



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN
FORMA DE CALOR DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS
REVESTIDOS CON COBERTURA DE VINILO DE
POLICLORURO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

LEONARDO DAVID ZAMORA SOLÍS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN
FORMA DE CALOR DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS
REVESTIDOS CON COBERTURA DE VINOLO DE
POLICLORURO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: LEONARDO DAVID ZAMORA SOLÍS

DIRECTOR: Ing. EDUARDO SEGUNDO HERNÁNDEZ DÁVILA Mgs

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Leonardo David Zamora Solís**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Leonardo David Zamora Solís, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2022



Leonardo David Zamora Solís

180491602-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, “**DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN FORMA DE CALOR DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS REVESTIDOS CON COBERTURA DE VINILO DE POLICLORURO MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA**”, realizado por el señor: **LEONARDO DAVID ZAMORA SOLÍS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán Mgs
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA  FECHA
2022-03-23

Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila Mgs
DIRECTOR DE TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

 2022-03-23

Ing. Julio Eduardo Cajamarca Villa Mgs
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

 2022-03-23

DEDICATORIA

Dedico con mucho cariño este proyecto de investigación a mi querida madre Jacqueline por ser mi apoyo incondicional desde siempre, y a toda mi familia que me brindaron sus buenos consejos para seguir adelante.

David Zamora

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser inspiración principal en mi vida, a mi madre y mis familiares que siempre me han brindaron su apoyo en mi carrera, a mi hermana y su apoyo incondicional.

Así también a mi director de tesis, Ing. Eduardo Hernández e Ing. Julio Cajamarca asesor, por sus conocimientos sólidos y su ayuda desinteresada me ayudaron en la elaboración de este proyecto. Y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ser útil para la sociedad y el país.

David Zamora

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
SUMMARY.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación y Actualidad.....	2
1.3 Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5 Conductores eléctricos y aislantes.....	5
1.5.1 <i>Conductor eléctrico</i>	5
1.5.2 <i>Semiconductor</i>	5
1.5.3 <i>Aislantes</i>	6
1.5.4 <i>Aislamientos de conductores eléctricos</i>	7
1.5.5 <i>Normativa para diseño y fabricación de conductores</i>	8
1.6 Resistencia eléctrica.....	8
1.6.1 <i>Resistencia de un conductor eléctrico</i>	9
1.6.2 <i>Resistencia del aislamiento</i>	10
1.6.3 <i>Factores que determinan la resistencia de un conductor eléctrico</i>	11
1.6.3.1 <i>La longitud de un conductor eléctrico</i>	11
1.6.3.2 <i>El área de la sección transversal de un conductor eléctrico</i>	11
1.6.3.3 <i>La temperatura de un conductor eléctrico</i>	12
1.6.3.4 <i>El tipo de material del conductor eléctrico</i>	12
1.6.3.5 <i>Resistencia de la cobertura del conductor o aislante</i>	13
1.6.4 <i>Potencia eléctrica</i>	13
1.6.5 <i>Caída de tensión</i>	14
1.6.6 <i>Efecto Joule</i>	14

1.7	Pérdidas de energía en conductores eléctricos	15
<i>1.7.1</i>	<i>Pérdidas técnicas</i>	<i>16</i>
<i>1.7.2</i>	<i>Pérdidas no técnicas</i>	<i>16</i>
<i>1.7.3</i>	<i>Pérdida de potencia en forma de calor</i>	<i>17</i>
<i>1.7.4</i>	<i>Efecto pelicular</i>	<i>19</i>
<i>1.7.5</i>	<i>Efecto Proximidad</i>	<i>19</i>
1.8	Termografía infrarroja	20
<i>1.8.1</i>	<i>Radiación infrarroja</i>	<i>21</i>
<i>1.8.2</i>	<i>Espectro electromagnético.....</i>	<i>22</i>
<i>1.8.3</i>	<i>Espectro visible</i>	<i>24</i>
<i>1.8.4</i>	<i>Temperatura.....</i>	<i>24</i>
<i>1.8.5</i>	<i>Calor.....</i>	<i>25</i>
<i>1.8.6</i>	<i>Calor específico.....</i>	<i>25</i>
<i>1.8.7</i>	<i>Transferencia de calor.....</i>	<i>26</i>
<i>1.8.7.1</i>	<i>Transferencia de calor por conducción.....</i>	<i>26</i>
<i>1.8.7.2</i>	<i>Transferencia de calor por convección</i>	<i>27</i>
<i>1.8.7.3</i>	<i>Transferencia de calor por radiación.....</i>	<i>27</i>
<i>1.8.8</i>	<i>Leyes de la Termodinámica.....</i>	<i>28</i>
<i>1.8.8.1</i>	<i>Ley cero de la Termodinámica</i>	<i>28</i>
<i>1.8.8.2</i>	<i>Primera ley de la termodinámica</i>	<i>28</i>
<i>1.8.8.3</i>	<i>Segunda ley de la termodinámica.....</i>	<i>29</i>
<i>1.8.8.4</i>	<i>Tercera ley de la termodinámica.....</i>	<i>29</i>
<i>1.8.8.5</i>	<i>Ley de Kirchoff</i>	<i>30</i>
<i>1.8.8.6</i>	<i>Balance de energía</i>	<i>31</i>
1.9	Termografía en conductores eléctricos	32
<i>1.9.1</i>	<i>Características de la termografía infrarroja.....</i>	<i>32</i>
1.10	Tipos de termografía	33
<i>1.10.1</i>	<i>Termografía comparativa.....</i>	<i>33</i>
<i>1.10.2</i>	<i>Termografía inicial.....</i>	<i>33</i>
<i>1.10.3</i>	<i>Termografía cualitativa.....</i>	<i>34</i>
<i>1.10.4</i>	<i>Inspecciones cuantitativas.....</i>	<i>34</i>
<i>1.10.5</i>	<i>Factores que inciden en el análisis termográfico.....</i>	<i>35</i>
<i>1.10.5.1</i>	<i>Carga.....</i>	<i>35</i>
<i>1.10.5.2</i>	<i>Atenuación atmosférica.....</i>	<i>35</i>
<i>1.10.5.3</i>	<i>Emisividad</i>	<i>35</i>
<i>1.10.5.4</i>	<i>Velocidad del viento</i>	<i>36</i>

1.10.5.5	<i>Campos magnéticos</i>	36
1.10.5.6	<i>Lluvia</i>	36
1.11	Cámara termográfica	36
1.12	Aplicación de la termografía infrarroja	37
1.12.1	Calibración de equipos termográficos	38
1.12.1.1	<i>Enfoque</i>	39
1.12.1.2	<i>Rango térmico</i>	39
1.12.1.3	<i>Sensibilidad</i>	39
1.12.1.4	<i>Resolución de Medición</i>	40
1.12.1.5	<i>Distancia</i>	40
1.12.1.6	<i>Portabilidad</i>	40
1.13	Criterio de análisis termográfico para conductores eléctricos	41
1.13.1	Pruebas estadísticas	41
1.13.1.1	<i>Distribución de Shapiro Wilk</i>	42
1.13.1.2	<i>Distribución T-Student</i>	43
1.14	Correlación lineal	44
1.15	Regresión lineal	45
CAPÍTULO II		47
2	MARCO METODOLÓGICO	47
2.1	Formulación de la hipótesis	47
2.2	Determinación de la variable dependiente e independiente	47
2.2.1	<i>Variable dependiente</i>	47
2.2.2	<i>Variable independiente</i>	47
2.3	Manipulación y registro de variables	47
2.4	Control de variables extrañas presentes en el experimento	47
2.4.1	<i>Tipos de variables extrañas</i>	48
2.4.2	<i>Control de la humedad</i>	48
2.4.3	<i>Control de la velocidad del viento</i>	48
2.4.4	<i>Control de la emisividad</i>	48
2.4.5	<i>Control de campos magnéticos</i>	48
2.4.6	<i>Control del reflejo de rayos lumínicos</i>	49
2.4.7	<i>Control de la lluvia</i>	49
2.5	Cámara termográfica	49
2.6	Diseño y construcción del módulo de pruebas	51
2.6.1	<i>Diseño y construcción de la estructura del modulo</i>	52
2.6.2	<i>Diseño del circuito eléctrico del módulo</i>	53

2.6.3	<i>Selección de conductores eléctricos para estudio</i>	54
2.6.4	<i>Cálculo de carga del circuito</i>	56
2.6.5	<i>Selección de elementos eléctricos</i>	57
2.6.5.1	<i>Breaker termomagnético</i>	58
2.6.5.2	<i>Fusible cilíndrico</i>	58
2.6.5.3	<i>Interrupor diferencial</i>	59
2.6.5.4	<i>Contactador</i>	59
2.6.5.5	<i>Relé térmico bimetálico</i>	59
2.6.5.6	<i>Luces indicadoras</i>	60
2.6.5.7	<i>Botones de control</i>	60
2.6.6	<i>Colocación de la carga del circuito</i>	61
2.6.7	<i>Enfriamiento para la carga</i>	61
2.6.7.1	<i>Ecuación de la conservación de la materia</i>	63
2.6.8	<i>Tablero de control y fuerza</i>	64
2.6.9	<i>Pruebas de funcionamiento del módulo de pruebas</i>	65
CAPÍTULO III		66
3	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
3.1	Energización del módulo de pruebas	66
3.2	Colocación y acondicionamiento de la cámara termográfica para toma de datos	66
3.3	Toma de datos con la cámara termográfica	67
3.3.1	<i>Visualización de la imagen</i>	67
3.3.2	<i>Encendido y calibración de la cámara termográfica</i>	67
3.3.3	<i>Enfoque de la cámara termográfica</i>	68
3.3.4	<i>Ajuste del Spam</i>	68
3.3.5	<i>Ajuste de la emisividad</i>	69
3.3.6	<i>Selección del spot en el termograma</i>	69
3.3.7	<i>Selección del rango de temperatura</i>	69
3.4	Desarrollo del experimento	69
3.4.1	<i>Datos medidos directamente en el módulo de pruebas</i>	69
3.4.2	<i>Levantamiento de datos de temperatura</i>	71
3.4.2.1	<i>Análisis termográfico</i>	71
3.4.3	<i>Termogramas de conductores</i>	72
3.5	Histogramas de los conductores	74
3.6	Análisis de los datos	79
3.7	Elegir test	79
3.8	Comprobación de muestras	80

3.8.1	<i>Prueba de normalidad de los datos</i>	80
3.8.2	<i>Prueba t-student</i>	82
3.9	Correlación lineal	84
3.10	Cálculo de pérdidas de potencia real	86
3.11	Pérdidas de potencia por efecto de la temperatura	88
3.12	Determinación de la ecuación	90
3.13	Comparación de pérdidas de energía	96
3.14	Comparación con la facturación nacional por grupo de consumo	97
3.14.1	<i>Facturación nacional por grupo de consumo para 2022</i>	97
	CONCLUSIONES	100
	RECOMENDACIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Materiales aislantes	6
Tabla 2-2: Tipos de aislamiento.....	7
Tabla 3-2: Resistividades mínimas del aislamiento	10
Tabla 4-2: Pérdidas técnicas	16
Tabla 5-2: Constante del cobre a 20°C	18
Tabla 6-2: Valores de longitud de onda	23
Tabla 7-2: Calor específico de sustancias	25
Tabla 8-2: Condiciones de las hipótesis.....	43
Tabla 1-3: Medidas del tablero de control	51
Tabla 2-3: Dimensiones de la estructura del módulo de pruebas.....	52
Tabla 3-3: Materiales para construcción del módulo	53
Tabla 4-3: Conductores utilizados en el experimento.....	56
Tabla 5-3: Carga del circuito de fuerza.....	57
Tabla 6-3: Protecciones del sistema eléctrico	57
Tabla 7-3: Luces indicadoras	60
Tabla 8-3: Botones de control.....	60
Tabla 9-3: Datos de placa del ventilador	61
Tabla 1-4: Datos reales del conductor #22.....	70
Tabla 2-4: Valores reales promedio de pérdidas en los conductores	70
Tabla 3-4: Datos del conductor #22.....	71
Tabla 4-4: Valores promedio de pérdidas en los conductores	72
Tabla 5-4: Termogramas de conductores con el 100% de la carga.....	73
Tabla 6-4: Histogramas para los datos calculados mediante el efecto de la temperatura	75
Tabla 7-4: Histogramas para datos medidos directamente en el módulo de pruebas	77
Tabla 8-4: Prueba de normalidad	81
Tabla 9-4: Prueba T-student.....	83
Tabla 10-4: Correlación lineal por efecto de temperatura	84
Tabla 11-4: Coeficiente lineal de Pearson	85
Tabla 12-4: Pérdida de potencia real por efecto de la resistividad.....	91
Tabla 13-4: Datos calculados	91
Tabla 14-4: Pérdida de potencia por efecto de la temperatura.....	94
Tabla 15-4: Datos calculados	94

Tabla 16-4: Facturación nacional por grupo de consumo	98
Tabla 17-4: Estimación de pérdidas energéticas reales en conductores.....	98
Tabla 18-4: Estimación de pérdidas energéticas en forma de calor en conductores.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Campo magnético	5
Figura 2-2: Aislamiento y conductor eléctrico	7
Figura 3-2: Manifestación de la resistencia eléctrica.....	9
Figura 4-2: Longitud del conductor	11
Figura 5-2: Sección del conductor	12
Figura 6-2: Metales conductores de electricidad	13
Figura 7-2: Materiales aislantes de electricidad.....	13
Figura 8-2: Aplicaciones del efecto Joule.....	15
Figura 9-2: Efecto peculiar	19
Figura 10-2: Corrientes inducidas por efecto proximidad	20
Figura 11-2: Incremento temperatura por contacto flojo.....	21
Figura 12-2: Espectro de luz visible	21
Figura 13-2: Espectro de luz.....	22
Figura 14-2: Ondas electromagnéticas	22
Figura 15-2: Penetración de la radiación	23
Figura 16-2: Espectro visible por el ojo humano.....	24
Figura 17-2: Diferencia de temperatura.....	25
Figura 18-2: Transferencia de calor.....	26
Figura 19-2: Transferencia de calor por conducción	26
Figura 20-2: Transferencia de calor por convección	27
Figura 21-2: Transferencia de calor por radiación.....	27
Figura 22-2: Ley cero de la termodinámica.....	28
Figura 23-2: Átomo	30
Figura 24-2: Radiación electromagnética	30
Figura 25-2: Inspecciones termográficas	32
Figura 26-2: Cámara termográfica.....	37
Figura 27-2: Enfoque	39
Figura 28-2: Severidad en termografía	41
Figura 29-2: Prueba Tstudent	43
Figura 1-3: Cámara térmica.....	50
Figura 2-3: Datos técnicos de la cámara termográfica.....	50
Figura 3-3: Módulo de pruebas.....	51
Figura 4-3: Estructura del módulo de pruebas.....	52
Figura 5-3: Circuito de fuerza y control	53

Figura 6-3: Conductor SPT.....	54
Figura 7-3: Conductores utilizados.....	55
Figura 8-3: Pinza amperimétrica y termocupla.....	56
Figura 9-3: Resistencia eléctrica.....	57
Figura 10-3: Breaker termomagnético.....	58
Figura 11-3: Fusible.....	58
Figura 12-3: Interruptor diferencial.....	59
Figura 13-3: Contactor.....	59
Figura 14-3: Relé térmico.....	60
Figura 15-3: Colocación de carga del circuito.....	61
Figura 16-3: Ventilador centrífugo y salida de aire caliente.....	62
Figura 17-3: Enfriamiento de carga.....	62
Figura 18-3: Conexión del circuito de fuerza y control.....	64
Figura 1-4: Colocación de cámara termográfica.....	66
Figura 2-4: Calibración de la cámara termográfica.....	68
Figura 3-4: Enfoque de cámara.....	68
Figura 4-4: Agrupación de datos.....	80
Figura 5-4: Pasos a seguir prueba de normalidad.....	81
Figura 6-4: Aceptación del p-valor.....	82
Figura 7-4: Pasos a seguir prueba t-student.....	83
Figura 8-4: Facturación nacional por grupo de consumo.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Temperatura de un conductor eléctrico	12
Gráfico 1-4: Línea de tendencia de datos	87
Gráfico 2-4: Línea de tendencia.....	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Tabla de pérdidas energía en forma de calor conductor #22 AWG

Anexo B: Tabla de pérdidas energía en forma de calor conductor #20 AWG

Anexo C: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #18 AWG

Anexo D: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #16 AWG

Anexo E: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #14 AWG

Anexo F: Tabla de costos

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evidenciar las pérdidas de energía que se producen en los conductores eléctricos mediante termografía infrarroja y compararlo con el impacto económico en el sector industrial, comercial y residencial. Por lo tanto, se construyó un módulo de pruebas para realizar el levantamiento de datos de temperatura, éste consta de tres tableros, en el tablero de carga del módulo se alojaron las resistencias eléctricas que sirvieron para controlar la intensidad que circuló por el conductor de estudio que se adecuó en el tablero de pruebas, de igual manera se implementó un sistema de enfriamiento para mantener la temperatura de las resistencias inferior a 200°C, el conductor de estudio fue de cobre flexible paralelo, y en el tablero eléctrico se colocaron los elementos de protección y control. Se comparó los datos de termografía de cada conductor por medio de una termocupla que indicaba las medidas, la cual fue adherida en cada conductor. Para el análisis se realizó una comparación de la pérdida de energía debido al efecto Joule por el paso de una corriente eléctrica en los conductores, con la pérdida de potencia debido a la resistividad del circuito. Se logró obtener una serie de ecuaciones capaces de estimar las pérdidas energéticas en una instalación eléctrica en forma de calor y a la vez se aportó con un método de cálculo tomando en cuenta que para el 2022, se obtiene una cantidad de 16,854 MUSD debido a una pérdida de potencia debida a la resistividad igual a 10 W, este valor afecta económicamente para los usuarios del servicio eléctrico, de acuerdo a la fórmula determinada. Se recomienda realizar mediciones de temperatura mediante el uso de la termografía infrarroja ya que es un método de medición eficaz y a la vez permitió detectar otros problemas en las instalaciones eléctricas.

Palabras clave: < TERMOGRAFÍA INFRARROJA >, < PÉRDIDAS DE ENERGÍA >, <EFECTO JOULE >, <CONDUCTOR ELÉCTRICO >, < MÓDULO DE PRUEBAS >, < DIAGNÓSTICO TÉCNICO>.

1858-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

The objective of this study was to show the energy losses that occur in electrical conductors, infrared thermography and to compare through the economic impact in the industrial, commercial and residential sectors. For which a test module was built to carry out the temperature data survey, it consists of three boards, the electrical resistances that were used to control the intensity that circulated through the study conductor were housed in the module's load board. It was adequate in the test board, in the same way a cooling system was implemented to keep the temperature of the resistances below 200 ° C, the study conductor was made of parallel flexible copper, and the elements were placed on the electrical board protection and control. The thermography data of each conductor was compared with the measurement of a thermocouple that was adhered to each conductor. For the analysis, a comparison was made of the energy loss due to the Joule effect due to the passage of an electric current in the conductors, with the power loss due to the resistivity of the circuit. It was possible to obtain a series of equations capable of estimating the energy losses in an electrical installation in the form of heat and at the same time it was provided with a calculation method taking into account that by 2022, an amount of 16,854 MUSD is obtained due to a loss of power due to resistivity equal to 10 W, which affects economically for the users of the electrical service, according to the determined formula. It is recommended to carry out temperature measurements through the use of infrared thermography since it is an effective measurement method and at the same time allowed to detect other problems in electrical installations.

Keywords: <INFRARED THERMOGRAPHY>, <ENERGY LOSSES>, <JOULE EFFECT>, <ELECTRICAL CONDUCTOR>, <TEST MODULE>, < TECHNICAL DIAGNOSIS>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs
C.I. 060335706-2

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento desde la historia de la humanidad ha sido una pieza clave ante el deterioro de las primeras herramientas. Hoy en día el mantenimiento es una de las actividades sustanciales en toda planta industrial, ya que las industrias requieren el flujo continuo de la producción.

Toda máquina tiene un tiempo de vida útil que se cumplirá siempre que se realice un mantenimiento adecuado a la misma, los paros imprevistos de producción son indeseados en las industrias, por lo que deben ser analizadas las consecuencias de las fallas y corregidas inmediatamente.

En la actualidad, el mantenimiento se ha ido desarrollando a gran escala, tal es el caso del mantenimiento basado en la condición el cual ayuda a la detección temprana de fallas para su corrección, como en la termografía infrarroja en la cual no se tiene contacto con la máquina y ésta puede seguir operando sin parar su producción.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Las pérdidas de energía en forma de calor que se producen en conductores eléctricos repercuten negativamente en la facturación económica nacional.

Las grandes industrias, conscientes de las pérdidas producidas cuando una máquina genera algún tipo de fallo e interrumpe su producción, es destinado una buena parte de su presupuesto en actividades de mantenimiento, dónde se debería aplicar técnicas de monitoreo de la condición de equipos, pero en el Ecuador la mayoría de las industrias por lo general están acostumbradas a trabajar al fallo, lo que debería evitarse ya que generan grandes pérdidas económicas.

Es por eso que dentro de la formación del Ingeniero de Mantenimiento Industrial se han incluido la enseñanza de varias técnicas como: análisis de vibraciones, termografía infrarroja, ultrasonido pasivo y activo, análisis de lubricantes entre otros, dónde la termografía es una técnica de monitoreo que permite medir temperaturas confiables a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto de estudio.

Luego de revisar diferentes trabajos de investigación en revistas científicas se ha recopilado el trabajo de investigación relacionado con el objeto de estudio. En tal virtud es necesario continuar con el proceso de investigación con el fin de establecer y proponer un método para cuantificar las pérdidas de energía en conductores eléctricos revestidos con cobertura de vinilo de policloruro mediante termografía infrarroja y a la vez obtener un método de cálculo de pérdidas de energía por efecto del incremento de temperatura.

1.2 Justificación y Actualidad

El presente proyecto es de gran importancia puesto que, en la actualidad en el territorio ecuatoriano el mantenimiento basado en la condición es utilizado muy poco en las industrias, despreciando el gran beneficio que presentaría en elecciones de sección correctas de conductores

eléctricos, con la ayuda del análisis termográfico se puede obtener un valor específico para cuantificar estas pérdidas por efecto Joule.

Esta investigación se realizará con la construcción de un módulo de pruebas para termografía infrarroja, el cual ayudará en la recolección de datos de temperatura, al aplicar una carga determinada en el conductor de estudio, mediante la visualización de las termogramas tomados por medio de una cámara termográfica se obtendrán los datos que serán analizados para poder encontrar una ecuación de corrección por temperatura que ayude a predecir de manera más exacta las pérdidas de energía presentes en una instalación eléctrica.

La termografía infrarroja es una de las técnicas de mantenimiento basado en la condición más rápidas, ya que se puede recolectar mucha información en poco tiempo y trae beneficios, en vista de su ayuda a la detección temprana de fallos, facilitando la realización de procedimientos o metodologías de inspección eficaces. En instalaciones eléctricas este método permite, ejecutar inspecciones cuando el sistema está en funcionamiento, por lo que no es necesario que el sistema sea interrumpido para realizar las mediciones.

Producto de los años de investigaciones y de las nuevas técnicas de ensayos como en el análisis termográfico, análisis de la calidad energética, entre otros, se han determinado que las fallas en los conductores eléctricos no son fallas imprevistas o espontáneas, sino más bien, se las considera como desatendidas. (Hernandez, y otros, 2017)

1.3 Problema

Las pérdidas energéticas en instalaciones eléctricas son producidas por modos de fallos que generan aumentos de temperatura mayores a las del medio en que está operando, esto es un problema que se trata de erradicar constantemente en todos los países con la implementación de nuevas políticas sobre eficiencia energética. Cuando se realiza instalaciones eléctricas muchas veces no se consideran las pérdidas energéticas que se podrían llevar a cabo por la mala selección de los conductores y esto se verá reflejado en la facturación económica del consumo energético.

En este caso en el Ecuador, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, se ha desarrollado un Plan Nacional de Eficiencia Energética que cubre el periodo comprendido entre el 2016 y 2035.

Su influencia ha logrado incluir en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2018) que trata sobre la eficiencia energética en la construcción. Dentro de este código se habla sobre las exigencias técnicas en instalaciones y la eficiencia que debe de tener cada motor según su potencia, pero no se considera las pérdidas energéticas que se podrían llevar a cabo por la mala elección de los conductores.

Así mismo, dentro de la norma NEC 2019, se dan características generales sobre los conductores utilizados para las instalaciones eléctricas, sin contemplar los aspectos relacionados con las pérdidas de energía en los mismos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar las pérdidas de energía en forma de calor de los conductores eléctricos de vinilo de policloruro mediante termografía infrarroja.

1.4.2 Objetivos específicos

Construir un módulo de pruebas para el levantamiento de medidas de temperatura de los conductores eléctricos.

Realizar el estudio del estado del arte sobre pérdidas de energía en conductores eléctricos.

Tomar datos de temperatura de las mediciones respectivas en el módulo de pruebas característico, mediante el uso de una cámara termográfica.

Realizar el análisis de resultados basado en los datos obtenidos.

1.5 Conductores eléctricos y aislantes

1.5.1 Conductor eléctrico

(Boylestad, 2008 pág. 46) manifiesta que los conductores eléctricos son aquellos materiales que permiten un flujo abundante de electrones que cuentan con muy poca fuerza externa y voltaje aplicado. Generalmente, los buenos conductores tienen un solo electrón ubicado en la órbita más alejada del núcleo.

Los conductores eléctricos son aquellos materiales que por los cuales se puede transportar una corriente eléctrica, por medio de ellos el paso de electrones genera un campo magnético alrededor del conductor, los materiales que ofrecen menor resistencia al paso de corriente son el oro, cobre y aluminio, en la Figura 1-2 se visualiza el campo magnético producido por el paso de una corriente que circula a través de un conductor eléctrico.

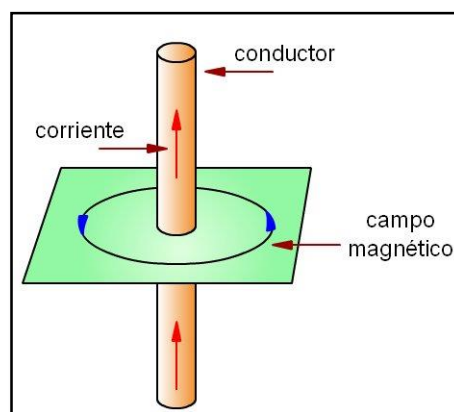


Figura 1-2: Campo magnético

Fuente: (Bueno, 2021)

1.5.2 Semiconductor

Los materiales semiconductores son un grupo particular de elementos que presentan características en común, éstas hacen que se ubiquen entre los materiales aislantes y los conductores. Los semiconductores poseen regularmente, cuatro electrones en la órbita de valencia exterior.

Los semiconductores por lo general caen dentro de una de estas dos clases: de un solo cristal, los cuales poseen una estructura cristalina repetitiva, existen materiales semiconductores como el germanio (Ge) y el silicio (Si). Y compuestos, que se componen de dos o más materiales de diferentes estructuras atómicas como el arseniuro de galio (GaAs), el sulfuro de cadmio (CdS), entre otros.

