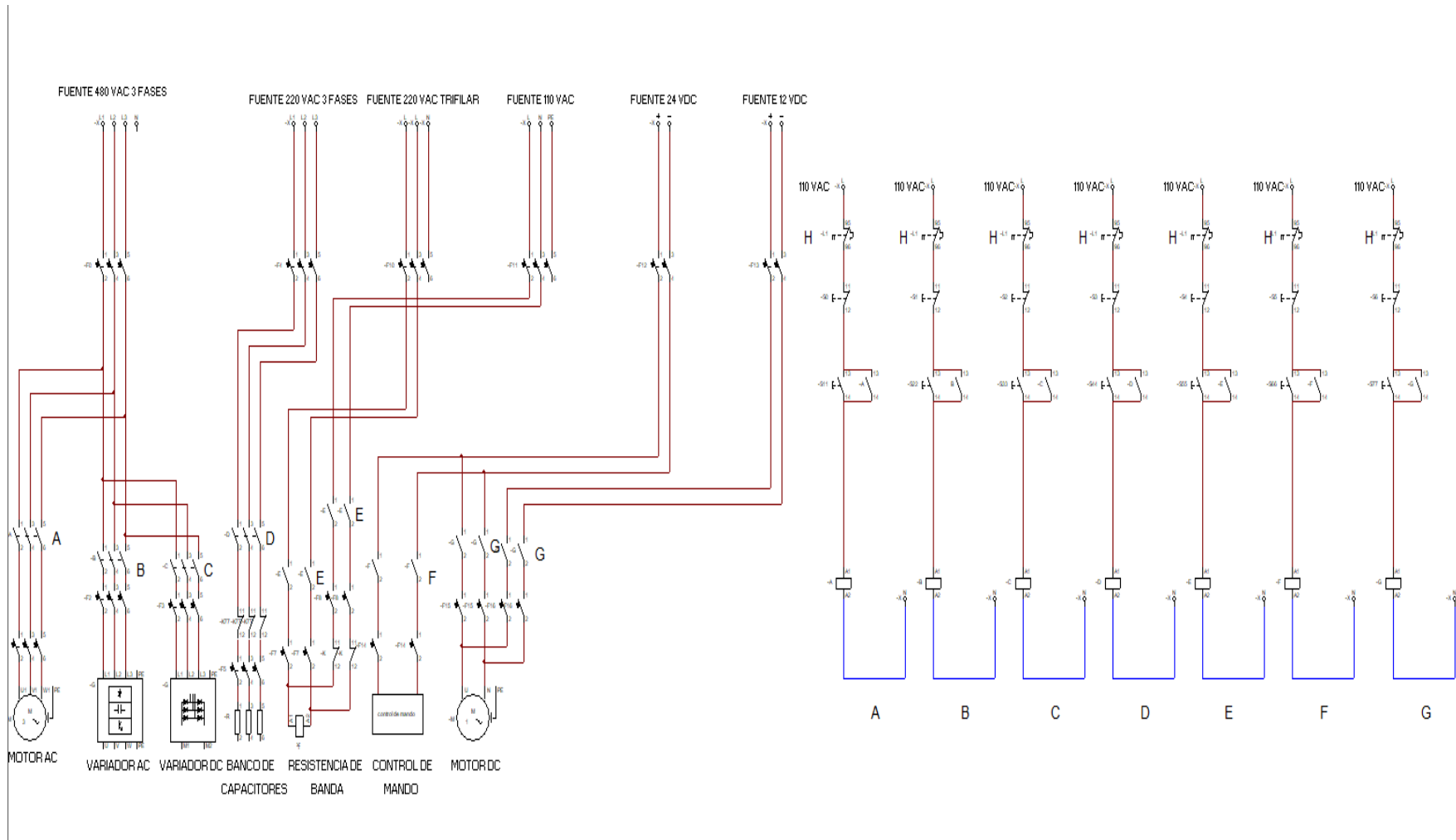


Ilustración 50. Diagrama eléctrico de módulo de equipos industriales

Fuente: Elaborado por autores

5.5 VALIDACIÓN DEL DISEÑO

Para la validación del diseño del simulador y de sus esquemas eléctricos se logró realizar distintas simulaciones de funcionamiento, con la utilización del software CADe_SIMU. De la misma forma, estas simulaciones han sido validadas por el equipo de ingenieros de DEC, esta validación se muestra en el Anexo 1.

5.5.1 VALIDACIÓN DE DIAGRAMA DEL MÓDULO DE FUENTES ELÉCTRICAS Y MÓDULO DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN METROLÓGICA

En la Ilustración 51 se puede observar que la simulación realizadas con el programa CADe_SIMU de las diferentes fuentes eléctricas pertenecientes al diseño de este módulo funciona de manera correcta siendo cada fuente accionada por su control de mando individual que permite ya sea activar la fuente que se desee o desactivarla si es necesario en la realización de las distintas pruebas de calidad.

Para la validación del diagrama se ha activado y desactivado una a una las fuentes pertenecientes a este módulo y se ha comprobado que estas operan de manera correcta.

Cabe recalcar que cada simulación realizada es meramente de funcionamiento sin tomar en cuenta datos numéricos en los distintos componentes y voltajes que se deberían utilizar en la vida real.

En la simulación no se ha logrado simular los diferentes voltímetros y amperímetros del módulo de medición e instrumentación metrológica debido a falta de datos numéricos y a limitaciones del programa CADe_SIMU en el área de medidores.

La simulación en general a resultado satisfactoria ya que cumple con todas las especificaciones que el circuito requiere para su correcto funcionamiento así mismo se validado el resultado por medio de la aprobación de los ingenieros de DEC.

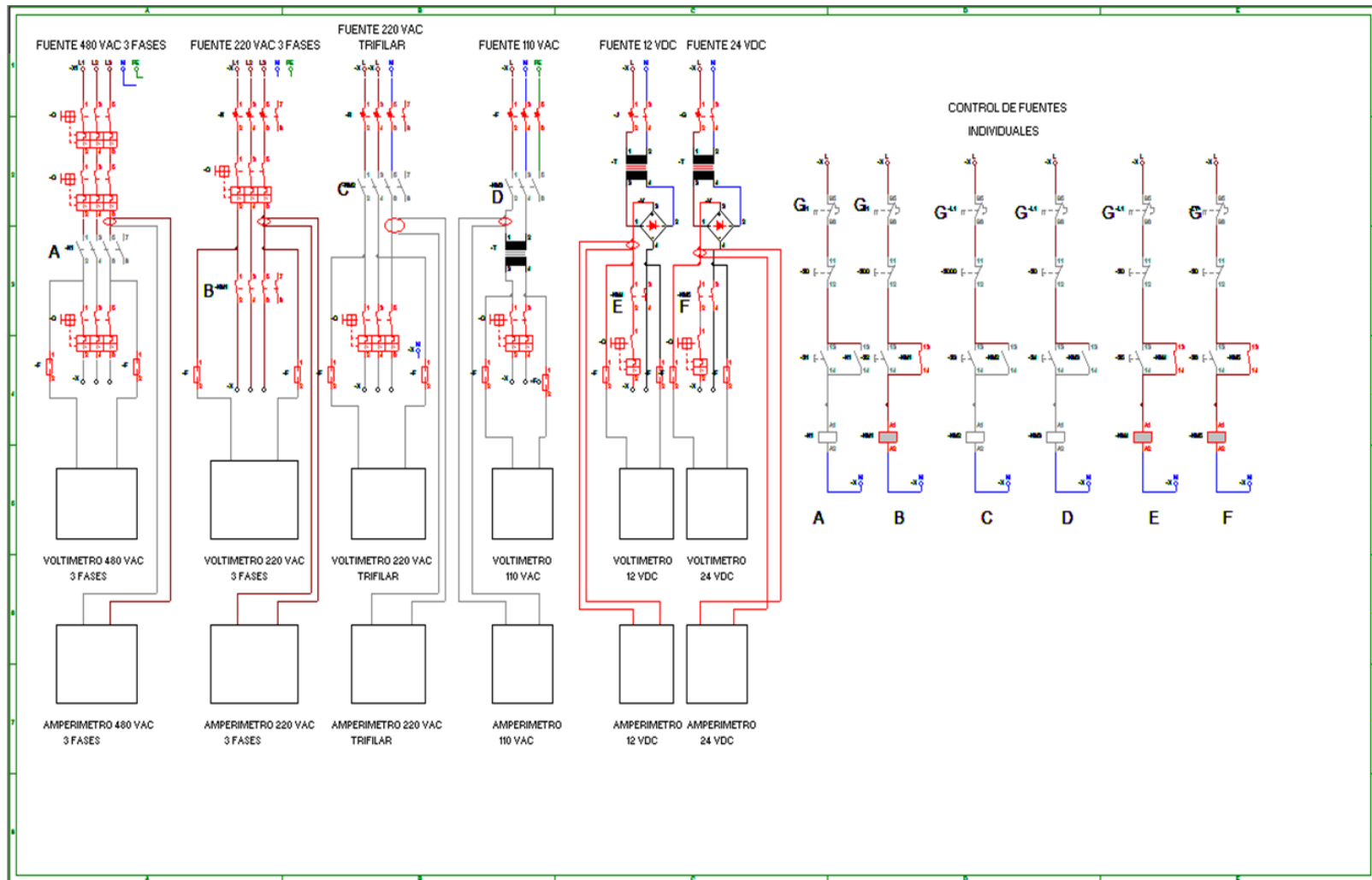


Ilustración 51. Simulación del diagrama eléctrico de fuentes eléctricas y módulo de medición y instrumentación metrológica

