

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“PROPUESTA DE MÓDULO ELÉCTRICO PARA LA  
REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO EN  
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN  
ACEITE EN LA SALA DE PRUEBAS DE UNA EMPRESA DE  
LIMA – 2023”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**AUTOR:**

**Bach. CUBA ISLADO, ENRIQUE ESTEBAN**

**ASESOR:**

**Mg. Ing. VALLEJOS ZUTA, ALEX ALFREDO**

**Callao, 2023**












**PERÚ**



## Document Information

<b>Analyzed document</b>	PROYECTO DE TESIS.pdf (D176900264)
<b>Submitted</b>	2023-10-25 23:49:00
<b>Submitted by</b>	JUAN GRADOS GAMARRA
<b>Submitter email</b>	fiee.investigacion@unac.edu.pe
<b>Similarity</b>	12%
<b>Analysis address</b>	fiee.investigacion.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8824">http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8824</a> Fetched: 2023-10-25 23:49:00	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://hdl.handle.net/20.500.12692/43662">https://hdl.handle.net/20.500.12692/43662</a> Fetched: 2023-10-25 23:50:00	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>javier rodriguez tutoria metodologia (12).docx</b> Document javier rodriguez tutoria metodologia (12).docx (D46360520)	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&amp;context=ing_electrica">https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&amp;context=ing_electrica</a> Fetched: 2023-10-25 23:49:00	 <b>10</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / INFORME FINAL JULIO CESAR AZAÑA SILVA.docx</b> Document INFORME FINAL JULIO CESAR AZAÑA SILVA.docx (D172720766) Submitted by: investigacion.fime@unac.pe Receiver: investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>1533844169_427__Practica3_Maquinarias_ApoloDomenica_P204.docx</b> Document 1533844169_427__Practica3_Maquinarias_ApoloDomenica_P204.docx (D40907612)	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://simple.wikipedia.org/wiki/24-hour_clock">https://simple.wikipedia.org/wiki/24-hour_clock</a> Fetched: 2020-01-29 13:17:27	 <b>75</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/24-hour_clock">https://en.wikipedia.org/wiki/24-hour_clock</a> Fetched: 2019-10-05 16:16:25	 <b>8</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.alvordschools.org/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=21080&amp;dataid=33...">https://www.alvordschools.org/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=21080&amp;dataid=33...</a> Fetched: 2021-11-01 23:09:42	 <b>16</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/491">http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/491</a> Fetched: 2023-10-25 23:49:00	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4627">http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4627</a> Fetched: 2023-10-25 23:49:00	 <b>2</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE**  
**TESIS SIN CICLO DE TESIS**


Al 01 día del mes de diciembre del 2023 siendo las 12:00 horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, aprobada mediante Resolución Decanal N°191-2023-DFIEE, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

<b>MG. ING. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA</b>	<b>Presidente</b>
<b>MG. ING. ERNESTO RAMOS TORRES</b>	<b>Secretario</b>
<b>MG. ING. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA</b>	<b>Vocal</b>


Asimismo el suplente **Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA**, no asistió; motivo por el cual se dio inicio a la exposición de TESIS del señor Bachiller **CUBA ISLADO, Enrique Esteban**; quien habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista como lo señalan los Arts. N° 08 al 10 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentará la Tesis Titulada a **"PROPUESTA DE MÓDULO ELÉCTRICO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN ACEITE EN LA SALA DE PRUEBAS DE UNA EMPRESA DE LIMA – 2023"**, con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 80 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 150-21-CU, en el Sub Capítulo II, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis sin Ciclo de Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO Calificativo BUENO nota: 15 al expositor **CUBA ISLADO, Enrique Esteban**; con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 13:00 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 238 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.

  
.....  
**MG. ING. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA**  
**PRESIDENTE**

  
.....  
**MG. ING. ERNESTO RAMOS TORRES**  
**SECRETARIO**

  
.....  
**MG. ING. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA**  
**VOCAL**

.....  
**SUPLENTE**

## **HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN**

**PRESIDENTE : Mg. Ing. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA**

**SECRETARIO : Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES**

**VOCAL : Mg. Ing. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA**

**ASESOR : Mg. Ing. ALEX ALFREDO VALLEJOS ZUTA**



## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mis padres por su apoyo en toda esta etapa, por sus esfuerzos y sacrificios he podido cumplir una de mis metas y sueños planteados. A mis familiares y amistades que me apoyaron y acompañaron durante toda esta etapa.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la institución académica y a los docentes que me ayudaron en mi formación académica, lo cual me ha permitido seguir creciendo profesionalmente.

Agradezco a mis padres, hermanos y amigos especiales en mi vida, que me apoyaron con su confianza, consejos y dedicación.



# INDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>9</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>14</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>16</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICAS</b>	<b>25</b>
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b>	<b>28</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>29</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>30</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>31</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>33</b>
<b>1.1. Descripción de la realidad problemática</b>	<b>33</b>
<b>1.2. Formulación del problema</b>	<b>35</b>
1.2.1. Problema general	35
1.2.2. Problemas específicos	35
<b>1.3. Objetivos de la investigación</b>	<b>36</b>
1.3.1. Objetivo general	36
1.3.2. Objetivos específicos	36
<b>1.4. Justificación</b>	<b>37</b>
1.4.1. Justificación teórica	37
1.4.2. Justificación Metodológica	38
1.4.3. Justificación social	39
1.4.4. Justificación Legal	39
<b>1.5. Delimitantes de la investigación</b>	<b>40</b>
1.5.1. Teórica	40
1.5.2. Temporal	40
1.5.3. Espacial	40
<b>II. ANTECEDENTES</b>	<b>41</b>
<b>2.1. Antecedentes: Internacional y nacional.</b>	<b>41</b>
	11

2.1.1.	Internacionales	41
2.1.2.	Nacionales	44
<b>2.2.</b>	<b>Bases teóricas</b>	<b>48</b>
2.2.1.	Parámetros eléctricos	48
2.2.2.	Potencia	52
2.2.3.	Transformador eléctrico	55
2.2.4.	Conexiones de Transformadores eléctricos trifásicos	61
2.2.5.	Banco de condensadores:	63
2.2.6.	Pruebas eléctricas a los transformadores de distribución sumergidos en aceite	66
2.2.7.	Pruebas de Rutina	67
2.2.8.	Pruebas Tipo	79
<b>2.3.</b>	<b>Marco conceptual</b>	<b>97</b>
2.3.1.	Variable Dependiente: Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite.	97
2.3.2.	Variable Independiente: Modulo eléctrico	98
<b>2.4.</b>	<b>Definición de términos básicos</b>	<b>100</b>
<b>III.</b>	<b>HIPOTESIS Y VARIABLES</b>	<b>103</b>
<b>3.1.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>103</b>
3.1.1.	Hipótesis General:	103
3.1.2.	Hipótesis Específicas:	103
<b>3.2.</b>	<b>Operacionalización de variable</b>	<b>104</b>
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL PROYECTO</b>	<b>105</b>
<b>4.1.</b>	<b>Diseño metodológico</b>	<b>105</b>
<b>4.2.</b>	<b>Método de investigación</b>	<b>108</b>
<b>4.3.</b>	<b>Población y muestra</b>	<b>109</b>
<b>4.4.</b>	<b>Lugar de estudio</b>	<b>110</b>
<b>4.5.</b>	<b>Técnicas e instrumentación para la recolección de la información</b>	<b>110</b>
<b>4.6.</b>	<b>Análisis y procesamiento de datos</b>	<b>111</b>
<b>4.7.</b>	<b>Aspectos Éticos en investigación</b>	<b>111</b>
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>112</b>
<b>5.1.</b>	<b>Resultados descriptivos</b>	<b>112</b>
		12

5.1.1.	Conexión de transformadores para la prueba de calentamiento	112
5.1.2.	Protocolos de las pruebas de calentamiento antiguas	116
5.1.3.	Módulo eléctrico para prueba de calentamiento	129
5.1.4.	Realización de la prueba de calentamiento utilizando el módulo eléctrico y el nuevo protocolo	141
5.2.	Resultados inferenciales	205
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>237</b>
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis	237
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	239
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	240
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>241</b>
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>242</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>244</b>
<b>I.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>249</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N°1 NTP IEC 60076-02 símbolos de refrigeración .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla N°2 NTP IEC 60076-11 símbolos de refrigeración .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla N°3 NTP IEC 60076-1 Conexiones de transformadores trifásicos.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla N°4 Pruebas eléctricas a transformadores .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla N°5 Resistencia mínima recomendada .....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla N°6 Tabla de niveles de tensión de ensayo, NTP IEC 60076-03.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla N°7 Tabla de límites de calentamiento en transformadores en aceite .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla N°8 Tabla de límites de calentamiento de los arrollamientos.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla N°9 Exponentes para correcciones en el ensayo de calentamiento.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla N° 10 Matriz de operacionalización de la variable, Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite .....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla N° 11 Matriz de operacionalización de la variable, Módulo eléctrico.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla N° 12 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador trifásico de 100kVA .....</i>	<i>205</i>
<i>.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabla N° 13 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador monofásico de 167 kVA .....</i>	<i>206</i>
<i>Tabla N° 14 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador trifásico de 160kVA .....</i>	<i>207</i>
<i>Tabla N° 15 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador monofásico de 15kVA .....</i>	<i>208</i>
<i>Tabla N° 16 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA.....</i>	<i>210</i>

<b>Tabla N° 17 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA .....</b>	<b>212</b>
<b>Tabla N° 18 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA.....</b>	<b>214</b>
<b>Tabla N° 19 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA .....</b>	<b>216</b>
<b>Tabla N° 20 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador trifásico de 100 kVA.....</b>	<b>220</b>
<b>.....</b>	<b>220</b>
<b>Tabla N° 21 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador Monofásico de 167 kVA .</b>	<b>222</b>
<b>Tabla N° 22 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador trifásico de 160 kVA.....</b>	<b>224</b>
<b>Tabla N° 23 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador Monofásico de 15 kVA ...</b>	<b>226</b>
<b>Tabla N° 24 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador trifásico de 100 kVA.....</b>	<b>227</b>
<b>Tabla N° 25 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador monofásico de 167 kVA .....</b>	<b>228</b>
<b>Tabla N° 26 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador trifásico de 160 kVA.....</b>	<b>229</b>
<b>Tabla N° 27 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador monofásico de 15 kVA .....</b>	<b>230</b>
<b>Tabla N° 28 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador trifásico de 100 kVA .....</b>	<b>232</b>
<b>Tabla N° 29 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del ..... módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador monofásico de 167 Kva....</b>	<b>233</b>

**Tabla N° 30 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador trifásico de 160 kVA .....234**

**Tabla N° 31 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador monofásico de 15 kVA.....235**

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura N°1 Campo magnético generado por un cable..... 50**

**Figura N°2 Campo magnético generado por una espira ..... 51**

**Figura N°3 Triangulo de potencia ..... 54**

**Figura N°4 transformador monofásico..... 56**

**Figura N°5 banco de condensadores en conexión estrella..... 64**

**Figura N°6 banco de condensadores en conexión delta ..... 64**

**Figura N°7 esquema para relación de transformación..... 68**

**Figura N°8 Relación de transformación a transformador trifásico ..... 68**

**Figura N°9 Media tensión vs Baja Tensión, voltaje de prueba de 5000 Vdc..... 70**

**Figura N°10 Media tensión vs Masa, voltaje de prueba de 5000 Vdc..... 70**

**Figura N°11 Baja tensión vs Masa, voltaje de prueba de 1000 Vdc ..... 70**

**Figura N°12 Conexión en estrella ..... 72**

**Figura N°13 Conexión en delta..... 72**

**Figura N°14 Conexión para prueba de vacío..... 74**

**Figura N°15 Conexión para prueba de corto circuito ..... 75**

**Figura N°16 Ensayo de calentamiento método carga real ..... 84**

**Figura N°17 Ensayo de calentamiento método de oposición..... 85**

<i>Figura N°18 Ensayo de calentamiento método de cortocircuito .....</i>	<i>87</i>
<i>Figura N°19 Ensayo de calentamiento método de las dos etapas .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura N°20 grafica de resistencia vs tiempo.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura N°21 Autotransformador con transformador de 50KVA.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura N°22 Autotransformador de apoyo .....</i>	<i>112</i>
<i>Figura N°23 Montaje de los medidores de temperatura sobre un carrito de equipos .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura N°24 Autotransformador con transformador de 400 KVA .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura N°25 Colocación de sensores de temperatura PT-100 .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura N°26 Apunte de las temperaturas en cuaderno .....</i>	<i>113</i>
<i>Figura N°27 Prueba de calentamiento transformador de 630 KVA.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura N°28 Medidores de temperatura y apunte de datos de temperatura en el carrito de equipos.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura N°29 Prueba de calentamiento transformador de 15 KVA .....</i>	<i>115</i>
<i>Figura N°30 Colocación de sensores de temperatura.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura N°31 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA resultados finales .....</i>	<i>117</i>
<i>Figura N°32 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA curva de calentamiento del aceite.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura N°33 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión. ....</i>	<i>119</i>
<i>Figura N°34 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA resultados finales .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura N°35 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA curva de calentamiento del aceite.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura N°36 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión. ....</i>	<i>122</i>

<b>Figura N°37 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA resultados finales .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura N°38 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA curva de calentamiento del aceite.....</b>	<b>124</b>
<b>Figura N°39 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión. ....</b>	<b>125</b>
<b>Figura N°40 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA resultados finales .....</b>	<b>126</b>
<b>Figura N°41 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA curva de calentamiento del aceite .....</b>	<b>127</b>
<b>Figura N°42 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión .....</b>	<b>128</b>
<b>Figura N°43 Circuito de control, Módulo eléctrico para la prueba de calentamiento .....</b>	<b>130</b>
<b>Figura N°44 Circuito de fuerza, Módulo eléctrico para la prueba de calentamiento .....</b>	<b>131</b>
<b>Figura N°45 Módulo eléctrico vista frontal.....</b>	<b>132</b>
<b>Figura N°46 Módulo eléctrico vista superior y lateral .....</b>	<b>132</b>
<b>Figura N°47 Módulo eléctrico con todo su equipamiento, cámara termográfica y miliohmímetro digital .....</b>	<b>133</b>
<b>Figura N°48 Módulo eléctrico salida de sensores de temperatura y vista trasera.....</b>	<b>133</b>
<b>Figura N°49 Encendido del módulo eléctrico y Regulación de pérdidas totales.....</b>	<b>134</b>
<b>Figura N°50 Selección de corriente e Inyección de pérdidas a transformador.....</b>	<b>134</b>
<b>Figura N°51 Montaje de sensores de temperatura PT-100 a transformador trifásico y monofásico.....</b>	<b>135</b>
<b>Figura N°52 Medición de arrollamientos antes de la prueba y Colocación de cables de prueba.....</b>	<b>136</b>
<b>Figura N°53 Anotación de valores en protocolo de calentamiento y Medición de la temperatura y humedad .....</b>	<b>136</b>