1.5.3 Aislantes

Los materiales aislantes son aquellos que impiden que la corriente se fugue hacia otros lugares, a su vez evitan fallos y descargas eléctricas indeseables por las líneas de conducción que transportan energía eléctrica.

Los aislantes eléctricos son aquellos materiales en los cuales todos los electrones están unidos a átomos y no pueden moverse libremente a través del material. (Serway, et al., 2009)

Además, los aislantes eléctricos cuentan con más de cuatro electrones en su última orbita y es necesaria la aplicación de un mayor voltaje, para establecer un nivel de corriente que se logre medir, en la tabla 1-2 se puede observar el esfuerzo necesario para que se pueda transportar una corriente eléctrica a través de estos materiales en unidades de kilovoltios/centímetro (kV/cm) que se utilizan de acuerdo con cada material.

Tabla 1-2: Materiales aislantes

MATERIAL	ESFUERZOS PROMEDIOS DE RUPTURA (kV/cm)
Aire	30
Porcelana	70
Aceites	140
Baquelita	150
Caucho	270
Papel (recubierto de parafina)	500
Teflón	600
Vidrio	900
Mica	2000

Fuente: (Boylestad, 2008 pág. 48)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

1.5.4 Aislamientos de conductores eléctricos

Un aislante eléctrico es todo material que obstaculiza la circulación de la corriente eléctrica, en otras palabras, los aislamientos permiten una limitada capacidad de conducción de electricidad. En la figura 2-2, se observa un ejemplo de aislante del conductor, este se utiliza para separar conductores eléctricos además brinda seguridad en las conexiones del sistema eléctrico ya que la tensión puede producir una descarga.

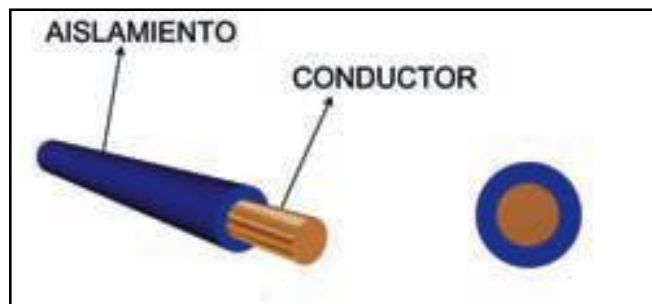


Figura 2-2: Aislamiento y conductor eléctrico

Fuente: (Ortiz, 2015)

Tabla 2-2: Tipos de aislamiento

Tipo de aislamiento	Característica
T (Thermoplastic)	PVC, PE, PCP
H (Heat resistant)	Resistente al calor hasta 75 °C
HH (Heat resistant)	Resistente al calor hasta 90 °C
W (Water resistant)	Resistente al agua y a la humedad
LS (Low smoke)	Baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes
SPT (Service paralell thermoplastic)	Cable tipo paralelo flexible o dúplex con aislamiento termoplástico

Fuente: (Masvoltaje, 2022)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

En la Tabla 2-2 se indica los diferentes tipos de aislamiento en función de su temperatura máxima que se encuentra que estos soportan dada en °C.

Aislamiento termoplástico:

PVC: Policloruro de vinilo

PE: Polietileno

PCP: Policloropreno, neopreno o plástico

1.5.5 Normativa para diseño y fabricación de conductores

Las normativas de mayor aplicación para el diseño y fabricación de conductores eléctricos son:

- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **UL:** Underwriters Laboratories Inc
- **ICEA:** Insulated Cable Engineers Association
- **NEMA:** National Electrical Manufacturers Association
- **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

Las normas ASTM son la base para determinar las especificaciones de diferentes tipos de materia prima, así mismo de conductores desnudos de cobre, por otra parte, ciertos métodos de medición y cálculos. En cambio, las normas UL e ICEA/NEMA ayudan a establecer la definición de los hilos conductores, especificaciones de aislamientos, chaquetas incluso colabora con pruebas de seguridad y calidad que se aplican a productos comercializados. Por otra parte, las normas INEN fijan el sello de calidad del conductor y verifican el cumplimiento de los requisitos establecidos según su normativa.

1.6 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es la dificultad que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica, el motivo es que los electrones al moverse en el interior de los átomos rozan generando choques que arroja energía en forma de calor. Por consiguiente, cuanto mayor es la cantidad de rozamiento de electrones, mayor es la resistencia que ofrece el material como se contempla en la Figura 3-2.

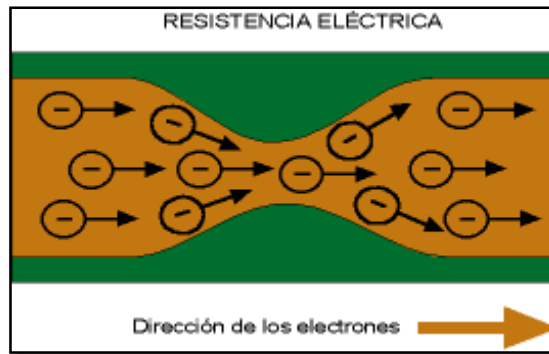


Figura 3-2: Manifestación de la resistencia eléctrica

Fuente: (Calero, 2021)

1.6.1 Resistencia de un conductor eléctrico

La resistencia de los diferentes materiales depende de su naturaleza y de las dimensiones, este último tiene una peculiar importancia en los cálculos de la sección de los conductores para instalaciones eléctricas, ya que una elevada resistencia provocaría un calentamiento y consecuencia su deterioro. (Saqui, 2016 pág. 5)

La resistencia interna del conductor está dada por la ecuación:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

La resistencia interna del conductor por efecto de la temperatura está dada por (Serway & Jewett, 2009).

$$R = \frac{\rho \frac{l}{S} [1 + \alpha (T - T_0)] [1 + \alpha' (T - T_0)]}{[1 + 2\alpha' (T - T_0)]} \quad (2)$$

Donde:

R: Es la resistencia interna del conductor (Ω)

ρ : Es el factor de resistividad (Ωm)

l : Longitud (m)

s : Sección transversal del conductor (m^2)

α : Es el coeficiente de resistividad con la temperatura ($1/^\circ\text{C}$)

T : Es la temperatura fina ($^\circ\text{C}$)

T_0 : Es la temperatura inicial ($^\circ\text{C}$)

1.6.2 Resistencia del aislamiento

Así como existen materiales que son mejores conductores, también existen materiales con mayor capacidad de aislamiento que otros, (Saqui, 2016 pág. 6) menciona que de ese modo cuanto mayor es la resistividad del aislante, mayor es su capacidad de aislamiento.

Las pruebas de Resistencia de Aislamiento sirven para constatar la capacidad de un material aislante para soportar una cierta proporción de voltaje o campo eléctrico entre dos conductores. (Energética, 2018 pág. 1)

Para el aislamiento es indispensable tomar en cuenta las resistividades mínimas de la Tabla 3-2, en la que se evidencia que a mayor temperatura menor es la resistencia del aislamiento.

Las principales causas de la baja resistencia de aislamiento son:

- Humedad en los materiales de aislamiento
- Evaporación de los materiales de conducción
- Conductividad de los materiales de aislamiento

Tabla 3-2: Resistividades mínimas del aislamiento

Temperatura máxima admitida en $^\circ\text{C}$	Resistencia mínima del aislamiento en $\text{M}\Omega$
100 - 300	10
301 - 500	2
501 - 800	0,5

Fuente: (Gunther, 2021)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

1.6.3 Factores que determinan la resistencia de un conductor eléctrico

Todo material conductor de corriente eléctrica tiene un valor de resistencia específico, independientemente si fluye o no una corriente eléctrica por él. Un conductor eléctrico se identifica por un número que representa el calibre y por el tipo de aislante que lo protege.

Son cuatro los factores principales que definen la resistencia de un conductor, estos son:

- Longitud
- Área de la sección transversal
- Temperatura
- Tipo de material del conductor.

1.6.3.1 La longitud de un conductor eléctrico.

La longitud de un conductor eléctrico es directamente proporcional a la resistencia del conductor, es decir si aumenta la longitud del conductor, también aumenta la resistencia, por lo tanto, un electrón libre al desplazarse a través de un determinado tramo de conductor, tendrá cierta oposición, la cual será la misma en otro tramo igual al anterior. (Young, y otros, 2013).

En la figura 4-2 se observa que, si se duplica la longitud de un alambre, su resistencia se duplica. Si se duplica su área de sección transversal, su resistencia disminuye a la mitad.

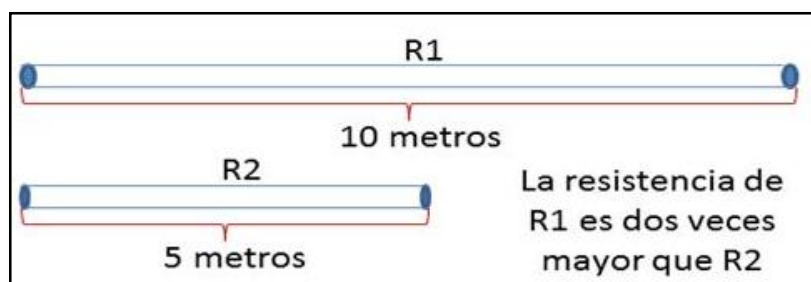


Figura 4-2: Longitud del conductor

Fuente: (Tovar, 2021)

1.6.3.2 El área de la sección transversal de un conductor eléctrico.

El área de la sección transversal de un conductor eléctrico es el espacio por el cual se distribuyen los electrones, y es inversamente proporcional a su longitud, de manera que a mayor área será menor la resistencia del conductor como se ve en la figura 5-2, pues con un área superior se tendrá un espacio más grande para que fluyan los electrones, por lo que serán inferiores los choques que se originen con los átomos de cobre comparando con uno de menor área. (Young, y otros, 2013)

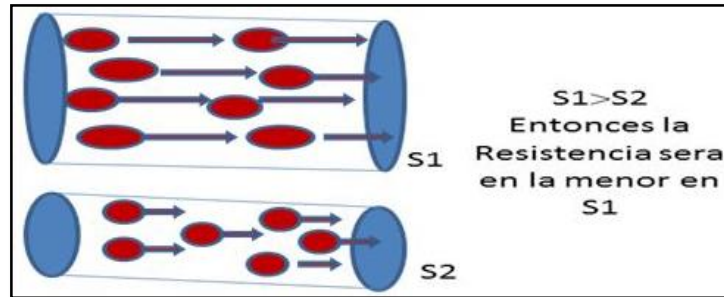


Figura 5-2: Sección del conductor

Fuente: (Tovar, 2021)

1.6.3.3 La temperatura de un conductor eléctrico.

A mayor temperatura será mayor la resistencia interna del conductor como se visualiza en el Gráfico 1-2: Esto se debe porque las moléculas de cobre tienden a agitarse, dilatándose y reduciendo el espacio de circulación de los electrones, desencadenando menor choque de electrones con los átomos y una elevada fricción entre los mismos.

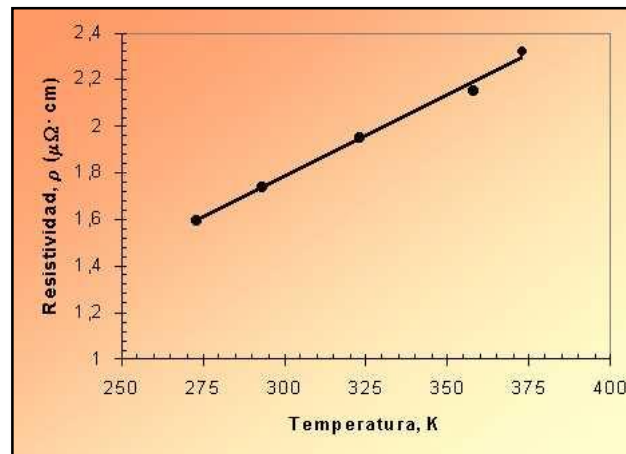


Gráfico 1-2: Temperatura de un conductor eléctrico

Fuente: (Materiales, 2021)

1.6.3.4 El tipo de material del conductor eléctrico.

Determina la mejor o peor conducción de electrones en movimiento, cuanto menor es la resistencia de un material, mejor conductor es. Los mejores conductores son los metales, como por ejemplo el cobre, el oro, el hierro, la plata y el aluminio, como también sus aleaciones, observar la figura 6-2, aunque también existen otros materiales no metálicos que cuentan con una buena propiedad de conducir la electricidad, como el grafito y soluciones salinas.



Figura 6-2: Metales conductores de electricidad

Fuente: (Electrónicos, 2021)

1.6.3.5 Resistencia de la cobertura del conductor o aislante.

Así como existen materiales que son mejores conductores, también existen materiales con mayor capacidad de aislamiento que otros, de ese modo cuanto mayor es la resistividad del aislante, mayor es su capacidad de aislamiento. Por tanto, dar una resistencia en cifras es complicado ya que varían según el grado de humedad y elevación de temperatura, como muestra la Figura 7-2. (Young, y otros, 2013)



Figura 7-2: Materiales aislantes de electricidad

Fuente: (Duran, 2016)

1.6.4 Potencia eléctrica

La potencia es la rapidez con la cual se realiza un trabajo, donde el trabajo es producto de la energía aplicada, y está dada por:

$$P = \frac{E}{t} \quad (3)$$

La potencia eléctrica es producto de la tensión por la intensidad de corriente y de la misma manera en la rapidez con la cual se realiza un trabajo.

$$P = V * I \quad (4)$$

1.6.5 Caída de tensión

Siempre que una corriente eléctrica circule por un conductor, carga o equipo, existirá caída de tensión entre sus terminales. Donde la caída de tensión es la disminución de voltaje gradualmente dado por $I * R$ según la ley de Ohm.

La caída de tensión es perjudicial para las cargas que se encuentran en una instalación, siendo la máxima caída de tensión aceptada en instalaciones industriales del 6% del voltaje inicial.

1.6.6 Efecto Joule

Se da por el paso de una corriente eléctrica por medio de un material que presente resistencia eléctrica la cual ira aumentando según la intensidad aplicada, y al mismo tiempo se disipará potencia en forma de calor.

Las pérdidas de tensión y potencia hacen que se dé lugar a un calentamiento del conductor, y esto a su vez provoca una pérdida de energía eléctrica, misma que se transforma en calor. En otras palabras, este efecto es aprovechado en aparatos caloríficos, donde estas pérdidas se transforman en energía calorífica, que se expresa por la letra Q , y se mide en calorías. (Acosta, 2021 pág. 2)

El efecto Joule es un acontecimiento donde los electrones en movimiento de una corriente eléctrica chocan contra el material a través del cual están siendo conducidos. La energía cinética que tienen los electrones se convierte entonces en energía térmica, de esta manera se calienta el material por el que transitan, se sabe que la energía de 1 julio (J) es equivalente a 0,24 calorías.

Las aplicaciones de este efecto son varias, entre ellas una lámpara incandescente, las estufas eléctricas frecuentemente trabajan por efecto Joule, en los fusibles eléctricos si se excede el flujo de corriente, entonces se generará suficiente calor para fundir el fusible como muestra la Figura 8-2. (Iturbe, 2020 pág. 2)

$$Q=0.24*E \quad (5)$$

$$E=P \quad (6)$$

$$P=I^2*R \quad (7)$$

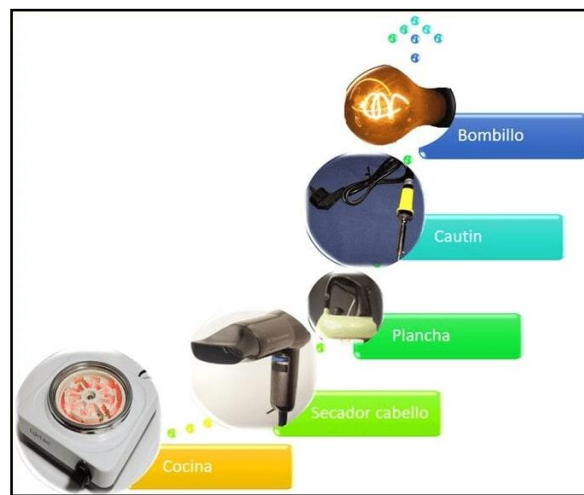


Figura 8-2: Aplicaciones del efecto Joule

Fuente: (Prescott, 1900)

1.7 Pérdidas de energía en conductores eléctricos

La pérdida de energía se determina mediante la diferencia de la energía comparada con la energía vendida, dichas pérdidas se presentan en las redes primarias y secundarias, y se clasifican en pérdidas no técnicas o comerciales y en pérdidas técnicas, puesto que no toda la energía eléctrica que se produce se vende y se factura. (Navarro, 2006)

1.7.1 Pérdidas técnicas

Las pérdidas técnicas son las cantidades de energía eléctrica que se transforman en otros tipos de energía durante el transporte de la misma desde las plantas de generación hasta los centros de consumo, dichas pérdidas se producen por las propiedades físicas de los materiales. (Serna, 2012)

Como causa de las pérdidas técnicas se tiene la ineficiencia de los equipos, las características inherentes de los materiales utilizados en las líneas y equipos y los tamaños de las líneas y equipos. Los tres contribuyentes principales son las pérdidas cuadradas actuales a través de una resistencia, las pérdidas por excitación del transformador y las pérdidas de fugas o la corona de la línea y el aislamiento. (Torres, 2015 pág. 27)

En la tabla 4-2, se puede observar las pérdidas técnicas que se producen en los componentes de una red eléctrica.

Tabla 4-2: Pérdidas técnicas

Motivos	Lugar	Voltaje (kV)
Pérdidas por transporte	En líneas de transmisión	132-230
	En líneas de sub transmisión	69
	En circuitos de distribución primaria	13.8
	En circuitos de distribución secundaria	120-240-208 V
Pérdidas o por fenómenos eléctricos y servicio	Por efecto corona	
	Por efecto Joules	
	Por corrientes parásitas e histéresis	
	Alumbrado publico	
Pérdidas por transformación	En la transmisión y sub transmisión	
	En distribución	
	En transformadores de distribución	
Pérdidas en equipo de medición	En medidores	
	En instrumentos de medidas	

Fuente: (Torres, 2015 pág. 27)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

1.7.2 Pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas son la cantidad de energía que se asigna a los usuarios finales, en el aspecto económico estas pérdidas no están representadas en el flujo de caja de las compañías en el sector eléctrico. (Esperancini M, 2011)

El valor de las pérdidas reales es la diferencia entre la energía saliente registrada por la fuente y la energía consumida, es decir la que se muestra en las facturas. La discordancia entre las pérdidas esperadas y las pérdidas reales produciría el alcance de las pérdidas no técnicas en ese sistema. (Granda, 2013)

La energía eléctrica generada debe ser igual a la energía registrada como consumida. Sin embargo, en realidad, la situación es diferente porque las pérdidas ocurren como resultado integral de la transmisión y distribución de energía. Este tipo de pérdidas se alía generalmente con errores en los procesos que se presentan a continuación:

- Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando
- Lectura
- Facturación de las empresas
- Errores en los equipos de medición
- Comportamiento fraudulento de los usuarios que manipulan deliberadamente los elementos del sistema para disminuir o evadir el pago por el uso del servicio de energía eléctrica.

Todas estas pérdidas dan como consecuencia que estén obligados a comprar energía adicional para satisfacer la demanda aparente, por lo cual se aumentan los costos. (Muñoz, 2015 pág. 47)

Las pérdidas en forma de calor se manifiestan principalmente en:

- Calentamiento de conductores
- Calentamiento de bobinados de los transformadores de distribución

1.7.3 Pérdida de potencia en forma de calor

La potencia que se pierde en forma de calor debido a la resistencia interna de un conductor está dada por la ecuación 2. (Serway & Jewett, 2009,pág 53)

La potencia eléctrica está dada por la siguiente ecuación:

$$P=R*i^2 \tag{8}$$

Reemplazando la ecuación 2 en 8 tenemos:

$$P = \frac{\rho \frac{1}{s} i^2 [1 + \alpha(T - T_0)] [1 + \alpha'(T - T_0)]}{[1 + 2\alpha'(T - T_0)]} \quad (9)$$

Donde:

P: es la potencia eléctrica Watts (W).

R: Es la resistencia interna del conductor (Ω).

P₀=Pérdida de potencia

ρ =Coeficiente de resistividad

l=Longitud del conductor

s=Sección del conductor

i²=Intensidad que circula por el circuito

α =Coeficiente de temperatura de resistividad

α' =Coeficiente de expansión lineal

Los coeficientes del cobre a 20°C serán ocupados para estudio de pérdidas de energía por efecto Joule, cuyos valores se pueden observar en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Constante del cobre a 20°C

Constantes para el cobre a 20°C		
Símbolo	Constante	Valor
P	Resistividad	1,72x10 ⁻⁸ Ω m
α	Coeficiente de temperatura de resistividad	3,9x10 ⁻³ °C ⁻¹
α'	Coeficiente de expansión lineal	1,7x10 ⁻⁵ °C ⁻¹

Fuente: (Serway & Jewett, 2009)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

La ecuación 7 muestra la fórmula para el cálculo del factor de ajuste por temperatura, mientras que la ecuación 8 indica la pérdida de la potencia en los conductores, siendo esta la ecuación reducida.

$$F_T = \frac{[1 + \alpha(T - T_0)][1 + \alpha'(T - T_0)]}{[1 + 2\alpha'(T - T_0)]} \quad (10)$$

$$P = P_0 * F_T \quad (11)$$

Donde:

P_0 : Pérdida de potencia en forma de calor

F_T : Factor de ajuste por temperatura

1.7.4 Efecto pelicular

Al efecto pelicular se lo conoce también como efecto skin o Kelvin, fijarse en la Figura 9-2, el efecto se produce cuando en un conductor por el cual circula una corriente alterna y ésta se acumula en la capa externa del conductor debidamente a la autoinducción de este, lo cual provoca un aumento de la resistencia efectiva del conductor y a una reducción de la intensidad admisible para un determinado aumento de la temperatura. (Fowler, 1992 pág. 75)

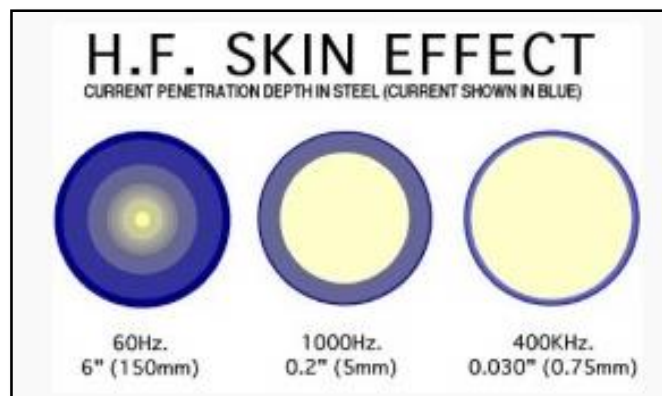


Figura 9-2: Efecto peculiar

Fuente: (Fowler, 1992)

1.7.5 Efecto Proximidad

Se origina cuando pasa corriente por un conductor, provocando un campo magnético que introduce corrientes inducidas en otro conductor cercano a este. La corriente que se induce tiene sentido contrario a la que pasa por el conductor inductor, lo que causa un cambio de circulación

de la corriente. En la Figura 10-2 se pueden observar las corrientes inducidas por efecto proximidad.

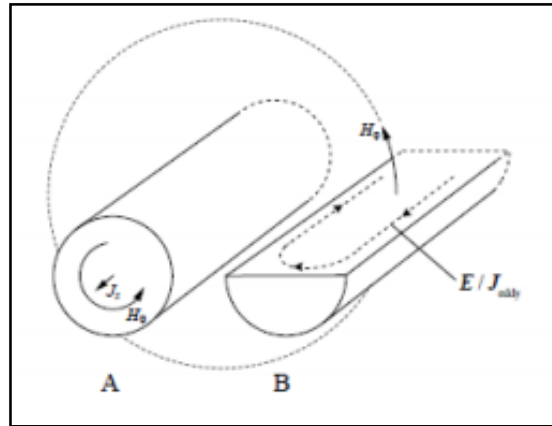


Figura 10-2: Corrientes inducidas por efecto proximidad

Fuente: (Fernandez, 2019)

1.8 Termografía infrarroja

Es una forma de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante imágenes que representan la distribución de temperatura en el espectro. La termografía infrarroja se basa en que casi todos los componentes de un sistema evidencian un crecimiento de temperatura cuando desarrolla un modo de falla. Una cámara termográfica es el instrumento que se utiliza para la inspección, misma que cuantifica las emisiones naturales de radiación infrarroja que están dadas por un objeto y generan una imagen térmica sin tener contacto físico con el sistema, por lo que las inspecciones pueden hacerse sin pérdida o reducción de productividad. En conclusión, la termografía consiste en examinar el comportamiento térmico de los componentes ya que en su mayoría se muestra un incremento de temperatura cuando se presenta un modo de falla, además de detectar sus defectos y a su vez evaluar su nivel de severidad.

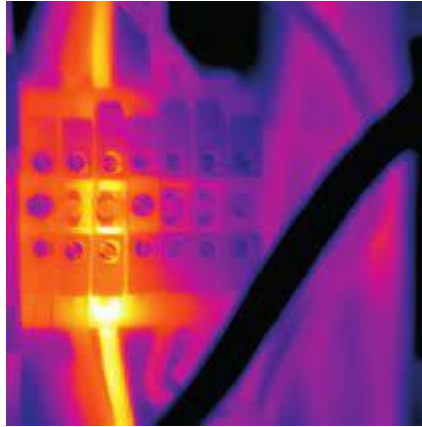


Figura 11-2: Incremento temperatura por contacto flojo

Fuente: (KGaA, 2017)

1.8.1 Radiación infrarroja

La radiación infrarroja fue descubierta por Herschel, ver Figura 12-2, determinó que las lecturas de temperatura muestran un incremento fijo desde el extremo violeta hasta el rojo, hoy en día con todo el avance tecnológico es posible generar una imagen termográfica en dos dimensiones, así es posible conocer de manera instantánea la distribución superficial de temperatura en un objeto para simplificar el análisis de estudio. (Picazo, 2016)

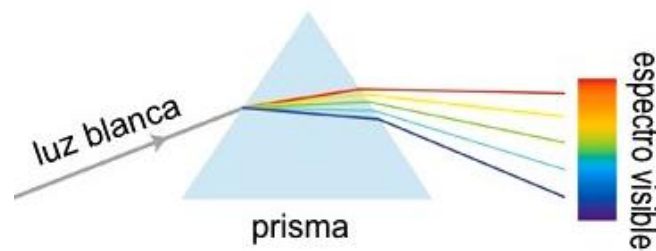


Figura 12-2: Espectro de luz visible

Fuente: (Eduxu, 2015)

Es aquella que tiene una longitud de onda entre $0,78 \mu\text{m}$ y $1000 \mu\text{m}$ (micras). Los rayos infrarrojos se subdividen en función de la proximidad de longitud de onda a la luz visible como cercanos, medios o lejanos. Nuestros ojos solamente reaccionan a las ondas electromagnéticas que ocupan el área de luz visible en el espectro electromagnético. Cada color corresponde a una determinada longitud de onda como se muestra en la Figura 13-2.