Fuente: Elaborado por autores

5.5.2 VALIDACIÓN DEL DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MÓDULO DE SELECCIÓN Y CONMUTACIÓN

Para la validación de este diseño se han realizado diferentes simulaciones con ayuda del programa CADE_SIMU correspondientes para el diagrama del módulo selección y conmutación mostrada en la Ilustración 45.

En este primer caso se puede observar en la Ilustración 52 que como primer punto se seleccionó el equipo que se utilizara en la prueba.



Ilustración 52. Selección de equipo de caso 1

Fuente: Elaborado por autores

En la ilustración 53 se muestra la selección de la fuente eléctrica necesaria para la operación del equipo que se puede encontrar en el diagrama mostrado en la ilustración 46 de la sección 5.4.3.2.

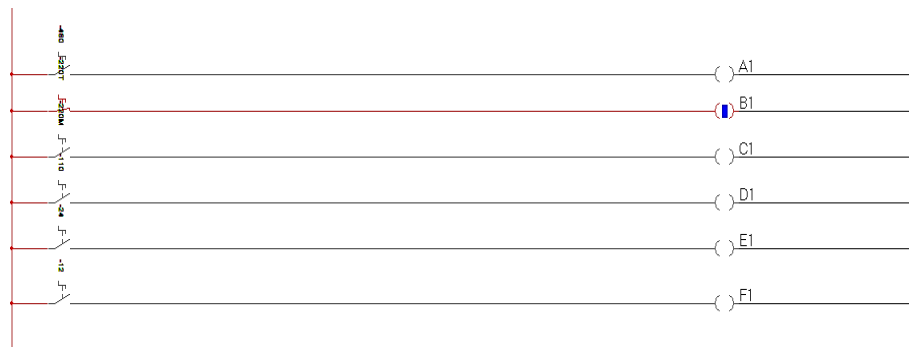


Ilustración 53. Selección de fuente eléctrica de caso 1

Fuente: Elaborado por autores

Una vez realizada la elección se puede comprobar que la simulación ha resultado exitosa para este caso como se puede observar en la ilustración 54 debido a que se activa la fuente requerida e inhabilita las demás fuentes evitando así un fallo de operación.

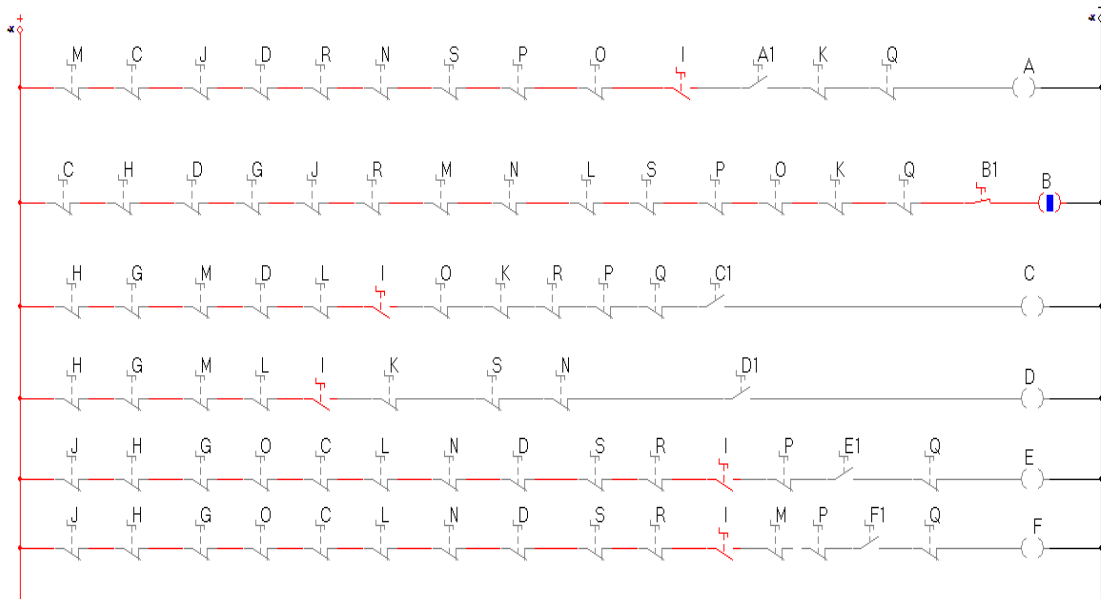


Ilustración 54. Resultado de caso 1

Fuente: Elaborado por autores

Como segundo caso en la ilustración 55 se puede muestra la selección una fuente distinta a la requerida por el equipo.

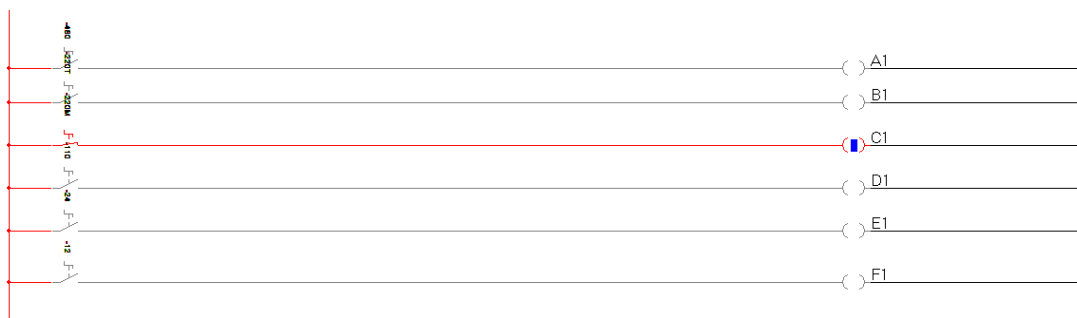


Ilustración 55. Selección de fuente en caso 2

Fuente: Elaborado por autores

El sistema no permitió la activación de ninguna fuente eléctrica como se puede observar en la ilustración 56 de esta manera cumpliendo con las especificaciones requeridas para este módulo.

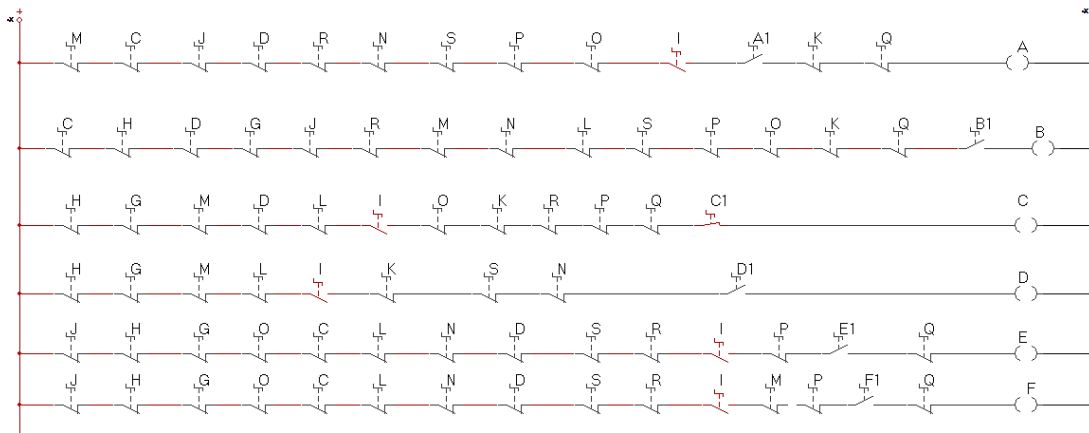


Ilustración 56. Resultado de caso 2

Fuente: Elaborado por autores

Como tercer caso se puede observar en la ilustración 57 ha sido seleccionado otro equipo disponible en el simulador.