<b>Figura N°54 Cables de pruebas para el transformador y Delimitación del área de trabajo</b>	<b>137</b>
<b>Figura N°55 Medidas de la temperatura con cámara termográfica</b>	<b>138</b>
<b>Figura N°56 Medición de temperatura media</b>	<b>138</b>
<b>Figura N°57 Temperatura media de transformador monofásico</b>	<b>139</b>
<b>Figura N°58 Temperatura superior transformador monofásico</b>	<b>139</b>
<b>Figura N°59 Temperatura inferior transformador trifásico</b>	<b>139</b>
<b>Figura N°60 Temperatura media de transformador trifásico</b>	<b>139</b>
<b>Figura N°61 Medidor de temperatura, medida del aceite superior y ambiente 1 - Medidor de temperatura, medida del aceite inferior y ambiente 3</b>	<b>140</b>
<b>Figura N°62 Analizador de redes N°2, verificación de tensión y corriente en tablero general de sala de pruebas y Analizador de redes N°1, inyección de pérdidas totales y factor de potencia de la prueba</b>	<b>140</b>
<b>Figura N°63 Protocolo de pruebas de rutina, transformador trifásico 100 kVA</b>	<b>141</b>
<b>Figura N°64 Colocación de placa metálica de cobre, Colocación de sensor de temperatura y Montaje con cinta filamentada, 100 kVA</b>	<b>142</b>
<b>Figura N°65 Sensor en pozo termométrico, temp. Superior transformador hermetizado, 100 kVA</b>	<b>142</b>
<b>Figura N°66 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de baja tensión, 100 kVA</b>	<b>143</b>
<b>Figura N°67 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de media tensión, 100 kVA</b>	<b>143</b>
<b>Figura N°68 Medición de resistencia media y baja tensión, 100 kVA</b>	<b>143</b>
<b>Figura N°69 Pérdidas totales y factor de potencia, Tensiones de pérdidas totales y Corrientes de pérdidas totales, 100 kVA</b>	<b>144</b>
<b>Figura N°70 Temperatura superior y ambiente N°1 y Temperatura media y ambiente N°2, 100 kVA</b>	<b>144</b>
<b>Figura N°71 Temperatura inferior y ambiente N°3, 100 kVA</b>	<b>144</b>

<b>Figura N°72 Temperatura superior cámara termográfica y Temperatura media cámara termográfica, 100 kVA .....</b>	<b>145</b>
<b>Figura N°73 Temperatura inferior cámara termográfica, 100 kVA .....</b>	<b>145</b>
<b>Figura N°74 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba y Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 100 kVA.....</b>	<b>146</b>
<b>Figura N°75 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 100 kVA .....</b>	<b>146</b>
<b>Figura N°76 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 100 kVA .....</b>	<b>147</b>
<b>Figura N°77 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 100 kVA .....</b>	<b>147</b>
<b>Figura N°78 Tensiones a corriente nominal y Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 100 kVA .....</b>	<b>148</b>
<b>Figura N°79 Perdidas a corriente nominal y Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 100 kVA.....</b>	<b>148</b>
<b>Figura N°80 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 100 kVA .....</b>	<b>149</b>
<b>Figura N°81 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 100 kVA .....</b>	<b>149</b>
<b>Figura N°82 Protocolo N°1 temperaturas y perdidas, 100 kVA .....</b>	<b>150</b>
<b>Figura N°83 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 100 kVA .....</b>	<b>151</b>
<b>Figura N°84 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 100 kVA.....</b>	<b>152</b>
<b>Figura N°85 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 100 kVA .....</b>	<b>153</b>
<b>Figura N°86 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión, 100 kVA .....</b>	<b>154</b>
<b>Figura N°87 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 100 kVA.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura N°88 Protocolo de pruebas de rutina, transformador monofásico 167 kVA.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura N°89 Colocación de plancha metálica de cobre, sensor de temperatura y montaje con cinta filamentada, 167 kVA.....</b>	<b>158</b>

<i>Figura N°90 Colocación de sensor de temperatura por válvula de alivio del transformador, 167 kVA.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura N°91 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión, 167 kVA .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura N°92 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de media tensión, 167 kVA ....</i>	<i>159</i>
<i>Figura N°93 Pérdidas totales, corriente y tensión al inicio de la prueba, 167 kVA .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura N°94 Temperatura superior medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°1, 167 kVA.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura N°95 Temperatura media medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°2, 167 kVA.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura N°96 Temperatura inferior medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°3, 167 kVA.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura N°97 Temperatura superior cámara termográfica, 167 kVA .....</i>	<i>161</i>
<i>Figura N°98 Temperatura media cámara termográfica, 167 kVA .....</i>	<i>161</i>
<i>Figura N°99 Temperatura inferior cámara termográfica, 167 kVA .....</i>	<i>161</i>
<i>Figura N°100 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba, 167 kVA .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura N°101 Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 167 kVA .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura N°102 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 167 kVA .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura N°103 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 167 kVA .....</i>	<i>163</i>
<i>Figura N°104 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 167 kVA .....</i>	<i>163</i>
<i>Figura N°105 Tensiones a corriente nominal, Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 167 kVA.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura N°106 Perdidas a corriente nominal, Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 167 kVA.....</i>	<i>164</i>

<i>Figura N°107 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 167 kVA .....</i>	<i>165</i>
<i>Figura N°108 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 167 kVA .....</i>	<i>165</i>
<i>Figura N°109 Protocolo N°1 temperaturas y pérdidas, 167 kVA.....</i>	<i>166</i>
<i>Figura N°110 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 167 kVA .....</i>	<i>167</i>
<i>Figura N°111 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 167 kVA.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura N°112 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 167 kVA .....</i>	<i>169</i>
<i>Figura N°113 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión, 167 kVA .....</i>	<i>170</i>
<i>Figura N°114 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 167 kVA.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura N°115 Protocolo de pruebas de rutina, transformador trifásico 160 kVA .....</i>	<i>173</i>
<i>Figura N°116 Colocación de plancha metálica de cobre, sensor de temperatura y montaje con cinta filamentada, 160 kVA.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura N°117 transformador terminado y conectado para la prueba, 160 kVA .....</i>	<i>174</i>
<i>Figura N°118 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de baja tensión, 160 kVA.</i>	<i>175</i>
<i>Figura N°119 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de media tensión, 160 kVA .....</i>	<i>175</i>
<i>Figura N°120 Medición de resistencia media tensión, 160 kVA.....</i>	<i>175</i>
<i>Figura N°121 Medición de resistencia baja tensión, 160 kVA .....</i>	<i>175</i>
<i>Figura N°122 Pérdidas totales, 160 kVA.....</i>	<i>176</i>
<i>Figura N°123 Tensiones de pérdidas totales, 160 kVA .....</i>	<i>176</i>
<i>Figura N°124 Corrientes de pérdidas totales, 160 kVA .....</i>	<i>176</i>
<i>Figura N°125 Temperatura superior y ambiente N°1, Temperatura media y ambiente N°2, 160 kVA.....</i>	<i>177</i>
<i>Figura N°126 Temperatura inferior y ambiente N°3, 160 kVA.....</i>	<i>177</i>

<i>Figura N°127 Temperatura superior cámara termográfica, Temperatura media cámara termográfica, 160 kVA.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura N°128 Temperatura inferior cámara termográfica, 160 kVA.....</i>	<i>178</i>
<i>Figura N°129 Temperatura superior y ambiente N°1, Temperatura media y ambiente N°2 en el transcurso de la prueba, 160 kVA.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura N°130 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 160 kVA .....</i>	<i>179</i>
<i>Figura N°131 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 160 kVA .....</i>	<i>180</i>
<i>Figura N°132 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 160 kVA .....</i>	<i>180</i>
<i>Figura N°133 Tensiones a corriente nominal y corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 160 kVA.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura N°134 Perdidas a corriente nominal y Humedad a corriente nominal, 160 kVA.....</i>	<i>181</i>
<i>Figura N°135 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 160 kVA .....</i>	<i>182</i>
<i>Figura N°136 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 160 kVA .....</i>	<i>182</i>
<i>Figura N°137 Protocolo N°1 temperaturas y perdidas, 160 kVA.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura N°138 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 160 kVA .....</i>	<i>184</i>
<i>Figura N°139 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 160 kVA.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura N°140 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 160 kVA .....</i>	<i>186</i>
<i>Figura N°141 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión, 160 kVA .....</i>	<i>187</i>
<i>Figura N°142 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 160 kVA .....</i>	<i>188</i>
<i>Figura N°143 Protocolo de pruebas de rutina, transformador monofásico 15 kVA.....</i>	<i>190</i>
<i>Figura N°144 Colocación de sensor de temperatura, 15 kVA .....</i>	<i>191</i>
<i>Figura N°145 Colocación de placa metálica de cobre, 15 kVA.....</i>	<i>191</i>

<b>Figura N°146 Sensor por válvula de alivio, temp. Superior, 15 kVA.....</b>	<b>191</b>
<b>Figura N°147 transformador terminado, 15 kVA.....</b>	<b>191</b>
<b>Figura N°148 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de media tensión, 15 kVA ....</b>	<b>192</b>
<b>Figura N°149 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión x1-x3, 15 kVA .....</b>	<b>192</b>
<b>Figura N°150 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión x2-x4, 15 kVA .....</b>	<b>192</b>
<b>Figura N°151 Módulo eléctrico en funcionamiento y Pérdidas totales y factor de potencia, 15 kVA.....</b>	<b>193</b>
<b>Figura N°152 Tensiones de pérdidas totales y Corrientes de pérdidas totales, 15 kVA .....</b>	<b>193</b>
<b>Figura N°153 Temperatura superior y ambiente N°1, 15 kVA .....</b>	<b>194</b>
<b>Figura N°154 Temperatura media y ambiente N°2, 15 kVA .....</b>	<b>194</b>
<b>Figura N°155 Temperatura inferior y ambiente N°4, 15 kVA .....</b>	<b>194</b>
<b>Figura N°156 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 15 kVA .....</b>	<b>194</b>
<b>Figura N°157 Transformador en funcionamiento, en etapa de pérdidas totales, 15 kVA..</b>	<b>194</b>
<b>Figura N°158 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba, 15 kVA .....</b>	<b>195</b>
<b>Figura N°159 Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 15 kVA .....</b>	<b>195</b>
<b>Figura N°160 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 15 kVA .....</b>	<b>195</b>
<b>Figura N°161 Temperatura ambiente N°4 y humedad en el transcurso de la prueba, 15 kVA .....</b>	<b>195</b>
<b>Figura N°162 Tensiones a corriente nominal y Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 15 kVA .....</b>	<b>196</b>
<b>Figura N°163 Perdidas a corriente nominal y Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 15 kVA.....</b>	<b>196</b>

<i>Figura N°164 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 15 kVA .....</i>	<i>197</i>
<i>Figura N°165 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 15 kVA .....</i>	<i>197</i>
<i>Figura N°166 Protocolo N°1 temperaturas y perdidas, 15 kVA .....</i>	<i>198</i>
<i>Figura N°167 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 15 kVA .....</i>	<i>199</i>
<i>Figura N°168 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 15 kVA.....</i>	<i>200</i>
<i>Figura N°169 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 15 kVA .....</i>	<i>201</i>
<i>Figura N°170 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión, 15 kVA .....</i>	<i>202</i>
<i>Figura N°171 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 15 kVA.....</i>	<i>203</i>

## **ÍNDICE DE GRÁFICAS**

<i>Grafica N°1 Temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento antiguo .....</i>	<i>209</i>
<i>Grafica N°2 Temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i>	<i>210</i>
<i>Grafica N°3 Temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento antiguo.....</i>	<i>211</i>
<i>Grafica N°4 Temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i>	<i>212</i>
<i>Grafica N°5 Temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento antiguo .....</i>	<i>213</i>
<i>Grafica N°6 Temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i>	<i>214</i>

<b>Grafica N°7 Temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento antiguo.....</b>	<b>215</b>
<b>Grafica N°8 Temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</b>	<b>216</b>
<b>Grafica N°9 Resistencia en caliente transformador trifásico de 100 kVA media tensión, procedimiento antiguo.....</b>	<b>218</b>
<b>Grafica N°10 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 100 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>219</b>
<b>Grafica N°11 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 100 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>219</b>
<b>Grafica N°12 Resistencia en caliente transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento antiguo.....</b>	<b>220</b>
<b>Grafica N°13 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>221</b>
<b>Grafica N°14 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>221</b>
<b>Grafica N°15 Resistencia en caliente transformador trifásico de 160 kVA media tensión, procedimiento antiguo.....</b>	<b>222</b>
<b>Grafica N°16 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 160 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>223</b>
<b>Grafica N°17 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 160 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>223</b>
<b>Grafica N°18 Resistencia en caliente transformador monofásico de 15 kVA media tensión, procedimiento antiguo.....</b>	<b>224</b>
<b>Grafica N°19 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>225</b>
<b>Grafica N°20 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico.....</b>	<b>225</b>



<b><i>Grafica N°21 Pérdidas totales, transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>227</i></b>
<b><i>Grafica N°22 Pérdidas totales, transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>228</i></b>
<b><i>Grafica N°23 Pérdidas totales, transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>229</i></b>
<b><i>Grafica N°24 Pérdidas totales, transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>230</i></b>
<b><i>Grafica N°25 Corriente nominal, transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>232</i></b>
<b><i>Grafica N°26 Corriente nominal, transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>233</i></b>
<b><i>Grafica N°27 Corriente nominal, transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>234</i></b>
<b><i>Grafica N°28 Corriente nominal, transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico .....</i></b>	<b><i>235</i></b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Kva: Kilovoltamperio

W: Vatio

Vcc: Tensión de cortocircuito

Pcc: Pérdidas de cortocircuito

Po: pérdidas de vacío

I<sub>p</sub>: Corriente de pérdidas totales

I<sub>n</sub>: Corriente nominal

MT: Media tensión

BT: Baja tensión

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar la influencia de un módulo eléctrico para la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima, 2023.