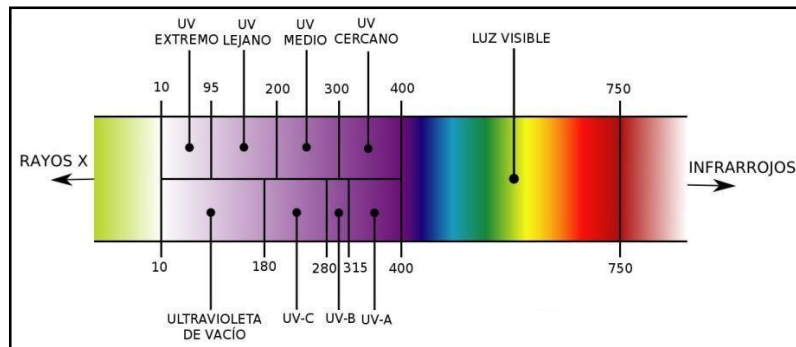


Figura 13-2: Espectro de luz

Fuente: (Spectrum, 2007)

Los rayos X son una radiación electromagnética no perceptible por el ojo humano. A causa de su corta longitud de onda pueden atravesar cuerpos opacos e impresionar películas fotográficas.

1.8.2 Espectro electromagnético

Se designa espectro electromagnético a la distribución de las ondas electromagnéticas en función de su longitud de onda por su frecuencia.

La radiación electromagnética está formada por la junta de campos eléctricos y magnéticos oscilante (el campo eléctrico es perpendicular al campo magnético), que se extienden a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía. Las ondas electromagnéticas circulan a través del espacio, y no precisan de un medio material para propagarse como en el caso de las ondas mecánicas. (Hernandez, y otros, 2017)

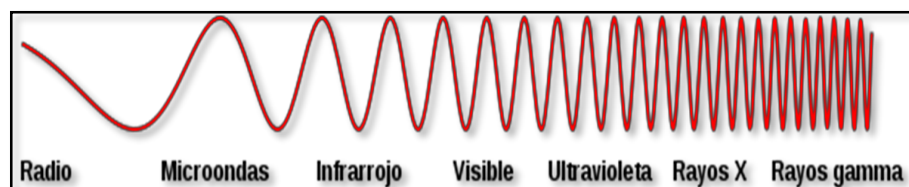


Figura 14-2: Ondas electromagnéticas

Fuente: (Spectrum, 2008)

Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck ($1,616199 \times 10^{-35} \text{ m}$) mientras que el límite máximo sería el tamaño del universo, aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo como muestra la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Valores de longitud de onda

Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	$< 10 \times 10^{-12} \text{ m}$	$> 30,0 \times 10^{18} \text{ Hz}$	$> 20 * 10^{-15} \text{ J}$
Rayos X	$< 10 \times 10^{-9} \text{ m}$	$> 30,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$	$> 20 * 10^{-18} \text{ J}$
Ultravioleta extremo	$< 200 \times 10^{-9} \text{ m}$	$> 1,5 \times 10^{15} \text{ Hz}$	$> 993 * 10^{-21} \text{ J}$
Ultravioleta cercano	$< 380 \times 10^{-9} \text{ m}$	$> 7,89 \times 10^{14} \text{ Hz}$	$> 523 * 10^{-21} \text{ J}$
Luz visible	$< 780 \times 10^{-9} \text{ m}$	$> 384 \times 10^{12} \text{ Hz}$	$> 255 * 10^{-21} \text{ J}$
Infrarrojo cercano	$< 2,5 \times 10^{-6} \text{ m}$	$> 120 \times 10^{12} \text{ Hz}$	$> 79 * 10^{-21} \text{ J}$
Infrarrojo medio	$< 50 \times 10^{-6} \text{ m}$	$> 6,00 \times 10^{12} \text{ Hz}$	$> 4 * 10^{-21} \text{ J}$
Infrarrojo lejano/submilimétrico	$< 1 \times 10^{-3} \text{ m}$	$> 300 \times 10^9 \text{ Hz}$	$> 200 * 10^{-24} \text{ J}$

Fuente: (Hernandez, y otros, 2017)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

Albert Einstein (1879-1955), en su teoría especial de la relatividad, halló la solución teórica que explica la constancia de la velocidad de la luz $299.792.458 \text{ m/s}$, aunque redondeando suele decirse que es de 300.000 km/s . En la Figura 15-2 se muestra la penetración de la radiación.

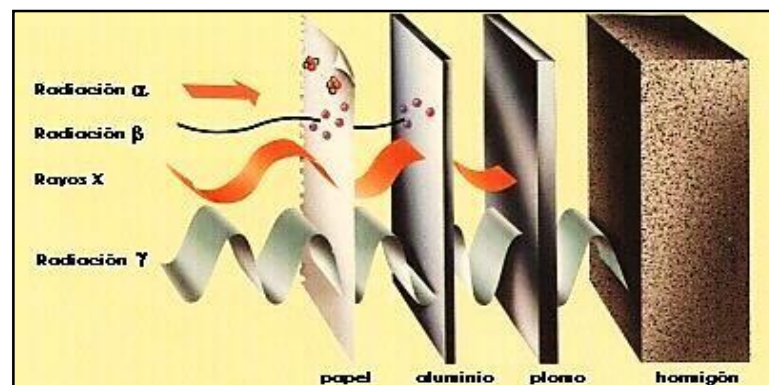


Figura 15-2: Penetración de la radiación

Fuente: (Hernandez, 2022)

1.8.3 Espectro visible

La luz que observamos con nuestros ojos es una parte muy pequeña del espectro electromagnético, la radiación electromagnética con una longitud de onda entre 380 nm y 760 nm es detectada por el ojo humano y se capta como luz visible. Por encima de la frecuencia de las radiaciones infrarrojas se encuentra la luz, un tipo especial de radiación electromagnética que tiene una longitud de onda en el intervalo de 0,4 a 0,8 micrómetros, como se evidencia en la 16-2. Este es el rango en el que el sol y las estrellas similares a las que emiten la mayor parte de su radiación. (Frontal, 2005 pág. 35)

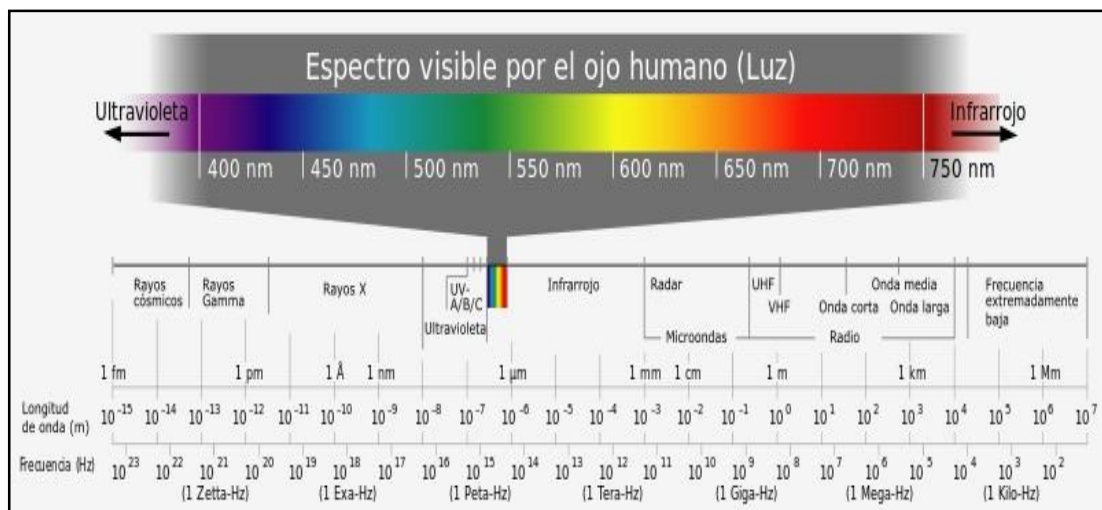


Figura 16-2: Espectro visible por el ojo humano

Fuente: (Spectrum, 2008)

1.8.4 Temperatura

La temperatura es una magnitud física que se refiere a nociones de calor o frío y es proporcional a la energía cinética promedio de una masa u objeto.

La temperatura es una manera de representar a escala microscópica la velocidad media de las partículas de un sistema, dicho de otra manera, si se tiene dos sistemas similares se dirá que tiene mayor temperatura aquel en el que sus partículas se mueven a mayor velocidad en el caso de los fluidos, y en el caso de los sólidos donde sus moléculas están más fijas, la temperatura será una medida de la vibración de los átomos en torno a sus posiciones. (Domingo, 2017 pág. 46)

1.8.5 Calor

El calor es la energía transferida de un objeto a otro que cumple a una diferencia de temperatura, es un tipo de energía que se genera a causa de la vibración de las moléculas, de manera que motivan un aumento de temperatura, dilatación de cuerpos, fundición de sólidos y evaporación de líquido, como se pueden observar en la -2. (Paredes, 2021)

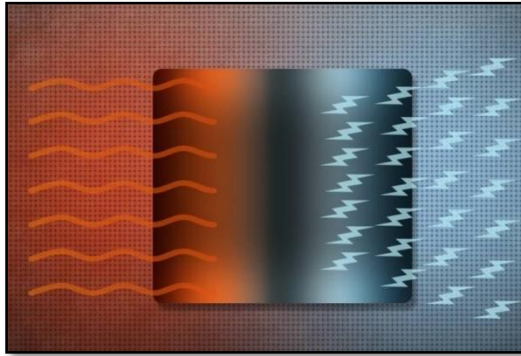


Figura 17-2: Diferencia de temperatura

Fuente: (Daniloff, 2021)

1.8.6 Calor específico

El calor específico se define como la cantidad de calor que hay que suministrar por una unidad de masa de una sustancia, en la tabla 7-2, podemos apreciar la media de calor específico de ciertas sustancias.

Tabla 7-2: Calor específico de sustancias

Sustancia	Calor específico [cal/g.°C]
Cobre	0,093
Acero	0,11
PVC	0,21
Aluminio	0,22
Agua	1

Fuente: (Saqui, 2016)

Realizado por: (Zamora. L, 2022)

1.8.7 *Transferencia de calor*

De acuerdo con (Incropeta, 1999) la transferencia de calor es un proceso físico, en el cual dos sistemas con distintas temperaturas se ponen en contacto, este proceso se da hasta que los sistemas se encuentren en equilibrio, es decir hasta que las temperaturas se igualen. Generalmente se puede transmitir la energía térmica de 3 distintas formas, por conducción, convección y radiación. Como muestra la Figura 18-2.

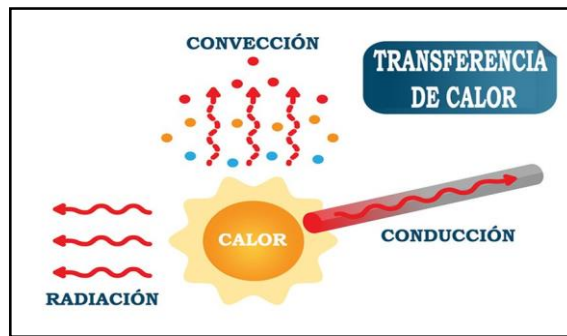


Figura 18-2: Transferencia de calor

Fuente: (Pirobloc, 2016)

1.8.7.1 *Transferencia de calor por conducción*

Es la transferencia de calor a través de un objeto sólido donde a causa del movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperaturas, como muestra la Figura 19-2, la transmisión de calor por conducción se puede producir entre diferentes objetos que están en contacto.

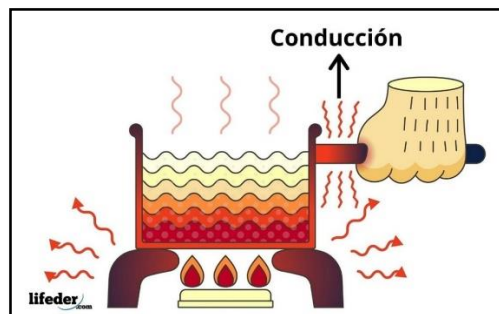


Figura 19-2: Transferencia de calor por conducción

Fuente: (Zapata, 2021)

1.8.7.2 *Transferencia de calor por convección*

Es la transferencia de energía mediante la mezcla íntima de distintas partes del material, se produce un mezclado e intercambio de energía, como por ejemplo ver Figura 20-2, donde se observa que el agua fría desciende y el agua caliente asciende.

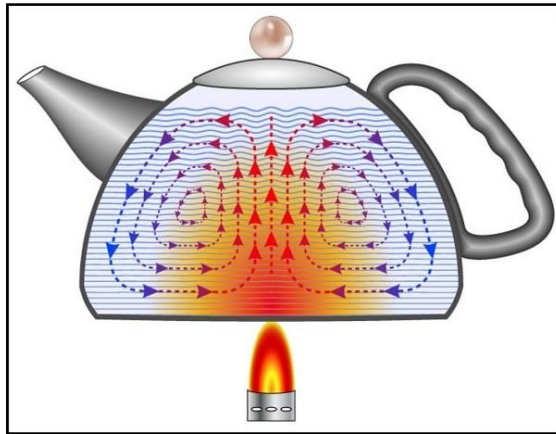


Figura 20-2: Transferencia de calor por convección

Fuente: (Zapata, 2021)

1.8.7.3 *Transferencia de calor por radiación*

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas o también llamados fotones, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas como muestra.

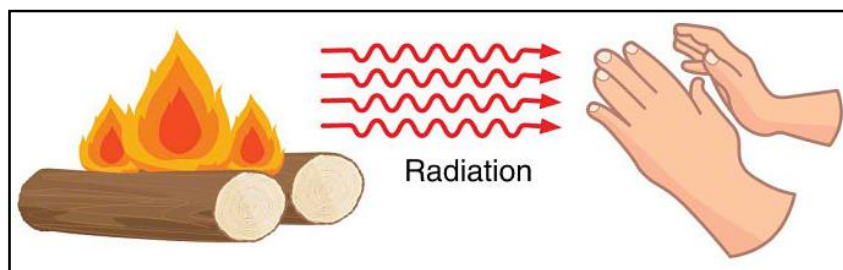


Figura 21-2: Transferencia de calor por radiación

Fuente: (Noguera, 2021)

1.8.8 Leyes de la Termodinámica

Son cuatro leyes de la termodinámica, las mismas que describen el comportamiento del flujo de calor, el trabajo y la energía interna del sistema; las leyes vienen dadas por un conjunto de ecuaciones. (Coliccio, 2021 pág. 1)

1.8.8.1 Ley cero de la Termodinámica

A esta ley también se le llama equilibrio térmico, se entiende por equilibrio el estado en el cual los sistemas equilibrados tienen la misma temperatura como se puede ver en la Figura 22-2. Esta ley expresa lo siguiente: "Si dos sistemas A y B están a la misma temperatura, y B está a la misma temperatura que un tercer sistema C, entonces A y C están a la misma temperatura".

(Temperatura y ley cero de la termodinámica, 2020)

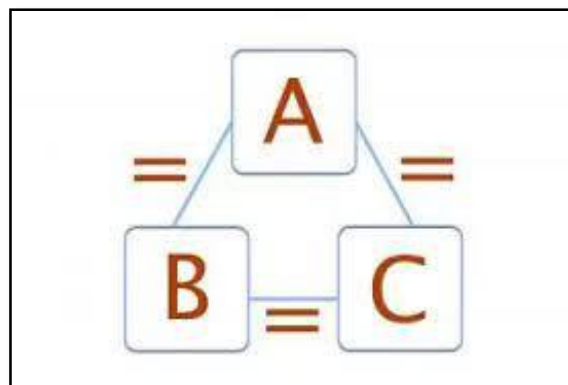


Figura 22-2: Ley cero de la termodinámica

Fuente: (Planas, 2016)

Se suscita esta ley ya que los científicos notaron la gran importancia que acarrea conocer la relación que tiene la temperatura con los sistemas, más allá de ser la base para lograr entender conceptos de termodinámica, así que debido a que anteriormente se establecieron la primera, segunda y tercera ley, se formuló que debía de ser anterior a todas estas y se le impuso con el nombre de Ley Cero. (Temperatura y ley cero de la termodinámica, 2020)

1.8.8.2 Primera ley de la termodinámica

En la primera ley, se menciona es la más importante de todas por conocerse como el principio de conservación de la energía, esta ley dice que "La energía no puede ser creada ni destruida, sólo puede transformarse de un tipo de energía en otro". (Artés, 2012 pág. 2)

Dicho de otra manera, la energía es indestructible, siempre que desaparece una clase de energía aparece otra (Julius Von Mayer). pues al variar la energía interna en un sistema cerrado, se produce calor y un trabajo. De manera práctica se demostró que el calor, que originalmente se medía en unidades llamadas calorías, y el trabajo (energía), medidos en julios, eran completamente semejantes. Una caloría equivale a 4,186 julios

1.8.8.3 Segunda ley de la termodinámica

Solamente se puede realizar un trabajo mediante el paso de calor de un cuerpo que tiene mayor temperatura a otro que tiene menor temperatura.

La segunda ley de la termodinámica apunta la dirección en que se llevan a cabo las transformaciones energéticas. El flujo desinhibido de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos de temperatura más alta hasta los de temperatura más baja.

Cuando dos objetos con diversa temperatura se ponen en contacto se transfiere energía de uno al otro. Esta transferencia de energía continúa hasta que el sistema alcance una condición estable, llamada equilibrio térmico. La segunda ley de la termodinámica suministra, además, una definición precisa de una propiedad llamada entropía que es la fracción de energía de un sistema que no es posible convertir en trabajo. (Fiscalab, 2021 pág. 1)

1.8.8.4 Tercera ley de la termodinámica

El tercer principio de la termodinámica asevera que el cero absoluto no puede alcanzarse, pues el cuerpo o sustancia debería de estar totalmente apartado de cualquier fuente de calor, lo que no es posible. Textualmente dice "Es posible acercarse indefinidamente al cero absoluto, pero nunca se puede llegar a él". (Pueblos, 2021)

El cero absoluto de temperatura ($0\text{ }^{\circ}\text{K}$ o $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) es la temperatura más baja que teóricamente se podría alcanzar. En el cero absoluto las partículas del cuerpo o sustancia estarían sin movimiento. Entonces no tendrían energía cinética y como se muestra la Figura 23-2, los electrones se condensarían en el nivel de energía más bajo. (Lichtblau, et al., 1959).

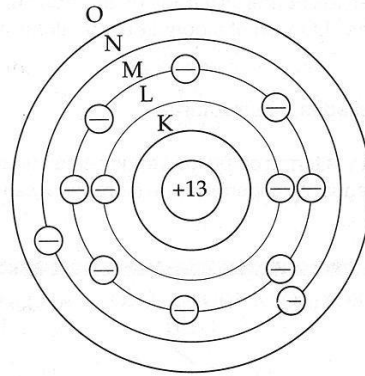


Figura 23-2: Átomo

Fuente: (Línea, 2022)

1.8.8.5 Ley de Kirchhoff

Gustav Kirchhoff en 1862, introdujo el nombre de cuerpo negro. “Toda la materia emite radiación electromagnética cuando se encuentra a una temperatura por encima del cero absoluto”, la radiación electromagnética se muestra en la Figura 24-2.

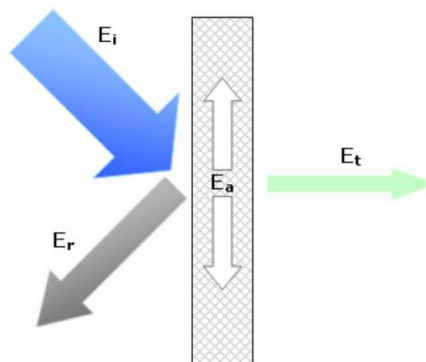


Figura 24-2: Radiación electromagnética

Fuente: (Yamaguchi, 2013)

“La energía emitida depende de la naturaleza de la superficie”, por ejemplo, una superficie mate o negra tiene un poder emisor superior que una superficie brillante. De la misma forma sucede a la inversa, toda la materia absorbe radiación electromagnética de su entorno, por ejemplo, un objeto que absorbe toda la radiación que incurre sobre él, se denomina cuerpo negro; hay que tomar en cuenta que no todos los cuerpos absorben toda la radiación que incurre sobre él. Por lo general solo una fracción de esa radiación se absorbe, otra de transmite y otra se refleja.

La ley de Kirchhoff también establece que: “La suma de la radiación que sale de la superficie de un objeto es igual a uno”, esto se refleja a continuación:

$$a + p + t = 1 \quad (12)$$

Donde:

a = absorción

p = reflexión

t = transmisión

1.8.8.6 Balance de energía

Por consiguiente, la ecuación del balance de energía se determina por la ecuación 13:

$$\dot{m}\left(H_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) - \dot{m}\left(H_2 + \frac{V_2^2}{2}\right) = \frac{DE}{DT} \quad (13)$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico

H_1 : Entalpía del aire en la entrada

V_1^2 : Velocidad del aire en la entrada

H_2 : Entalpía del aire en la Salida

V_2^2 : Velocidad del aire en la Salida

ρ : Densidad del aire

$\frac{DE}{DT}$: Balance de energía

1.9 Termografía en conductores eléctricos

La Termodinámica estudia las relaciones entre las diferentes propiedades de la materia que dependen de la temperatura. Dicho de otra manera, la termodinámica está relacionada con el flujo de calor desde el punto de vista macroscópico, la Figura 25-2 muestra las inspecciones eléctricas.

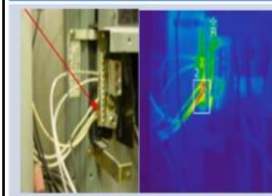
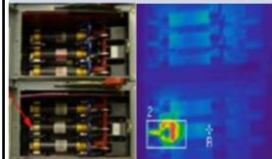
Inspecciones eléctricas	
Termografía	Descripción
	Soltura, aislación del cable o contacto pobre La anomalía o punto caliente indica una falla de conexión en el terminal neutral del panel eléctrico.
	Mecanismo del resorte vencido o tornillo de fijación flojo La anomalía o punto caliente indica una falla de contacto entre el fusible y el porta fusibles de la fase # 2 en el área de carga.

Figura 25-2: Inspecciones termográficas

Fuente: (Hernandez, 2022)

1.9.1 Características de la termografía infrarroja

Tomando en cuenta que la termografía infrarroja es un tipo de radiación electromagnética diremos que es parte del espectro electromagnético muy similar a la luz visible.

- Viaja a la misma velocidad de la luz
- La luz visible y la infrarroja se diferencia por la longitud de onda.
- Las ondas infrarrojas son más largas si comparamos con la luz visible

1.10 Tipos de termografía

1.10.1 Termografía comparativa

Es un proceso utilizado para comparar componentes en condiciones similares para así evaluar el estado del equipo que se está inspeccionando. Cuando la termografía comparativa se utiliza de forma correcta, las diferencias entre los equipos analizados suelen ser indicadores de su estado. Es de suma importancia establecer el margen de error aceptable antes de empezar una inspección y trabajar con mucho cuidado para no salirse de esos límites, mediante la comparación del objeto de interés con otros similares, suelen ser fácil de detectar una anomalía, la formación y la experiencia son fundamentales para el proceso de inspección puesto que puede haber muchas variables que deban tenerse en cuenta. (Luque, 2012)

La habilidad de obtener medidas cuantitativas se basa en un sistema de imágenes radiométricas, cómo se moviliza el calor, cuáles son los factores que afectan su transferencia, la física implicada en la información infrarroja obtenida, característica del objeto, sensor de la cámara, atmósfera que rodea al objeto.

Aspectos que pueden influir de forma directa en el valor de las medidas cuantitativas:

- La emisividad menor de 0,6
- Temperatura reflejada de fondo
- Estado de calibración de la cámara
- Condiciones ambientales (velocidad del viento, lluvia, etc.).
- Los reflejos.

1.10.2 Termografía inicial

Con una inspección inicial se pretende establecer un punto de referencia del equipo cuando funciona en condiciones normales y sin problemas. Es importante determinar el estado del equipo normal y utilizarlo como firma térmica inicial con la que comparar imágenes posteriores.

Más del 90% de los trabajos de inspección se realizan por comparación. En la práctica se debe obtener información de la estructura, sistema, objeto o proceso a través de observarlo con imágenes de la radiación infrarroja, grabarlas y presentar la información.

1.10.3 Termografía cualitativa

Básicamente consiste en identificar y ubicar los problemas presentes en los diferentes sistemas inspeccionados, basados en el método comparativo de sus rasgos anormales de operación, sin cuantificar el valor de pérdida de calor. Los problemas potenciales se identifican por un ΔT entre sistemas similares o áreas. Más del 90% de los trabajos de inspección se realizan por comparación.

Identifican y localizan los problemas existentes en los diferentes sistemas inspeccionados, basado en el método comparativo de sus rasgos anormales de operación. No cuantifica la cantidad de pérdida de calor. Una diferencia entre similares sistemas o áreas podría significar un problema potencial, un ejemplo patrón de un techo y terminales eléctricos. (Luque, 2012)

1.10.4 Inspecciones cuantitativas

Consiste en determinar directamente los valores exactos de la distribución de temperatura en una termografía.

Las inspecciones cuantitativas son efectivas siempre que se garantice:

- Un apropiado contraste visual de los puntos calientes en los termogramas.
- Que se visualicen los diferentes valores de temperatura.
- Que se logre analizar la variación de temperatura ΔT .
- Que se note una perspectiva y foco adecuado.

Para realizar inspecciones eléctricas se utiliza la norma NETA MTS:2011, por lo tanto, nos brinda la acción recomendada a realizar ante la variación de temperatura que se da en el momento de hacer la toma de datos de termografía. (Tipán, 2011)

1.10.5 Factores que inciden en el análisis termográfico

Estos son:

- Carga
- Atenuación atmosférica
- Emisividad
- Velocidad del viento
- Campos magnéticos
- Lluvia

1.10.5.1 Carga

El efecto del calentamiento cuando se presenta una falla, éste se incrementa en términos generales con el valor de la carga elevada al cuadrado. Se ha demostrado que el exceso de temperatura en un componente aumenta linealmente con el efecto desarrollado. Esto es para inspecciones eléctricas.

1.10.5.2 Atenuación atmosférica

La atmósfera no es completamente transparente a la radiación infrarroja, información que puede ser atenuada al pasar a través de ella y la cual también puede emitir radiación. Para ello existen unos factores de corrección que dependerán de una serie de parámetros, tales como la distancia al objeto, humedad relativa (H₂O), temperatura del aire en grados Centígrados, Fahrenheit o Kelvin según el tipo de equipo. (Tejeda, 2017 pág. 24)

1.10.5.3 Emisividad

Debido a que no todos los cuerpos cuando aumentan su temperatura pueden radiar energía de la misma manera, esto depende del tipo de material. Un cuerpo con diferentes emisividades puede lucir como si estuviese sobrecalentado en varios puntos, se debe tener cuidado porque mientras la

emisividad sea menor la reflectividad aumenta, a estos engañosos puntos se les mira desde diferentes ángulos y alturas con el equipo para certificar si son producidos por algún reflejo. (Martinez, 2018 pág. 35)

1.10.5.4 Velocidad del viento

El efecto refrigerante producido por la velocidad del viento es uno de los factores a tener en cuenta en un análisis termográfico, ya que se pueden tomar medidas erróneas a causa de este fenómeno.