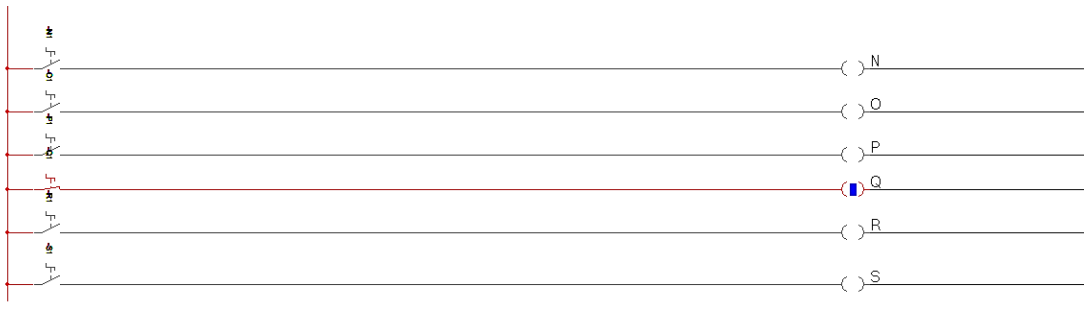


Ilustración 57. Selección de equipo de caso 3

Fuente: Elaborado por autores

En la ilustración 58 se muestra la selección de la fuente eléctrica correspondiente según el diagrama mostrado en la ilustración 46 de la sección 5.4.3.2.

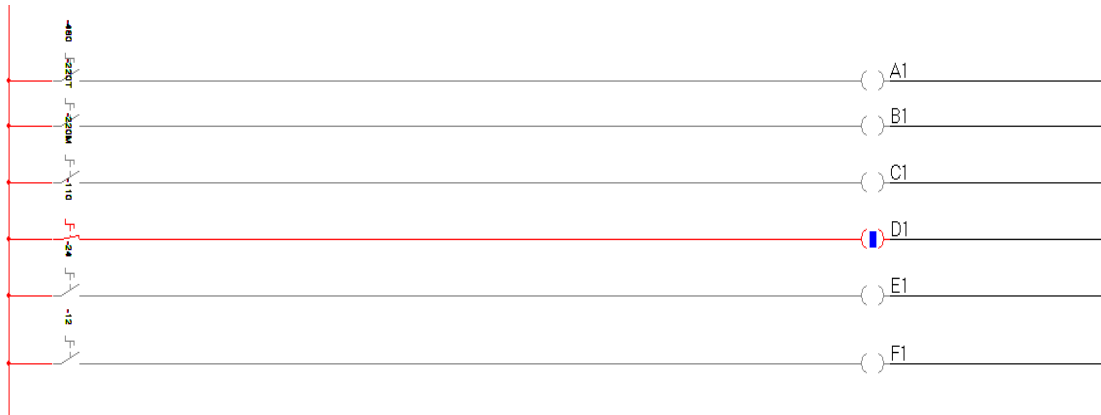


Ilustración 58. Selección de fuente eléctrica caso 3

Fuente: Elaborado por autores

Como puede observarse en la ilustración 59 el resultado fue satisfactorio de la misma manera que el primer caso al activarse solamente la fuente que le corresponde al equipo elegido y la inhabilitación de las otras fuentes eléctricas en caso el proceso se realice correctamente.

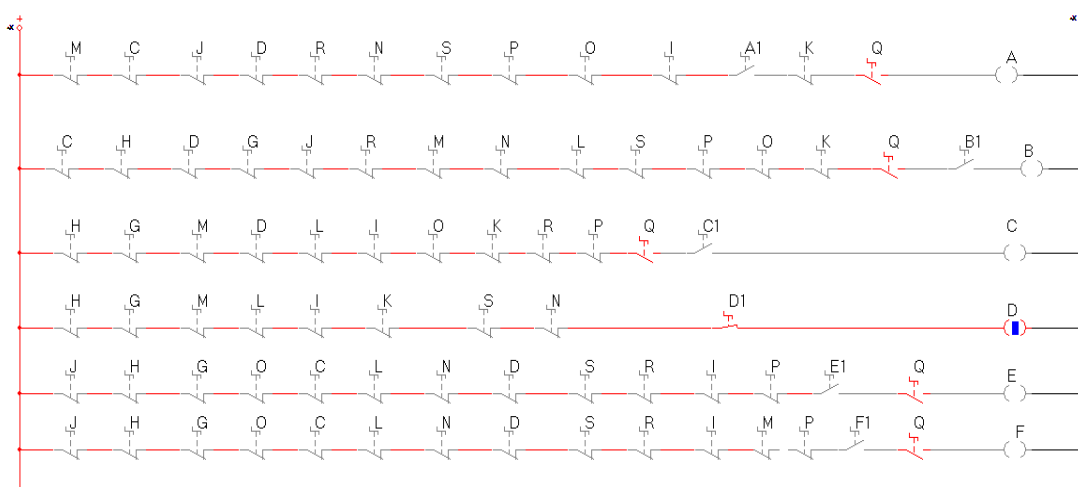


Ilustración 59. Resultados de caso 3

Fuente: Elaborado por autores

Para la validación de este diseño se ha adaptado el diagrama presentado en la ilustración 45 de la sección 5.4.3.2 de manera que pueda ser simulado por medio el programa CAdE_SIMU.

Los resultados de las simulaciones han sido satisfactorios ya que cumple con las distintas condiciones que se requieren en este módulo.

En este caso esta simulación cuenta con la leyenda que puede ser observada en la ilustración 60 correspondiente a este diagrama tomando en cuenta las adaptaciones realizadas al diagrama original del módulo.

El diagrama eléctrico total que se ha utilizado en la realización de esta simulación se muestra en el anexo 2.

LEYENDA		
A. FUENTE 480 VAC 3 FASES	K. MOTOR DC	A1. SELECCION FUENTE 480 VAC 3 FASES
B. FUENTE 220 VAC 3 FASES	L. MOTOR AC	B1. SELECCION FUENTE 220 VAC 3 FASES
C. FUENTE 220 VAC TRIFILAR	M. CONTROL DE MANDO	C1. SELECCION FUENTE 220 VAC TRIFILAR
D. FUENTE 110 VAC	N. RESISTENCIA DE DUCHA	D1. SELECCION FUENTE 110 VAC
E. FUENTE 24 VDC	O. RESISTENCIA DE PLANCHA	E1. SELECCION FUENTE 24 VDC
F. FUENTE 12 VDC	P. MICROONDAS	F1. SELECCION 12 VDC
G. VARIADOR AC	Q. BOMBA	
H. VARIADOR DC	R. ILUMINACION	
I. BANCO DE CAPACITORES	S. RESISTENCIA DE ESTUFA	
J. RESISTENCIA DE BANDA		

Ilustración 60. Leyenda utilizada en simulación del diagrama de selección y conmutación

Fuente: Elaborado por autores

5.5.3 VALIDACIÓN DEL DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MÓDULO DE EQUIPOS DOMÉSTICOS

Una vez se hayan cumplido distintas condiciones en las cuales los equipos domésticos hayan sido seleccionados en el módulo de selección y conmutación, se realizó la simulación de la activación y desactivación manual de cada uno de los equipos domésticos por medio de un mando de control individual con el programa CAdE_SIMU como puede observarse en la Ilustración 61.

Se ha comprobado la validez del diagrama eléctrico y que este cumple con las distintas especificaciones requeridas en el módulo para controlar los equipos de manera individual. Por lo cual el diseño de este diagrama eléctrico y el resultado de la simulación han sido corroborados y aprobados por DEC.

La simulación se ha realizado de manera de poder observar la funcionalidad del circuito eléctrico sin tomar en cuenta valores de operación reales debido a la imposibilidad del programa CAdE_SIMU.