**Metodología:** La investigación según su finalidad es de tipo aplicada, con un nivel explicativo, con un diseño experimental – pre experimental y método cuantitativo. La población está conformada por 7 transformadores de distribución, de potencias entre 15 a 250 kVA, con una muestra de 4 unidades.

### **Resultado:**

Basado en los resultados obtenidos en donde se demuestra que la aplicación del módulo eléctrico en la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite, genera resultados correctos de acuerdo a las normativas NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, así podemos verificar el diseño, fabricación y funcionamiento óptimo del transformador cuando está en servicio en plena carga.

### **Conclusión:**

En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico para la prueba de calentamiento podemos afirmar que los procedimientos y valores obtenidos son los correctos de acuerdo con las normativas vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01, garantizando la operatividad del transformador.

**Palabras claves:** Módulo eléctrico, Calentamiento, Pérdidas totales, Transformadores de distribución, Temperaturas, Resistencia de devanados.

## ABSTRACT

**Objective:** Determine the influence of an electrical module for the heating test in distribution transformers immersed in oil in the test room of a company in Lima, 2023.

**Methodology:** The research according to its purpose is of an applied type, with an explanatory level, with an experimental - pre-experimental design and quantitative method. The population is made up of 7 distribution transformers, with powers between 15 to 250 kVA, with a sample of 4 units.

### **Result:**

Based on the results obtained where it is demonstrated that the application of the electrical module in the heating test in distribution transformers immersed in oil, generates correct results according to the regulations NTP IEC 60076 - 02 and NTP IEC 60076 - 01, as well as We can verify the design, manufacturing and optimal operation of the transformer when it enters service at full load.

### **Conclusion:**

Based on the results obtained with the electrical module for the heating test, we can affirm that the procedures and values obtained are correct in accordance with the current regulations NTP IEC 60076-02 and NTP IEC 60076-01, guaranteeing the operability of the transformer.

**Keywords:** Electric module, Heating, Total losses, Distribution transformers, Temperatures, Winding resistance.

## INTRODUCCIÓN

Con el incremento de la población en el Perú, se desarrollaron nuevos proyectos eléctricos, aumentando la demanda eléctrica, por lo que el sistema se extendió a diferentes partes del país para poder llevar la electricidad requerida, estos lugares están en zonas de mucha humedad, calor, frío y diferente altitud con respecto al nivel del mar.

En los puntos de consumo se requiere transformar la media tensión, que son valores de 10 kV, 13.2kV, 13.8kV, 22.9kV y 33 kV a baja tensión 110V, 230V, 380V, 400 y 460V, los transformadores de distribución sumergidos en aceite son los que se encargan de esta tarea y cuentan con diferentes tipos: Distribución trifásica, Distribución monofásica, Tipo pedestal y Tipo bóveda.

Los transformadores de distribución son necesarios a la hora de brindar servicios eléctricos a diferentes clientes, por eso una avería de un transformador de distribución representa muchos clientes sin servicios, pérdidas económicas por reemplazo y energía dejada de brindar, por eso se necesitan transformadores que nos brinden la confiabilidad de tener un servicio estable en todo su tiempo de vida útil.

El calentamiento de un transformador de distribución sumergido en aceite es el resultado de su funcionamiento y está relacionado con la carga eléctrica que alimenta. Están fabricados en material de cobre o aluminio, para controlar el calentamiento y evitar daños al transformador. Se han optado por optimizar los diseños en su fabricación teniendo en cuenta la máxima temperatura a la que opera y la altitud respecto al nivel del mar, todo ello basado en la prueba de calentamiento el cual simula la temperatura final del aceite y de los arrollamientos cuándo el transformador entre funcionamiento en plena carga.

Las partes activas de un transformador son los devanados y el núcleo magnético, el funcionamiento de estos originan calentamientos, si son desmesurados aceleran el

deterioro del aislamiento de los bobinados y de toda la máquina, acortando así la vida útil del transformador.

En la actualidad la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite se realiza registrando datos como temperatura, pérdidas, corriente, voltaje, factor de potencia y humedad, para que al final se estime un criterio de estabilidad según la normatividad, la prueba permite un mínimo de 8 horas y el valor de temperatura durante este periodo debe cumplir con lo exigido por las normas NTP IEC 60076-01 y NTP IEC 60076-2.

En nuestro mercado peruano existen diversas empresas que se dedican al diseño y fabricación de transformadores eléctricos de distribución, los diseños dependerán de las especificaciones y características técnicas que brinde el cliente o destinatario final según el proyecto eléctrico que ejecutara.

Los transformadores eléctricos deben recibir y entregar la potencia requerida al proyecto eléctrico y para esto pasan por una serie de pruebas eléctricas que son: las pruebas de rutina, pruebas especiales y las pruebas tipo dentro de la cual está la prueba de calentamiento, una vez realizada estas pruebas se genera el respectivo protocolo que es el sustento técnico de su óptimo funcionamiento eléctrico y su garantía de calidad.

Para la fabricación de transformadores eléctricos de distribución, se inicia con una serie de procesos de trabajo, como son las características eléctricas requeridas por el cliente, luego se procede con el diseño eléctrico aquí se definen las dimensiones del bobinado, los tipos de alambre y platinas a utilizar este material puede ser cobre o aluminio, los aislamientos internos y externos y luego el diseño mecánico donde se define las dimensiones del transformador todo esto basado en las normas nacionales e internacionales.

El objetivo de esta investigación es proponer un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima - 2023.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

En los laboratorios de las universidades siempre se ha tenido la dificultad de realizar las pruebas de rutina y la de calentamiento a los transformadores eléctricos, un estudio presentado en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Implementación del ensayo de calentamiento en transformadores de distribución, el problema que se presenta es que la universidad no cuenta con un laboratorio especializado para realizar pruebas eléctricas a transformadores, como el ensayo de vacío, cortocircuito, resistencia de devanados y la prueba de calentamiento, debido a esto se procede a buscar información en normas y estándares para entender el procedimiento además de los equipos necesarios para implementar este laboratorio.

En los laboratorios eléctricos de empresas de transformadores también se tienen inconvenientes con el circuito eléctrico o la manera correcta de conectar los equipos de medición y el transformador para realizar la prueba de calentamiento, en un estudio presentado en la universidad Tecnológica del Perú , Propuesta de un circuito eléctrico para la prueba de calentamiento de un transformador de potencia de 6MVA 10/0.460 kV; el problema que se presenta es que la empresa no tiene ningún circuito o esquema eléctrico para poder realizar la prueba de calentamiento en el cual se logre obtener la corriente, tensión y pérdidas adecuadas para realizar la prueba de manera correcta basado en la norma internacional IEC 60076, debido a este problema se propone un circuito eléctrico para poder realizar de manera correcta la prueba de calentamiento a un transformador de 6MVA.

Para realizar la prueba de calentamiento se utiliza el método de cortocircuito, que consiste en poner en cortocircuito el lado de baja tensión del transformador y se procede a inyectar tensión de forma progresiva por el lado de media tensión hasta llegar a obtener las pérdidas totales que son la suma de las pérdidas de cortocircuito referenciadas a temperatura de trabajo 75°C y las pérdidas del núcleo, luego de esto se procede a tomar medidas de temperaturas en el tanque, parte superior, media e inferior y medidas de las resistencias en devanados antes y después de la prueba.

Puesto que en lima tenemos muchas empresas fabricantes de transformadores, algunas de estas no cuentan con un módulo eléctrico en su sala de pruebas para poder realizar la prueba de calentamiento.

Ante esta problemática se propone un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento que contenga analizador de redes para tener medidas de tensión, corriente, perdidas y factor de potencia, medidor de temperatura equipado con sus sensores PT-100, cámara termográfica, equipo eléctrico miliohmímetro para los arrollamientos, termohigrómetro y los respectivos accesorios de control que son los pulsadores y paradas de emergencia.

Esta investigación es de tipo aplicada ya que utiliza los conocimientos en la práctica, para aplicarlos, en provecho de la empresa, el nivel de la investigación es explicativa por que se analiza la causa y el efecto de la relación entre la variable independiente y dependiente.



## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera influye un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿De qué manera influye un módulo eléctrico en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?

¿De qué manera influye un módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?

¿De qué manera influye las pérdidas totales para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?

¿De qué manera influye la corriente nominal para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar la influencia del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

Determinar la influencia del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

Determinar la influencia de las pérdidas totales para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

Determinar la influencia de la corriente nominal para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

#### **1.4. Justificación**

Según Caballero Romero 2014, en su libro Metodología integral innovadora para planes y tesis, al redactar la justificación para una investigación, se debe tener presente que se justifica algo por su necesidad, por la conveniencia de ese algo y dar respuestas a las siguientes preguntas, ¿Para quienes es necesaria esta investigación?, ¿Por qué se realiza?, ¿Para quienes es conveniente? El objetivo es contribuir de forma social, económica, practica o teórica.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, dice que una tesis se debe justificar bajo los siguientes criterios:

¿Por qué sería conveniente?

¿Quiénes se benefician en términos de relevancia social?

¿Ayuda a la resolución de un problema práctico?

¿el valor como teoría puede llenar con conocimientos generando resultados?,

¿Es útil desarrollar un nuevo instrumento que contribuya a la mejora de una teoría?

##### **1.4.1. Justificación teórica**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, su definición es que, al demostrar la importancia de un problema de investigación en el desarrollo de teorías científicas, profundizar el conocimiento teórico que trata ese problema, esto implica demostrar la relevancia de la investigación, permitiendo así el desarrollo de innovaciones científicas en la investigación.

El presente trabajo de investigación se justifica de manera teórica ya que nos permitirá utilizar las normas NTP IEC 60076-1 y NTP IEC 60076-2, lo que requiere realizar pruebas de rutina a los transformadores de distribución sumergidos en aceite para luego realizar la prueba de calentamiento de manera correcta y sustentarla mediante un protocolo de pruebas. Como resultado, es necesario realizar un estudio teórico de esta magnitud particularmente en una empresa que se dedica exclusivamente a la fabricación de transformadores eléctricos y busca garantizar que estos ofrezcan la confiabilidad de tener un servicio estable y continuo en todo su tiempo de vida útil.

#### **1.4.2. Justificación Metodológica**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, cuando se usan ciertas técnicas e instrumentos de investigación con el fin de realizar un trabajo investigación, esas técnicas e instrumentos tienen que ser novedosos, como los cuestionarios, tes, pruebas de hipótesis, modelos, diagramas de muestreo, lo que el investigador considere que pueda ser utilizado en su trabajo de investigación.

El presente trabajado de investigación cumple con la metodología de la investigación científica, es decir respeta el procedimiento metódico para la obtención de un resultado, es desarrollado de manera directa, ya que se toman medidas de temperatura en el transformador, voltajes, corrientes, perdidas, factor de potencia, resistencia de arrollamientos, humedad a la temperatura ambiente y medidas con cámara termográfica en el mismo lugar donde se encuentra el módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento a los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima – 2023.

### **1.4.3. Justificación social**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, definen que la investigación es relevante para la sociedad cuando aborda temas que están afectando a un grupo social en particular y tiene beneficios tanto para ese grupo como para la sociedad en su conjunto.

El presente trabajo de investigación se justifica socialmente por que la prueba de calentamiento se realiza utilizando un módulo eléctrico que está ubicado en el área de sala de pruebas de una empresa de lima, especializada en el diseño y fabricación de transformadores. Esta empresa tiene como misión brindar confiabilidad eléctrica a todos los proyectos eléctricos del país, lo que conlleva a una mejora en la calidad de vida de las personas que están dentro de este sistema eléctrico.

### **1.4.4. Justificación Legal**

La investigación se encuentra dentro del marco legal descrito por el estado peruano en La ley de dirección de normalización INACAL: R.D. N°028-2021-INACAL/DN-CPN. Publicada el 2021-11-24, La norma técnica peruana NTP-IEC 60076-1 2015 (Revisada el 2021). Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades; R.D. N°007-2021-INACAL/DN. Publicada el 2021-11-24, La norma técnica peruana NTP-IEC 60076-2 Transformadores de potencia. Parte 2: Calentamiento de transformadores inmersos en líquido; R.D. N° 056-2017-INACAL/DN. Publicada el 2017-12-29, Los cuales tienen el objetivo de establecer las pruebas de rutina, pruebas tipo y las pruebas especiales en los transformadores eléctricos sumergidos en aceite con el fin de proteger, preservar y mejorar el servicio eléctrico de un transformador en un proyecto eléctrico, electrificación en zonas rurales, centros comerciales, zonas residenciales, subestaciones eléctricas, etc. y es función dar cumplimiento a estos aspectos legales y normativos en la presente investigación.

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Teórica**

La presente investigación se encuentra en línea de investigación de Ingeniería y tecnología que corresponde a lo exigido por la Universidad Nacional del Callao para la obtención del título profesional de los egresados de pregrado en ingeniería eléctrica, además se recopila información teórica de las variables planteadas.

### **1.5.2. Temporal**

La presente investigación se desarrollará entre los meses de marzo 2023 hasta octubre del 2023 considerando únicamente el área de sala de pruebas de una empresa de lima.

### **1.5.3. Espacial**

La presente investigación abarcara exclusivamente el área de sala de pruebas de una empresa de lima.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes: Internacional y nacional.

#### 2.1.1. Internacionales

Herrera (2020) en su tesis propuesta para la implementación del ensayo de calentamiento en transformadores de distribución; presentada en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia; se trazó como objetivo la propuesta para la implementación del ensayo de calentamiento en transformadores de distribución. Arriba las siguientes conclusiones: 1) La implementación del ensayo beneficiara a los estudiantes de Ingeniería Electromecánica, Administración Industrial y Licenciatura en Tecnología permitiendo el desarrollo de los ensayos complementando su formación profesional en asignaturas como Maquinas, Sistemas y Accionamientos eléctricos Electromecánicos. 2) La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia cuenta con el montaje del ensayo de calentamiento el cual puede ser ofrecido a empresas del sector eléctrico y sitios reparadores de transformadores con el fin de apoyar a las empresas a mejorar la calidad evaluando el comportamiento térmico y así aumentar la vida útil. 3) Se implementó el ensayo de calentamiento en transformadores de distribución de hasta 150 kVA incluyendo el procedimiento y los equipos necesarios para implementar el ensayo, todo lo anterior se realizó de acuerdo a los estándares, normas vigentes para realizar la prueba piloto en un transformador de 4.25 MVA. 4) Se tuvieron en cuenta técnicas como cromatografía de gases, la cual mediante tres muestras obtenidas durante el ensayo y la obtención del cromatograma en donde se especifican en cantidad los gases obtenidos en el ensayo, y se comparan con la normatividad vigente. Este antecedente utiliza el procedimiento de prueba de calentamiento basado en las normas internacionales IEC-60076, IEEE C57 y NTC 316 de las cuales la norma IEC-60076 será aplicada en mi trabajo de investigación.