1.10.5.5 Campos magnéticos

Las corrientes eléctricas pesadas causan fuertes campos magnéticos, los cuales pueden causar una distorsión considerable en la imagen térmica.

1.10.5.6 Lluvia

La lluvia causa un efecto de enfriamiento de manera superficial a un equipo. Las mediciones termográficas se pueden realizar con resultados satisfactorios durante una caída de lluvia ligera, las lluvias pesadas disminuyen la calidad de la imagen. (Saqui, 2016 pág. 26)

1.11 Cámara termográfica

Las cámaras termográficas contienen una matriz de sensores, que captan las señales infrarrojas que emite el objeto que se desea analizar, a cada una le asignan un color. La composición de todos los colores da como resultado una imagen como se aprecia en la Figura 26-2, donde cada uno representa una zona con una imagen determinada y cada color representa un rango de temperatura expresada en °C o °F. (Saqui, 2016)



Figura 26-2: Cámara termográfica

Fuente: (Manizales, 2020)

Las cámaras de imágenes infrarrojas son semejantes en sus lentes, generalmente hechos de germanio o cuarzo, enfocan la radiación sobre un detector sensible a longitudes de onda infrarroja. El detector produce pequeñas señales eléctricas que cuando se amplifican, generan una imagen electrónica concerniente a la localización e intensidad de la radiación infrarroja total que éste ve.

Todos los materiales que se encuentren a una temperatura por encima del cero absoluto emiten energía en forma de ondas electromagnéticas que se convierten en una señal eléctrica por el detector microbolómetro, esta señal se transforma en una imagen en blanco y negro o color.

1.12 Aplicación de la termografía infrarroja

La técnica mediante termografía es utilizada para ver la temperatura de las superficies con precisión sin tener contacto con las mismas. Las diferencias de temperatura se muestran en escalas de grises o color, donde por lo regular blanco representa el área más caliente y negro la más fría, a menos que se invierta la paleta de colores.

- Aplicación de la termografía en sistemas eléctricos
- Aplicación de la termografía en sistemas mecánicos
- Las cámaras termográficas se utilizan para inspeccionar distintas aplicaciones industriales como en bombas, tuberías, soldaduras, edificaciones e incluso en la medicina humana.

Según la técnica utilizada también es posible clasificar de acuerdo con la utilización o no de un estímulo infrarrojo en la superficie a estudiar.

Las cámaras infrarrojas activas funcionan basándose en la estimulación de la respuesta térmica de la superficie que se va a estudiar, la radiación infrarroja es emitida por reflector de un elemento auxiliar que puede estar integrado en la cámara o en otra parte el haz de infrarrojo ilumina la superficie a estudiar para que pueda ser percibido por la cámara y a su vez la cámara nos dará una imagen monocromática. El colector tiene un filtro para prevenir la interferencia de la luz visible en la cámara mientras mayor sea el alcance mayor será el tamaño del reflector. (Tipán, 2011)

Las cámaras infrarrojas pasivas carecen de reflectores y perciben la radiación infrarroja tal cual como es emitida por un cuerpo, el inconveniente es que no detectan cuerpos a la misma temperatura del detector motivo por el cual suelen enfriarse de manera criogénica (Hernandez, 2022,pág 30)

1.12.1 Calibración de equipos termográficos

Comúnmente, los instrumentos IR (Infrarrojos) son calibrados o verificados cada año, para ello se utilizan cuerpos negros. La certificación de la calibración garantiza la calidad y proporciona correctos valores de una realidad física. Para disminuir el costo de calibración, se puede congelar agua destilada o simplemente llevarla al punto de ebullición, y ver la temperatura con su radiometría. (Crosntrumática, 2021 pág. 3)

Para ello se requiere:

- Conocer la temperatura exacta del agua.
- Que la superficie del agua sea más grande que el termograma.
- Que la iluminación y otras fuentes de calor impacten mínimamente.
- Que use contacto trazable termométrico para garantizar la espera de lectura.

1.12.1.1 Enfoque

Los problemas más comunes con la mayoría de las imágenes termográficas corresponden a la captura de imágenes desenfocadas. Esto genera que el análisis y la evaluación sea cada vez más difícil porque una imagen termográfica desenfocada puede generar una disminución de la temperatura real sobre todo se está midiendo puntos muy calientes. La Figura 27-2, muestra el enfoque.



Figura 27-2: Enfoque

Fuente: (Ovacen, 2020)

1.12.1.2 Rango térmico

El rango de temperatura de una cámara termográfica son aquellos valores máximos y mínimos de temperatura que una cámara infrarroja puede medir con precisión; las cámaras térmicas laboran en un rango conocido como infrarrojo térmico, que es donde se ubican las temperaturas más usuales en la superficie terrestre, entre las 8 y las 14 micras, que equivale aproximadamente entre los -20 y 350 °C.

1.12.1.3 Sensibilidad

La sensibilidad térmica, es la resolución termal o diferencia de temperatura equivalente de ruido (NETD: Noise Equivalent Temperature Difference). La sensibilidad se desempeña con el cambio

en temperatura mínimo en la superficie del objeto que puede ser fácilmente detectada por la cámara. La sensibilidad de la temperatura es expresada por el término diferencia de temperatura mínima resoluble (MRTD: Minimum Resolvable Temperature Difference). (Academia, 2018 pág. 1)

1.12.1.4 Resolución de Medición

Tiene que ver con el menor detalle que se puede medir un objeto se logra apreciar, pero puede estar muy diminuto o distante para medirlo con precisión. El tamaño del detector de los lentes y la distancia definen el tamaño mínimo de lo que podemos ver y de lo que podemos medir.

1.12.1.5 Distancia

La distancia es un factor relevante en termografía. Pues está relacionado con dos cosas, en primer lugar, con la resolución espacial de la cámara y segundo con la condición atmosférica que es un metro. El conocimiento de la resolución de la cámara termográfica es esencial debido a la capacidad de la cámara para capturar el punto más pequeño en un área de un píxel. Se debe acercarse lo suficiente a su objeto para que pueda obtener una lectura correcta.

1.12.1.6 Portabilidad

Es un factor decisivo para escoger un sistema infrarrojo, ya que en muchos casos se tiene que cumplir con rutas de inspección que exigen varias horas de labor y por consiguiente resultan agotadoras, tomar en cuenta estas dos recomendaciones.

Ajustes críticos:

- Enfoque de la cámara
- Distancia de operación
- Rango de temperatura (No es un ajuste)

Factores críticos:

- Emisividad Efectos y limitaciones del clima Carga del equipo (plena carga)

1.13 Criterio de análisis termográfico para conductores eléctricos

Para evaluar la complejidad de una falla, se usa el Criterio Delta de Temperatura. En este criterio, se determina la diferencia de temperaturas entre el punto que presenta la falla y un punto de referencia. Esta referencia presenta típicamente la temperatura ambiente o es un equipo que está trabajando a las mismas condiciones del equipo comparado. (Saqui, 2016 pág. 18)

En el criterio Delta de temperatura existen normas o estándares usados por Termógrafos para evaluar y/o clasificar la diferencia de temperatura resultante. Los criterios establecidos por la Internacional Electric Testing Association -NETA MTS-1995-, los cuales proporciona rangos muy estrictos para la clasificación de temperaturas. (Mts-2011, 2011)


Inspecciones eléctricas		NETA InterNational Electrical Testing Association Setting the Standard.
Acciones sugeridas basadas en el aumento de temperatura según NETA MTS:2011		
ΔT entre componentes similares bajo cargas similares	ΔT entre el componente y la temperatura ambiente	Acción recomendada 
1º C – 3º C	1º C – 10º C	Posible deficiencia. Ordene investigación
4º C – 15º C	11º C – 20º C	Probable deficiencia; Reparar en la primera oportunidad
-----	21º C – 40º C	Monitorear hasta que las medidas correctivas pueden ejecutarse
>15º C	>40º C	Discrepancia mayor; Reparar inmediatamente

Figura 28-2: Severidad en termografía

Fuente: (Hernandez, 2022)

1.13.1 Pruebas estadísticas

Existen métodos paramétricos y no paramétricos tanto para datos cuantitativos como cualitativos.

1.13.1.1 Distribución de Shapiro Wilk

La distribución de Shapiro Wilk es una prueba estadística paramétrica que contrasta la normalidad utilizando como máximo una muestra de 50 datos, los cuales se ordenan de menos a mayor. Para calcular la distribución de Shapiro Wilk se utiliza la siguiente ecuación:

$$W = \frac{D^2}{n(S)^2} \quad (14)$$

Donde:

D: Es la sumatoria de las diferencias corregidas

W: Contraste de normalidad

n: Número de muestra.

La tesis nula o alternativa se aceptará o rechazará según las siguientes reglas de decisión:

$W < VC$: H_0 se rechaza

$W > VC$: H_0 se acepta

Donde:

VC: Valor de confianza de Shapiro-Wilk

H₀: Hipótesis Nula

La tesis nula de normalidad se rechaza si el valor de W es menos al valor crítico mostrado en la 29-2; por lo tanto, se aceptará la hipótesis alternativa. (Barcelona, 2016)

1.13.1.2 Distribución T-Student

La distribución T es una distribución de probabilidad que considera el valor de la media siempre y cuando el valor de la muestra sea pequeño. La distribución T-student permite definir una hipótesis ya sea nula o alternativa como muestra la Figura 29-2 dependiendo de los datos utilizados. (Reyes, 2016)

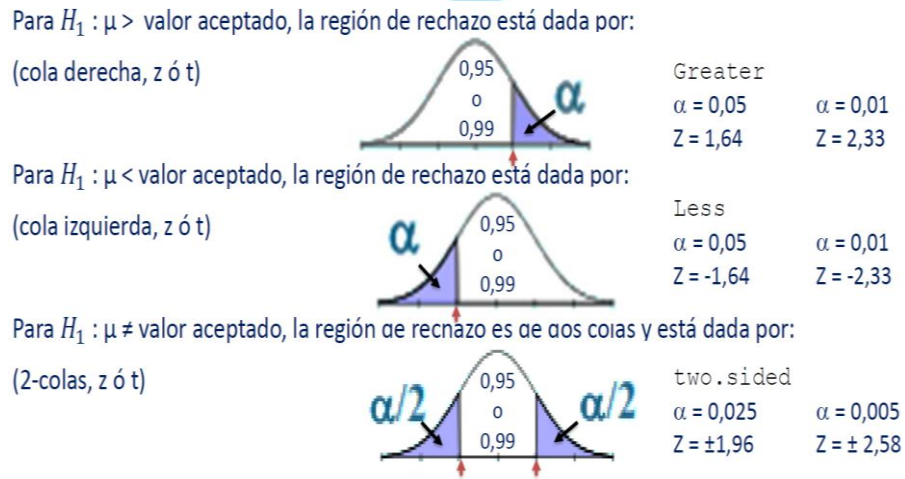


Figura 29-2: Prueba T-Student

Fuente: (Hernandez, 2022)

Tabla 8-2: Condiciones de las hipótesis

Hipótesis alternativa	Condición de validación
$\mu > \mu_0$	$T > t_0$
$\mu < \mu_0$	$T < -t_0$
$\mu \neq \mu_0$	$T < -t_{\alpha/2} \quad T > t_{\alpha/2}$

Fuente: (Zamora, 2019)

Donde:

T: Es el valor de distribución calculada.

t_α : Es el valor de distribución obtenido.

Para obtener el valor de la distribución de T-Student se utilizó la ecuación:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (15)$$

Donde:

\bar{X} = Porcentaje de aceptabilidad medio

μ_0 = Valor objetivo

S = Desviación estándar

n = Número de muestras

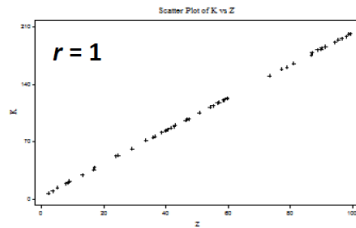
Para el obtener el valor de la desviación estándar se usa la Ecuación 16

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (16)$$

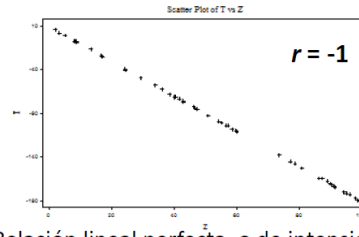
1.14 Correlación lineal

El método de correlación lineal ayuda a decidir si la hipótesis nula es aceptada o rechazada dado el caso según el porcentaje de la correlación r , esa mide la aproximación de un conjunto de puntos con una función lineal, otorga información sobre el sentido y la intensidad de una relación lineal entre dos variables cuantitativas.

De los datos analizados se determina que corresponden a una distribución normal y se determina el coeficiente de correlación lineal de Pearson para pruebas paramétricas, donde el coeficiente de Pearson da un valor de entre $-1 \leq r \leq 1$, cuando más se aproxima a 1 o -1 más intensa será la relación, y este valor indica el sentido de la relación lineal.

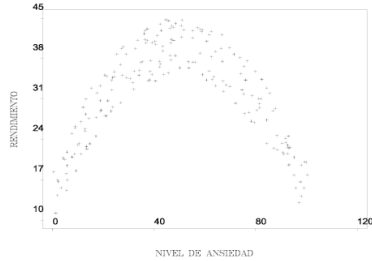


Relación lineal perfecta, o de intensidad máxima, sentido directo o creciente.

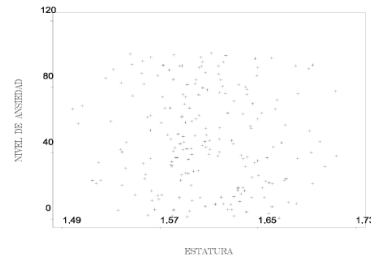


Relación lineal perfecta, o de intensidad máxima, sentido inverso o decreciente.

Relación lineal nula $r = 0$



Fuerte relación no lineal



Independencia

Figura 30-2: Correlación lineal

Fuente: (Hernandez, 2022)

1.15 Regresión lineal

Mediante el proceso de regresión lineal se pretende buscar una ecuación lineal la cual se ajuste de la mejor manera a un conjunto de datos.

La ecuación característica de una función lineal es:

$$y = mx + b \quad (17)$$

Donde:

y: Nombre de la Función lineal (m)

m: Pendiente (m)

x: Eje x (m)

b: Término Independiente (m)

β^2 : Beta al cuadrado

$e(m)$: Error en la pendiente

$e(b)$: Error en el término independiente

Se utilizó el método de mínimos cuadrados, cuyas ecuaciones se detallan a continuación:

Donde realizamos el siguiente proceso para encontrar los valores de x, y b.

$$b = \frac{\sum y \sum xx - \sum x \sum xy}{N \sum x - \sum xx} \quad (18)$$

$$m = \frac{N \sum xy - \sum xy}{N \sum xx - \sum xx} \quad (19)$$

$$\beta^2 = (mx + b - y)^2 \quad (20)$$

$$e(m) = \sqrt{\frac{N}{N \sum xx - \sum xx} * \frac{\beta^2}{N-2}} \quad (21)$$

$$e(b) = \sqrt{\frac{\sum xx}{N \sum xx - \sum xx} * \frac{\beta^2}{N-2}} \quad (22)$$

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Formulación de la hipótesis

Las pérdidas de energía que se producen en conductores eléctricos en función de su longitud y su diámetro son mayores a las pérdidas predichas en la ley de Joule.

2.2 Determinación de la variable dependiente e independiente

2.2.1 *Variable dependiente*

Pérdidas de energía que se producen en los conductores eléctricos en forma de calor

2.2.2 *Variable independiente*

Diámetro y longitud de los conductores eléctricos

2.3 Manipulación y registro de variables

En la variable independiente de los conductores de estudio, el valor de la longitud de los conductores será constante de 2 metros, mientras que las secciones transversales cambiarán en función del conductor de estudio seleccionado, #14-#16-#18-#20-#22 AWG respectivamente.

Al activar toda la carga en el circuito del módulo de pruebas la temperatura en el conductor de empieza a elevarse hasta llegar a una temperatura máxima, este valor de temperatura es en donde el conductor presentará el mayor porcentaje pérdidas de energía en forma de calor, en ese momento será realizada la toma de datos.

2.4 Control de variables extrañas presentes en el experimento

2.4.1 *Tipos de variables extrañas*

- Carga
- Humedad del ambiente
- Velocidad del viento
- Emisividad
- Campos magnéticos
- Control del reflejo de rayos lumínicos

2.4.2 *Control de la humedad*

Para reducir el efecto de la humedad del ambiente se colocó al conductor eléctrico de estudio en la parte superior del tablero eléctrico y así aislarlo de la humedad. El módulo de pruebas se utilizó en un ambiente controlado, libre de corrientes de viento para evitar toma de datos erróneos.

2.4.3 *Control de la velocidad del viento*

Para eliminar las corrientes de viento se logró ubicar el módulo de pruebas en un cuarto cerrado en el cual las corrientes de viento fueron nulas, de esta manera se puede asegurar la toma de datos confiables.

2.4.4 *Control de la emisividad*

Los conductores paralelos flexibles de cobre recubiertos con cobertura de policloruro de vinilo, los cuales tienen una emisividad de 0,95. Gracias a la emisividad del conductor las medidas de temperaturas en los termogramas tendrán buena exactitud al ser un polímero.

2.4.5 *Control de campos magnéticos*

Los campos magnéticos no estarán en contacto con los conductores de estudio ya que están separados cada uno por su gabinete correspondiente.

Sabiendo que el calor producido por cada niquelina llega hasta alrededor de los 800 °C, dato del fabricante, se colocaron a una distancia determinada de 13 cm para reducir que estando cerca la temperatura se eleve demasiado en el tablero de carga y se conduzca por las paredes de la estructura metálica y los tableros del módulo de pruebas.

2.4.6 Control del reflejo de rayos lumínicos

Para evitar la reflexión de rayos lumínicos de otras fuentes de calor se pintó de negro la superficie interna del tablero eléctrico donde se aloja el conductor eléctrico de prueba, así también la posición de la cámara termográfica se realizará de manera perpendicular al tablero con ello se evita el reflejo térmico de fuentes de calor externas al módulo de pruebas.

2.4.7 Control de la lluvia

Ya que el módulo de pruebas se logró colocar en un cuarto cerrado se pudo evitar el contacto con la lluvia, de tomarse medias termográficas estas no serían confiables en caso de contacto con la lluvia.

La lluvia tiene un efecto enfriante superficialmente en un equipo. Las mediciones termográficas se pueden realizar con resultados satisfactorios durante una caída de lluvia ligera, las lluvias pesadas disminuyen la calidad de la imagen. (Saqui, 2016)

2.5 Cámara termográfica

La cámara termográfica seleccionada para la toma de datos será de tipo HotFind VR la cual tiene varias opciones a manipular y facilitan la toma de medidas con un rango de temperatura hasta los 1500°C, que son más que suficientes para el estudio como muestra la Figura 1-3.



Figura 1-3: Cámara térmica

Fuente: (Satir, 2021)

Las especificaciones técnicas de la cámara termográfica están detalladas en la Figura 2-3, según el catálogo del fabricante.

ESPECIFICACIONES	
TIPO	HotFind VR
Característica la de Imagen	
Distancia de enfoque FOV/Min.	20°X15°/ Enfoque mínimo 0,1 m
Resolución Espacial	2,2 mrad.
Sensibilidad Térmica	≤0,08°C@30°C 100mk
Tipo de Detector	Microbolómetro (FPA)
Resolución	160X120 Píxeles
Rango Espectral	8 -14 μm
Enfoque	Manual
Puntero Laser	Identificación automatiza del puntero laser en la pantalla, alineación automática.
Presentación de Imagen	
Modos de Imagen	IR/CCD/Visión doble/Digital. Imagen IR, Imagen Digital, fusión térmica, Picture in Picture
	Fusión térmica IR , umbral superior, inferior ajuste automático de un intervalo de temperatura, en la imagen visual.
	Picture in Picture(Superposición de la imagen térmica en la imagen visual), Imagen IR móvil y ajustable dentro al imagen digital.
Pantalla LCD	LCD 3.5" pantalla LCD brillante,
	Resolución 160X120
Cámara Video Digital	Full color 2 mega-píxeles.
	Incluye lámpara de iluminación para ambientes oscuros.
Frecuencia Escaneo de Imagen	60 Hz o 50 Hz.
Salida de Video	NTSC(60Hz) o PAL(50Hz) video compuesto, IR, digital. .AVI, MPEG.
Brújula Electrónica	Incorporada
Medición de la Temperatura	
Rangos de Medida	-20°C~ + 250°C (opcional hasta 1500°C)
Exactitud	±2°C, ±2% de lecturas
Modos de Medición	4 Puntos móviles, seteo de límites de temperatura auto caliente/frio, línea de perfil, 5 áreas cuadrados, círculos (Temp. Max, Min, Promedio), 3 isotermas.
	Diagnóstico automático entre temperaturas de referencia y temperaturas en función de medición. Valor y posición de temperatura por cada pixel en tiempo real o en imagen guardada, pantalla de la cámara o PC.
	Fecha, hora, nivel de batería, estado de conectividad Bluetooth, Idioma español.
Delta T	Si

Figura 2-3: Datos técnicos de la cámara termográfica

Fuente: (Satir, 2021)

2.6 Diseño y construcción del módulo de pruebas

El módulo de pruebas estará construido de tal manera que permita la toma de datos confiables para el estudio.

Diseño y representación del módulo de pruebas que constará de tres tableros como se muestra a continuación en la Figura 3-3.



Figura 3-3: Módulo de pruebas

Realizado por: (Zamora, 2022)

En el módulo de pruebas se pueden observar tres tableros adecuados para que las variables extrañas no afecten en la medición, se puede observar en la parte superior el tablero de pruebas, en el medio el tablero de control, y en la parte inferior el tablero de carga donde las niquelinas están colocadas y enfriadas mediante el ventilador de la parte lateral del módulo. En la tabla 1-3 se muestra las medidas del tablero de control.

Tabla 1-3: Medidas del tablero de control

Tablero de control				
N°	Descripción	Medidas		
		Altura (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
1	Tablero de control	30	60	25
2	Tablero de carga	30	60	25
3	Tablero de alojamiento del conductor	30	60	25

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.1 *Diseño y construcción de la estructura del modulo*

El módulo de pruebas está construido acorde a las necesidades que éste demanda para un levantamiento de datos más confiables, como muestra la Figura 4-3, de éste dependerá el éxito o fracaso del estudio.

Para construir el módulo se realizó el dimensionamiento correspondiente al diseño y se procedió a la adquisición de los materiales respectivos sabiendo que tendrá las medidas detalladas en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Dimensiones de la estructura del módulo de pruebas

Medidas de la estructura		
Altura (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
180	90	60

Realizado por: (Zamora, 2022)

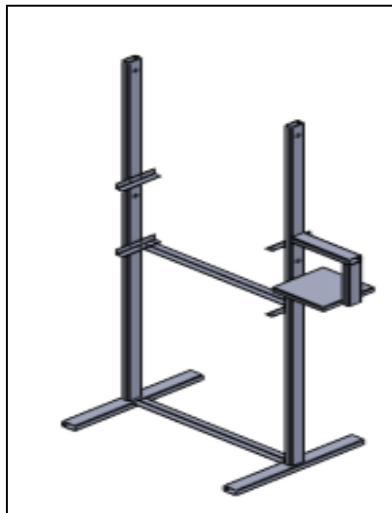


Figura 4-3: Estructura del módulo de pruebas

Realizado por: (Zamora, 2022)

La estructura metálica donde se sujetarán los tableros y el ventilador para enfriar la carga estará construida de tal forma que se puedan alojar adecuadamente los tableros del módulo, la estructura estará construida con los materiales de la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Materiales para construcción del módulo

Materiales para construcción del tablero y estructura				
N°	Descripción	Medidas		
		Altura (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)
1	Tubería rectangular	25	50	1.5
2	Plancha de acero negro	1220	2440	1.1

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.2 Diseño del circuito eléctrico del módulo

Mediante el circuito de fuerza y control el cual se observa en la Figura 5-3 se pudo controlar y variar la potencia del circuito de 0-100%. Para el diseño del módulo de pruebas se tomó en cuenta los factores que inciden en la termografía infrarroja para obtener datos confiables para el análisis.

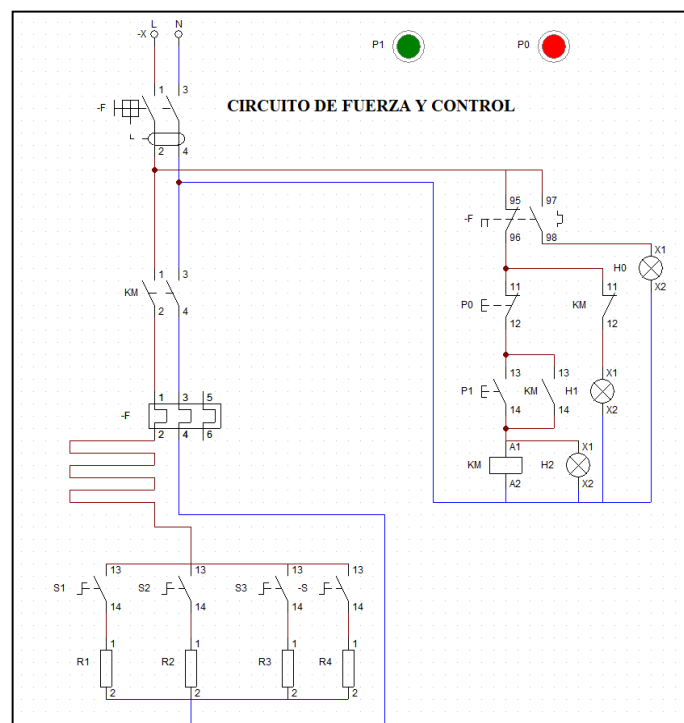


Figura 5-3: Circuito de fuerza y control

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.3 Selección de conductores eléctricos para estudio

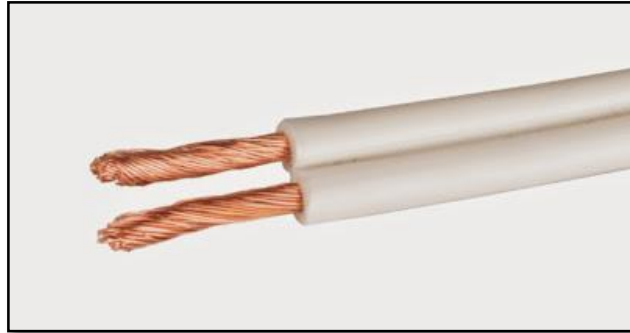


Figura 6-3: Conductor SPT

Fuente: (Zuñiga, 2020)

Los conductores eléctricos utilizados fueron de cinco secciones diferentes: (#14-#16-#18-#20-#22) AWG, tipo paralelo flexible de aislamiento SPT y XT, donde se tomó en cuenta de la ficha técnica de la página web de Incable, como muestra la Figura 6-3.

Los conductores que fueron seleccionados para aplicar el estudio son los que se encuentran con frecuencia en el mercado, cabe recalcar que los conductores de otros tipos de aislamientos con secciones menores al conductor #18AWG no son tan fáciles de encontrar con un proveedor eléctrico local. Para apreciar de manera clara la variación de los valores de potencia de pérdidas eléctricas en un conductor es necesario que éste sea de secciones pequeñas.