Para la realización de la simulación de la misma manera se ha tomado en cuenta la leyenda mostrada en la Ilustración 47 de la sección 5.4.3.3 correspondiente al diagrama eléctrico de este módulo.

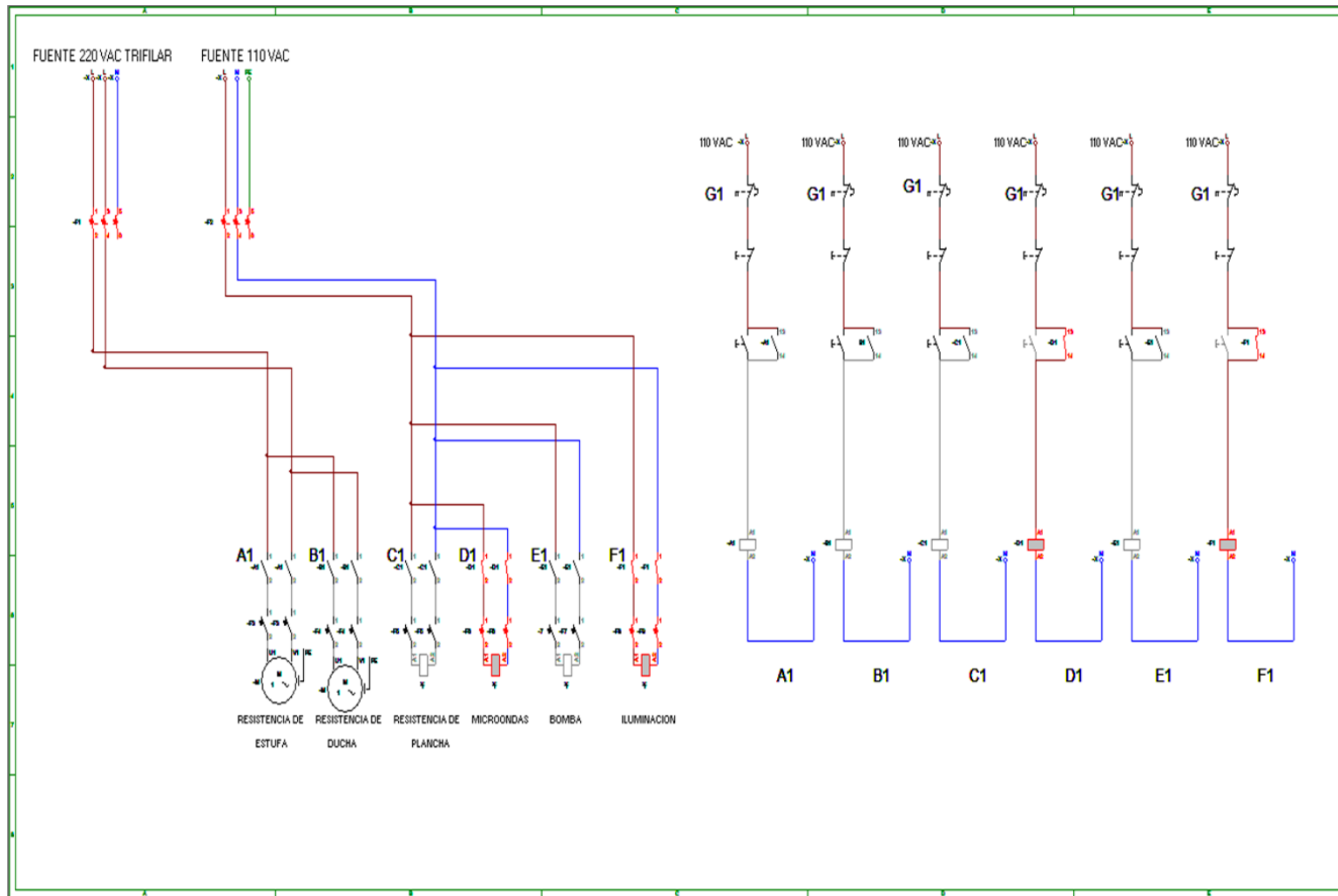


Ilustración 61. Simulación del diagrama eléctrico del módulo de equipos domésticos

Fuente: Elaborado por autores

5.5.4 VALIDACIÓN DE MODULO DE EQUIPOS INDUSTRIALES

De la misma manera que el módulo de equipos domésticos, para la validación del diseño del módulo de equipos industriales se ha realizado la simulación de la funcionabilidad del diagrama eléctrico del mismo y como estos responden a las diferentes condiciones que se requieren de diseño.

Como se muestra en la Ilustración 62 por medio de la utilización de CAdE_SIMU. Se ha simulado el control individual de activación y desactivación de cada uno de los equipos industriales que componen este módulo tomando en cuenta que de la misma manera que el módulo de equipos domésticos depende de que se cumplan las condiciones ideales en el módulo de selección y conmutación que permita la utilización del módulo y de los equipos que lo componen.

La simulación ha sido satisfactoria debido a que obedeciendo con las condiciones ideales se permite ya sea activar o desactivar libremente cualquier equipo industrial de este módulo sin tomar en cuenta cumpliendo así las condiciones de diseño de este módulo aprobadas por DEC.

Cabe recalcar que para la realización de esta simulación se ha tomado en cuenta la leyenda correspondiente para el diagrama eléctrico que se muestra en la Ilustración 49 de la sección

5.4.3.4

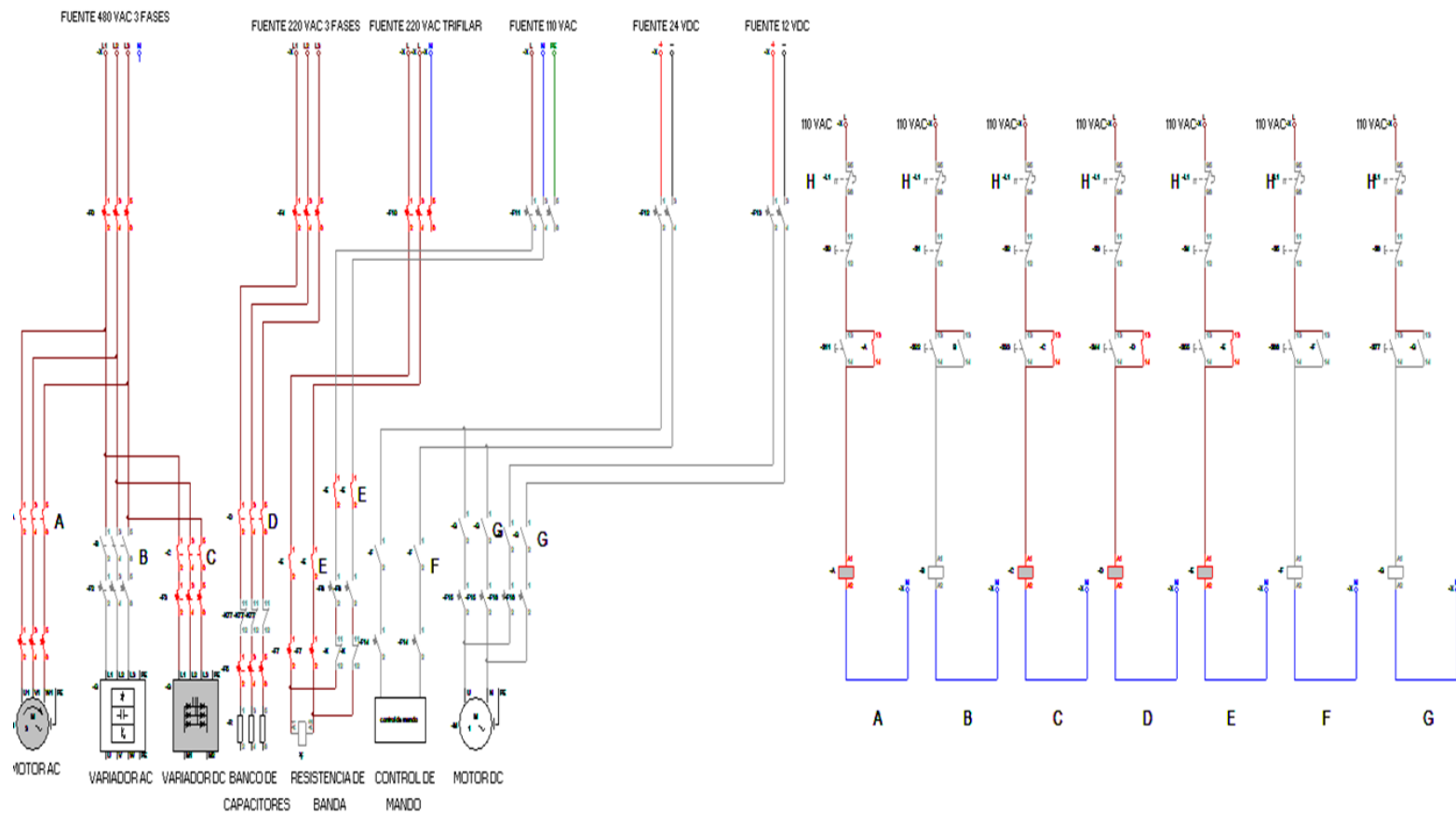


Ilustración 62. Simulación del diagrama eléctrico del módulo de equipos industriales

Fuente: Elaborado por autores

5.6 PRESUPUESTO

El presupuesto final del proyecto tiene un valor de LPS. 260,004.13, cabe mencionar que no se han considerado los costos de mano de obra, ya que estos costos están fuera del alcance de este proyecto.