Chico (2012) en su tesis Elaboración e implementación de un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución y potencias de hasta 25 KVA; presentada en la universidad técnica de Cotopaxi Latacunga Ecuador; se trazó como objetivo la Elaboración e implementación de un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución y potencias de hasta 25 KVA; con un diseño de investigación cuasi experimental, con un método de investigación descriptiva. Arriba las siguientes conclusiones: 1) Se elaboró e implementó un módulo de pruebas de transformadores monofásicos de distribución, cuyos resultados obtenidos al realizar los ensayos en vacío y cortocircuito cumplen con los requerimientos de la norma INEN 2114; 2) La corriente máxima que proporciona el módulo de pruebas es de 3.5 Amperios, mientras que el valor de voltaje suministrado es hasta 240 VAC; 3) El analizador de energía Microvip MK 1.2, instalado en el módulo de pruebas de transformadores ofrece un interfaz hombre/máquina amigable, permitiendo al operador en forma manual y segura setear los voltajes o corrientes requeridos de acuerdo al tipo de ensayo y visualizar directamente en su pantalla los valores de las pérdidas del transformador; 4) Si los transformadores probados en el módulo cumplen con los valores de pérdidas permitidos por la norma INEN 2114, pueden ser puestos al servicio de la red pública con seguridad y eficiencia; 5) El talento humano de las carreras de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica complementará sus conocimientos al tener la oportunidad de ejecutar en forma práctica los ensayos, realizando un aprendizaje integral y de calidad durante su carrera profesional. Este antecedente el procedimiento y fórmulas según las normatividades IEC-60076 y IEEE C57 para obtener la eficiencia del transformador mediante las pruebas de cortocircuito y vacío en su módulo de la cual será aplicado en mi trabajo de investigación.

Caiza y Juiña (2018) en su tesis Construcción de un módulo didáctico de transformadores monofásicos para el laboratorio de máquinas eléctricas



de la ESFOT; presentada en la Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador; se trazó como objetivo Construir un módulo didáctico de transformadores monofásicos para el laboratorio de máquinas eléctricas de la ESFOT; con un tipo de investigación Aplicada. Arriba las siguientes conclusiones: 1) El circuito rectificador de onda completa realizado con amplificadores operacionales reduce el voltaje de barrera de los diodos rectificadores considerablemente. 2) El uso de la plataforma Arduino tienen librerías disponibles que son de fácil aprendizaje convirtiéndolo en una herramienta adecuada en la compilación y elaboración del programa, tanto para la presentación de datos como la obtención de los mismos. 3) Para la adquisición de datos (corriente y voltaje) se utiliza un transformador de corriente y divisor de voltaje respectivamente, de tal modo que entreguen al usuario un ambiente seguro para proteger la plataforma que es de Arduino. 4) Los ensayos en los transformadores monofásicos permiten al estudiante tener experiencia al momento de aplicar carga, de tal manera que exista una idea clara sobre del tema. 5) Es importante definir la potencia nominal en los transformadores principales para establecer los para metros constructivos: eléctricos (espiras por voltio) y magnéticos (sección del núcleo), de tal manera que dichos transformadores soporten 110 y 5 A en cada bobina. 6) Es primordial armar el núcleo de un transformador con chapas en forma de E, y colocarlas en forma invertida, una con respecto a la siguiente con el fin de aprovechar el flujo magnético casi en su totalidad, de esta manera se evita el entrehierro o espacios de aire para disminuir pérdidas de potencia. 7) Las pruebas de funcionamiento del dispositivo de medición han entregado los resultados válidos, para el sensor de corriente menor al 5%, con respecto del instrumento patrón, lo cual valida sus funcionamientos. Este antecedente busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o sector público, esto me servirá como como guía en mi trabajo al estar aplicado en los problemas de una empresa directamente. Además, contiene el procedimiento, configuración y ejecución de un circuito de medición y esto me servirá como guía para poder realizar un sistema de control

parecido así obtener los valores adecuados para la prueba de calentamiento.

### **2.1.2. Nacionales**

Arias (2017) en su tesis Propuesta de un circuito eléctrico para la prueba de calentamiento de un transformador de potencia de 6MVA 10/0.460 Kv; presentada a la universidad Tecnológica del Perú; se trazó como objetivo la propuesta de hacer un circuito eléctrico para la prueba de calentamiento de un transformador de potencia de 6MVA 10/0.460kV; con un diseño de investigación del tipo no experimental, con un método de investigación aplicado exploratorio-descriptivo. Arriba las siguientes conclusiones: 1) Se determinó que el transformador si ha sido diseñado para entregar la potencia indicada que es la de 6MVA de potencia y el cual se ha sometido al 100% de su carga manteniendo una estabilidad en sus temperaturas de aceite y en sus devanados de cobre lo que demuestra que es el diseño del transformador es el correcto. 2) Se verifico que la temperatura del aceite durante la prueba de calentamiento estuvo dentro de los valores permitidos según la norma IEC 60076-02 en todo el tiempo que duro la prueba de calentamiento, no habiéndose presentados anomalías en sus componentes. 3) Se verifico que la intensidad de corriente de carga nominal se mantuvo constante en valores continuos durante todo el tiempo que duro la prueba de calentamiento, por lo que se descargan sobrecargas y garantizando así la calidad de los conductores eléctricos de los devanados del transformador de 6MVA. 4) Se demuestra que el circuito de prueba propuesto ha cumplido eficientemente su cometido que es la prueba de calentamiento. Este antecedente contiene el procedimiento de toma de recolección de datos que servirán para mi trabajo de investigación, además de la aplicación de las fórmulas según la norma internacional IEC 60076 y contiene los equipos e instrumentos para medir las variables de investigación que servirán para mi trabajo de investigación.

Tuesta y Sifuentes (2019) en su tesis Diseño de un banco de pruebas eléctricas para caracterizar parámetros de transformadores de distribución en el laboratorio de una universidad de Trujillo; presentada en la universidad Cesar Vallejo Trujillo Perú; se trazó como objetivo Diseñar un banco de pruebas eléctricas para caracterizar parámetros de transformadores de distribución; con un tipo de investigación descriptivo cuantitativo, método es deductivo y un diseño no-experimental transversal. Arriba las siguientes conclusiones 1) De acuerdo con la recolección de datos realizada en el Centro de Investigación Tecnológica de la Universidad, y el porcentaje de transformadores de distribución con una potencia menor a 500 KVA correspondiente a clientes menores, se realizó el diseño de una instalación independiente a la que actualmente se encuentra funcionando. 2) Se realizó el dimensionamiento de los componentes de la celda de distribución en media tensión, correspondiente a los transformadores de 500 y 50 KVA seleccionados para la ejecución de pruebas eléctricas. Esta contará con un seccionador tripolar de vacío, aisladores portabarra, interruptor de potencia y un alimentador principal N2XSY de 25 mm<sup>2</sup>. 3) Para evacuar el calor disipado por los transformadores se diseñó el sistema de ventilación forzada con un caudal máximo de 23500 m<sup>3</sup>/h que cuenta con 5 ventiladores CBX – 4747 y un motor eléctrico IE2 de 7.5 HP. Este sistema de ventilación forzada podrá satisfacer las condiciones de enfriamiento, pues tiene una adecuada capacidad para mover el aire. 4) El sistema de puesta tierra dimensionado para la instalación tiene una resistencia de malla igual a 11.23  $\Omega$  menor a los 25  $\Omega$  indicados por el Código Nacional de Electricidad para equipos en media tensión. 5) Los procedimientos de caracterización de los parámetros de transformadores trifásicos incluidos en el manual, cumplen con los requerimientos para definir la capacidad y eficiencia de los transformadores de distribución. 6) El presente estudio da a conocer en el análisis económico que realizando una inversión de 122100 soles se podrá adquirir un beneficio neto de 121500 soles por año, con un retorno de inversión de 12 meses. Es por eso, que el banco de pruebas eléctricas es muy rentable. Este antecedente contiene todo

el procedimiento para realizar las pruebas de rutina a transformadores eléctricos además de los cálculos teóricos de las pérdidas del cobre y del hierro del transformador de los cuales me ayudaran en mi trabajo de investigación a poder obtener los parámetros del cualquier transformador en una prueba de calentamiento, según las normatividades IEC-60076 y IEEE C57.

Lino (2017) en su tesis implementación de un módulo didáctico de transformadores trifásicos de 3KVA, para conexiones especiales; presentada en la universidad católica de santa maría de Arequipa Perú; se trazó como objetivo Implementar un módulo de transformadores para conexiones especiales de 3KVA; Arribo las siguientes conclusiones: 1) Se logro la implementación del módulo didáctico de transformadores trifásicos de 3KA. Para conexiones especiales, la cual tiene relación con la teoría en máquinas eléctricas estatóticas y rotativas 2) Que el módulo que se logró implementar, debido a las grandes corrientes que este que soporta y servirá para realizar diversos ensayos aprendiendo así el comportamiento de las maquinas eléctricas. 3) El módulo implementado, debido a su versatilidad puede ser considerado como un módulo didáctico de enseñanza, el mismo que se puede utilizar incluso en las asignaturas donde se estudian los conceptos básicos de electromagnetismo, y así poder posteriormente comprender mejor la teoría que rige a las maquinas eléctricas en general. 4) Con el módulo implementado, como compromiso inicial se entrega al laboratorio de Electricidad y Maquinas Eléctricas de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica eléctrica y Mecatrónica en calidad de donación, con lo cual se consigue incrementar el equipamiento del laboratorio. 5) Por las diversas consideraciones, será posible la realización de trabajos de investigación por parte de los alumnos de pre, postgrado como así también de los docentes, relacionados con las disciplinas de las maquinas eléctricas. Este antecedente contiene la teoría básica y necesaria de los transformadores para poder hacer el diseño e implementarlo en el laboratorio de empresa y universidad de la

carrera correspondiente, además contiene el cálculo de un transformador trifásico y del cual es utilizado para demostrar todo lo que se plantea en la teoría y de los cuales me ayudaran en la investigación en el tema de calcular las pérdidas del transformador que necesitare en mi trabajo de investigación.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Parámetros eléctricos**

Nos permiten caracterizar a la maquina eléctrica en estudio, estos son tensión, corriente, potencia, resistividad, frecuencia, etc. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 7)

Al tener controlado estos parámetros en una maquina eléctrica estática como es el transformador haremos que opere en condiciones normales, Esto hace que el transformador empiece a calentarse (calentamiento) esto es normal debido al trabajo que realiza al transformar la tensión y corriente a valores adecuados para nosotros por ejemplo en los hogares, los centros comerciales, los hospitales, etc.

#### **Tensión**

Es la diferencia de potencial entre los terminales de entrada o salida de un transformador eléctrico cuando está en funcionamiento por que los transformadores eléctricos reciben una tensión con una corriente y lo transforman a un nivel diferente manteniendo la misma frecuencia alterna. (Salvador 2001, pág. 11)

#### **Corriente Eléctrica**

Es el flujo de electrones sobre un material conductor y puede ser alterno o continuo y es generado por una fuerza electromotriz. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 7)

#### **Frecuencia**

Es el número de oscilaciones periódicas completas de la onda fundamental durante un segundo, esta frecuencia en Perú es de 60 ciclos por segundo y es utilizada en máquinas eléctricas como transformadores, pero en máquinas de corriente continua la frecuencia es cero. (Salvador 2001, pág. 14)

## **Resistividad**

Es la propiedad más característica de un conductor eléctrico y depende de su pureza y tratamiento térmico y en los transformadores pueden ser de cobre o aluminio, La resistividad del conductor aumenta con la temperatura lo que afecta en la caída de tensión y las pérdidas por efecto Joule. (Corrales, 1975, pág. 1 - 9)

## **Ley de Ohm.**

Esta ley sirve como base y define el comportamiento eléctrico en los cálculos de circuitos eléctricos y electrónicos, con esta ley se pueden calcular parámetros de una maquina eléctrica como corriente, tensión y resistencia conociendo estos tres valores fundamentales podemos hallar otros. La ley de ohm esta expresada por medio de la siguiente formula:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{ohms, } \Omega$$

*Ecuación N°1*

Dónde:

I= Intensidad (I)

V= Tensión (V)

R= Resistencia ( $\Omega$ ).

Basándose en un experimento Ohm determino que la intensidad de corriente que fluye por un circuito eléctrico es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica. Cabe mencionar que si existe la corriente eléctrica es debido a que el generador traslada las cargas del polo positivo al negativo, generando una diferencia de cargas y que se conoce como tensión eléctrica (Mora Silva 2015, pág. 4 - 5)

## Campo magnético

Es el medio por el cual se puede transformar la energía por ejemplo en los motores la energía eléctrica se transforma a trabajo lo cual hace mover el rotor, en los generadores la energía magnética en sus polos se convierte a energía eléctrica la cual es transmitido por las subestaciones y las líneas de transmisión y en los transformadores la energía eléctrica se transforma en energía magnética la cual fluye por el núcleo magnético e induce en el devanado secundario del transformador generando una tensión de salida.