El cordón termoplástico de servicio paralelo (SPT) son similares a los cables, con la diferencia que sus hilos son más delgados y flexibles. Como se muestra en la Tabla 7-3, los SPT están formados por dos cables paralelos, poseen un recubrimiento de PVC que ayuda a no propagar la flama en caso de un incendio.

Comparar o/4	Código Producto	Calibre	Formación	Peso		Amperaje A	Embalaje Carrete o Rollo	Espesor Aislación PVC	Tramos m	Tipo --	Colores Disponibles
		AWG o Kcmil	# de alambres	Díametro Final mm	Kg / Km						
<input type="checkbox"/>	09- 0001	2 X 22	7 X 0.254	2.29 X 5.18	1776	5	Rollo	0.76	100	XT	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0901	2 X 22	7 X 0.254	2.29 X 5.18	1776	5	Carrete	0.76	1000	XT	○
<input type="checkbox"/>	09- 0002	2 X 20	7 X 0.32	2.49 X 5.58	23.06	7	Rollo	0.76	100	XT	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0912	2 X 20	7 X 0.32	2.49 X 5.58	23.06	7	Carrete	0.76	500	XT	○
<input type="checkbox"/>	09- 0003	2 X 18	16 X 0.254	3.45 X 7.40	39.56	10	Rollo	1.14	100	SPT2	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0913	2 X 18	16 X 0.254	3.45 X 7.40	39.56	10	Carrete	1.14	250	SPT2	○
<input type="checkbox"/>	09- 0004	2 X 16	16 X 0.32	3.77 X 8.14	51.69	13	Rollo	1.14	100	SPT2	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0914	2 X 16	16 X 0.32	3.77 X 8.14	51.69	13	Carrete	1.14	250	SPT2	○
<input type="checkbox"/>	09- 0005	2 X 14	26 X 0.32	4.17 X 8.34	70.60	15	Rollo	1.14	100	SPT	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0915	2 X 14	26 X 0.32	4.17 X 8.34	70.60	15	Carrete	1.14	250	SPT	○
<input type="checkbox"/>	09- 0006	2 X 12	41 X 0.32	4.64 X 9.28	97.39	20	Rollo	1.14	100	SPT	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0916	2 X 12	41 X 0.32	4.64 X 9.28	97.39	20	Carrete	1.14	250	SPT	○
<input type="checkbox"/>	09- 0007	2 X 10	65 X 0.32	5.25 X 10.50	138.67	30	Rollo	1.14	100	SPT	○
<input type="checkbox"/>	'29- 0917	2 X 10	65 X 0.32	5.25 X 10.50	138.67	30	Carrete	1.14	250	SPT	○

Figura 7-3: Conductores utilizados

Fuente: (Incable,2018)

Los cordones SPT cumplen con las siguientes especificaciones:

- **NOM-063-SCFI**, esta especificación determina los requisitos de seguridad que deben seguir los productos eléctricos y conductores.
- **NMX-J-102**, que maneja los cordones eléctricos tipo SPT con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo empleados en instalaciones hasta 300 V.
- **UL 62**, son los estándares de seguridad para cordones flexibles que dictan los laboratorios UL.

Hay tres tipos de cordones SPT, dependiendo de los rangos de calibre y los espesores de aislamiento:

- SPT-1 refiere a cordones paralelos para calibres del 20 al 18 AWG.
- SPT-2 refiere a cordones paralelos para calibres del 18 al 16 AWG.
- SPT-3 refiere a cordones paralelos para calibres del 16 al 10 AWG.

Los SPT-1 y SPT-2, están diseñados para suministrar energía eléctrica en baja tensión a distintos aparatos electrodomésticos por ejemplo ventiladores, lámparas, televisores, radio, con estos cordones flexibles también se fabrican extensiones.

En cambio, los cordones SPT-3 se emplean para series de foquitos navideños, extensiones, entre otros. En la Tabla 4-3 se muestran los conductores utilizados en el experimento.

Tabla 4-3: Conductores utilizados en el experimento

Conductores utilizados para el experimento		
Tipo	AWG	Corriente (A)
SPT	#14	15
SPT-2	#16	13
SPT-2	#18	10
XT	#20	7
XT	#22	5

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.4 Cálculo de carga del circuito

Para medir las variables eléctricas presentes en el experimento se utilizó una pinza amperimétrica como muestra la Figura 8-3, con la misma que se medirá y se esperará a que la temperatura del conductor de estudio se establezca para poder tomar los datos.



Figura 8-3: Pinza amperimétrica y termocupla

Realizado por: (Zamora, 2022)

Los datos se obtuvieron mediante la medición empírica y tomando en cuenta los valores con los que se mandó a construir por el fabricante Tesla electricidad y electrónica. La resistencia eléctrica se muestra en la Figura 9-3.



Figura 9-3: Resistencia eléctrica

Realizado por: (Zamora, 2022)

Para la carga total del circuito se tomó en cuenta el voltaje de fuente de 115.3 voltios, y el amperaje del conductor de mayor sección igual a 15 amperios según el catálogo del fabricante Incable.

Tabla 5-3: Carga del circuito de fuerza

Carga del circuito					
Magnitud	Resistencia 1	Resistencia 2	Resistencia 3	Resistencia 4	Total
Voltaje (v)	115,30	115,30	115,30	115,30	115,30
Amperaje (A)	3,22	3,21	3,24	3,23	12,90
Resistencia (ohm)	35,80	35,90	35,60	35,70	143,00
Potencia (watt)	371,34	370,31	373,43	372,38	1487,47

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.5 Selección de elementos eléctricos

Tomando en cuenta la carga del circuito se procede a calcular la capacidad de las protecciones eléctricas a ocupar. Los elementos eléctricos de potencia y control a utilizar son los detallados en la tabla 6-3 sabiendo que todo circuito eléctrico debe tener protecciones contra corto circuito y contra sobrecarga.

Tabla 6-3: Protecciones del sistema eléctrico

Item	Voltaje (V)	Intensidad de Corriente (A)
Fusible	120	15
Breaker termomagnético	120	15
Interruptor diferencial	120	15(30ma)
Contactador	120	18
Relé térmico bimetalico	120	18

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.5.1 Breaker termomagnético

Es un aparato eléctrico capaz de abrir o cerrar un circuito eléctrico cuando por este circula una corriente eléctrica, evitando daños en los quipos. La Figura 10-3 muestra un breaker



Figura 10-3: Breaker termomagnético

Fuente: (Mazcr, 2021)

2.6.5.2 Fusible cilíndrico

Generalmente utilizado para protección de circuitos contra corriente, ubicado al inicio del circuito.



Figura 11-3: Fusible

Fuente: (Rodriguez, 2021)

2.6.5.3 Interruptor diferencial

En caso de existir una diferencia de consumo entre la fase y el neutro el interruptor diferencial detectará esta diferencia y se abrirá para protección del circuito.



Figura 12-3: Interruptor diferencial

Fuente: (Matelec, 2021)

2.6.5.4 Contactor

La Figura 13-3, muestra el contactor, el cual abrirá y cerrará los contactos internos respectivamente para permitir el paso de una corriente eléctrica.



Figura 13-3: Contactor

Fuente: (Components, 2021)

2.6.5.5 Relé térmico bimetálico

Protección utilizada contra sobrecarga para protección de motores durante carga prolongada, optimizando la durabilidad y continuidad de trabajo del equipo. La Figura 14-3, muestra a un relé térmico.



Figura 14-3: Relé térmico

Fuente: (Camei, 2021)

2.6.5.6 Luces indicadoras

La luminaria en los tableros eléctricos permite saber el estado de operación o paro del sistema, dependiendo del color de la luz.

Tabla 7-3: Luces indicadoras

Descripción	Color
Arranque	Verde
Paro	Rojo
Paro de emergencia	Rojo
Tablero Energizado	Amarillo

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.5.7 Botones de control

Para el control de arranque y paro de emergencia del sistema se utilizó botones acorde a su función como indica la Tabla 8-3.

Tabla 8-3: Botones de control

Descripción	Color
Pulsador de arranque	Verde
Pulsador de paro	Rojo
Pulsador tipo hongo de paro de emergencia	Rojo

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.6 Colocación de la carga del circuito

Las niquelinas fueron colocadas de forma vertical, con ventilación direccionada hacia su centro como indica la Figura 15-3, donde las paredes superiores fueron recubiertas con cerámica para evitar los efectos de la transferencia de calor por conducción hacia la estructura metálica y los demás tableros.



Figura 15-3: Colocación de carga del circuito

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.7 Enfriamiento para la carga

Uno de los métodos de enfriamiento de niquelinas se lo realiza mediante la generación de flujo turbulento de aire de un ventilador centrífugo cuyas características se encuentran en la tabla 9-3, direccionado perpendicularmente hacia las resistencias para mantener una temperatura de funcionamiento que oscile entre los 150 y 250 °C, este método se implementó con la finalidad de poder trabajar sin problemas en el levantamiento de datos ya que las niquelinas tienen un rango de funcionamiento de 8 horas a una temperatura de hasta los 1500°C, estos datos fueron obtenidos por medio del fabricante.

Tabla 9-3: Datos de placa del ventilador

Datos del ventilador	
Voltaje (v)	120
Amperaje (A)	1.2
RPM	3600
Frecuencia (Hz)	60

Realizado por: (Zamora, 2022)

Con la convección forzada de flujo constante de aire direccionado perpendicularmente se logró enfriar las resistencias y también mantener la temperatura de salida de aire menor a 90°C ya que el calor producido por la carga se conduce por las paredes de los tableros y la estructura del módulo más el flujo de aire caliente de salida, esto podría calentar el tablero de pruebas lo que causaría una toma de datos erróneos. Con el ventilador instalado y en su máxima capacidad de salida de flujo de aire se logró obtener una temperatura máxima de salida de aire de $67,5^{\circ}\text{C}$. En la que se muestra la Figura 16-3 el tablero de carga con la abertura para la salida del aire caliente hacia el exterior.



Figura.16-3: Ventilador centrífugo y salida de aire caliente

Realizado por: (Zamora, 2022)

Se colocó un acople y una tobera en la salida de aire del ventilador para aumentar el flujo masico de aire hacia las cargas. De igual manera se colocó cerámica entre los tableros de carga y tablero eléctrico para así reducir que el aire caliente las superficies de los tableros del módulo. Como muestra la Figura 17-3.



Figura 17-3: Enfriamiento de carga

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.7.1 Ecuación de la conservación de la materia

Para determinar la ecuación de la conservación de la materia respectiva al caso se utiliza la ecuación 13, los datos a continuación fueron obtenidos de los libros de Cengel de la 4ta y 12va edición.

Datos:

$$V1= 16.3 \text{ m/s}$$

$$V2= 4.4 \text{ m/s}$$

$$\rho= 1.2124 \text{ Kg/m}^3$$

$$A1= 0.0044178 \text{ m}^2$$

$$A2= 0.0399 \text{ m}^2$$

$$T1= 18^\circ\text{C}, 291.15 \text{ K}$$

$$T2= 67.5^\circ\text{C}, 340.65 \text{ K}$$

$$H1= 291.3123 \text{ KJ/Kg}$$

$$H2= 341.07455 \text{ KJ/Kg}$$

$$\dot{m}=\rho VA \tag{21}$$

$$\dot{m}=1.2124 \text{ Kg/m}^3 * 16.3 \text{ m/s} * 0.0044178 \text{ m}^2$$

$$\dot{m}=0.0873 \text{ Kg/s}$$

Por consiguiente, la ecuación el balance de energía se determina por la ecuación (8):

$$\dot{m}(H_1 + \frac{V_1^2}{2}) - \dot{m}(H_2 + \frac{V_2^2}{2}) = \frac{DE}{DT} \quad (22)$$

$$0.0873(291.3123 + \frac{16.3^2}{2}) - 0.0873(341.07455 + \frac{4.4^2}{2}) = \frac{DE}{DT}$$

$$0.0873(291.3123 + 0.132845) - 0.0873(341.07455 + 0.00968) = \frac{DE}{DT}$$

$$0.0873(291.4451) - 0.0873(341.08423) = \frac{DE}{DT}$$

$$25.44 - 29.77 = \frac{DE}{DT}$$

$$\frac{DE}{DT} = 4.33 \text{ KJ/s o } 4.33 \text{ Kw}$$

2.6.8 Tablero de control y fuerza

Los dispositivos eléctricos de fuerza y control del circuito se encuentran ubicados en el tablero eléctrico del módulo, como muestra la Figura 18-3.



Figura 18-3: Conexión del circuito de fuerza y control

Realizado por: (Zamora, 2022)

2.6.9 Pruebas de funcionamiento del módulo de pruebas

El módulo de pruebas construido para el levantamiento de datos por medio de termografía infrarroja consta de tres tableros, en la parte superior del módulo se encuentra alojado el tablero de pruebas, el tablero eléctrico de control y potencia de donde se manipulara el funcionamiento del módulo donde constan las respectivas protecciones para los circuitos de igual manera están alojados los elementos de control, en la parte inferior del módulo están alojadas las cuatro resistencias que servirán de carga y será controlada individualmente, para el enfriamiento de las resistencias se colocó un soplador para generar un flujo de aire turbulento para enfriar las niquelinas y mantener a una temperatura entre los 200°C.

Se realizó las respectivas pruebas de funcionamiento tomando en cuenta las variables que afectan en la medición al arrancar el circuito se comprobó y se midió los valores de corriente y voltaje, para verificar que el funcionamiento del circuito de pruebas esté listo para el levantamiento de datos de temperatura.

Se conectó a la red con un voltaje constante de 115.3 v, esta prueba consiste en realizar el accionamiento de los elementos eléctricos de con los cuales se va a controlar al módulo en su totalidad, se comprobó que el accionamiento del circuito está listo para arrancar.

En el circuito de fuerza está directamente relacionado con el conductor de estudio y la variación de carga resistiva, se acciono las protecciones y se comprobó el funcionamiento del módulo durante una hora para verificar que no haya calentamientos excesivos ya que las resistencias sin ventilación llegan a una temperatura superior a los 1500°C.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Energización del módulo de pruebas

Antes de energizar el módulo de pruebas y el ventilador, se debe realizar una revisión física de las protecciones y demás elementos del módulo. Luego de la revisión física se procede a conectar a la red de alimentación 115.3V respectivamente.

Después de conectado a la red se procede a cerrar las protecciones del circuito y éste estará energizado y listo para trabajar. Se procede a presionar el botón de encendido de color verde y el módulo estará funcionando, luego de esperar un periodo de 5 a 7 minutos se puede realizar la toma de datos.

3.2 Colocación y acondicionamiento de la cámara termográfica para toma de datos

Antes de colocar la cámara termográfica se deberá acondicionar o modificar los parámetros de funcionamiento para proceder al levantamiento de datos. La cámara termográfica deberá estar colocada de tal forma que se pueda tomar datos de una manera efectiva, es decir deberá estar enfocada perpendicularmente al conductor de prueba que es de donde vamos a tomar el dato y a una distancia de un metro, como muestra la Figura 1-4.



Figura 1-4: Colocación de cámara termográfica

Realizado por: (Zamora, 2022)

- Botón de encendido
- Tecla de ajuste automático
- Tecla de cancelación
- Tecla de congelación / en vivo
- Tecla de menú (entrar)
- Teclas de dirección.
- Led de encendido

3.3 Toma de datos con la cámara termográfica

3.3.1 Visualización de la imagen

Ingresamos al menú principal de la cámara y con la tecla “Enter”, donde se seleccionará la cuarta opción que permite editar el IR/Visible, en el cual se seleccionará con la misma tecla el modo (Mix) con un porcentaje del 100%, que permitirá visualizar el termograma y su espectro, para regresar al menú principal se presionará la tecla “C”.

3.3.2 Encendido y calibración de la cámara termográfica

Para el manejo de la cámara termográfica se debe reconocer sus especificaciones de acuerdo al manual del fabricante del equipo y tomar en cuenta los siguientes datos detallados a continuación. La 2-4 muestra el posicionamiento de la cámara termográfica.

- Para encender la cámara termográfica se debe sujetar con firmeza el mango del instrumento y con cuidado abrir el monitor LCD.
- Pulsa el botón de encendido y se verificará el nivel de carga de la batería
- Revisar que la cámara cuente con una tarjeta micro SD para el almacenamiento de la información.
- La calibración de la cámara termográfica es uno de los procedimientos más importantes antes de tomar datos de temperatura, ya que al no estar realizado de manera correcta puede tomar valores erróneos.



Figura 2-4: Calibración de la cámara termográfica

Realizado por: (Zamora, 2022)

3.3.3 *Enfoque de la cámara termográfica*

La cámara tiene que estar correctamente posicionada y debe enfocar completamente el área de estudio como muestra Figura 2-4, para enfocar la cámara se debe realizar los siguientes pasos:

- Retirar la tapa del lente del equipo de termografía.
- Girar la perilla de enfoque y según la imagen de la pantalla modificar hasta lograr un enfoque óptimo.

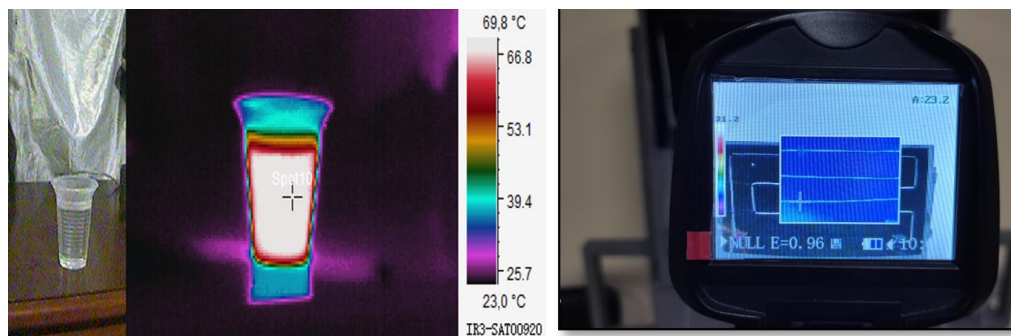


Figura 3-4: Enfoque de cámara

Realizado por: (Zamora, 2022)

3.3.4 *Ajuste del Spam*

Una vez que se haya realizado el enfoque de la cámara termográfica para realizar el ajuste del Spam, se presionará la tecla con la letra “A” la cual realizara un ajuste de manera automática.

3.3.5 *Ajuste de la emisividad*

Ingresamos al menú principal y nos dirigimos a la opción de ajuste de emisividad y se procedió a revisar que el valor de emisividad de la cámara termográfica sea de 0,96.

3.3.6 *Selección del spot en el termograma*

Al momento de seleccionar un punto o “spot” dentro del termograma, se debe ingresar al menú principal y se selecciona “Analysis”, en el caso de existir otros puntos o líneas que se encuentren programados de análisis anteriores con las teclas de dirección se ubicara en “Remove” se dará “Enter” hasta que todos los puntos y líneas que se hayan seleccionado estén borrados.

Luego que se haya realizado este procedimiento en el menú de “Analysis” se seleccionará la opción “Punto” y se escogerá el punto 1, se presionará la tecla “C” hasta regresar al menú principal para continuar con la configuración.

3.3.7 *Selección del rango de temperatura*

El rango de temperatura de la cámara termográfica esta seleccionada por la temperatura a la cual se encuentra el objeto de prueba, en este caso el conductor de estudio, para ello se seleccionó el rango desde -20 °C hasta 250 °C para lo cual se ingresa al menú “Analysis” y con la tecla “Enter” seleccionamos el rango necesario para este experimento.

3.4 *Desarrollo del experimento*

3.4.1 *Datos medidos directamente en el módulo de pruebas*

En el mismo instante que se terminaba de tomar los datos con la cámara termografía se continuaba midiendo la diferencia de potencial al inicio del conductor de estudio y al inicio de la carga, y de la misma manera se midió la intensidad que circulaba por el conductor, con una pinza

amperimétrica. Como muestra la Tabla 1-4. Y la Tabla 2-4 muestra los valores reales promedio de pérdidas en los conductores.

Tabla 1-4: Datos reales del conductor #22

N°	P0(W)	P1 (W)	P2 (W)	□P (W)	TP
1	13,0345	1277,5240	1258,6880	18,8360	0,0147
2	13,0580	1278,6770	1259,8240	18,8530	0,0147
3	13,0816	1279,8300	1260,9600	18,8700	0,0147
4	13,0109	1276,3710	1257,5520	18,8190	0,0147
5	13,1051	1280,9830	1262,0960	18,8870	0,0147
6	13,1760	1284,4420	1265,5040	18,9380	0,0147
7	13,1051	1280,9830	1262,0960	18,8870	0,0147
8	13,1524	1283,2890	1264,3680	18,9210	0,0147
9	13,1287	1282,1360	1263,2320	18,9040	0,0147
10	13,0345	1277,5240	1258,6880	18,8360	0,0147
11	13,1524	1283,2890	1264,3680	18,9210	0,0147
12	13,1051	1280,9830	1262,0960	18,8870	0,0147
13	13,1524	1283,2890	1264,3680	18,9210	0,0147
14	13,1287	1282,1360	1263,2320	18,9040	0,0147
15	13,1760	1284,4420	1265,5040	18,9380	0,0147

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tabla 2-4: Valores reales promedio de pérdidas en los conductores

Conductor de estudio	I(A)	P0(W)	P1 (W)	P2 (W)	□P (W)	TP
Conductor #22	11,111	13,1068	1281,0599	1262,1717	18,8881	0,0147
Conductor #20	11,108	8,1783	1280,7524	1264,0904	16,6620	0,0130
Conductor #18	11,111	5,4097	1281,0599	1269,9492	11,1107	0,0087
Conductor #16	11,109	3,2405	1280,8293	1271,9423	8,8869	0,0069
Conductor #14	11,111	2,0416	1281,0599	1274,3935	6,6664	0,0052

Realizado por: (Zamora, 2022)

Donde:

P0: Pérdidas de potencia por efecto de la resistividad

P1: Potencia activa al inicio del conductor

P2: Potencia activa de la carga del circuito

TP: Tasa de pérdidas de potencia

TE: Tasa de pérdidas de energía

□P: Diferencia de pérdidas de energía

3.4.2 Levantamiento de datos de temperatura

3.4.2.1 Análisis termográfico

En el análisis termográfico se utilizó el software SatirReport con el que se facilita la toma de valores de temperatura según los termogramas, mostrando los puntos más calientes, ya que el experimento está enfocado en tomar el valor del punto donde esté la máxima temperatura en el conductor. Como muestra la Tabla 3-4, y la Tabla 4-4 muestra los valores promedio de pérdidas en los conductores.

Para poder observar la temperatura del objeto de prueba se verifica el termograma capturado con la cámara termográfica mediante el software, nos dirigimos a las opciones de imagen en donde se modificó la paleta de colores para una mejor apreciación del termograma, se seleccionó la opción del punto de la temperatura máxima. El objetivo fue buscar el punto más caliente presente en el conductor de estudio.

Tabla 3-4: Datos del conductor #22

N°	Pp (W)	□T (°C)	□T*Po(°C*W)	TP
1	14,9276	35,8000	466,6336	0,0147
2	14,8208	33,7000	440,0545	0,0147
3	14,8361	34,0000	444,7729	0,0147
4	14,8005	33,3000	433,2643	0,0147
5	14,8056	33,4000	437,7116	0,0147
6	14,7649	32,6000	429,5378	0,0147
7	14,7751	32,8000	429,8485	0,0147
8	14,7192	31,7000	416,9299	0,0147
9	14,7242	31,8000	417,4939	0,0147
10	14,7649	32,6000	424,9233	0,0147
11	14,8056	33,4000	439,2889	0,0147
12	14,7954	33,2000	435,0905	0,0147
13	14,7903	33,1000	435,3432	0,0147
14	14,7700	32,7000	429,3098	0,0147
15	14,7649	32,6000	429,5378	0,0147

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tabla 4-4: Valores promedio de pérdidas en los conductores

N°	Tamb	Tmax	□T	Pp (W)
Conductor #22	20	53,1	33,1	14,7910
Conductor #20	20	41,5	21,5	8,8662
Conductor #18	20	34,6	14,6	5,4449
Conductor #16	20	28,4	8,4	3,3472
Conductor #14	20	24,6	4,6	2,0779

Realizado por: (Zamora, 2022)

Donde:

Pp: Pérdidas de potencia por efecto de la temperatura

Tmax: Temperatura máxima del conductor

Tamb: Temperatura ambiente


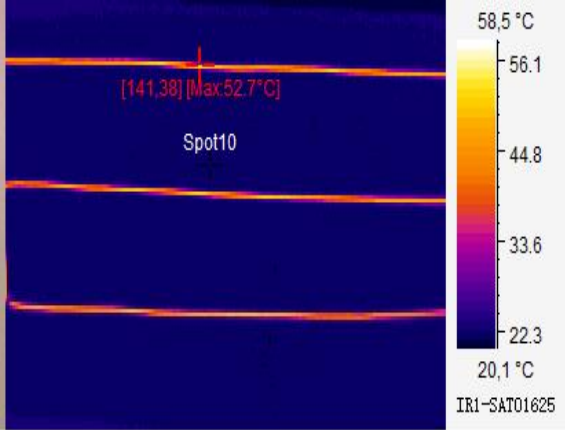

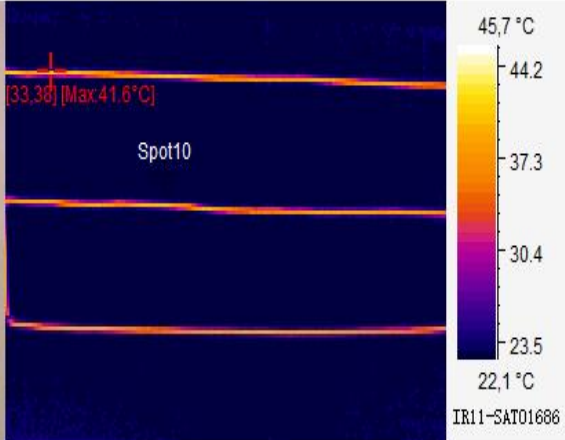

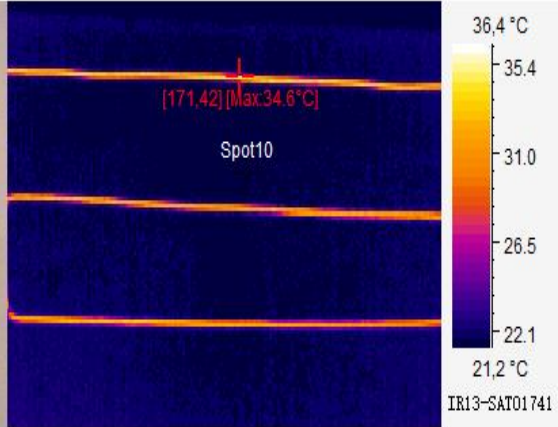
TP: Tasa de pérdidas de potencia

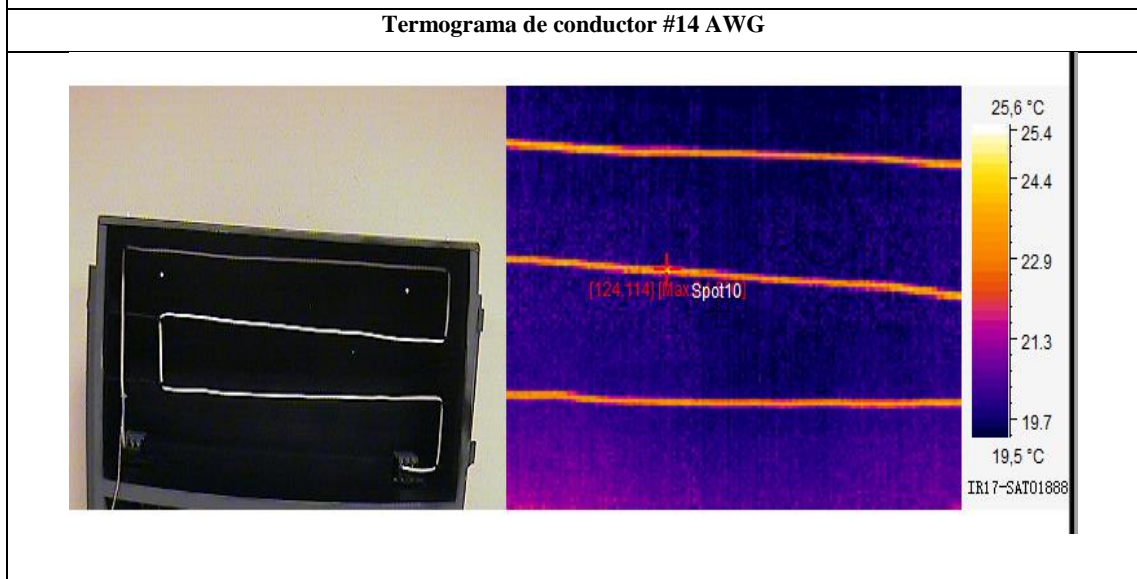
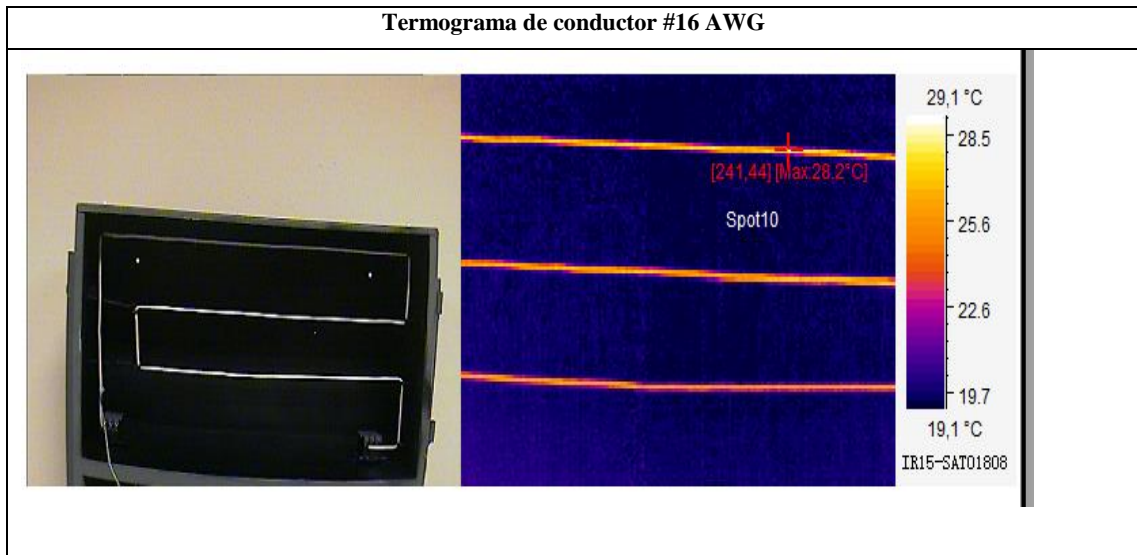
□P: Diferencia de pérdidas de energía

3.4.3 Termogramas de conductores

La Tabla 5-4 muestra los termogramas de los distintos conductores utilizados en el estudio, obtenidos por medio del software.

Tabla 5-4: Termogramas de conductores con el 100% de la carga.

Termograma de conductor #22 AWG	
	
Termograma de conductor #20 AWG	
	
Termograma de conductor #18 AWG	
	



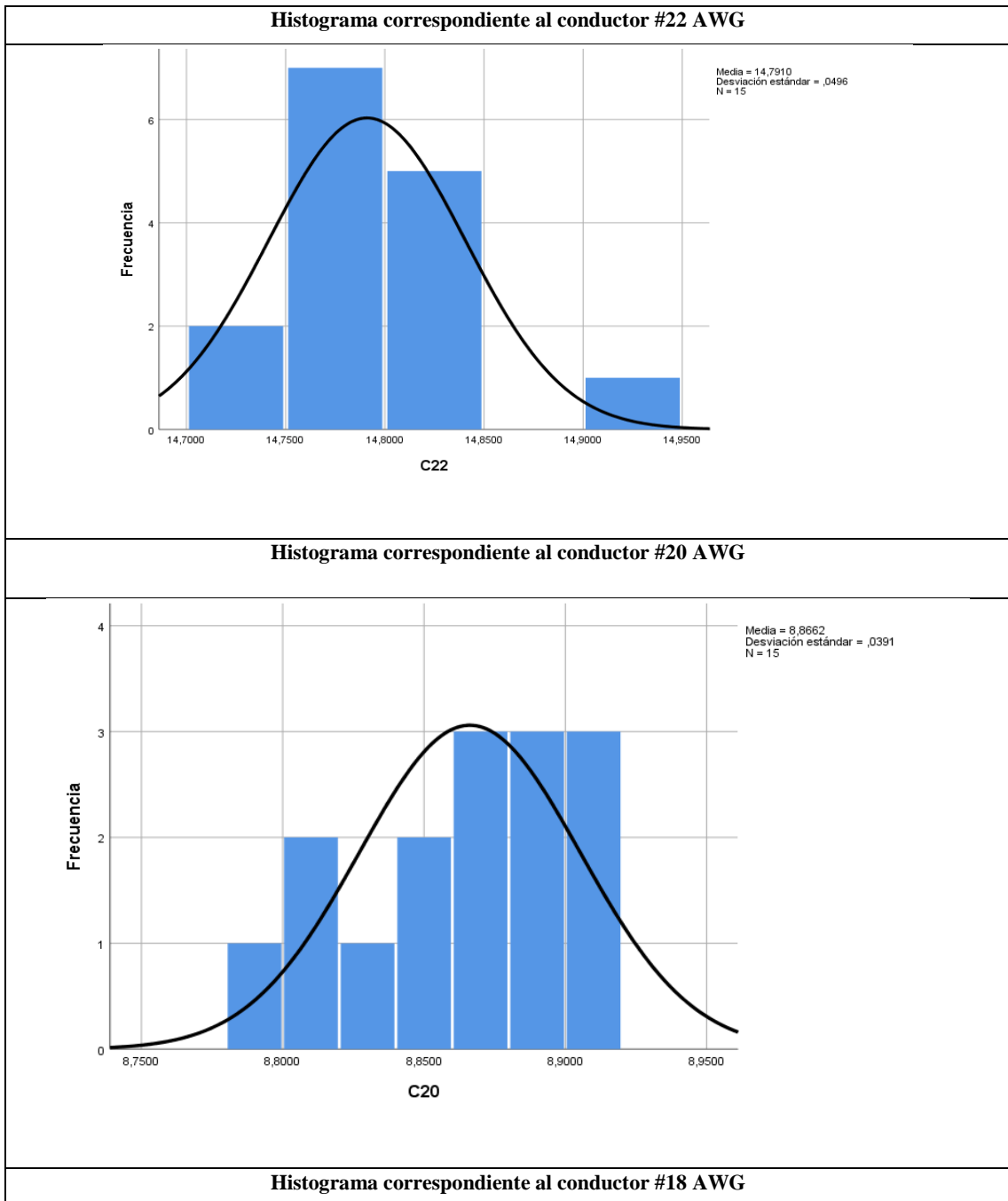
Realizado por: (Zamora, 2022)

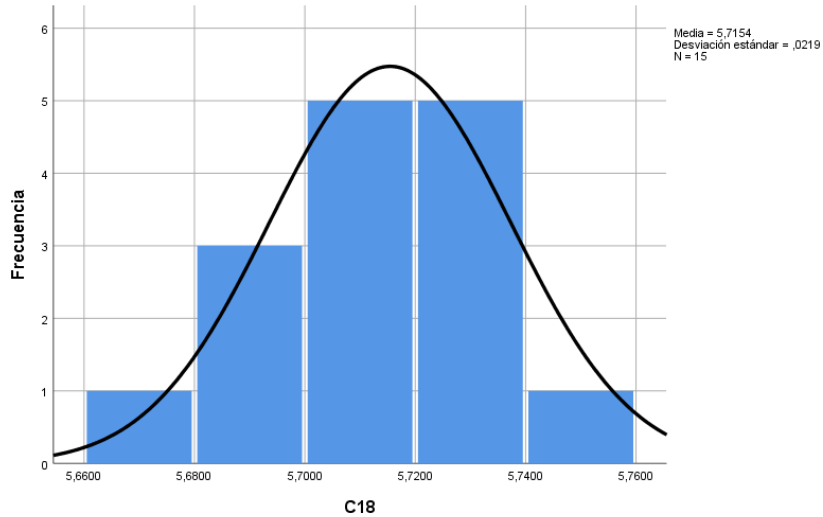
En la Tabla 6-4 se puede observar los termogramas con cada uno de los conductores de estudio con el 100% de la carga aplicada en cada caso para así conocer la temperatura máxima que cada conductor alcanza.

3.5 Histogramas de los conductores

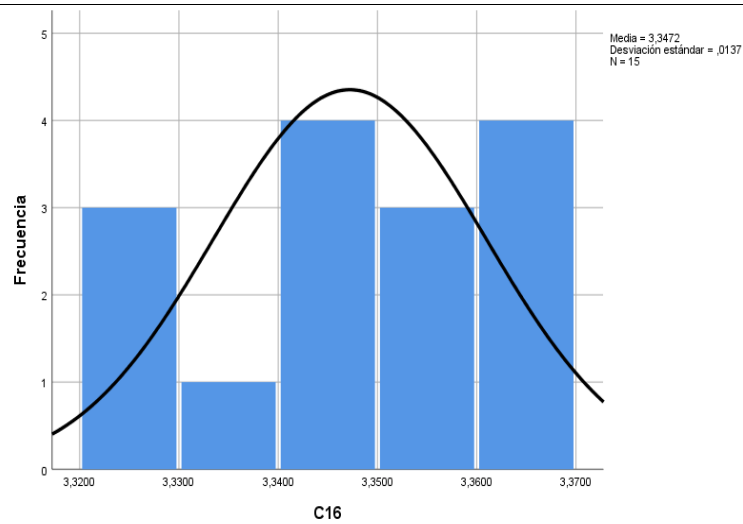
Los histogramas de los valores analizados de pérdidas de energía en forma de calor y perdidas de energía reales en conductores eléctricos fueron analizados mediante el software estadístico SPSS, de donde nos dio los siguientes resultados.

Tabla 6-4: Histogramas para los datos calculados mediante el efecto de la temperatura

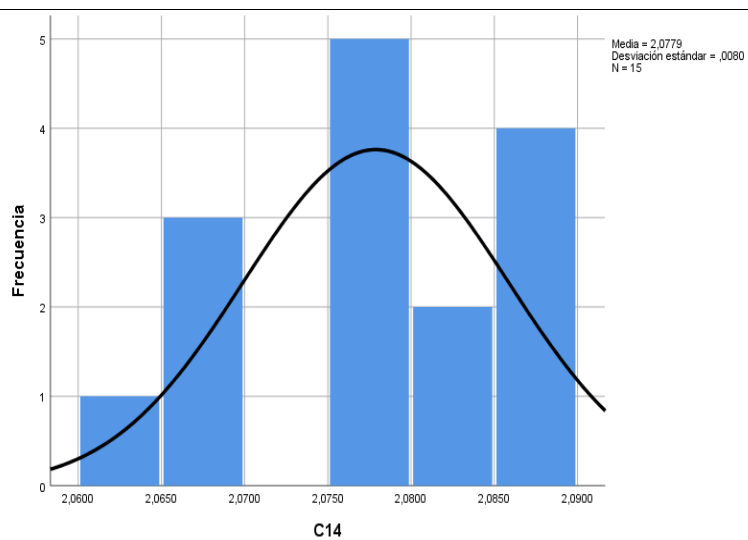




Histograma correspondiente al conductor #16 AWG



Histograma correspondiente al conductor #14 AWG

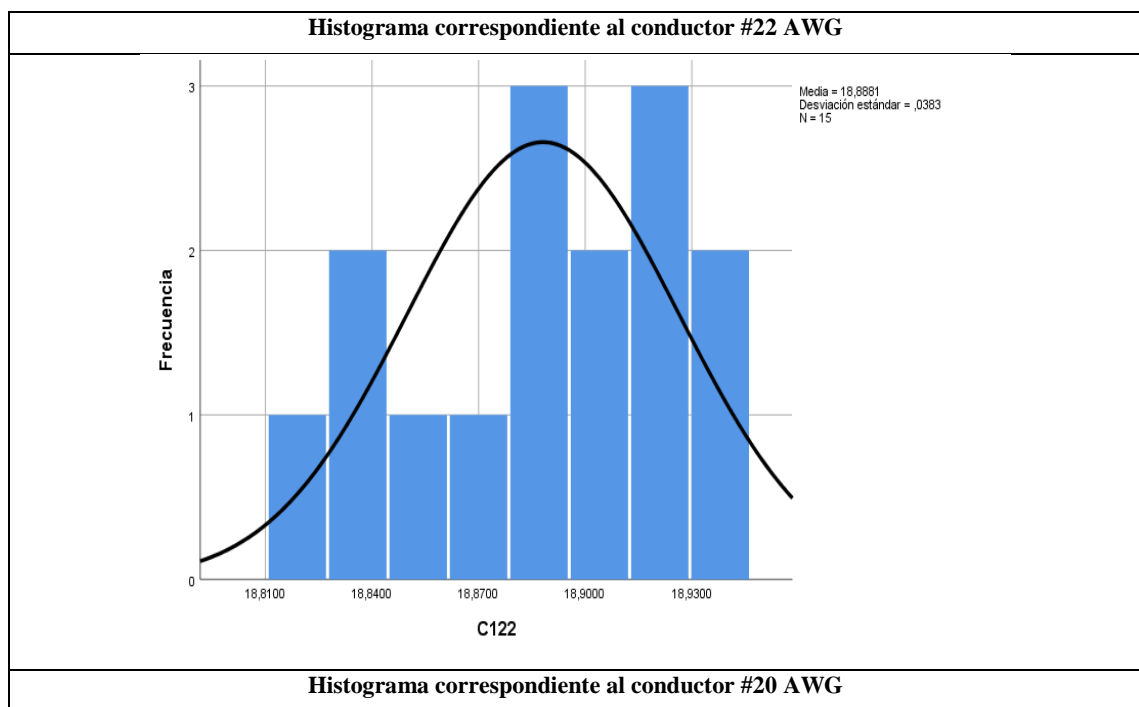


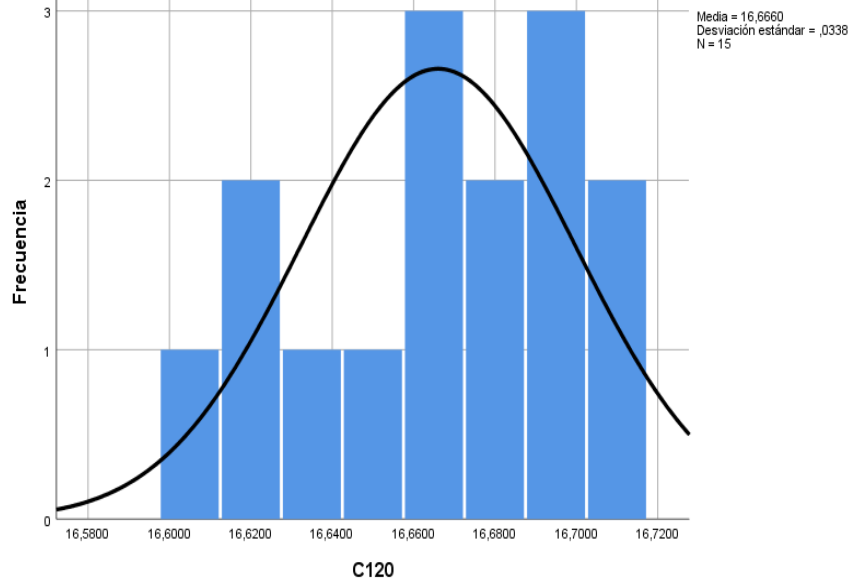
Realizado por: (Zamora, 2022)

Histogramas para los datos medidos directamente en el módulo de pruebas como muestra la Tabla 7-4.

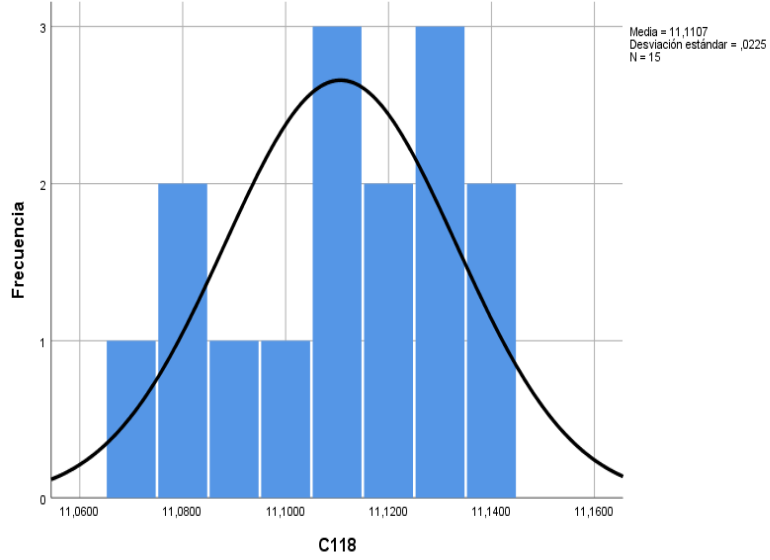
En todos los histogramas de pérdidas de energía se representa la curva normal de la distribución de los datos en el gráfico.

Tabla 7-4: Histogramas para datos medidos directamente en el módulo de pruebas.

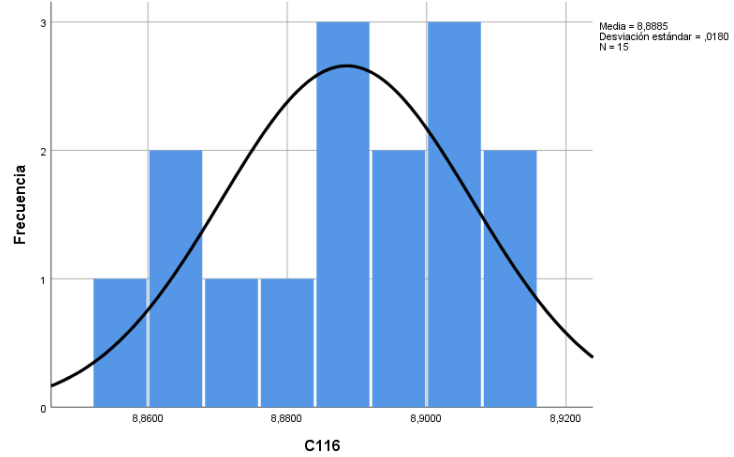


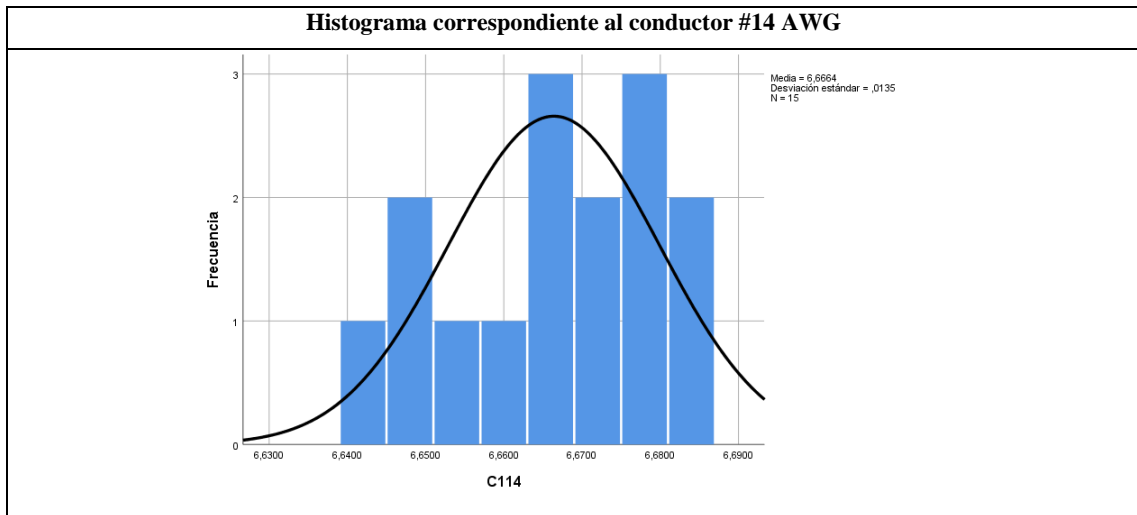


Histograma correspondiente al conductor #18 AWG



Histograma correspondiente al conductor #16 AWG





Realizado por: (Zamora, 2022)

3.6 Análisis de los datos

Sabiendo que se va a comparar la igualdad de las muestras $H_1 =$ valor aceptado, entonces utilizamos la prueba de t-student de dos colas con un nivel de significancia del 0.05, con un nivel de confianza del 95%.

Se tabularon los datos calculados de tal manera que se tuvieron dos columnas tanto para los datos calculados por efecto de la temperatura y tanto para los datos medidos directamente en el módulo de pruebas, donde por columna se tuvieron 15 valores por cada conductor y cada carga aplicada.

La agrupación de los datos se realizó tomando en cuenta el conductor y la carga aplicada del 100% al 25%, donde se tomaron 60 valores por conductor con un total de 300 valores, tanto para los datos reales medidos directamente en el módulo de pruebas y los datos calculados por efecto de la temperatura.

3.7 Elegir test

Dado que los datos se apegan a una distribución normal se realiza un análisis paramétrico para verificar la normalidad de los datos. Se eligió el test de normalidad de Shapiro-Wilk y el test de t-student para comparación de los datos.

Luego de verificar que los datos se distribuyen normalmente con la prueba de Shapiro-Wilk, el test de t-student fue utilizado para comparación de las muestras, el mismo que fue realizado en el mismo software SPSS.

3.8 Comprobación de muestras

	C22	C122	C20	C120	C18	C118	C16	C116	C14	C114	A
1	14,9276	18,8360	8,8036	16,6650	5,6764	11,1200	3,3227	8,8880	2,0690	6,6420	.
2	14,8208	18,8530	8,8321	16,6950	5,6929	11,0800	3,3299	8,9040	2,0688	6,6660	.
3	14,8361	18,8700	8,8481	16,6800	5,7116	11,1300	3,3422	8,8960	2,0765	6,6840	.
4	14,8005	18,8190	8,7971	16,6200	5,6828	11,1100	3,3304	8,9120	2,0621	6,6660	.
5	14,8056	18,8870	8,8767	16,6950	5,7198	11,1300	3,3495	8,8640	2,0763	6,6780	.
6	14,7649	18,9380	8,9151	16,6650	5,7465	11,1200	3,3625	8,8720	2,0891	6,6720	.
7	14,7751	18,8870	8,8735	16,6950	5,7093	11,1400	3,3432	8,8800	2,0778	6,6480	.
8	14,7192	18,9210	8,8959	16,6800	5,7298	11,0800	3,3616	8,8560	2,0861	6,6780	.
9	14,7242	18,9040	8,8704	16,7100	5,7132	11,0900	3,3530	8,8880	2,0808	6,6660	.
10	14,7649	18,8360	8,8194	16,6200	5,6889	11,1000	3,3289	8,9120	2,0690	6,6780	.
11	14,8056	18,9210	8,8928	16,6350	5,7362	11,0700	3,3590	8,8880	2,0861	6,6720	.
12	14,7954	18,8870	8,8577	16,6500	5,7177	11,1100	3,3520	8,9040	2,0794	6,6840	.
13	14,7903	18,9210	8,9087	16,6050	5,7362	11,1400	3,3616	8,8960	2,0813	6,6480	.
14	14,7700	18,9040	8,8831	16,6650	5,7343	11,1100	3,3492	8,8640	2,0776	6,6540	.
15	14,7649	18,9380	8,9183	16,7100	5,7359	11,1300	3,3625	8,9040	2,0883	6,6600	.
16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Figura 4-4: Agrupación de datos

Realizado por: (Zamora, 2022)

En la Figura 4-4 podemos apreciar la agrupación de los datos provenientes con el 100% de la carga aplicada, para todos los conductores de estudio tanto para los valores obtenidos por el efecto de la temperatura y para los datos obtenidos por medición directa en el modulo de pruebas.

3.8.1 Prueba de normalidad de los datos

En el software estadístico SPSS los datos fueron analizados y se obtuvieron los resultados que se muestra en la Figura 5-4.

Para ello nos dirigimos a la barra superior a la opción de “Analizar”, damos click en “Estadísticos descriptivos” y luego click en “Explorar”.

Pasamos las variables al apartado “Lista de dependientes”, procedemos a dar click en gráficos y señalamos la opción de “Gráficos con prueba de normalidad”, finalmente damos click en continuar y luego click en aceptar.