Es importante recalcar que los costos individuales de cada módulo y sus componentes se encuentran en la sección 4.4 de Materiales. En la Tabla a continuación se muestran los costos totales en dólares y lempiras, utilizando una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar, del 2 de Octubre del 2019.

Tabla 15. Presupuesto final

Módulo	Costo Final (USD.)	Costo Final (LPS.)
Módulo de Fuentes Eléctricas	\$ 1256.73	L 30,790.00
Módulo de Instrumentación Metrológica	\$ 1,618.41	L 39,651.07
Módulo de Selección y Conmutación	\$ 1,069.03	L 26,191.20
Módulo de Equipos Domesticas	\$ 988.16	L 24,210.00
Módulo de Equipos Industriales	\$ 5,360.12	L 131,322.86
Cámara de Flama	\$ 319.96	L 7,839.00
COSTO TOTAL	\$ 10,612.41	L 260,004.13

Fuente: Elaborado por autores

Se utilizó una tasa de cambio de 24.5 lempiras es igual a 1 dólar del 2 de octubre del 2019.

5.7 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La factibilidad de desarrollo del proyecto depende en su mayoría del análisis de las ventajas y desventajas que supondría la elaboración de dicho proyecto. Debido a esto, se analizó y determino, en conjunto con DEC, todos los factores que influyen en la factibilidad de desarrollo del proyecto. Dichos factores se mencionan en la Tabla 16.

Tabla 16. Análisis de factibilidad

Ventajas	Desventajas
Genera confiabilidad en el proceso de producción	Fabricación costosa
Genera confiabilidad en el cliente	Requiere personal calificado para su operación
Asegura cumplimientos de normativas	Posibles riesgos de seguridad
Funcionamiento con diversos calibres	Algunas partes a fabricar no son comunes
Es innovador	No es fabricado por una marca reconocida
Permite comprobar en tiempo real la ampacidad en los conductores	Tiempo requerido para montaje e implementación

Fuente: Elaborado por autores

En base a un análisis, en conjunto con DEC, de los factores anteriormente mencionados se concluyó que el proyecto es factible para la empresa debido a que cuentan con la mayoría de recursos para su desarrollo y la inversión sería beneficiosa para mejorar el proceso de producción en cable THHN/THWN-2 y así incrementando la confiabilidad del cliente en su producto.

Cabe recalcar que la factibilidad de desarrollo dependerá directamente de los recursos y presupuesto que tenga en disponibilidad la empresa interesada en desarrollar el proyecto.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de un simulador de monitoreo de calidad en cables eléctricos THHN/THWN-2. Con la capacidad de realizar pruebas de ampacidad, caídas de tensión, capacidad de corrientes mínimas y máximas, resistencia de aislamiento, así como de temperatura de operación
- Se realizó el análisis de cuatro equipos especializados en pruebas de calidad en cables eléctricos con el motivo de desarrollar un conocimiento previo sobre equipos relacionados existentes.
- Se logró determinar las pruebas de calidad más comunes a las cuales son sometidos los cables eléctricos, mediante la entrevista a dos ingenieros especializados en producción de cables eléctricos.
- Se logró definir las pruebas de calidad a realizar con la utilización del simulador, basado en las necesidades de la empresa en el cumplimiento de normativas de calidad en su proceso de producción.
- Se realizó el diseño de cinco módulos y sus diagramas eléctricos, así como el diseño de una cámara de flama que compondrán la totalidad del diseño mediante la utilización del software Autodesk Inventor y CAdE_SIMU.
- Se logró la validación del diseño del simulador de cables eléctricos mediante la realización de distintas simulaciones, estrictamente de funcionamiento, en los diagramas eléctricos con ayuda de CAdE_SIMU y posterior aprobación de dichas simulaciones por parte de DEC.
- Se logró realizar un presupuesto individual por módulo, así como un presupuesto total de LPS. 260,004.13 que conllevaría la manufactura del simulador sin tomar en cuenta gastos de mano de obra.

- Se determinó la factibilidad del desarrollo del proyecto mediante un análisis en conjunto con DEC de los distintos beneficios y desventajas que conllevaría la implementación del proyecto.

VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar un software de simulación de diagramas eléctricos con la capacidad de establecer valores de operación reales en las simulaciones
- Realizar la instalación del simulador en un lugar cerrado que no esté expuesto a líquidos asimismo con dimensiones mayores a las que posee el simulador.
- Señalizar todos los módulos con las medidas de seguridad necesarias para su correcta operación.
- Utilizar mayor cantidad de relés de estado sólido en lugar de contactores con el motivo de reducir costos.
- Simplificar la cantidad de conductores a evaluar a solamente un cable por calibre.
- Cambiar los distintos medidores en el módulo de medición e instrumentación metrológica a un solo medidor global mediante la utilización de una tarjeta de data acquisition, un medidor múltiple y una HMI ilustrativa.

VIII. APLICABILIDAD

El proyecto está pensado y diseñado para poder ser implementado en DEC, pero esto no limita el hecho de que el simulador pueda ser implementado en cualquier empresa enfocada al ámbito de la producción de cables eléctricos o empresa encargada de monitorear la calidad de cables en instalaciones eléctricas. Es importante resaltar que el propósito del simulador es que este sea utilizado en el proceso de producción de cables eléctricos THHN/THWN-2, sin embargo, no se elimina la opción que proyectos futuros adapten este prototipo para su utilización en otros tipos de cables.

IX. TRABAJO FUTURO

Como siguiente paso a la elaboración del diseño, se plantea la manufactura, montaje e implementación del simulador en las instalaciones de la empresa interesada.

Debido a que este simulador está pensado para ser operado por personal calificado y entrenado, se propone la posibilidad de realizar un manual de operación del simulador en donde se especifiquen todas las medidas de seguridad a seguir, así como el funcionamiento de cada módulo, para de esta forma evitar la mala operación del sistema y disminuir los posibles riesgos a los que se puede exponer el operario.

Una evolución del proyecto sería la ampliación de tipos de cables eléctricos que podrían ser evaluados en el simulador, y de esta forma no limitarse a cables tipo THHN/THWN-2.

BIBLIOGRAFÍA

1. AEMC. (2019). Instrumentos de Pruebas y Mediciones. *AEMC Instruments*, 144.
2. ANIXTER. (2019). *ANIXTER*. Obtenido de https://www.anixter.com/en_ca/resources/literature/wire-wisdom/csa-flame-tests.html
3. ANSI. (2019). *ANSI*. Recuperado el 1 de 11 de 2019, de https://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview?menuid=1
4. AreaTecnologia. (08 de 10 de 2015). *AreaTecnología*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/cables-conductores.html>
5. ASNT. (2019). *ASNT*.
6. Black, R. M. (1983). *Electric Cables History*. London: Peter Peregrinus LTD.
7. Chauvin Arnoux. (2016). Guia de la medicion de aislamiento. *Chauvin Arnoux*, 28.
8. Cisneros Martin, G. (2015). *UF1964 - Conexionado de componentes en equipos eléctricos y electrónicos*. Elearning.
9. Davis, B. E. (2015). *Estados Unidos Patente n° 10094866*.
10. Diamond Electric Company. (05 de Diciembre de 2019). Costos de pruebas de calidad.
11. Editor. (2017). *Polytechnic Hub*. Recuperado el 13 de 11 de 2019, de <https://www.polytechnichub.com/advantages-disadvantages-digital-voltmeter-analog-voltmeter/>
12. ElectroIndustria. (2018). Importancia de los Estandares y la Normativa. *Revista ElectroIndustria*.
13. Farina. (2019). Tableros Electricos. *Cadime*.
14. Garrido, H. A. (2017). *Tópicos Tecnológicos, Científicos Y Ambientales*. Palibrio.