La corriente que pasa por un conductor eléctrico crea un campo magnético circular en un solo sentido, pero si la corriente circula por una bobina crea un flujo magnético oscilante que induce un voltaje. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 7)

Una carga eléctrica puntual se mueve por el espacio a una determinada velocidad mientras es afectada por el campo magnético, que tiene una propiedad conocida como inducción magnética y que provoca una fuerza perpendicular y proporcional a la velocidad. (Mora Silva 2015, pág. 11)

### Campo magnético en un cable

Al hacer circular corriente eléctrica por un cable y utilizando partículas de hierro encima de un papel se puede observar la forma del campo magnético. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 7)

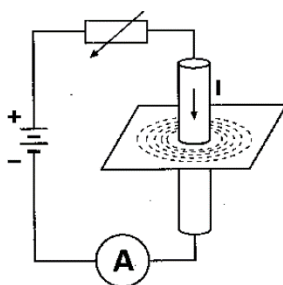


Figura N°1 Campo magnético generado por un cable

*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*



### **Campo magnético en una espira**

Debido a la excesiva dispersión del campo magnético generado por un cable, es posible hacer una espira en el que las líneas de campo magnético se combinen para producir un campo más fuerte. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 7)

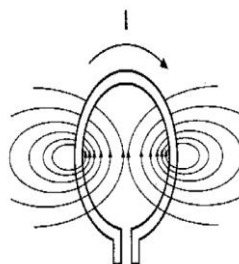


Figura N°2 Campo magnético generado por una espira

*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*

### **Flujo magnético ( $\Phi$ )**

Se denomina flujo magnético a la cantidad de líneas de fuerza (campo magnético) que atraviesan un material ferromagnético, debido a que estas líneas de fuerza se concentran en el material, es aquí donde se produce la atracción más fuerte del campo magnético. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 8)

### **Ley de Faraday:**

La ley de Faraday establece que, si un flujo magnético pasa a través de una espira de alambre conductor, se inducirá un voltaje que será directamente proporcional a la variación del flujo magnético a lo largo del tiempo y esto constituye la base del transformador eléctrico. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 8)

$$E_{ind} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

*Ecuación N°2*

Para una bobina con N vueltas y está pasando un flujo, se produce un voltaje de acuerdo a la ecuación:

$$E_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

*Ecuación N°3*

Dónde:

$E_{ind}$  = voltaje inducido en el devanado.

N = número de vueltas del devanado.

$\Phi$  = flujo que atraviesa el devanado.

El signo negativo de las ecuaciones anteriores es según la ley de Lenz, que se interpreta de la siguiente manera, cuando se genera un voltaje inducido debido a un flujo magnético que lo atraviesa, se genera una corriente cuyo campo magnético se opone al cambio que la produjo. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 8)

### **2.2.2. Potencia**

Es lo que una máquina eléctrica produce o entrega en la salida de sus terminales, puede definirse como la potencia útil en generadores y motores, potencia eléctrica en los transformadores eléctricos. (Salvador 2001, pág. 7)

#### **Potencia Activa**

“Se refiere a la energía requerida por la carga para ejecutar diversas tareas” (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 8)

Esta es afectada por el desfase entre la tensión y corriente, y puede ser monofásica según figura N°4 o trifásica según ecuación N°5.

$$P_{1\phi} = VI \cos \phi \quad \text{Watts (W)}$$

*Ecuación N°4*

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}VI \cos \phi \quad \text{Watts (W)}$$

*Ecuación N°5*

### **Potencia Reactiva**

“Produce los campos magnético y eléctricos, respectivamente”. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 8)

$$Q_{1\phi} = VI \sin \phi \quad (\text{VAR})$$

*Ecuación N°6*

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}VI \sin \phi \quad (\text{VAR})$$

*Ecuación N°7*

### **Potencia aparente**

Es la potencia total que se suministra a la carga y que pasa por una máquina eléctrica como motores, generadores y transformadores, ya que esta es la suma de la potencia activa y reactiva (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 9)

$$S_{1\phi} = VI \quad (\text{VA})$$

*Ecuación N°8*

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}VI \quad (\text{VA})$$

*Ecuación N°9*

### Factor de potencia

Es la que relaciona la potencia activa y aparente, cuando las tensiones y corrientes sean sinusoidales.

En las máquinas eléctricas para que entren en funcionamiento necesitan de una corriente de excitación, la cual origina la creación de un campo, esta corriente es puramente inductiva y es un consumo reactivo, es decir que una parte de la potencia aparente se usa para la creación del campo (potencia reactiva) y la potencia restante es trabajo útil (potencia activa). (Salvador 2001, pág. 13)

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (fdp)$$

*Ecuación N°10*

### Triangulo de potencias

Las potencias activa, reactiva y aparente se grafican en un triángulo rectángulo, el cateto adyacente es la potencia activa, el cateto opuesto es la potencia reactiva, la hipotenusa es la potencia aparente y el  $\cos \theta$  es conocido como el factor de potencia de la carga. (Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019, pág. 10)

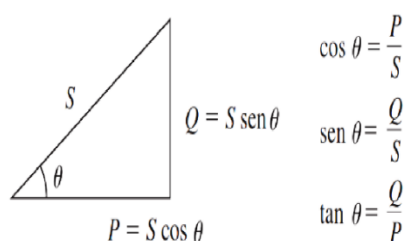


Figura N°3 Triangulo de potencia

*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*

### **2.2.3. Transformador eléctrico**

Es un aparato de electricidad que consta de 2 o más devanados y por inducción electromagnética transforma cierto nivel de tensión y corriente alterna a otro sistema de valores diferentes manteniendo la misma frecuencia, con el fin de transmitir potencia eléctrica con muy pocas pérdidas. (NTP IEC 60076-01 2015, pág., 4).

Son aparatos estáticos que están destinados a transferir la energía eléctrica de un circuito a otro y que tienen como enlace principal entre ambos un flujo común de inducción, esto se produce por un flujo variable que es esencia en todo transformador eléctrico además de separar eléctricamente el circuito de alimentación respecto del circuito de utilización. (Corrales, 1968, pág. 1 - 2)

Los transformadores eléctricos pueden ser reductores o elevadores. Son reductores cuando el lado primario recibe un nivel de tensión mayor de lo que entrega por su lado secundario, son elevadores cuando se produce en sentido contrario y cada uno de ellos tiene su ventaja, como es el transporte de la energía eléctrica ya que mientras mayor sea la tensión de transporte menor será la corriente eléctrica, esto origina que haya menores pérdidas por el efecto joule, en consecuencia el diámetro del conductor es menor y esto resulta más económico al momento de transportar la energía. Por otro lado, es más fácil producir energía, menos peligrosa y es más fácil de usar en baja tensión. (Astocondor Rabanal 2018, pág.,10)

#### **Principio de funcionamiento**

Al conectar una tensión alterna  $V_1$  al primario con  $N_1$  espiras como se ve en la figura 4, circula una corriente que genera en sus espiras campos magnéticos y en consecuencia se genera un flujo magnético en el núcleo, esto es inducido al devanado secundario, generando una fuerza electromotriz (f.e.m)  $E_2$ , queda lugar a una tensión  $V_2$  y con  $N_2$  espiras

y si este devanado secundario se conecta a cualquier carga se genera una corriente  $I_2$ . (Caiza Pilataxi y Juiña Anaguano 2018. pág. 4)

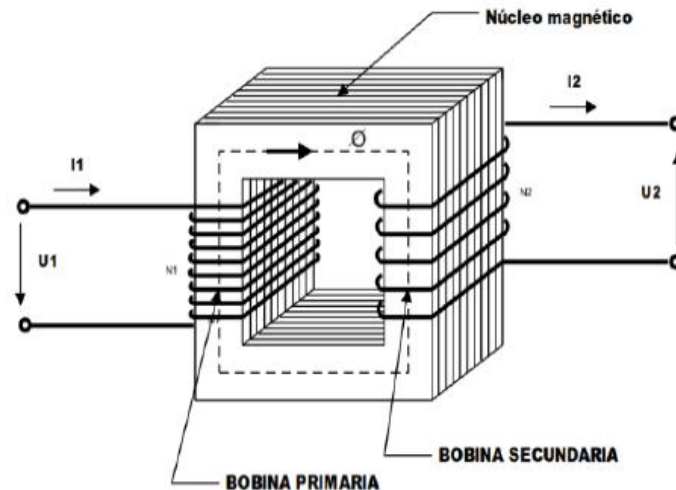


Figura N°4 transformador monofásico  
*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*

### **Clasificación de los transformadores:**

**Por la Operación:** En el sistema eléctrico es referido a la potencia que manejan.

Transformadores de Distribución: tiene un rango de potencia que van desde 5 a los 500 kVA y pueden ser monofásicos y/o trifásicos. (Lino Carpio 2017, pág., 15)

Transformadores de Potencia: Los que tienen potencia superior a los 500 kVA. (Lino Carpio 2017, pág., 15)

**Por el número de fases:** De acuerdo a las características del sistema eléctrico al cual se conectará:

Monofásico: Transformadores que son conectado a una línea con un neutro o tierra y a 2 líneas. Tienen un solo devanado de media y uno de baja tensión.

Trifásico: Transformadores que son conectados a 3 líneas y pueden estar o no conectados a un neutro común, tienen 3 devanados de media y 3 devanados de baja tensión (Lino Carpio 2017, pág., 15)

**Por su Utilización:** En función de la posición que ocupan dentro del sistema eléctrico:

Transformador para generador: Son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador dentro de una subestación eléctrica y transmiten la energía mediante las líneas de transmisión.

Transformador de subestación: Son transformadores que reducen el voltaje a un nivel de subtransmisión y están conectados al final de la línea de transmisión.

Transformador de distribución: Reducen la tensión a un nivel adecuado en las zonas de consumos.

Transformadores de instrumentos: Son transformadores de tensión (TT) y corriente (TC) que sirven para la medición, control y protección de un sistema eléctrico. (Lino Carpio 2017, pág., 15)

**Por su sistema de refrigeración:** se refiere a la refrigeración del transformador para poder disipar el calor de su parte activa.

Transformadores secos barnizados: Necesitan un lugar con espacio y ventilación para poder enfriarse naturalmente a temperatura ambiente y como no contiene aceite no son inflamables.

Transformadores en aceite: De los más comerciales, su refrigeración se basa en la circulación por convección del aceite y el calor es disipado por su sistema de refrigeración que pueden ser aletas, radiadores o únicamente en su propio tanque.

Transformadores en resina epóxica: Por su resistencia a las altas temperatura, se aconseja para zonas muy concurridas. Aunque son caras, son las más duraderas, requieren la menor cantidad de mantenimiento y son ecológicas. (Lino Carpio 2017, pág., 15)

**En función de las condiciones de servicio:**

Para su uso interior.

Para uso a la intemperie.

**En función de los lugares de instalación:**

Tipo poste.

Tipo subestación.

Tipo pedestal.

Tipo bóveda o sumergible.

(Lino Carpio 2017, pág., 15)

**De acuerdo al tipo de enfriamiento:** Existen los sumergidos en aceite y los tipos secos, entre los sumergibles en aceite, tenemos:

Tipo ONAN

Tipo ONAF

Tipo KNAN

Tipo KNAF



**Primera letra:** Refrigeración interna:

**O:** aceite mineral o líquido aislante sintético con punto de inflamación  $\leq 300$  °C;

**K:** líquido aislante con punto de inflamación  $> 300$  °C;

**L:** líquido aislante que no es medible su punto de inflamación.

**Segunda letra:** Circulación del medio refrigerante interno.

**N:** circulación natural por convección entre los devanados y el medio de refrigeración.

**F:** circulación forzada con un equipo de refrigeración.

**D:** circulación forzada mediante un sistema de refrigeración que es dirigido del equipo de refrigeración hacia los devanados.

**Tercera letra:** Refrigeración externa:

**A:** aire.

**W:** agua.

**Cuarta letra:** Circulación del medio refrigerante externo:

**N:** convección natural.

**F:** circulación forzada (ventiladores, bombas).

<b>Primera letra</b>	<b>Segunda letra</b>	<b>Tercera letra</b>	<b>Cuarta letra</b>
Medio de enfriamiento interno en contacto con los devanados	Mecanismo de circulación para medio de enfriamiento interno	Medio de enfriamiento externo	Mecanismo de circulación para medio de enfriamiento externo
<b>O, K, L</b>	<b>N, F, D</b>	<b>A, W</b>	<b>N, F</b>

Tabla N°1 NTP IEC 60076-02 símbolos de refrigeración

*Fuente: NTP IEC 60076-02 2015*

**Entre los tipos secos, tenemos:**

Tipo ANAN

Tipo ANAF

		Simbolo
Tipo de medio de refrigeración	Aire	<b>A</b>
Tipo de circulación	Natural	<b>N</b>
	Forzada	<b>F</b>

Tabla N°2 NTP IEC 60076-11 símbolos de refrigeración

*Fuente: NTP IEC 60076-11 2017*

#### 2.2.4. Conexiones de Transformadores eléctricos trifásicos

Según Arias Nina 2017. Nos da la siguiente clasificación:

**Conexión estrella:** Forma de conexión para realizar operaciones con tensiones muy elevadas (transmisión).

**Conexión triángulo:** Forma de conexión para realizar operaciones con transformadores de potencia tensiones moderadas y corrientes elevadas.

**Conexión Estrella – Estrella:** Empleado para disponer del neutro para equilibrar las tensiones en las fases, además la de activar las protecciones debido a las fallas fase – neutro y la de trabajar a tensiones elevadas.

**Conexión Estrella – Triángulo:** Empleado como transformador reductor cuando no se requiera neutro en el secundario, esto no genera armónicos y se utiliza para tensiones secundarias relativamente bajas.

**Conexión Triángulo – Estrella:** Empleado como transformador elevador y reductor, no genera armónicos, admite cargas desequilibradas ya que tiene un neutro en el lado secundario.

0		
1		
5		
6		
11		

Tabla N°3 NTP IEC 60076-1 Conexiones de transformadores trifásicos  
Fuente: NTP IEC 60076-01 2015

### 2.2.5. Banco de condensadores:

Al aplicar el método de cortocircuito en la prueba de calentamiento, la fuente debe suministrar la potencia activa que son las pérdidas totales al transformador eléctrico y potencia reactiva la cual puede ser compensada utilizando condensadores en conexión estrella o delta dependiendo de la tensión del sistema con el fin de reducir la corriente del sistema.

Según Vásquez Palacios, García Gómez y Holguin Berrocal 2019, Bajo las condiciones de cortocircuito la fuente empleada para realizar la prueba de calentamiento ve al transformador como una impedancia predominantemente inductiva la cual se puede verificar por el pequeño factor de potencia que se tiene. La impedancia está definida  $Z=R_{cc}+jX_{cc}$  donde la componente de mayor peso es la reactancia de cortocircuito  $X_{cc}=2\pi fL_{cc}$ .

#### Cálculo de la potencia reactiva a compensar:

$$Q = (P * \text{Tag}(\emptyset))/1000$$

*Ecuación N°11*

$$\emptyset = \text{Arcos}(f dp)$$

*Ecuación N°12*

**Q:** Energía reactiva del sistema (KVAR)

**P:** Energía activa del sistema (KW)

**f dp:** Factor de potencia del sistema

**$\emptyset$ :** Angulo de desfase entre tensión y corriente del sistema

**Cálculo de la tensión del banco de condensadores:**

Se debe definir si el banco de condensadores se va a conectar en Delta o en estrella dependiendo de la tensión del sistema.