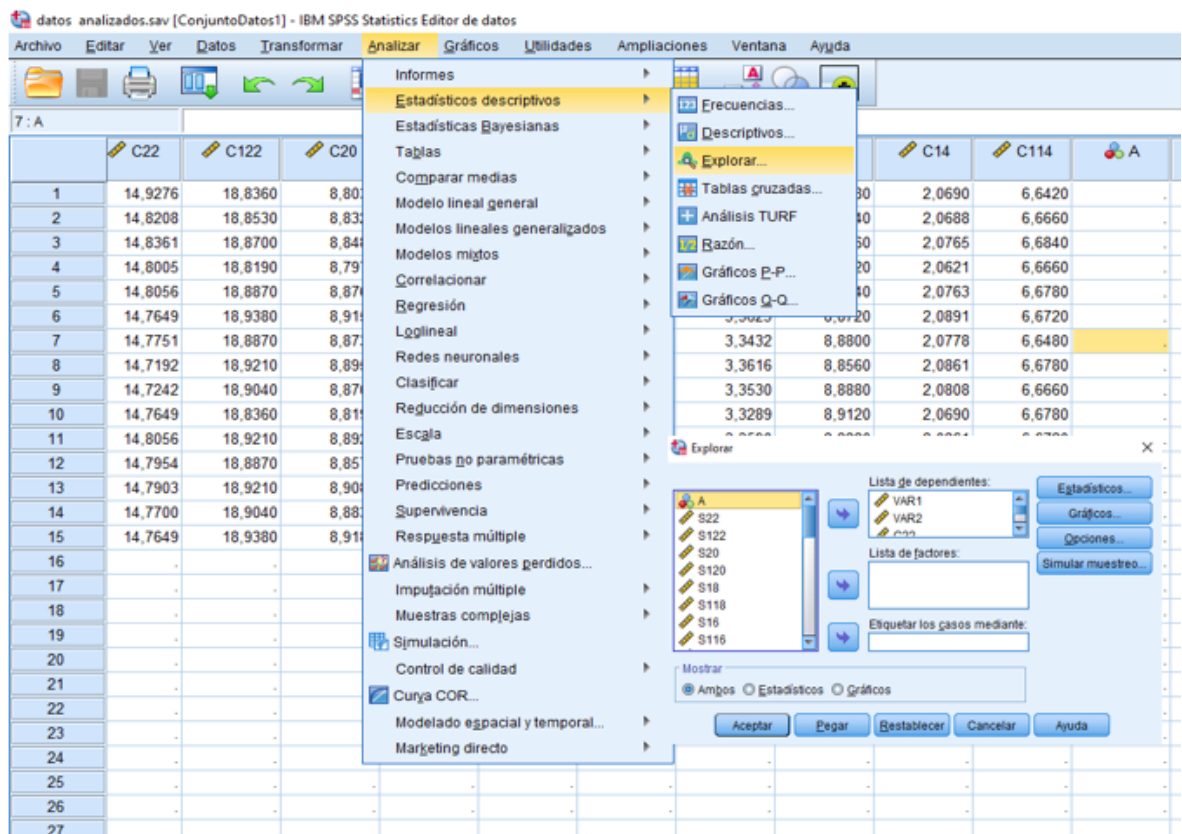


Figura 5-4: Pasos a seguir prueba de normalidad

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tabla 8-4: Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad			
Variables	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
C22	0,888	15	0,063
C122	0,931	15	0,279
C20	0,943	15	0,421
C120	0,931	15	0,279
C18	0,931	15	0,278
C118	0,931	15	0,279
C16	0,894	15	0,077
C116	0,931	15	0,279
C14	0,947	15	0,477
C114	0,931	15	0,279

Realizado por: (Zamora, 2022)

En la Tabla 8-4 nos enfocamos en la columna de la derecha donde se verificó que el p-valor o valor de significancia sea $>0,05$. Debido a la cantidad de datos se tomó los valores de significancia

de los diferentes conductores de estudio con el 100% de la carga aplicada, donde en la columna de significancia el p-valor es $> 0,05$.

Cuando el p-valor es mayor que 0,05 entonces los valores se ajustan a una distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

Cuando el p-valor es menor que 0,05 entonces los valores no se ajustan a una distribución normal con un nivel de confianza del 95% y se procede a realizar pruebas no paramétricas con ayuda de la Figura 6-4.

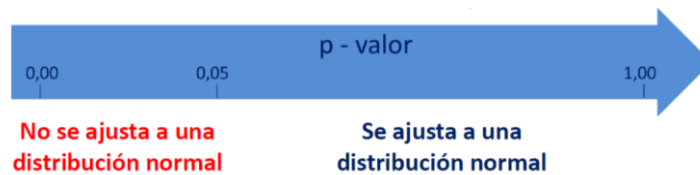


Figura 6-4: Aceptación del p-valor

Realizado por: (Zamora, 2022)

3.8.2 Prueba t-student

Pasos para realizar la prueba t- student se muestran en la Figura 7-4.

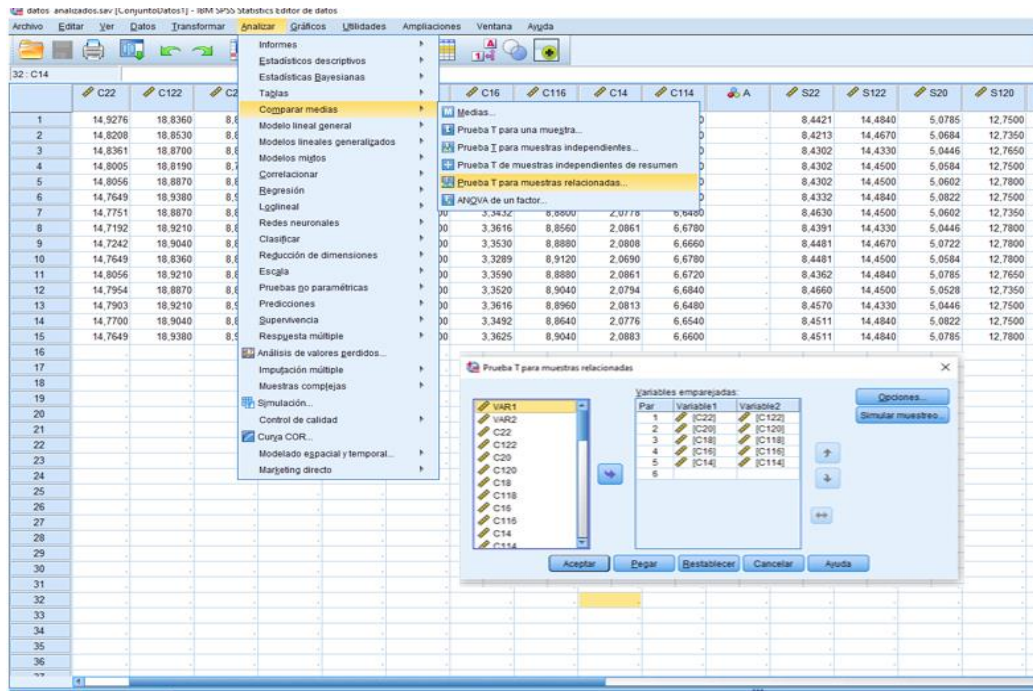


Figura 7-4: Pasos a seguir prueba t-student

Realizado por: (Zamora, 2022)

En la Figura 7-4 podemos apreciar los pasos que se tiene que realizar para poder conseguir el resultado de la prueba T-student, como muestra la Tabla 9-4, en donde la variable 1 es el valor calculado por efecto de la temperatura y la variable 2 es el valor medido directamente en el módulo de pruebas.

Tabla 9-4: Prueba T-student

Prueba de muestras emparejadas				
		t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	C22 - C122	-727,04	14,00	1,91E-33
Par 2	C20 - C120	-625,99	14,00	1,56E-32
Par 3	C18 - C118	-691,69	14,00	3,85E-33
Par 4	C16 - C116	-795,72	14,00	5,41E-34
Par 5	C14 - C114	-1200,65	14,00	1,71E-36
Par 6	S22 - S122	-2679,93	14,00	2,24E-41
Par 7	S20 - S120	-1250,71	14,00	9,63E-37
Par 8	S18 - S118	-1168,75	14,00	2,49E-36
Par 9	S16 - S116	-1482,52	14,00	8,91E-38
Par 10	S14 - S114	-1781,82	14,00	6,79E-39
Par 11	M22 - M122	-4017,48	14,00	7,74E-44
Par 12	M20 - M120	-1202,60	14,00	1,67E-36
Par 13	M18 - M118	-1347,39	14,00	3,40E-37
Par 14	M16 - M116	-1600,35	14,00	3,05E-38

Par 15	M14 - M114	-1540,69	14,00	5,20E-38
Par 16	V22 - V122	-696,96	14,00	3,46E-33
Par 17	V20 - V120	-469,47	14,00	8,74E-31
Par 18	V18 - V118	-508,82	14,00	2,83E-31
Par 19	V16 - V116	-495,13	14,00	4,15E-31
Par 20	V14 - V114	-493,76	14,00	4,31E-31

Continua

Realizado por: (Zamora, 2022)

Los datos demuestran que las muestras comparadas de cada uno de los conductores están relacionadas ya que la columna de significancia los valores son $>0,05$ por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

3.9 Correlación lineal

H0 = no existe correlación

H1 = existe correlación

Sabiendo que los datos pertenecen a una distribución normal se procedió a realizar el método de correlación lineal de variables en donde se tomaron los datos tomando en cuenta que estos sean aplicados de la máxima carga.

Para el análisis de correlación lineal se agruparon los datos y se analizó mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson donde se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 10-4 y en la Tabla 11-4, el coeficiente de Pearson = 0.96179, mediante la fórmula a continuación.

Tabla 10-4: Correlación lineal por efecto de temperatura

N°	x	y	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	18,8881	14,7910	6,4453	7,8856	41,5420	62,1823	50,82494283
2	16,6620	8,8662	4,2192	1,9607	17,8014	3,8444	8,27264256
3	11,1107	5,4449	-1,3322	-1,4605	1,7747	2,1331	1,945649966
4	8,8869	3,3472	-3,5559	-3,5582	12,6444	12,6609	12,65264275
5	6,6664	2,0779	-5,7764	-4,8276	33,3671	23,3053	27,88604331
□	62,2141	34,5272	49,7713	27,6218	107,1295	104,1261	101,5819214

Realizado por: (Zamora, 2022)

$$r = \frac{\Sigma(x-\bar{x})*(y-\bar{y})}{(\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2} * \sqrt{\Sigma(y-\bar{y})^2})}$$

$$r = \frac{101,5819}{(\sqrt{107,1295} * \sqrt{104,1261})}$$

$$r = 0,96179$$

Mediante el software estadístico SPSS se comparó con los valores calculados en donde el valor de correlación lineal = 0,962 de y el valor de significancia bilateral es menor que 0.05 es decir, que existe correlación entre los datos analizados.

Tabla 11-4: Coeficiente lineal de Pearson

	VAR1	VAR2
Correlación de Pearson	1	,962**
Sig. (bilateral)		9,48E-43

Realizado por: (Zamora, 2022)

Al interpretar los datos obtenidos se dice que existe correlación entre los datos mediante las variables analizadas donde se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

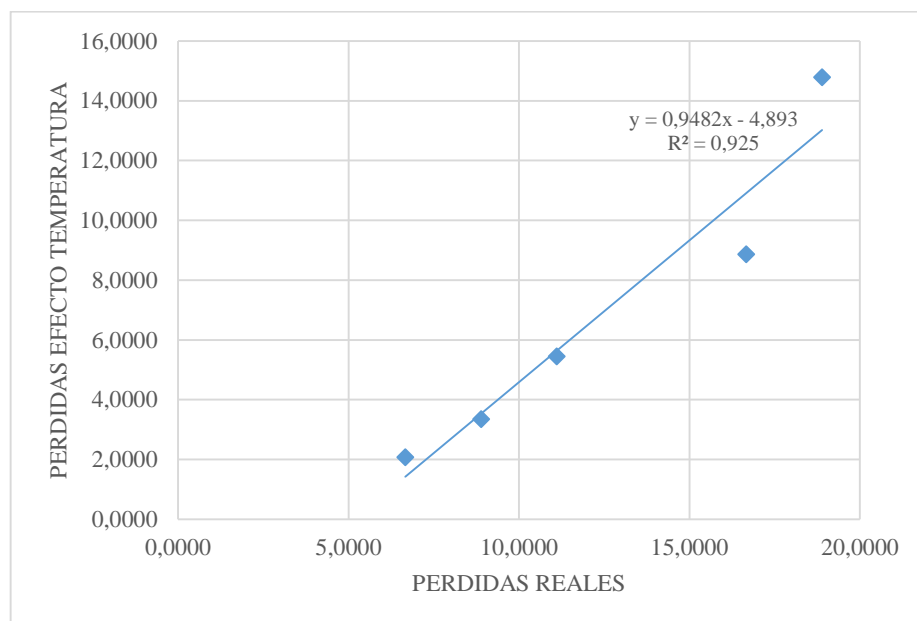


Gráfico 1-4: Línea de tendencia de datos

Realizado por: (Zamora, 2022)

Gráfico de pérdidas de energía por efecto de temperatura vs la tasa de pérdidas de energía por efecto de la resistividad del conductor.

3.10 Cálculo de pérdidas de potencia real

Para el cálculo de datos teóricos el primer paso consiste en calcular la pérdida de potencia debido a la sección, longitud, resistividad y corriente que circula por el (P0), mediante la ecuación (4). Esta potencia corresponde a un valor teórico que será corregido por efecto de la temperatura y comparado con mediciones reales tomadas directamente del módulo de pruebas.

Para determinar la ecuación se utilizó como variable independiente a las pérdidas de energía por efecto de la resistividad, y como de variable dependiente a la tasa de pérdidas por efecto de la resistividad. Como se puede ver en el Gráfico 1-4.

Dado que la tasa de pérdidas es igual a:

$$TP = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \quad (23)$$

$$TP = \frac{P_1 * t - P_2 * t}{P_1 * t} \quad (24)$$

Sabiendo que:

$$E = P * t \quad (25)$$

$$TP = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (26)$$

Por consiguiente:

$$TE = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \quad (27)$$

$$TP = TE \quad (28)$$

La siguiente ecuación está determinada con todos los valores de los cinco conductores analizados aplicando el 100% de la carga. Se muestra en el gráfico 2-4.

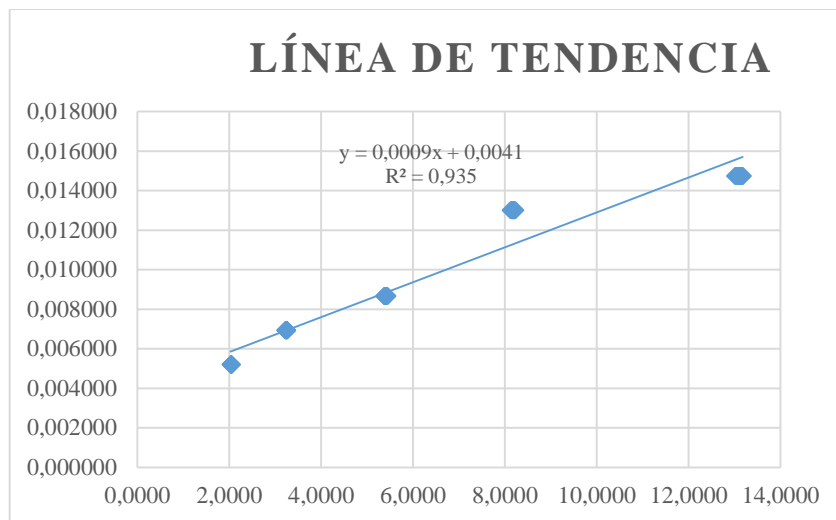


Gráfico. 1-4: Línea de tendencia de datos

Realizado por: (Zamora, 2022)

$$y = 0,0009 + 0,0041 \quad (29)$$

Como se observa, en esta ecuación se ha excluido el valor de la intersección de la línea de tendencia con el eje de las ordenadas, puesto que si la potencia debida a la resistividad es igual a cero (esto puede darse si la longitud del conductor o la corriente eléctrica son iguales a cero), no puede haber pérdida de potencia real.

Al realizar la comparación de la pérdida de potencia debida al efecto de la resistividad con la relación a través de la pérdida de potencia real, se tiene la siguiente ecuación

$$TP = 0,0009 * P_0 \quad (30)$$

Se deduce análogamente que la tasa de pérdidas consumida es igual a la tasa de pérdida económica por cada unidad de pérdida debido a la resistividad.

$$TP = TUSD \quad (31)$$

$$TUSD = 0,0009 * P_0 * USD \quad (32)$$

USD, corresponde al valor facturado en la planilla eléctrica.

se determina que con la ecuación se puede cuantificar las pérdidas económicas por efecto de la sección, longitud, resistividad e intensidad en los conductores eléctricos a nivel local y nacional según sus planillas eléctricas.

3.11 Pérdidas de potencia por efecto de la temperatura

Para relacionar la temperatura con las pérdidas energéticas se basó en la Ec. 6 donde se puede observar que la pérdida de potencia es una función de la potencia debida a la resistividad por un factor de corrección por temperatura. Tomando en cuenta lo anterior se analizó la pérdida de potencia relativa en función de la temperatura del conductor menos la temperatura ambiente por tasa de pérdida de energía debido a la resistividad.

De la misma manera para determinar la ecuación tomada la temperatura mediante termografía infrarroja se utilizó como variable independiente a las pérdidas de energía por efecto de la temperatura, y como de variable dependiente a la tasa de pérdidas por efecto de la resistividad.

Se procedió a graficar la ecuación correspondiente a la distribución de los datos y la ecuación de más se apega a los datos es la ecuación lineal.

$$T_P = f(P_0 * (T - T_{ambiente})) \quad (33)$$

La ecuación 36 define la relación entre la tasa de pérdidas de energía (TP), con las pérdidas tomando en cuenta el factor de temperatura. ($P_0 * (T - T_{ambiente})$). Dicha ecuación está determinada con todos los valores de los cinco conductores analizados aplicando el 100% de la carga. El Gráfico 2-4 muestra la ecuación.

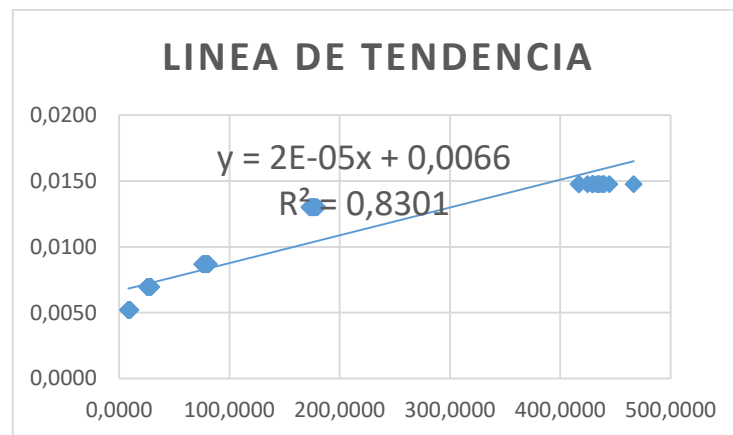


Gráfico. 2-4: Línea de tendencia

Realizado por: (Zamora, 2022)

Como se observa, en la ecuación se ha excluido el valor de la intersección de la línea de tendencia con el eje de las ordenadas, puesto que si la potencia debida a la resistividad es igual a cero (esto puede darse si la longitud del conductor o la corriente eléctrica son iguales a cero), no puede haber pérdida de potencia real.

Al realizar la comparación de la pérdida de potencia debida al efecto de la temperatura y a la resistividad, con la relación a través de la pérdida de potencia real, se tiene la ecuación 37

$$T_p = 0,0000268 * (P_0 * (T - T_{ambiente})) \quad (34)$$

Como se observa, en esta ecuación se ha excluido el valor de la intersección de la línea de tendencia con el eje de las ordenadas, puesto que si la potencia debida a la resistividad es igual a cero (esto puede darse si la longitud del conductor o la corriente eléctrica son iguales a cero), no puede haber pérdida de potencia real.

De la misma manera:

$$TE = 0,0000268 * (P_0 * (T - T_{ambiente})) \quad (35)$$

Se deduce análogamente que la tasa de pérdidas consumida es igual a la tasa de pérdida económica por cada unidad de pérdida debido a la resistividad

$$TP = TUSD \quad (36)$$

$$TUSD = 0,0000268 * P_0 * USD \quad (37)$$

Se determina que con la ecuación 37 se puede cuantificar las pérdidas económicas por efecto de la elevación de la temperatura en los conductores eléctricos a nivel local y nacional según los valores cuantificados en las planillas eléctricas.

3.12 Determinación de la ecuación

Determinación de la ecuación por medio del método de mínimos cuadrados a los conductores eléctricos ensayados utilizando los valores de pérdidas utilizando el 100% de la carga.

Tomando en cuenta que los valores para las variables x,y, donde la variable independiente es x, con pérdidas de energía por efecto de la temperatura, y como variable dependiente y, a la tasa de pérdidas por efecto de la resistividad. Se utiliza la Tabla 12-4, mientras que la Tabla 13-4 muestra los datos calculados y la Tabla 14-4 muestra la pérdida de potencia por efecto de la temperatura.

Tabla 12-4: Pérdida de potencia real por efecto de la resistividad

i	x	y	x*y	x^2	y^2	B^2
1	13,03446	0,01474	0,19218	169,89708	0,00022	7,04E-07
2	13,05800	0,01474	0,19253	170,51125	0,00022	7,40E-07
3	13,08156	0,01474	0,19288	171,12710	0,00022	7,76E-07
4	13,01094	0,01474	0,19184	169,28456	0,00022	6,70E-07
5	13,10514	0,01474	0,19322	171,74460	0,00022	8,13E-07
6	13,17601	0,01474	0,19427	173,60716	0,00022	9,30E-07
7	13,10514	0,01474	0,19322	171,74460	0,00022	8,13E-07
8	13,15236	0,01474	0,19392	172,98463	0,00022	8,90E-07
9	13,12874	0,01474	0,19357	172,36378	0,00022	8,51E-07
10	13,03446	0,01474	0,19218	169,89708	0,00022	7,04E-07
11	13,15236	0,01474	0,19392	172,98463	0,00022	8,90E-07
12	13,10514	0,01474	0,19322	171,74460	0,00022	8,13E-07
13	13,15236	0,01474	0,19392	172,98463	0,00022	8,90E-07
14	13,12874	0,01474	0,19357	172,36378	0,00022	8,51E-07
15	13,17601	0,01474	0,19427	173,60716	0,00022	9,30E-07

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tabla 13-4: Datos calculados

$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum xx$	$\sum yy$
479,65	0,72853	5,695060	4239,1494	0,008056
r^2	m	b	$e(m)$	$e(b)$
0,967	0,000884	0,004060	0,000135	0,001011
$\sum x^2$	$\sum x \cdot \sum y$	$\sum y^2$	N	75
230067,2828	349,443857	0,530762166		

Realizado por: (Zamora, 2022)

$$y = 0,000884x + 4,06E-3$$

(38)

Donde:

i: Numero de dato

N: Total de datos

X: Variable independiente

Y: Variable Dependiente

\sum : Sumatoria

R: Coeficiente de correlación lineal

m: Pendiente de la recta

b: Punto de corte con el eje y.

e: Valor del error

$$y = mx + b$$

Pendiente de la recta: m

$$m = \frac{N \sum xy - \sum x * \sum y}{N \sum xx - \sum x * \sum x}$$

$$m = \frac{75 * 5,695 - 479,65 * 0,728}{75 * 4239,1494 - 479,65 * }$$

$$m = 0,000884$$

Punto de corte con el eje de las ordenadas: b

$$b = \frac{\sum y \sum xx - \sum x \sum xy}{N \sum x - \sum x \sum x}$$

$$b = \frac{0,7285 * 4239,1494 - 479,65 * 5,695}{75 * 479,65 - 4239,1494}$$

$$b = 0,00406$$

Valor Beta al cuadrado

$$B^2 = (mx + b - y)^2$$

$$B^2 = (0,0008841x + 0,00406 - y)^2$$

$$B^2 = 8,48E-07$$

Error de pendiente de la recta

$$e(m) = \sqrt{\frac{N}{N \sum xx - \sum x * \sum x} * \frac{\beta^2}{N - 2}}$$

$$e(m) = \sqrt{\frac{75}{75 * 4239,1494 - 479,65 * 479,65} * \frac{8,48E - 07}{75 - 2}}$$

$$e(m) = 0,000135$$

Error del punto de corte de la pendiente de la recta con el eje y

$$e(b) = \sqrt{\frac{\sum xx}{N \sum xx - \sum x * \sum x} * \frac{\beta^2}{N - 2}}$$

$$e(b) = \sqrt{\frac{4239,1492}{75 * 4239,1492 - 479,65 * 479,65} * \frac{8,48E07}{75 - 2}}$$

$$e(b) = 0,001011$$

$$y = 0,0008841x + 0,00406$$

(39)

Tabla 14-4: Pérdida de potencia por efecto de la temperatura

i	x	y	x*y	x^2	y^2	B^2
1	466,6336	0,0147	6,8801	217746,8894	0,0002	3,12E-06
2	440,0545	0,0147	6,4882	193647,9265	0,0002	1,45E-06
3	444,7729	0,0147	6,5578	197822,9227	0,0002	1,70E-06
4	433,2643	0,0147	6,3881	187717,9554	0,0002	1,13E-06
5	437,7116	0,0147	6,4537	191591,4102	0,0002	1,34E-06
6	429,5378	0,0147	6,3332	184502,7434	0,0002	9,66E-07
7	429,8485	0,0147	6,3377	184769,7146	0,0002	9,79E-07
8	416,9299	0,0147	6,1473	173830,5269	0,0002	5,13E-07
9	417,4939	0,0147	6,1556	174301,1505	0,0002	5,30E-07
10	424,9233	0,0147	6,2651	180559,8172	0,0002	7,84E-07
11	439,2889	0,0147	6,4769	192974,7361	0,0002	1,41E-06
12	435,0905	0,0147	6,4150	189303,7721	0,0002	1,21E-06
13	435,3432	0,0147	6,4188	189523,6927	0,0002	1,22E-06
14	429,3098	0,0147	6,3298	184306,8680	0,0002	9,57E-07
15	429,5378	0,0147	6,3332	184502,7434	0,0002	9,66E-07

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tabla 15-4: Datos calculados

Tabla de datos calculados				
$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum xx$	$\sum yy$
10880,5463	0,7285	144,1509	3397866,7328	0,0081
r^2	m	b	$e(m)$	$e(b)$
0,9110995	0,0000211	0,0066471	0,0000055	0,0011752
$\sum x * \sum x$	$\sum x * \sum y$	$\sum y * \sum y$	N	75
118386287	7926,850705	0,530762166		

Realizado por: (Zamora, 2022)

Donde:

i: Numero de dato

N: Total de datos

X: Variable independiente

Y: Variable Dependiente

\sum : Sumatoria

R: Coeficiente de correlación lineal

m: Pendiente de la recta

b: Punto de corte con el eje y

e: Valor del error

$$y = mx + b$$

Pendiente de la recta: m

$$m = \frac{N \sum xy - \sum x * \sum y}{N \sum xx - \sum x * \sum x}$$

$$m = \frac{75 * 144,1509 - 7926,8507}{75 * 118386287 - 118386287}$$

$$m = 0,0000211$$

Punto de corte con el eje de las ordenadas: b

$$b = \frac{\sum y \sum xx - \sum x \sum xy}{N \sum x - \sum x * \sum x}$$

$$b = \frac{0,7285 * 118386287 - 10880,5463 * 144,1509}{75 * 10880,5463 - 118386287}$$

$$b = 0,00664$$

Valor Beta al cuadrado

$$B^2 = (mx + b - y)^2$$

$$B^2 = 2,22E - 6$$

Error de pendiente de la recta

$$e(m) = \sqrt{\frac{N}{N \sum xx - \sum x * \sum x} * \frac{\beta^2}{N - 2}}$$

$$e(m) = \sqrt{\frac{75}{75 * 118386287 - 118386287} * \frac{2,22E - 6}{75 - 2}}$$

$$e(m) = 0,0000055$$

Error del punto de corte de la pendiente de la recta con el eje y

$$e(b) = \sqrt{\frac{\sum xx}{N \sum xx - \sum x * \sum x} * \frac{\beta^2}{N - 2}}$$

$$e(b) = \sqrt{\frac{118386287}{75 * 118386287 - 118386287} * \frac{2,22E - 6}{75 - 2}}$$

$$e(b) = 0.00664$$

$$y = 0,0000211x + 0,00664 \tag{40}$$

3.13 Comparación de pérdidas de energía

3.14 Comparación con la facturación nacional por grupo de consumo

El costo de consumo eléctrico a nivel nacional según ARCONEL 2019, actualizado a 2020 indica los datos de guía para realizar una comparación sabiendo el consumo eléctrico, se procede a aplicar la ecuación 32, Para conocer el valor económico de pérdidas de energía por efecto de la resistividad el conductor de estudio y la ecuación 37, para conocer el valor de pérdidas económicas de energía por efecto de la temperatura.