15. Gurdita, A. (2019). *all3dp*. Obtenido de <https://all3dp.com/1/autodesk-inventor-free-download-full-version/>
16. ICEA. (2019). *ICEA*. Recuperado el 2 de 11 de 2019, de <https://www.icea.net/>
17. IEC. (19 de 10 de 2019). *IEC*. Obtenido de <https://www.iec.ch/about/activities/?ref=menu>
18. INCABLE. (6 de 11 de 2019). *Calidad*. Obtenido de <http://www.incable.com/laboratorio>
19. Inspectioneering. (2019). *Inspectioneering*. Recuperado el 3 de 11 de 2019, de <https://inspectioneering.com/tag/nondestructive+testing>
20. INTERTEK. (2019). *INTERTEK*. Recuperado el 25 de 10 de 2019, de <https://www.intertek.com/>
21. ISO. (2019). *ISO*. Recuperado el 11 de 11 de 2019, de <https://www.iso.org/standard/62085.html>
22. Johnny. (21 de 09 de 2018). *Website of Johnny*. Recuperado el 25 de 10 de 2019, de <http://www.shin-pla.info/the-advantages-of-the-thhn-wire/>
23. LabTesting. (2019). *Lab Testing*. Recuperado el 4 de 11 de 2019, de <https://www.labtesting.com/services/materials-testing/corrosion-testing/>
24. Lipscomb, D. (23 de 10 de 2019). *Differences Between THHN & THWN Wire*. Obtenido de <https://www.hunker.com/13711363/a-homeowners-guide-to-electrical-wire-and-cable>
25. Marlew. (2019). *Cables y conductores*, 42.
26. Martin-King, P. (09 de 2011). *IEC*. Recuperado el 19 de 10 de 2019, de <https://iecetech.org/index.php/issue/2011-09/Electric-cables>
27. MásVoltaje. (27 de 04 de 2016). *Más Voltaje*. Recuperado el 10 de 20 de 2019, de <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
28. Megger. (2008). Instrumentos de Pruebas Electricas y Medición. *Megger*, 41.

29. Megger. (2019). *Pruebas de soporte y sobretensión en CC*. Recuperado el 6 de 11 de 2019, de <https://csa.megger.com/products/prueba-y-diagnostico-de-cables/prueba-y-diagnostico-cables/dc-cable-testing>
30. NEMA. (2019). *NEMA*. Recuperado el 2 de 11 de 2019, de <https://www.nema.org/About/pages/default.aspx>
31. OMICRON. (2019). *OMICRON*. Obtenido de <https://www.omicronenergy.com/es/aplicaciones/pruebas-y-monitoreo-de-cables/puesta-en-marcha-diagnostico-medicion-de-la-impedancia-en-cables-electricos/>
32. Quijada, J. (2019). *Ensayos Destructivos*.
33. RAE. (2019). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=ZZrg2qV>
34. RAE. (2019). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=AD1o5X3>
35. RISE. (2019). Cable and Material Fire Testing. *RISE*, 4.
36. Sikora. (2016). Instruction Manual Stark 2000 UL. *Sikora*, 76.
37. TIA. (2019). *TIA*. Recuperado el 1 de 11 de 2019, de <https://www.tiaonline.org/what-we-do/standards/>
38. UL. (2019). *UL*. Obtenido de https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_83_16
39. UnderwriterLaboratories. (17 de 10 de 2019). *Wire and Cable*. Obtenido de <https://www.ul.com/offerings/wire-and-cable>
40. UPV. (2019). *El curso de ciencia de los materiales*. Obtenido de <http://personales.upv.es/~avicente/curso/unidad2/traccion.html>
41. UPV. (2019). *UPV*. Recuperado el 5 de 11 de 2019, de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/ptrb2_2_4.html
42. Valero, A. (2019). *Metodos de prueba y evaluación de corrosión*. El Dividive.

43. Valvospain. (2019). *Valvospain*. Recuperado el 3 de 11 de 2019, de <http://www.valvospain.com/es/valvulas/ensayos.php>
44. Waygood, A. (2013). *An Introduction to Electrical Science*. Routledge.
45. William D. Callister, J. (2007). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 2*. Barcelona: REVERTÉ, S.A.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de aprobación de diseño de simulador de pruebas de calidad en cables THHN/THWN-2



4 de Noviembre de 2019

Estimados **Lisandro Andrés Mendoza Reyes** y **Heyller Jafeth Lagos Galindo**:

Durante este día hemos revisado los distintos diseños de cada módulo del simulador de pruebas de calidad de cables eléctricos THHN/THWN-2. Se ha aprobado el concepto de distribución y enlace de cada módulo, se ha validado la correcta distribución de cada componente eléctrico.

Se ha verificado la ampacidad de cada componente y que cumpla con los requerimientos eléctricos NEMA y UL

Se ha validado la funcionalidad de las simulaciones de los distintos diagramas eléctricos propuestos para cada módulo cumpliendo con los requerimientos establecidos de una buena práctica eléctrica

El concepto de diseño del simulador presentado cumple con los requerimientos solicitados por Diamond Electric Company.