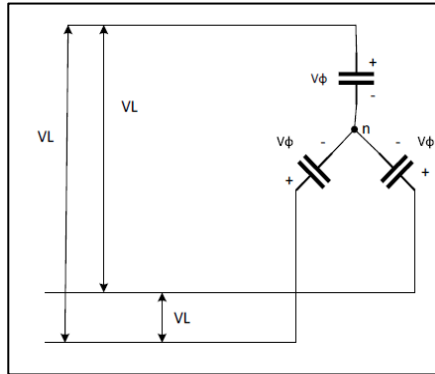


Figura N°5 banco de condensadores en conexión estrella

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

El voltaje de la carga es igual al voltaje de fase y es igual a:

$$VF = VL/\sqrt{3}$$

*Ecuación N°13*

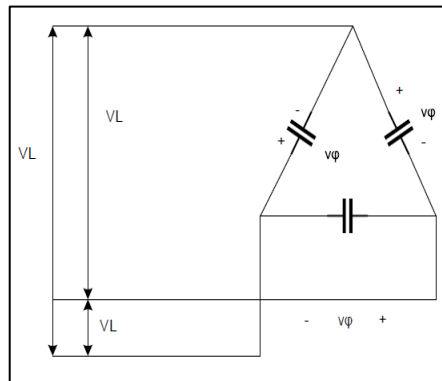


Figura N°6 banco de condensadores en conexión delta

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

El voltaje de la carga es igual al voltaje de fase es igual a:

$$VF = VL$$

*Ecuación N°14*

Nota:

Si el banco de condensadores no tiene la potencia ni la tensión que se requiere para el sistema lo que se tiene que hacer es una corrección.

$$Q_f = \left(\frac{V_{cond}}{V_s}\right)^2 * Q_c$$

*Ecuación N°15*

**Q<sub>f</sub>**: Energía reactiva por unidad de cada condensador (KVAR)

**Q<sub>c</sub>**: Energía reactiva del del sistema (KVAR)

**V<sub>s</sub>**: tensión que requiere el sistema (V)

**V<sub>cond</sub>**: tensión del condensador (V)

Calcular el número de unidades necesarias:

$$Unidades\ necesarias = \frac{Q_c}{Q_f}$$

*Ecuación N°16*

## 2.2.6. Pruebas eléctricas a los transformadores de distribución sumergidos en aceite

Son pruebas aplicables a los transformadores eléctricos bajo las normas NTP IEC 60076-01 y NTP IEC 60076-2, los ensayos se realizarán a transformadores con un nivel de aislamiento de 145 KV y 40 MVA de potencia, los ensayos se realizan en un laboratorio. (Arias Nina 2017, pág., 12)

Son las pruebas a la que cada transformador de distribución recién fabricado debe someterse para verificar si cumple con los requerimientos establecidos por las normas.

De acuerdo con las siguientes Normas: NTP ITINTEC 370.002 y NTP IEC 60076-01 establecen las siguientes pruebas para transformadores de distribución.

<b>CLASIFICACIÓN DE PRUEBAS ELÉCTRICAS</b>		
<b>Pruebas de Rutina</b>	Pruebas que se realizan a todos los transformadores	Prueba de relación de transformación Prueba de resistencia de aislamiento Prueba de resistencia de arrollamientos Prueba de vacío Prueba de cortocircuito Prueba de tensión aplicada Prueba de tensión inducida
<b>Pruebas Tipo</b>	Aplicado a transformadores que serán representativos dentro de un grupo similar	Prueba de calentamiento Prueba de impulso Prueba de nivel de ruido
<b>Pruebas Especiales</b>	Muestran la vida útil del transformador en la medida del estado de su arrollamiento	Prueba de descargas parciales Prueba de impedancia Prueba de tangente delta Prueba de barrido de frecuencia

*Tabla N°4 Pruebas eléctricas a transformadores*

*Fuente: NTP IEC 60076 -01 2015*



### 2.2.7. Pruebas de Rutina

#### **Prueba de relación de transformación:**

#### **Equipos y aparatos:**

Medidor de relación de transformación TTR.

#### **Objetivo:**

Medir la relación de transformación (relación de espiras en el primario vs espiras del lado secundario) en todas sus derivaciones (taps) además de comprobar el grupo de conexión, la polaridad y desfase angular en los transformadores de distribución sumergidos en aceite.

Esta prueba nos indica el aumento o decremento que sufre el valor de la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada, esto quiere decir, la relación entre la tensión de salida y la de entrada. (Arias Nina 2017, pág., 8)

#### **Norma aplicada:**

NTP IEC 60076-01

#### **Evaluación de resultados:**

Se necesita calcular el porcentaje de diferencia que exista entre los valores reales y los teóricos.

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Valor teorico} - \text{Valor Medido}}{\text{Valor toerico}} * 100$$

*Ecuación N°17*

El valor es aceptable cuando este no supere el error del  $\pm 0.5\%$

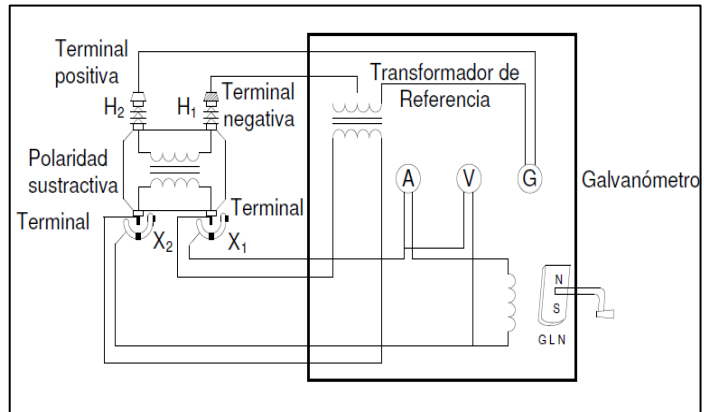


Figura N°7 esquema para relación de transformación  
*Fuente: Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007*

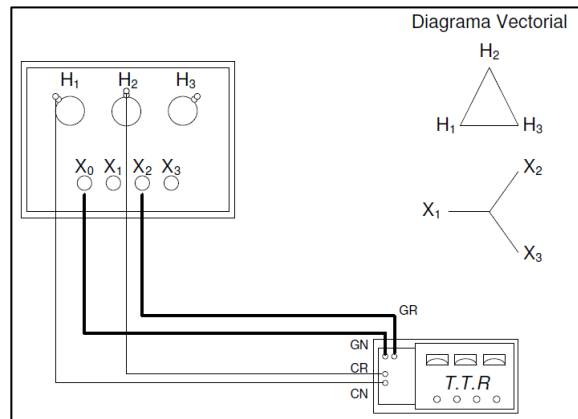


Figura N°8 Relación de transformación a transformador trifásico  
*Fuente: Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007*

## Prueba de resistencia de aislamiento:

### Equipos y aparatos:

Megóhmetro digital

### Objetivo:

Verifica el aislamiento del transformador por la presencia de humedad en su parte activa. Se realizan 3 mediciones las cuales son Media tensión vs Baja tensión, Media tensión vs Masa y Baja tensión vs Masa, con niveles de tensiones de 1000 Vdc y 5000 Vdc.

Se realiza en fabrica después que el transformador ha pasado el proceso de secado y el ambiente se encuentra a una temperatura entre 0 a 40 °C. (López López y Barbosa Rodríguez 2007, pág., 17)

### Norma aplicada:

Según Astocondor Rabanal 2018. En la normativa internacional ANSI/NETA ATS-2009, encontramos la tabla N°5 en la cual encontramos los valores mínimos de resistencia de aislamiento recomendados por el comité técnico de la NETA (International Electrical Testing Association) que, en ausencia de normas nacionales e internacionales, sugiere los siguientes valores:

Transformer Coil Rating Type in Volts	Minimum DC Test Voltage	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Fillet	Dry
0 -600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
Greater than 5000	5000	5000	25000

*Tabla N°5 Resistencia mínima recomendada*

*Fuente: ANSI/NETA ATS, 2009*

**Evaluación de resultados:**

El análisis de resultados se realiza con los valores obtenidos y el criterio de aceptación o de rechazo es fijado por el fabricante.

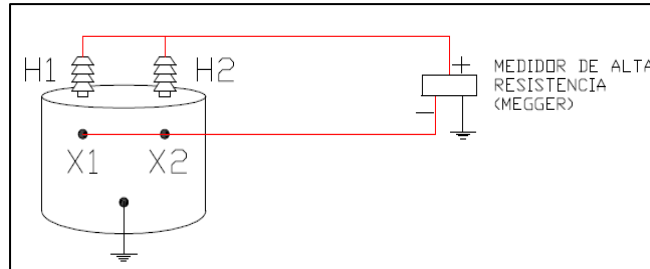


Figura N°9 Media tensión vs Baja Tensión, voltaje de prueba de 5000 Vdc  
Fuente: López López y Barbosa Rodríguez 2007

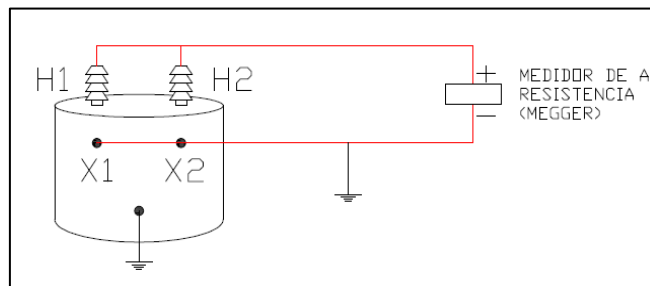


Figura N°10 Media tensión vs Masa, voltaje de prueba de 5000 Vdc  
Fuente: López López y Barbosa Rodríguez 2007

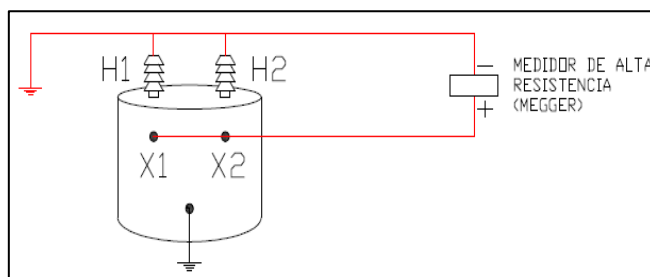


Figura N°11 Baja tensión vs Masa, voltaje de prueba de 1000 Vdc  
Fuente: López López y Barbosa Rodríguez 2007

## Prueba de resistencia de arrollamientos:

### Equipos y aparatos:

Miliohmimetro Digital

### Objetivo:

Medir la resistencia de arrollamientos. Este valor será aplicado al cálculo de las pérdidas óhmicas y perdidas adicionales, estas son proyectadas a 75°C que es la temperatura a la cual se garantiza las pérdidas en los arrollamientos según la potencia de cada transformador de distribución.

Verificar la continuidad de las conexiones internas de los arrollamientos, así como obtener las resistencias en media y baja tensión para poder obtener las pérdidas en el cobre o aluminio ( $I^2R$ ), además de medir la resistencia en caliente de los arrollamientos al finalizar la prueba de calentamiento. (Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007, pág., 28)

La siguiente ecuación sirve para referenciar la resistencia medida a temperatura ambiente. En otro valor a una temperatura de operación de plena carga:

$$R1 = R2 * \left( \frac{T - T2}{T - T1} \right)$$

*Ecuación N°18*

### Donde:

R1: Resistencia referida a la temperatura T1

R2: Resistencia referida a la temperatura T2

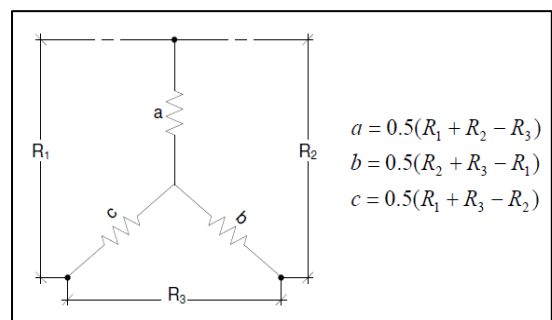
T: Constante de temperatura de resistencia cero (Cobre= 235, Aluminio= 225)

T1: Temperatura de operación del transformador, es la temperatura proyectada para las perdidas en cobre o aluminio 75°C.

T2: Temperatura del arrollamiento al momento de medir R2  
 (Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007, pág., 29)

Para transformadores trifásicos la prueba se realiza entre fases: H1-H2, H2-H3 y H1-H3 en media tensión, x1-x2, x2-x3 y x1-x3 por baja tensión. En los monofásicos se realiza H1-H2 en media y x1-x2 en baja tensión.

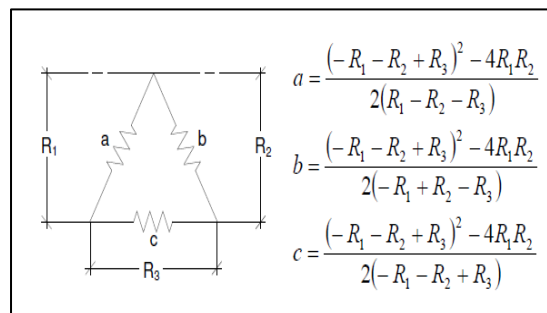
En este caso de un devanado conectado en estrella, cada medición será de 2R, siendo R el valor de la resistencia de fase, para determinar su valor en caso de presentar desequilibrio, se emplean las ecuaciones del circuito en la figura N°12. (Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007, pág., 29)



*Figura N°12 Conexión en estrella*

*Fuente: Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007*

Las lecturas para un devanado en delta serán 2/3R, y se aplicaran las ecuaciones del circuito mostradas en la figura N°13 si existe un desequilibrio en los valores de resistencia.



*Figura N°13 Conexión en delta*

*Fuente: Acebedo, Ledesma Vilchis y Pereira Martínez 2007*

**Norma aplicada:**

NTP IEC 60076-01

**Evaluación de resultados:**

Los devanados que no están bajo prueba deben estar en circuito abierto para lograr una estabilización más rápida de la corriente continua de alimentación. Además, estos valores estarán ligadas directamente con las pérdidas óhmicas del transformador y entre fases del transformador deberá haber una diferencia entre ellas del 3%.

**Prueba de Vacío:****Equipos y aparatos:**

Módulo de pruebas de vacío y cortocircuito

Analizador de redes

Bobinas de corriente clase 0.2s

Bobinas de tensión clase 0.2

Motor regulador de tensión o Variac

**Objetivo:**

Determinar el valor de las pérdidas en núcleo magnético del transformador, así como la corriente de excitación, alimentando con tensión y frecuencia nominal por baja tensión manteniendo abierto lado de media tensión.