En la Figura 8-4 se observó y tomó los valores según el grupo de consumo con su total para una posterior estimación.

Provincia	Residencial	Industrial	Comercial	Alumbrado Público y Otros	Total
Guayas	259,96	152,56	157,82	99,31	669,65
Pichincha	163,87	68,67	90,96	47,63	371,12
Manabí	66,26	20,49	27,17	25,67	139,59
Azuay	36,63	34,29	14,52	12,86	98,30
El Oro	35,87	17,11	17,80	21,09	91,86
Los Ríos	33,96	8,32	15,11	10,59	67,98
Tungurahua	22,47	11,20	8,42	9,58	51,67
Santo Domingo de los Tsáchilas	19,65	4,97	13,47	11,07	49,15
Sucumbios	7,04	29,00	4,14	4,85	45,02
Cotopaxi	13,96	18,90	5,07	6,67	44,61
Santa Elena	15,74	4,91	8,75	13,86	43,26
Esmeraldas	18,94	6,13	7,35	9,71	42,13
Imbabura	17,23	4,12	6,55	7,46	35,35
Chimborazo	16,91	5,17	6,77	5,57	34,43
Loja	15,99	1,31	6,24	6,94	30,48
Cañar	9,58	4,66	3,29	2,40	19,93
Orellana	5,85	1,72	3,54	1,81	12,92
Zamora Chinchipe	3,03	7,16	1,28	0,74	12,20
Carchi	5,25	0,72	2,28	2,35	10,61
Bolívar	5,32	0,06	1,34	1,76	8,47
Napo	3,63	1,54	1,79	1,10	8,05
Morona Santiago	4,62	0,20	1,80	0,95	7,58
Galápagos	2,30	0,09	2,51	1,21	6,11
Pastaza	2,94	0,45	1,72	0,79	5,90
Total	787,02	403,75	409,68	305,97	1.906,42

Figura 8-4: Facturación nacional por grupo de consumo

Fuente: (NEC-10, 2011)

3.14.1 Facturación nacional por grupo de consumo para 2022

Se realizó una estimación de pérdidas energéticas a nivel nacional según ARCONEL 2019, para calcular las pérdidas en millones de dólares (MUSD), con un valor de pérdidas de potencia (P0) en Watts. (Arconel, 2017)

En la Tabla 16-4 muestra los Valores de facturación nacional y la Tabla 17-4 muestra la estimación de pérdidas energéticas en conductores, factor de resistividad del conductor.

Tabla 16-4: Facturación nacional por grupo de consumo

Comercial	Industrial	Residencial	Alumbrado público y Otros	TOTAL	Factor resistividad	Factor termografía
409,68	403,75	787,02	305,97	1906,42	0,000884	0,0000211

Realizado por: (Zamora, 2022)

Tomados los datos anteriores según el grupo de consumo se realizó un cálculo tanto para el factor determinado por la resistividad del conductor y al factor determinado mediante termografía infrarroja.

Tabla 17-4: Estimación de pérdidas energéticas reales en conductores.

Po(W)	Comercial	Industrial	Residencial	Alumbrado público y Otros	TOTAL
0	0	0	0	0	0
1	0,3622	0,3570	0,6958	0,2705	1,6855
2	0,7244	0,7139	1,3916	0,5410	3,3710
3	1,0866	1,0709	2,0874	0,8115	5,0564
4	1,4488	1,4278	2,7832	1,0820	6,7419
5	1,8110	1,7848	3,4791	1,3526	8,4274
6	2,1732	2,1418	4,1749	1,6231	10,1129
7	2,5354	2,4987	4,8707	1,8936	11,7984
8	2,8976	2,8557	5,5665	2,1641	13,4839
9	3,2598	3,2126	6,2623	2,4346	15,1693
10	3,6220	3,5696	6,9581	2,7051	16,8548
11	3,9842	3,9265	7,6539	2,9756	18,5403
12	4,3464	4,2835	8,3497	3,2461	20,2258
13	4,7086	4,6405	9,0455	3,5166	21,9113
14	5,0708	4,9974	9,7414	3,7871	23,5967
15	5,4330	5,3544	10,4372	4,0577	25,2822
16	5,7952	5,7113	11,1330	4,3282	26,9677
17	6,1574	6,0683	11,8288	4,5987	28,6532
18	6,5196	6,4253	12,5246	4,8692	30,3387
19	6,8818	6,7822	13,2204	5,1397	32,0241
20	7,2440	7,1392	13,9162	5,4102	33,7096

Realizado por: (Zamora, 2022)

La Tabla 18-4 muestra la estimación de pérdidas energéticas en conductores, factor de temperatura del conductor, en donde se demuestra el costo total de las pérdidas energéticas a nivel nacional.

Tabla 18-4: Estimación de pérdidas energéticas en forma de calor en conductores

Po(W)	Comercial	Industrial	Residencial	Alumbrado público y Otros	TOTAL
0	0	0	0	0	0
1	0,1423	0,1402	0,2733	0,1063	0,6621
2	0,2846	0,2805	0,5467	0,2125	1,3242
3	0,4269	0,4207	0,8200	0,3188	1,9864
4	0,5691	0,5609	1,0934	0,4251	2,6485
5	0,7114	0,7011	1,3667	0,5313	3,3106
6	0,8537	0,8414	1,6400	0,6376	3,9727
7	0,9960	0,9816	1,9134	0,7439	4,6348
8	1,1383	1,1218	2,1867	0,8501	5,2970
9	1,2806	1,2620	2,4601	0,9564	5,9591
10	1,4229	1,4023	2,7334	1,0627	6,6212
11	1,5651	1,5425	3,0067	1,1689	7,2833
12	1,7074	1,6827	3,2801	1,2752	7,9454
13	1,8497	1,8229	3,5534	1,3815	8,6075
14	1,9920	1,9632	3,8268	1,4877	9,2697
15	2,1343	2,1034	4,1001	1,5940	9,9318
16	2,2766	2,2436	4,3734	1,7003	10,5939
17	2,4189	2,3839	4,6468	1,8065	11,2560
18	2,5611	2,5241	4,9201	1,9128	11,9181
19	2,7034	2,6643	5,1935	2,0191	12,5803
20	2,8457	2,8045	5,4668	2,1253	13,2424

Realizado por: (Zamora, 2022)

CONCLUSIONES

Las pérdidas de energía en conductores eléctricos revestidos con cobertura de vinilo de policloruro por efecto de la temperatura fueron menores a las pérdidas de energía que se puede registrar midiendo directamente en el circuito eléctrico, esta medida difiere a medida que se incrementa la temperatura.

En los conductores eléctricos revestidos con cobertura de vinilo de policloruro las pérdidas de energía determinadas por efecto de la sección, longitud, resistividad y corriente que circula en el conductor, afectaron económicamente para el inicio del año 2022 con una pérdida en 16,854 MUSD para un valor de pérdidas de energía debido a la resistividad igual a 10 W a los usuarios del servicio eléctrico.

El método de cálculo realizado en esta investigación fue dirigido a toda instalación domiciliar, residencial e industrial donde se podrá cuantificar las pérdidas económicas de energía por una mala selección de conductores eléctricos y de igual manera decidir por el cambio de conductores que representen un elevado costo económico.

En ésta investigación se ha propuesto un método de cálculo y análisis del costo por pérdidas en conductores eléctricos y de igual manera elegir el conductor con la sección más adecuada para cada caso de instalación eléctrica para de esta manera tratar de evitar las pérdidas de energía que pasarían a afectar negativamente en pérdidas económicas.

En el experimento fue necesaria la colocación de cerámica en las superficies superiores del tablero de carga específicamente y de igual manera con la circulación de flujo de aire dada por el ventilador, para de esta manera controlar e impedir que la temperatura a la que se encuentra el tablero de carga se conduzca a los tableros superiores.

Cuanto mayor sea la carga aplicada en el conductor, menor fue el error en el valor de la pendiente de la recta. Esto se cumple tanto para el cálculo debido a la resistividad y mediante el factor de corrección por temperatura. Sabiendo que el valor del error es mucho menor en las pérdidas en forma de calor comparado con el valor del error del cálculo debido a la resistividad.

RECOMENDACIONES

Se puede utilizar este método de cálculo para determinar las pérdidas económicas en instalaciones domiciliarias, residenciales e industriales por selección inadecuada de conductores eléctricos, para ello la ecuación 32 será utilizada para determinar el costo económico en pérdidas de energía por efecto de la resistividad del conductor.

La ecuación 39, se puede utilizar para conocer las pérdidas energéticas en una instalación eléctrica ya sea domiciliar, residencial o industrial, y para conocer las pérdidas energéticas por efecto de la temperatura se debe aplicar la ecuación 32, estas pérdidas tendrán peso en la facturación económica y aumentaran según el consumo de energía.

Se debe continuar con el estudio de las pérdidas de energía en forma de calor de los conductores eléctricos mediante termografía infrarroja con el fin de proponer mejores métodos de cálculo de conductores eléctricos adecuados para instalaciones eléctricas y así evitar pérdida de energía que afecta económicamente a los usuarios del servicio eléctrico.

Controlar que la temperatura de salida de aire en el tablero de carga llegue máximo a los 70°C ya que a esta temperatura el calor comienza a conducirse por las paredes del tablero y la estructura del módulo, lo que podría afectar en las mediciones, para disminuir esta temperatura sería necesario aumentar el área de salida del flujo de aire caliente.

BIBLIOGRAFÍA

Academia. Testo. Resolución, NETD, exactitud. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de abril de 2021.] La sensibilidad térmica, es la resolución termal o diferencia de temperatura equivalente de ruido (NETD: Noise Equivalent Temperature Difference). La sensibilidad se desempeña con el cambio en temperatura mínimo en la superficie del objeto que puede ser f.

Acosta, Juan. Ecuared. [En línea] 30 de Agosto de 2021. [Citado el: 23 de Junio de 2021.] Disponible en: https://www.ecured.cu/Efecto_Joule.

Arconel. *Arconel*, 2017.

Artés, David G. La energía ¿no se crea ni se destruye? [En línea] 18 de Marzo de 2012. [Citado el: 12 de agosto de 2021.] Disponible en: <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/18/la-energia-no-se-crea-ni-se-destruye/>.

Barcelona, Universidad de. Contraste de normalidad. [En línea] 2 de Agosto de 2016. [Citado el: 21 de marzo de 2021.] Disponible en: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm.

Boylestad, Robert L. *Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos 8a. ed.* México : Pearson Educación, 2008. pág. 46.

Bueno, Antonio. Electricidad, electromagnetismo y medidas. [En línea] 2021. [Citado el: 12 de octubre de 2021.] Disponible en: http://www.portaleso.com/web_magnetismo_3/magnetismo_indice.html.

Calero, Juan. 2 Ley de Ohm. Resistencia eléctrica. [En línea] 26 de Agosto de 2021. [Citado el: 10 de agosto de 2021.] Disponible en: https://iesmjuncalero.educarex.es/archivos_insti/recurdptos/tecnolog/electrotenia/t2.htm.

Camei. Consorcio Americano 2021.

Coliccio, Estefania. Leyes de la termodinámica. [En línea] 15 de Julio de 2021. [Citado el: 15 de junio de 2021.] Disponible en: <https://concepto.de/leyes-de-la-termodinamica/>.

Components, ELECTRONICS. Electrónica del mañana 2021.

Crosntrumática. 2021. b del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EEUU. [En línea] 2021. [Citado el: 30 de agosto de 2021.] Comúnmente, los instrumentos IR (Infrarrojos) son calibrados o verificados cada año, para ello se utilizan cuerpos negros. La certificación de la calibración garantiza la calidad y proporciona correctos valores de una realidad física. Para disminuir el co.

Daniloff, Christine. Conversión directa más eficiente de calor en electricidad. [En línea] 06 de Septiembre de 2021. [Citado el: 14 de septiembre de 2021.] Disponible en: <https://noticiasdela-ciencia.com/art/27173/conversion-directa-mas-eficiente-de-calor-en-electricidad>.

Domingo, Agustín Martín. *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. Madrid : España CC-BY-SA, 2017.

Duran, Jesus. Aislantes electricos. [En línea], 2016. [Citado el: 10 de noviembre de 2021.] Disponible en: <http://refrigeracionjesusduran.blogspot.com/2016/10/aislantes-un-aislante-electrico-un.html>.

Eduxu. Luminosidad. Eduxu [En línea] 2015. [Citado el: 5 de noviembre de 2021.] https://www.eduxu.com/2015/02/la-luz-y-el-fotografo_21.html.

Electrónicos, Suministro de materiales. ¿Qué son materiales conductores de electricidad? [En línea] 2021. [Citado el: 20 de diciembre de 2021.] <https://jdelectricos.com.co/que-son-materiales-conductores/>.

Energética, La Revista. El rol de las pruebas de resistencia de aislación para la seguridad del sistema eléctrico. 2018.

Esperancini M, S,& Bueno O.D. *Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica*. Italia : Información tecnológica, 2011.

Fernandez, Javier. Industrial.es. [En línea] Septiembre de 2019. [Citado el: 6 de octubre de 2021.] Disponible en: http://oa.upm.es/56807/1/TFG_JAVIER_FERNANDEZ_DE_SEVILLA_GALAN.pdf.

Fisicalab. Segunda Ley de la Termodinámica. [En línea] 2021. [Citado el: 4 de agosto de 2021.] <https://www.fisicalab.com/apartado/segundo-principio-termo>.

Fowler, Richard. *Electricidad: principios y aplicaciones*. s.l. : Reverte, 1992.

Frontal, Bernardo. *El Espectro Electromagnético y sus aplicaciones*. Venezuela : Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química, 2005.

Granda, Paul Marcelo Vasquez. Universidad de cuenca. [En línea] 18 de abril de 2013. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/423/1/Tesis.pdf>.

Gunther. Gunther.eu. [En línea] 2021. Disponible en: <https://www.guenther.eu/36429ca9-b415-24b3-4e46-d8bfe5860ccd?Edition=es>.

Hernandez, Eduardo y et al. Estudio de las pérdidas de energía en conductores eléctricos mediante termografía infrarroja. 2017, pág. 112.

Incropeta, Frank. *Fundamentos de transferencia de calos*. Mexico : Prentice Hall, 1999. pág. 300.

Iturbe, Mikel. ¿Qué es el Efecto Joule? Aplicaciones para calefacción. 23 de Junio de 2020.

Lichtblau, M. y Gobbi, A. Las Leyes De La Termodinámica. 1959, pág. 76.

Línea, BACHILLETAROEN. bachillerato en linea.com. [En línea] 2022. [Citado el: 14 de marzo de 2021.] Disponible en: <https://bachilleratoenlinea.com/educar/mod/lesson/view.php?id=5054&pageid=2470>.

Luque, Irene. *Cálculos termodinámicos-estructurales en proteínas: predicción de afinidades de unión y diseño molecular de ligandos peptídicos.* s.l. : Granada, 2012. pág. 29.

Manizales, Universidad autónoma de. [En línea] 2020. [Citado el: 20 de julio de 2021.] Disponible en: <https://archivo.autonoma.edu.co/noticias/camara-termografica-para-detectar-casos-de-fiebre-por-covid-19>.

Martínez, Gustavo. Propuesta para la implementación de termografía como análisis. [En línea] 26 de noviembre de 2018. [Citado el: 13 de diciembre de 2021.] Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22662/1/PROPUESTA%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACION%20DE%20TERMOGRAFIA%20COMO%20HERRAMIENTA%20DE%20MANTENIMIENTO%20E%20INSPECCION%20EN.pdf>.

Masvoltaje. Masvoltaje. [En línea] 2022. [Citado el: 4 de agosto de 2021.] Disponible en: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12#:~:text=En%20los%20aislamientos%20de%20los,termopl%C3%A1sticos%20y%20los%20aislamientos%20termoestables..>

Matelec. [En línea] 2021. [Citado el: 28 de marzo de 2021.]

Materiales, Fundamentos de Ciencia de. Características eléctricas de los materiales. [En línea] 3 de Julio de 2021. [Citado el: 18 de noviembre de 2021.] Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm08/fcm8_3.html.

Mazcr. Mentorías infrarrojas [En línea] 2021.

Mts Internacional Electric Testing Association. 2011.

Muñoz, Cristian. Pérdidas en distribución. [En línea] Junio de 2015. [Citado el: 22 de septiembre de 2021.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01%20Perdidas%20en%20distribucion.pdf>.

Navarro, Rafael de Gracia. La eficiencia en las redes: niveles de pérdidas. s.l. : ARIAE, 2006, pág. 16.

NEC-10. *Norma Ecuatoria de la construcción- instalaciones Eléctricas* . Quito : s.n., 2011.

Noguera, Bulmaro. Principios básicos de transferencia de calor. [En línea] 16 de Marzo de 2021. [Citado el: 20 de octubre de 2021.] Disponible en: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/03/principios-basicos-de-transferencia-de.html>.

Ortiz, Carlos. Tecnología para la educación básica. [En línea] 7 de Abril de 2015. [Citado el: 30 de marzo de 2021.] Disponible en: <http://unidad2tecnologiaebgina.blogspot.com/2015/04/operadores-electricos.html>.

Ovacen. Cámaras termográficas: Cómo detectar fiebre ante Coronavirus COVID 19. [En línea] 2020. [Citado el: 18 de diciembre de 2021.] Disponible en: <https://ovacen.com/camaras-termograficas-fiebre/>.

Paredes, Carlos Julian. Fisimat. [En línea] 25 de Junio de 2021. [Citado el: 10 de mayo de 2021.] Disponible en: <https://www.fisimat.com.mx/calor-especifico>.

Picazo, Maria Jose. Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja. 2016, pág. 42.

Pirobloc. Advección dentro de la hidráulica térmica. [En línea] 26 de Octubre de 2016. [Citado el: 18 de noviembre de 2021.] Disponible en: <https://www.pirobloc.com/blog-es/adveccion-dentro-de-la-hidraulica-termica/>.

Planas, Oriol. Ley cero de la termodinámica. [En línea] 29 de Junio de 2016. [Citado el: 9 de junio de 2021.] Disponible en: <https://solar-energia.net/termodinamica/leyes-de-la-termodinamica/ley-cero-termodinamica>.

Prescott, James. Dictionary of Arts, Sciences, Literature, and General information. Londres : En Chisholm, Hugh, ed, 21 de Abril de 1900.

Pueblos, Cumbre. Tercera ley de la termodinámica. [En línea] 2021. [Citado el: 15 de mayo de 2021.] <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/termodinamica/ley-3/>.

Reyes, Lucelly. Teoría de pequeñas muestras. [En línea] 18 de Julio de 2016. [Citado el: 23 de junio de 2021.] Disponible en: https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Distribucion_tStudent.pdf.

Rodriguez, Gonzaga. Termografía infrarroja. 2021.

Saqui, Claudio. DSpace ESPOCH. [En línea] 30 de Marzo de 2016. [Citado el: 28 de agosto de 2021.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8037>.

Saqui, Claudio Fernando. Análisis de fallos y evaluación energética de anomalías en conductores eléctricos de potencia mediante termografía. [En línea] 2016. [Citado el: 25 de Agosto de 2021.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8037/1/25T00315.pdf>.

Serna, CA. *Gestión energética empresarial uan metodología para la reducción de consumo de energía.* s.l. : Producción+Limpia 107-126, 2012.

Serway, Raymond y Jewett, & Jhon. *Física para ciencias e ingeniería con física moderna.* 7ma. Mexico : Cengage Learning, 2009. pág. 644.

Spectrum, ELECTROMEGNETIC. [En línea] 2007. [Citado el: 1 de junio de 2021.] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible#/media/Archivo:Electromagnetic_spectrum-es.svg.

Spectrum, EM. [En línea] 2008. [Citado el: 8 de mayo de 2021.] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica#/media/Archivo:EM_Spectrum_Properties_es.svg.

Tejeda, Adalberto. *La humedad en la atmósfera.* s.l. : Universidad de Colima, 2017.

Temperatura y ley cero de la termodinámica. **Céron, Monserrat y et al, . 2020.** 2020, TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, pág. 68.

Tipán, Cesar. Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para termografía infrarroja. [En línea] 2011. [Citado el: 20 de Enero de 2022.] Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4317/1/CD-3935.pdf>.

Torres, Gonzalo. *Estudio de las causas incidentes en las pérdidas no técnicas en baja tensión.* Guayaquil : UCSG, 2015.

Tovar, T.R. CUVSI. Estudio de los factores que afectan a la resistencia de un conductor. [En línea] Marzo de 2021. [Citado el: 20 de febrero de 2022.] Disponible en: <https://www.cuvs.com/2014/12/estudio-de-los-factores-que-afectan-la.html>.

Yamaguchi, Y ResearchGate. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de enero de 2022.] Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Escenario-bidimensional-para-ISAR_fig2_228593835.

Young, Hugh y Freedman, Roger. *Física universitaria con física moderna.* s.l. : Pearson Corporate, 2013. pág. 373.

Zamora, Jessica. Repositorio Espe. [En línea] 22 de Julio de 2019. [Citado el: 6 de junio de 2021.] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/20672/1/T-ESPEL-MEC-0174.pdf>.

Zamora, . Determinación de las pérdidas de energía en forma de calor en conductores eléctricos revestidos con cobertura de policloruro de vinilo mediante termografía infrarroja. 2022.

Zapata, Fanny. Transferencia de calor por conducción. [En línea] 10 de Julio de 2021. [Citado el: 20 de junio de 2021.] Figura 15-2..

Zuñiga, Pedro. Instalaciones eléctricas residenciales. [En línea] 15 de Enero de 2020. [Citado el: 5 de febrero de 2022.] Disponible en: <https://instalacioneselectricasresidenciales.blogspot.com/2014/10/el-cordon-spt.html>.

ANEXO

Anexo A: Tabla de pérdidas energía en forma de calor conductor #22 AWG

Conductor #22 AWG					
4R	N°	T MAX	DT	MEDIA	Pérdidas (W)
	1	55,8	35,8	53,11	14,9276
	2	53,7	33,7	DESVIACION	14,8208
	3	54	34	0,976046447	14,8361
	4	53,3	33,3	T AMBIENTE	14,8005
	5	53,4	33,4	20	14,8056
	6	52,6	32,6		14,7649
	7	52,8	32,8		14,7751
	8	51,7	31,7		14,7192
	9	51,8	31,8		14,7242
	10	52,6	32,6		14,7649
	11	53,4	33,4		14,8056
	12	53,2	33,2		14,7954
	13	53,1	33,1		14,7903
	14	52,7	32,7		14,7700
	15	52,6	32,6		14,7649

Anexo B: Tabla de pérdidas energía en forma de calor conductor #20 AWG

Conductor #20 AWG					
4R	N°	T MAX	DT	MEDIA	Pérdidas (W)
	1	41,1	21,1	41,53	8,8035
	2	41,5	21,5	DESVIACION	8,8321
	3	41,5	21,5	0,235027861	8,8480
	4	41,4	21,4	T AMBIENTE	8,7971
	5	41,9	21,9	20	8,8766
	6	41,6	21,6		8,9151
	7	41,8	21,8		8,8735
	8	41,5	21,5		8,8959
	9	41,2	21,2		8,8704
	10	41,6	21,6		8,8193
	11	41,4	21,4		8,8929
	12	41,3	21,3		8,8576
	13	41,9	21,9		8,9086
	14	41,6	21,6		8,8831
	15	41,7	21,7		8,9183

Anexo C: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #18 AWG

Conductor #18					
4R	N°	T MAX	DT	MEDIA	Pérdidas (W)
	1	34,2	14,2	34,56	5,4077
	2	34,5	14,5	DESVIACION	5,4234
	3	34,9	14,9	0,32026775	5,4412
	4	35	15	T AMBIENTE	5,4138
	5	34,8	14,8	20	5,449
	6	34,6	14,6		5,4744
	7	34,3	14,3		5,439
	8	34,3	14,3		5,4586
	9	34	14		5,4428
	10	34,8	14,8		5,4196
	11	34,6	14,6		5,4646
	12	34,7	14,7		5,447
	13	34,6	14,6		5,4646
	14	35	15		5,4628
	15	34,1	14,1		5,4644

Anexo D: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #16 AWG

Conductor #16 AWG					
4R	N°	T MAX	DT	MEDIA	Pérdidas (W)
	1	27,9	7,9	28,38666667	3,3226
	2	28	8	DESVIACION	3,3299
	3	28,5	8,5	0,306749471	3,3422
	4	29	9	T AMBIENTE	3,3304
	5	28,6	8,6	20	3,3494
	6	28,2	8,2		3,3625
	7	28,1	8,1		3,3432
	8	28,6	8,6		3,3615
	9	28,4	8,4		3,3530
	10	28,4	8,4		3,3289
	11	28,4	8,4		3,3590
	12	28,8	8,8		3,3520
	13	28,6	8,6		3,3615
	14	28,1	8,1		3,3492
	15	28,2	8,2		3,3625

Anexo E: Tabla de pérdidas de energía en forma de calor conductor #14 AWG

Conductor #14 AWG					
4R	N°	T MAX	DT	MEDIA	Pérdidas (W)
	1	24,9	4,9	24,57333333	2,0689
	2	24,4	4,4	DESVIACION	2,0687
	3	24,9	4,9	0,257645012	2,0764
	4	24,5	4,5	T AMBIENTE	2,0621
	5	24,4	4,4	20	2,0762
	6	24,6	4,6		2,0890
	7	24,6	4,6		2,0778
	8	24,7	4,7		2,0861
	9	24,5	4,5		2,0807
	10	24,9	4,9		2,0689
	11	24,7	4,7		2,0861
	12	24,8	4,8		2,0794
	13	24,1	4,1		2,0813
	14	24,1	4,1		2,0776
	15	24,5	4,5		2,0882

Anexo F: Tabla de costos

Tabla de Costos			
Costos directos			
Producto	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Estructura del módulo	1	25,4	25,4
Tablero de carga	1	20,5	20,5
Tablero eléctrico	1	20,5	20,5
Tablero de pruebas	1	20,5	20,5
Blower soplador	1	35,36	35,36
Accesorios soplador	3	1,16	3,48
Conductores eléctricos			10,78
Resistencias eléctricas	4	27,5	110
Pulsadores	3	2,15	6,45
Luces indicadoras	3	2,8	8,4
Switchs	4	0,26	1,04
Fusible	1		4,65
Breakers	2	7,85	15,7
Interruptor diferencial	1		12,45
Contactador	1		18,65
Relé térmico bimetálico	1		15,5
Total			329,36
Costos indirectos			
Producto	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Herramientas			25,6
Transporte			10
Total			35,6
Costo total			364,96