Un cordial saludo,

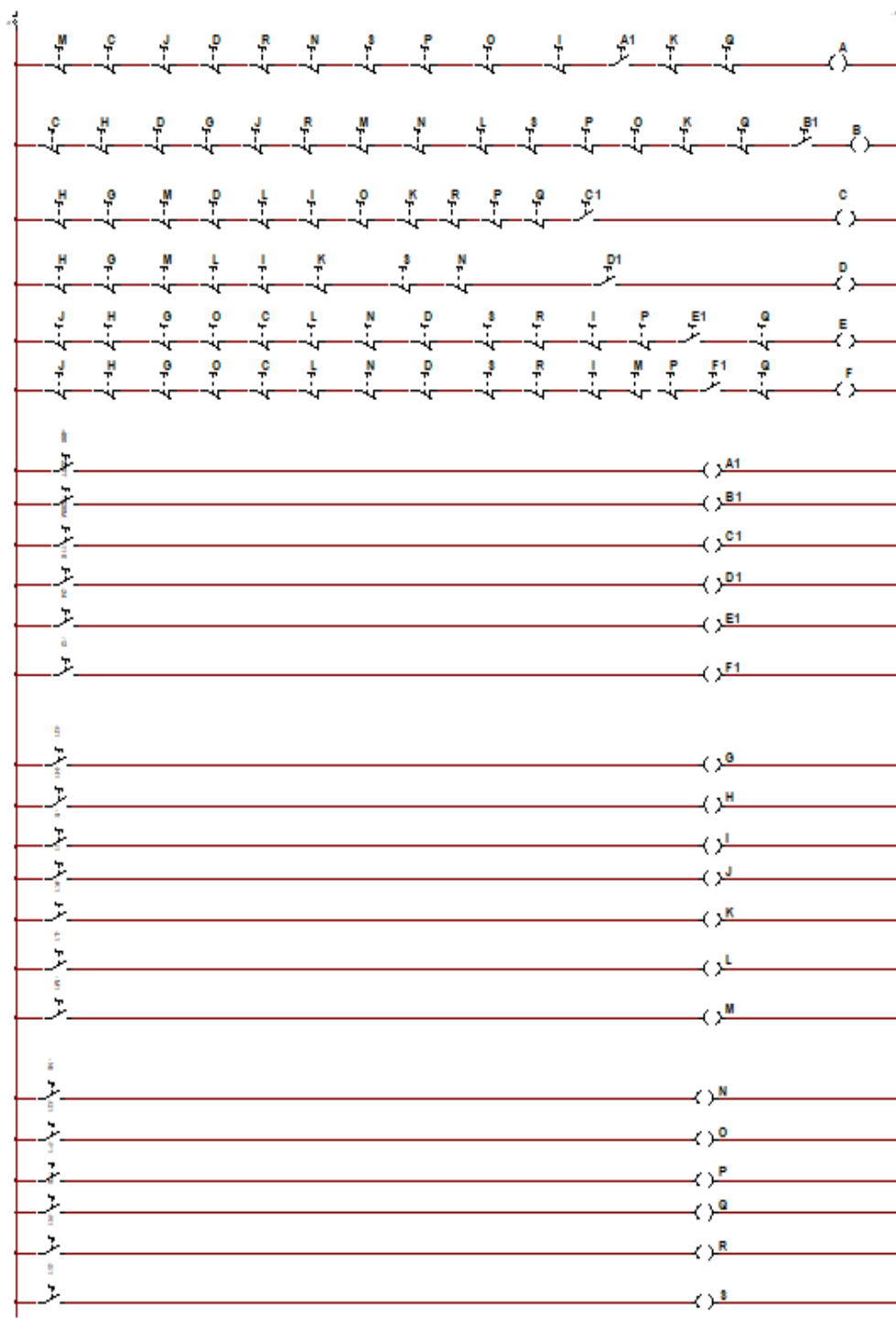

Ing. Martin Eduardo Rosales
Gerente Administrativo



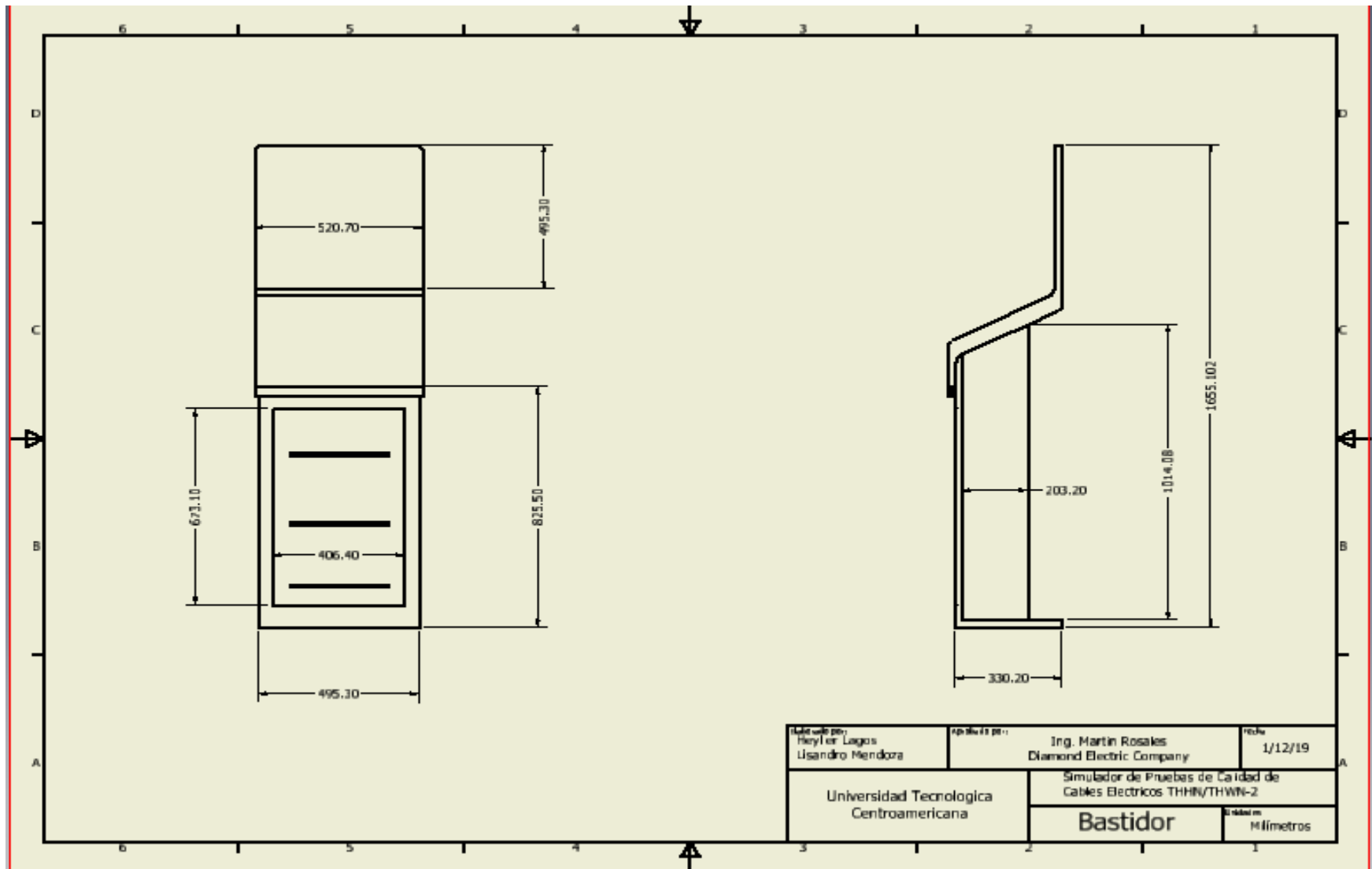
Salida carretera a Olancho, frente a Mall Premier, Honduras C.A.
Tel. +504 2223-5214