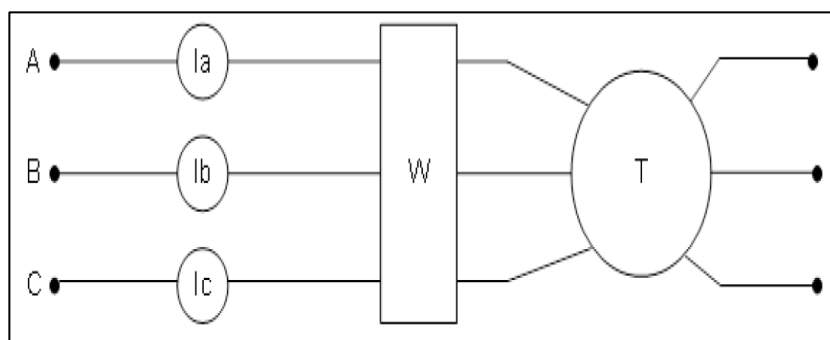
**Norma aplicada:**

NTP IEC 60076-01

NTP 370.400 2013 (Revisada el 2018)

### Evaluación de resultados:

Los valores de las pérdidas del núcleo estarán de acuerdo a las tablas dadas por la norma NTP 370.400 2013 (Revisada el 2018) en los Anexos 2, 3, 4 y 5.



*Figura N°14 Conexión para prueba de vacío*

*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*

### Prueba de Cortocircuito:

#### Equipos y aparatos:

Módulo de pruebas de vacío y cortocircuito

Analizador de redes

Bobinas de corriente clase 0.2s

Bobinas de tensión clase 0.2

Motor regulador de tensión o Variac

#### Objetivo:

Determinar el valor de las pérdidas en cobre o aluminio además de la tensión de cortocircuito e impedancia del transformador, alimentando por el lado de media estando cortocircuitado el lado de baja tensión.



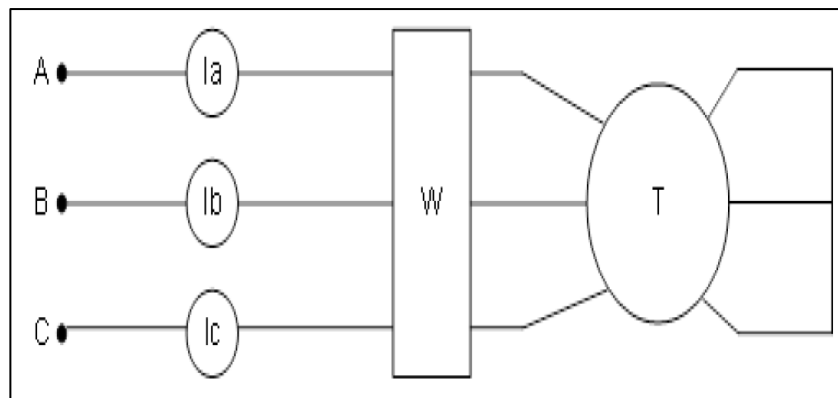
**Norma aplicada:**

NTP IEC 60076-01

NTP 370.400 2013 (Revisada el 2018)

**Evaluación de resultados:**

Los valores de las pérdidas del cobre o aluminio estarán de acuerdo a las tablas dadas por la norma NTP 370.400 2013 (Revisada el 2018) en los Anexos 2, 3, 4 y 5.



*Figura N°15 Conexión para prueba de corto circuito*

*Fuente: Tuesta Vela y Sifuentes Arteaga 2019*

**Prueba de Tensión Aplicada:****Equipos y aparatos:**

Módulo de tensión aplicada

Voltímetro digital

Amperímetro digital

Variac 0 – 220 VAC

**Objetivo:**

La prueba de tensión aplicada determina la calidad y clase del aislamiento con el objetivo de asegurar que el transformador resista los esfuerzos eléctricos a los que se verá sometido durante su operación. En

esta prueba se cortocircuita el lado de baja y media tensión, se inyecta tensión alterna por el lado de media cortocircuitado y se manda la baja tensión y el tanque a tierra. La prueba es del tipo destructiva por eso se realiza una sola vez al 100%.

La prueba se efectúa aplicando una tensión correspondiente al nivel de aislamiento del transformador a una frecuencia de 60 Hz, durante un minuto, iniciándose con un valor no mayor a un cuarto del establecido como tensión de prueba, según la tabla N°4 que depende de la tensión más elevada del material.

TABLA 2 - Niveles de la tensión de ensayo				
Tensión más elevada para el arrollamiento del equipo Um Kv	Impulso tipo rayo en onda plena (LI) Kv	Impulso tipo rayo en onda cortada (LIC) Kv	Impulso tipo maniobra (LIC) Kv	Tensión aplicada a tensión soportada AC de los bornes de línea (AV) (LTAC) Kv
<1,1	-	-	-	3
3,6	20	22	-	10
	40	44	-	10
7,2	60	66	-	20
	75	83	-	20
12	75	83	-	28
	95	105	-	28
	110	121	-	34
17,5	95	105	-	38
	125	138	-	38
24	125	138	-	50
	145	160	-	50
	150	165	-	50
36	170	187	-	70
	200	220	-	70
52	250	275	-	95
72,5	325	358	-	140
	350	385	-	140
100	450	495	375	185
123	550	605	460	230
145	550	605	460	230
	650	715	540	275

Tabla N°6 Tabla de niveles de tensión de ensayo, NTP IEC 60076-03

Fuente: NTP IEC 60076-03 2016

**Norma aplicada**

NTP IEC 60076-01

NTP IEC 60076-03

**Evaluación de resultados:**

Después que el transformador pase la prueba de 1 min, se concluye que el aislamiento entre la media tensión con respecto a baja y tanque del transformador es el adecuado, además de que no se presentaron incrementos bruscos de corriente, ruido en el interior del tanque ni humo o burbujas en el aceite del transformador.

**Prueba de Tensión Inducida:****Equipos y aparatos:**

Módulo de tensión inducida

Multímetro digital

Motor generador de tensión a 120Hz

**Objetivo:**

La prueba consiste en inyectar el doble de la tensión nominal por el lado de baja tensión a una frecuencia de 120 Hz estando abierto el lado de media.

Con esto se prueba el aislamiento entre vueltas, capas y secciones de los devanados del transformador, así como verificar el aislamiento entre bobinas y entre devanados a tierra. La prueba es a doble tensión nominal. Al aplicar una tensión del 200% el flujo aumentará en la misma proporción saturando el núcleo magnético, por lo que, para limitarlo, se tendrá que aumentar en igual forma la frecuencia, la prueba se podrá ejecutar a 120 Hz y su duración será de 60 segundos. La prueba es del tipo destructiva por eso se realiza una sola vez al 100%.

**Norma aplicada:**

NTP IEC 60076-01

NTP IEC 60076-03

### **Evaluación de resultados:**

Después que el transformador pase la prueba de 1 min, se concluye que el aislamiento entre vueltas, capas y secciones de los devanados son el adecuado además de que no se presentaron caídas bruscas de tensión, incrementos o caídas de corriente y ruido internos en el transformador.

### **2.2.8. Pruebas Tipo**

#### **Prueba de Calentamiento:**

##### **Equipos y aparatos:**

Módulo eléctrico para prueba de calentamiento

Analizador de redes

Monitor de temperatura

Sensor de temperatura PT-100

Miliohmímetro digital

Cámara termográfica

Termohigrómetro digital

##### **Objetivo:**

Parte de la norma Internacional IEC 60076-02, identifica a los transformadores de acuerdo a sus métodos de refrigeración y detalla el método del ensayo. (Arias Nina 2017, pág., 22)

El ensayo de calentamiento simula las condiciones de trabajo nominales del transformador al momento del servicio para verificar los parámetros térmicos, las temperaturas de diseño y verificar si puede soportar su carga nominal.

Esta prueba hace generar en el transformador sus pérdidas magnéticas y eléctricas produciendo calentamiento, la temperatura ira en constante aumento hasta llegar a un punto de equilibrio si después de la prueba la

temperatura no excede el valor permisible por la norma se puede garantizar que el transformador va a trabajar sin ningún inconveniente y tendrá una vida útil prolongada. (López López y Barbosa Rodríguez 2007, pág. 33)

Según Rodríguez y Orejuela 2013. Con el creciente de la demanda eléctrica y para satisfacer la misma se incrementa la carga en los transformadores por encima de su capacidad nominal lo cual provoca un aumento de su temperatura por encima de su operación esto puede afectar el material dieléctrico y aislante del transformador, otro punto en considerar es la altitud a la cual opera el transformador sobre el nivel del mar (m.s.n.m) ya que al aumentar la altitud se disminuye la densidad del aire haciendo más difícil la eliminación del calor y debido a esto se incrementa la temperatura, esto se puede evitar mejorando el sistema de refrigeración o aumentando la potencia Kva del transformador.

Según Cerón, et.al. 2020. Los transformadores cuando están en servicio interactúan con fenómenos térmicos y eléctricos, el resultado de esto es la carga dinámica, las condiciones ambientales y esto genera estrés térmico en el transformador, que es el mayor causante del deterioro del aislamiento sin embargo este deterioro no sucede de manera uniforme en los devanados sino se concentra en zonas puntuales denominados puntos calientes (Hot Spot - HS del inglés) en este punto es donde se produce mayor envejecimiento del aislamiento sólido.

Según Cardenas, et.al. 2020. el calentamiento de un transformador es una consecuencia de su operación con carga nominal, para controlar y evitar daño internamente los fabricantes optan por la aplicación de diferentes aceites que cumplan con las normas internacionales, otros por optimizar sus diseños de disipación de calor y la opción de ventilación forzada.

## **Condiciones normales de operación del transformador**

Basándose en la norma NTP IEC 60076-01 2015, las condiciones a las que deben funcionar los transformadores:

Siempre y cuando no se exceda de una altitud de 1000m.s.n.m.

La temperatura refrigerante del medio:

40°C - En todo momento.

30°C - Del mes más cálido su media mensual.

20°C - La media anual. (NTP IEC 60076-01 2015, pág., 8).

No debe ser menor:

25°C Para transformadores en la intemperie.

5°C Para transformador con su refrigeración que han sido previstos para instalación interior. (NTP IEC 60076-01 2015, pág., 8).

## **Límites de calentamiento a potencia nominal**

En los transformadores de 2 o más devanados que estén puestos sobre el mismo núcleo primero la baja tensión y luego la media separados entre sí, el límite de la temperatura se aplica el promedio de las lecturas si son del mismo tamaño y potencia, si no es el caso la medición debe acordarse.

En la prueba de calentamiento los transformadores sumergidos en aceite mineral con código de letra O. Sus límites en transformadores con aislamiento sólido son de clase 105°C y que trabajen en un régimen estable de su potencia, también son válidos para el aislamiento de papel térmicamente mejorado estos límites se presentan en la siguiente tabla:

Requisitos para	Límites de calentamiento K
Líquido aislante en la parte superior	60
Arrollamiento medio (por variación de resistencia del arrollamiento)	
Sistema de refrigeración ON.. Y OF...	65
Sistema de refrigeración OD...	70
Punto caliente del arrollamiento	78

*Tabla N°7 Tabla de límites de calentamiento en transformadores en aceite*

*Fuente: NTP IEC 60076-02 2015*

No se tiene un límite en valor numérico con respecto para el calentamiento del núcleo magnético, las conexiones externas, las pantallas eléctricas y las partes estructurales en la cuba. Sin embargo, tales partes no deben alcanzar temperaturas que con el tiempo provoquen deterioro entre ellas ni las partes contiguas. (NTP IEC 60076-2 2015, pág., 10).

### **Calentamientos admisibles a alturas mayores a 1000 msnm**

Si el transformador será instalado a una altitud superior a los 1000 msnm, pero la fábrica donde se fabricó no lo está entonces se debe tener las siguientes consideraciones:

Para transformadores de refrigeración natural (AN) el límite de calentamiento medio en los arrollamientos deberá reducirse en 1K para cada intervalo de 400 m en los que la altitud supere los 1000 m y con ventilación forzada (AF) la reducción será de 250 m.

$$T_f = T_i - \left( \frac{A_f - A_i}{K} \right)$$

*Ecuación N°19*



**Tf:** Temperatura final del aceite en la altitud de trabajo.

**Ti:** Temperatura del aceite a altitud nominal 1000 msnm y tiene un valor de 60 K.

**Af:** Altitud final de trabajo del transformador.

**Ai:** Altitud nominal de trabajo y tiene un valor de 1000.

**K:** para transformadores con ventilación natural es de 400 y par ventilación forzada 250.

Las temperaturas máximas en los transformadores se presentan en cualquier parte su sistema de arrollamientos, como la temperatura del punto más caliente y esta no debe superar lo permitido de acuerdo a su clase de aislamiento según la table N°8:

Temperatura del sistema (Clase) de aislamiento (véase nota 1)	Límites de calentamiento medio de los arrollamientos con la corriente nominal (véase nota 2)
°C	K
105 (A)	60
120 (E)	75
130 (B)	80
155 (F)	100
180 (H)	125
200	135
220	150

NOTA 1: Las letras de refieren a las clasificaciones de temperatura dadas en la norma IEC 60085  
NOTA 2: Calentamiento medido de acuerdo con el cap. 23.

*Tabla N°8 Tabla de límites de calentamiento de los arrollamientos.*

*Fuente: NTP IEC 60076-11 2017*

No se tiene un límite en valor numérico con respecto para el calentamiento del núcleo magnético, las conexiones externas, las partes metálicas. Sin embargo, tales partes no deben alcanzar temperaturas que con el tiempo provoquen deterioro entre ellas ni las partes contiguas. (NTP IEC 60076-11 2017, pág., 13).