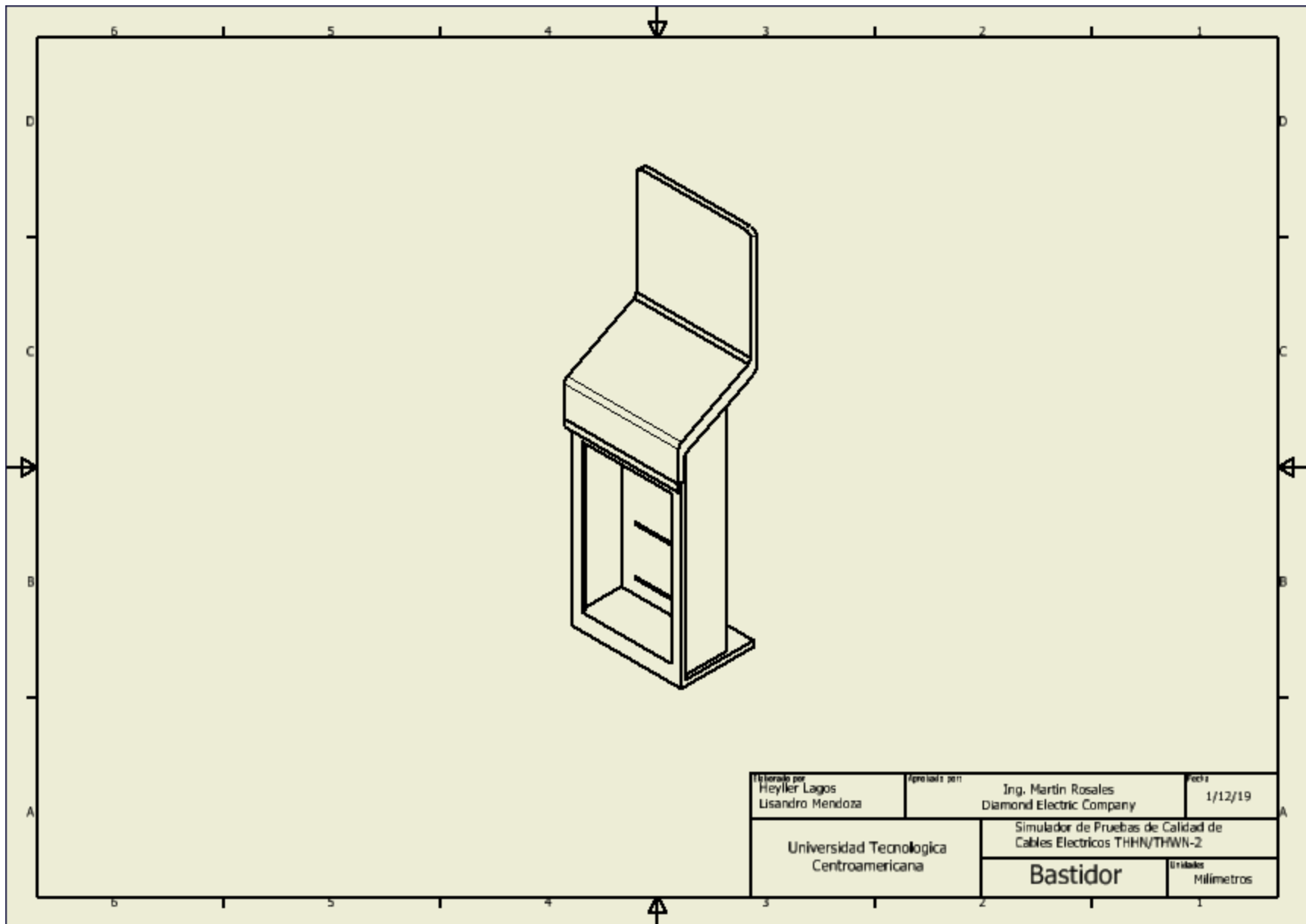


Anexo 2. Diagrama de simulación de módulo de selección y conmutación

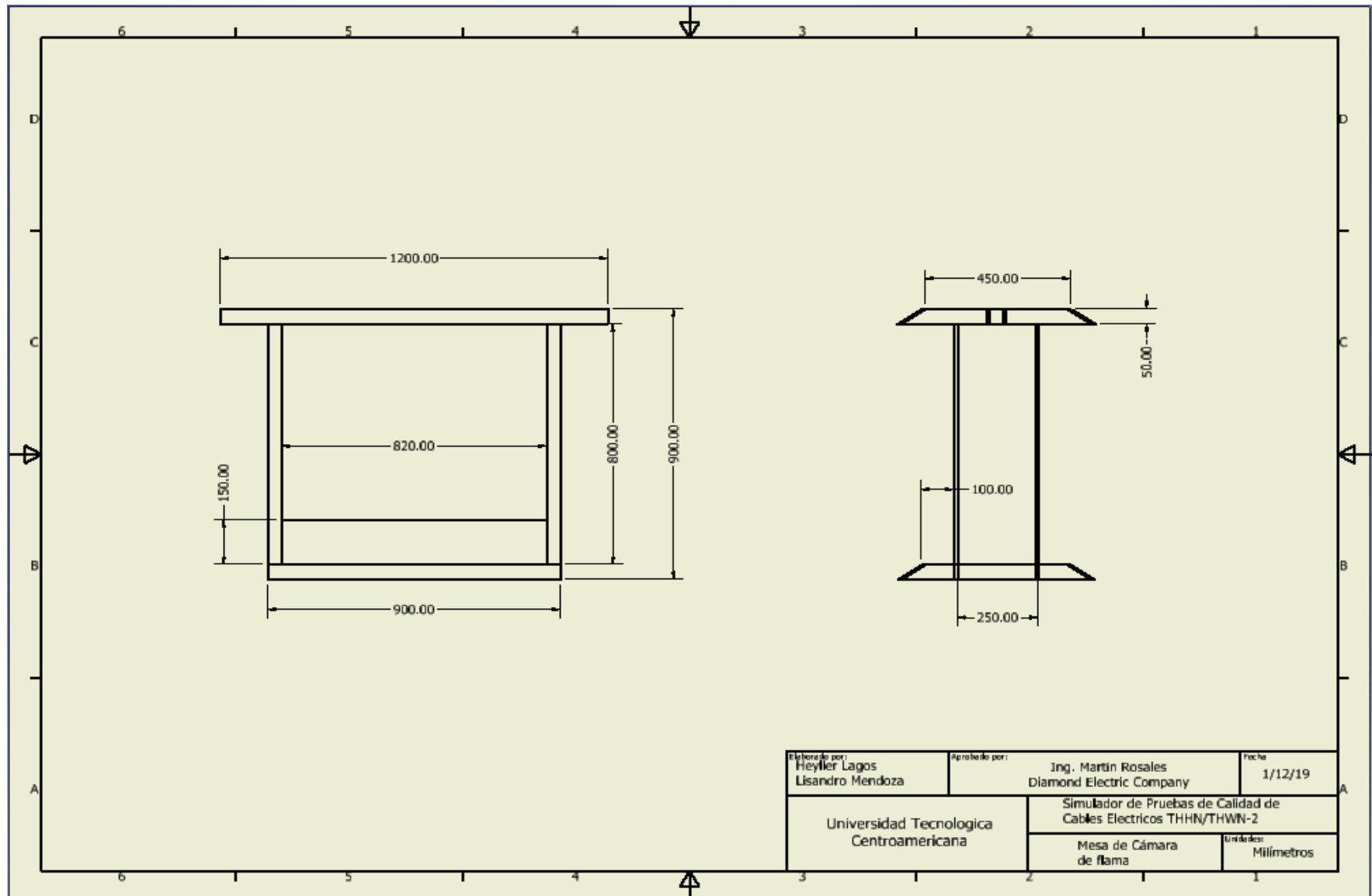


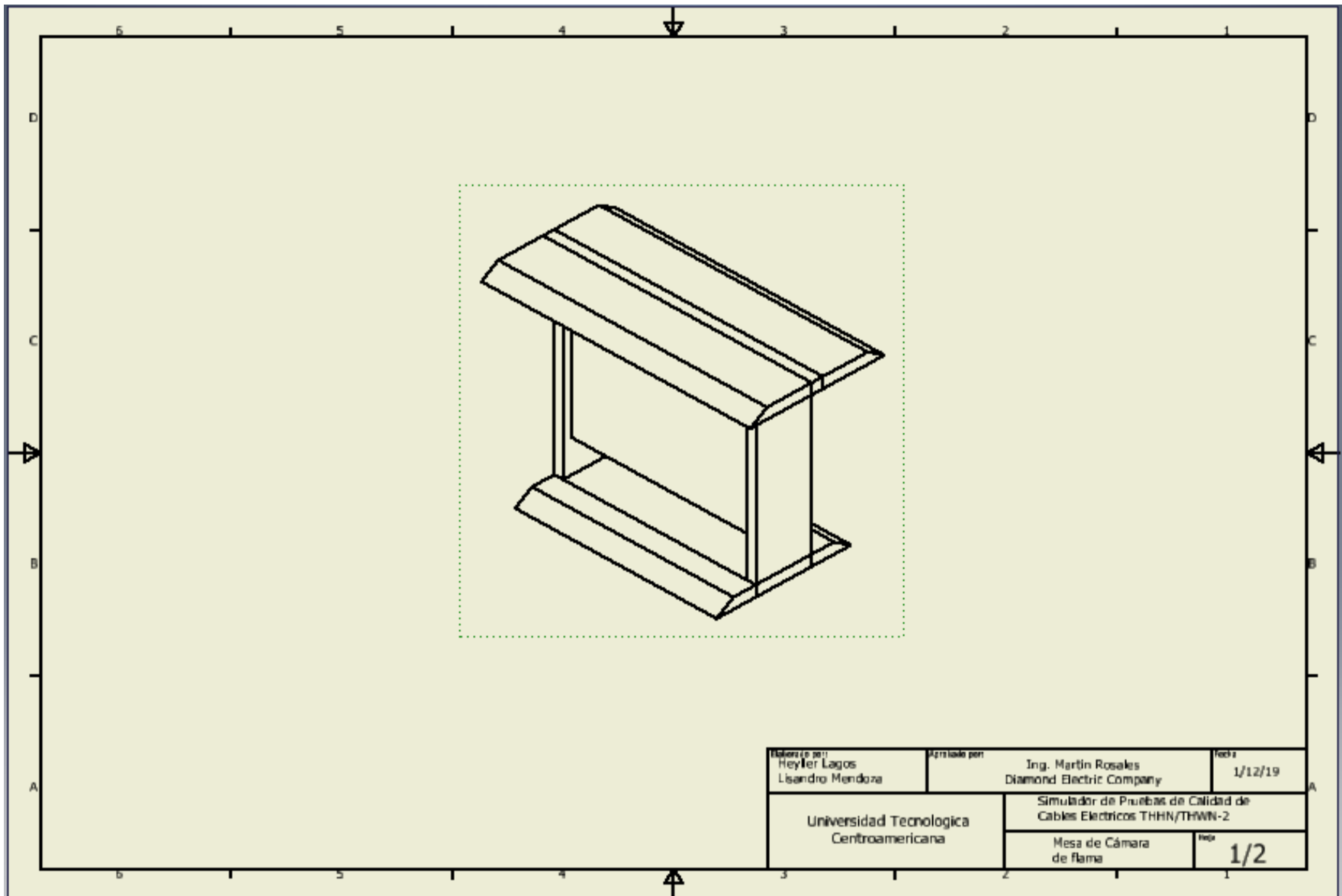
Anexo 3. Planos de bastidor





Anexo 4. Planos de mesa de la cámara de flama





Anexo 5. Planos de la cámara de flama