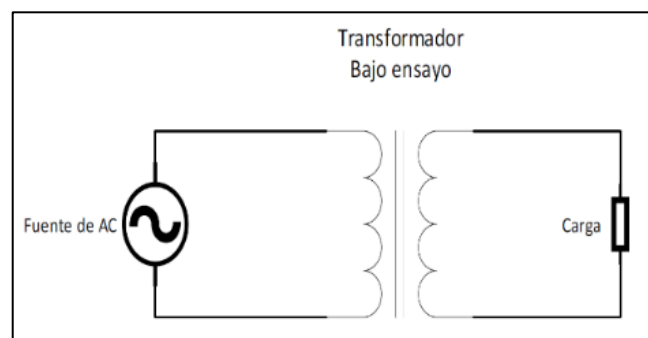
### **Métodos de ensayo:**

Para comenzar con el ensayo de calentamiento se tienen tres métodos:

### **Carga real:**

En este método el transformador trabaja a condiciones reales de operación y se evalúa su estado de manera más precisa, para los transformadores de pequeña potencia la carga se pone en el secundario utilizando cargas como reóstatos y banco de lámparas, pero el inconveniente es que para potencias grandes es poco práctico. (Herrera Acevedo 2020, pág., 8)

Según NTP IEC 60076-02 2015. En casos especiales, si hay un acuerdo se puede realizar en ensayo con la tensión y corriente nominal mediante una conexión a una carga adecuada, pero esto es aplicable a transformadores de baja potencia nominal



*Figura N°16 Ensayo de calentamiento método carga real*

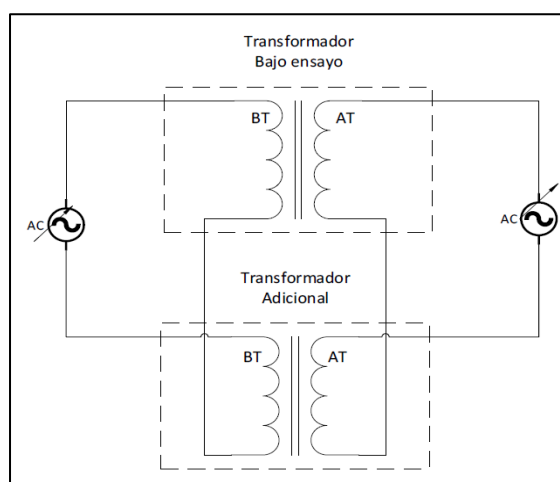
*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

### Carga simulada:

### Método de oposición:

Se conoce como el método de carga inversa este método consiste en conectar dos transformadores en paralelo estos deben de tener las mismas características, se simula las condiciones reales de carga en el lado de baja tensión y en el devanado de media se conecta una fuente variable y así permitir la circulación de corriente. (Herrera Acevedo 2020, pág., 8)

Según NTP IEC 60076-02 2015. Se conectan en paralelo dos transformadores y se alimentan a la tensión nominal del transformador a ensayar luego se inyecta una tensión que hará circular la corriente nominal en los arrollamientos del transformador de ensayo.



*Figura N°17 Ensayo de calentamiento método de oposición*

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

### **Método de cortocircuito:**

Es el método más empleado para la prueba de calentamiento ya que consiste en poner en estado de cortocircuito el devanado de baja tensión de un transformador de distribución sumergido en aceite.

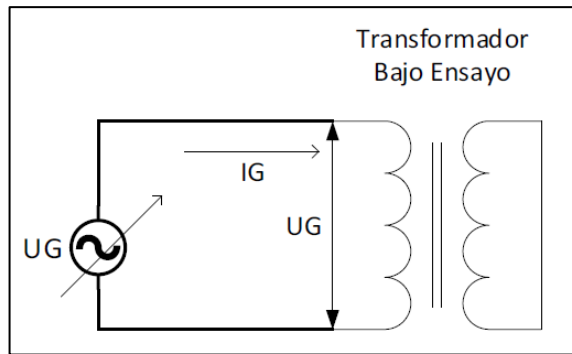
Según NTP IEC 60076-02 2015. Lo que se desea obtener en esta prueba es:

- El calentamiento superior del aceite y el calentamiento medio en pérdidas totales.
- El calentamiento medio de los arrollamientos a corriente nominal.
- El calentamiento del punto caliente de los arrollamientos a la corriente nominal.

Según NTP IEC 60076-02 2015. Durante la primera etapa el transformador no se somete a su tensión ni corriente nominal, sino a las pérdidas totales que son las pérdidas de cortocircuito a 75°C y las pérdidas de vacío.

Según NTP IEC 60076-01 2015. Si el rango de regulación de tensión en las tomas es menor o igual al  $\pm 5$  y la potencia del transformador no supera los 2500kVA, el calentamiento y las pérdidas totales se refieren a la toma principal únicamente, que en la mayoría de transformadores es en la posición N°3 del conmutador de regulación de taps.

Según NTP IEC 60076-01 2015. Si el rango de regulación de tensión en las tomas es superior al  $\pm 5$  o si la potencia del transformador supera los 2500kVA, el calentamiento y las pérdidas totales se refieren a la toma de máxima corriente que es la toma con mayores pérdidas.



*Figura N°18 Ensayo de calentamiento método de cortocircuito*

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

**Esta prueba consiste en 2 etapas:**

**Durante la primera etapa se hace lo siguiente:**

Según NTP IEC 60076-02 2015. Los calentamientos del líquido en la parte superior, inferior y media se establecen en el transformador cuando este es sometido a una corriente superior a la nominal y la cual es el resultado de las pérdidas totales, que son la suma de las pérdidas de vacío y cortocircuito a 75°C. Esta primera parte se considera finalizada cuando la temperatura del aceite en la parte superior y media se mantienen constante por una hora, con una ligera variación de 1K/h.

Se inyecta una corriente superior de prueba ( $I_p$ ) la cual es superior a la nominal ya que en esta incluyen las pérdidas totales que son las de vacío y cortocircuito a 75°C, se deben medir las temperaturas en la parte superior del líquido ( $T_s$ ) y en la parte superior ( $T_{rs}$ ) e inferior de los radiadores ( $T_{ri}$ ) hasta que se considere que la temperatura del aceite se ha estabilizado. (Herrera Acevedo 2020, pág., 10)

Se puede calcular de manera aproximada la tensión y corriente de pérdidas totales mediante el factor  $k$  de la siguiente manera:

$$I_p = k * I_n$$

*Ecuación N°20*

$$k = \sqrt{\frac{P_{CC} (75^{\circ}C) + P_o}{P_{CC} (75^{\circ}C)}}$$

*Ecuación N°2*

**I<sub>p</sub>**: Corriente de prueba para pérdidas totales (A)

**I<sub>n</sub>**: Corriente nominal del transformador (A)

**P<sub>cc</sub>**: Pérdidas de cortocircuito referenciadas a 75°C (W)

**P<sub>o</sub>**: Pérdidas de vacío a temperatura ambiente (W)

**K**: Factor k

$$V_p = k * V_{cc}$$

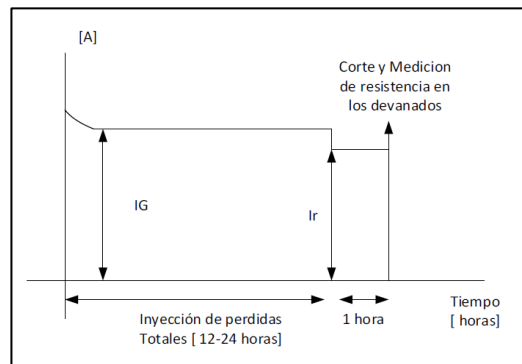
*Ecuación N°22*

**V<sub>p</sub>**: Tensión de prueba de calentamiento (V)

**V<sub>cc</sub>**: Tensión de cortocircuito (V)

**Durante la segunda etapa se hace lo siguiente:**

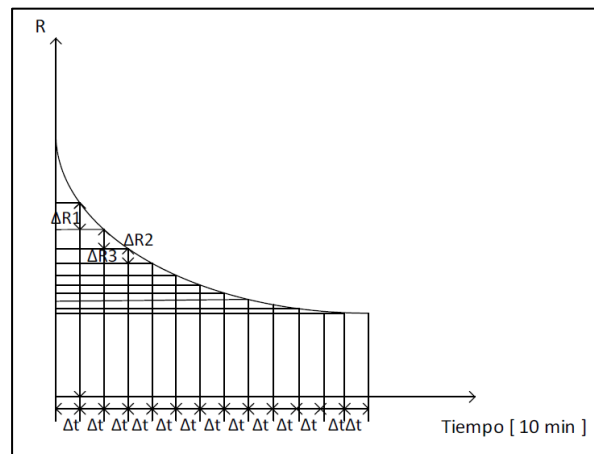
Según NTP IEC 60076-02 2015. El ensayo se debe continuar, pero con la corriente nominal sin hacer ningún corte, esto se deberá mantener durante una hora, al término de la hora se toman medidas de las resistencias en los arrollamientos de media y baja tensión.



*Figura N°19 Ensayo de calentamiento método de las dos etapas*

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

En esta etapa se reduce la corriente de prueba a la corriente nominal del transformador y esto se mantiene durante una hora, luego posterior al corte se toma medida de los arrollamientos con estos datos se obtiene una gráfica de resistencia vs tiempo, se extrapola hasta el momento del corte en  $t=0$  y con el valor de resistencia en caliente se calcula la temperatura promedio de los arrollamientos y la elevación promedio de la temperatura. (Herrera Acevedo 2020, pág., 11)



*Figura N°20 grafica de resistencia vs tiempo*

*Fuente: Herrera Acevedo 2020*

### **Determinación de las temperaturas del aceite:**

#### **Temperatura del Aceite en la parte superior, inferior y media**

Según NTP IEC 60076-02 2015, El líquido en la parte superior  $T_a$  es determinado por sensor de temperatura en la parte superior de la cuba o en pozo termométrico.

El líquido en la parte inferior  $T_{ai}$  es el que ingresa a los arrollamientos del transformador bajo prueba por la parte inferior, este retorna desde el equipo de refrigeración (Aletas o Radiadores) hacia el tanque.

La temperatura media del líquido  $T_{am}$  es entendida como la temperatura media del aceite de refrigeración en los arrollamientos y se calcula de la siguiente manera, todas las temperaturas serán en °C.

$$T_{am} = \frac{T_a + T_{ai}}{2}$$

*Ecuación N°23*

Según Herrera Acevedo 2020, nos dice la temperatura promedio (media) del aceite  $T_{am}$  es igual a la temperatura superior del aceite  $T_a$  menos la mitad entre la diferencia de las temperaturas del medio de refrigeración superior  $T_{as}$  e inferior  $T_{ai}$  del transformador que pueden ser las aletas, radiadores o tuberías. El nivel superior está ubicado entre el nivel superior del aceite y el extremo superior del devanado, el nivel inferior estará a una altura entre la base de la cuba y el extremo inferior del devanado.

$$T_{am} = T_a - \left( \frac{T_{as} - T_{ai}}{2} \right)$$

*Ecuación N°24*

Para transformadores sin radiadores ubicar los sensores de temperatura en la pared del tanque a una altura igual a los extremos de los devanados.

### **Calentamientos del Aceite en la parte superior, inferior y media**

Según NTP IEC 60076-02 2015, El calentamiento del aceite en la parte superior  $\Delta T_a$  se determina por diferencia de la temperatura del líquido en la parte superior  $T_a$  medida al final del periodo con pérdidas totales y la temperatura del medio de refrigeración externo  $T_{amb}$  al final del periodo con pérdidas totales.



$$\Delta T_a = T_a - T_{amb}$$

*Ecuación N°25*

El calentamiento del aceite medio  $\Delta T_{am}$  se determina por diferencia entre la temperatura del aceite medio  $T_{am}$  y la temperatura del medio de refrigeración externo  $T_{amb}$ , al término de la prueba con pérdidas totales.

$$\Delta T_{am} = T_{am} - T_{amb}$$

*Ecuación N°26*

El calentamiento del aceite inferior  $\Delta T_{ai}$  se determina por la diferencia de la temperatura inferior del aceite (aleta inferior)  $T_{ai}$  y la temperatura del medio de refrigeración externo  $T_{amb}$ .

$$\Delta T_{ai} = T_{ai} - T_{amb}$$

*Ecuación N°27*

### **Determinación de la temperatura media de los arrollamientos**

La temperatura se determina por el método de la resistencia, después del corte y permitiendo que transcurra el tiempo para sacar el cortocircuito y desconectar las conexiones de la prueba se debe tomar un equipo de corriente continua y tomar las lecturas de resistencia en media y baja de los devanados del transformador.

La relación entre la resistencia  $R_2$  a la temperatura  $\theta_2$  en grados °C y  $R_1$  a  $\theta_1$

$$(COBRE) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{235 + \theta_2}{235 + \theta_1}$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$$

*Ecuación N°18*

$$(ALUMINIO) \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{225 + \theta_2}{225 + \theta_1}$$

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$$

*Ecuación N°28*

Con las medidas de resistencias y temperaturas  $R_1$  y  $\theta_1$  iniciales, después de finalizado la prueba a corriente nominal vamos a medir la resistencia  $R_2$  por el método de la curva de enfriamiento y en consecuencia tendremos la temperatura  $\theta_2$  que es la temperatura media del arrollamiento en el instante del corte.

### **Determinación del calentamiento medio de los arrollamientos en el momento de la desconexión**

La elevación (Rise) de la temperatura del arrollamiento es igual a la temperatura media del arrollamiento  $\theta_2$  al momento de la desconexión y la temperatura ambiente  $T_{amb}$

$$\Delta\theta_m = \theta_2 - T_{amb}$$

*Ecuación N°29*

Los valores medios de las temperaturas en los arrollamientos deben aumentar de la misma cantidad en que ha caído la temperatura media del líquido ha pérdidas totales y en corriente nominal. Por lo tanto, la temperatura media corregida del arrollamiento.

$$\Delta\theta_m = \theta_2 + \Delta\theta_{m(pt-In)} - T_{amb}$$

*Ecuación N°30*

Donde:  $\Delta\theta_{m(pt-In)}$  es la caída de la temperatura media del líquido durante la hora de ensayo a corriente nominal

### **Determinación del gradiente entre la temperatura media de los arrollamientos y la temperatura media del líquido**

El gradiente ( $g$ ) se calcula como la diferencia entra la temperatura media del arrollamiento sin corrección  $\theta_2$  y la temperatura media del liquido en el instante de la desconexión  $T_{amd}$

$$g = \theta_2 - T_{amd}$$

*Ecuación N°31*

## Determinación del Hot spot (Calentamiento del punto más caliente)

Según Herrera 2020, la norma ANSI IEEE C.57.12.00 nos dice que el hot spot  $T_{Hot\ spot}$  no deberá exceder los 80°C a una potencia nominal para la máxima combinación de taps y en la norma IEC 60354 y NTP IEC 60076-02 – 2015, nos dice que el hot spot no deberá exceder los 78°K. Además, se espera que en las puntas de las bobinas se presente el mayor hot spot debido a la acumulación de campos electromagnéticos, pero no es así, sino que debido a las pérdidas por dispersión del flujo por esta razón se multiplica por un factor H que puede tener variación entre 1.1 hasta 1.5 dependiendo de la potencia del transformador bajo prueba según la normatividad NTP IEC 60076 - 07 - 2016.

$$T_{Hot\ spot} = \Delta T_a + g * H$$

*Ecuación N°32*

Donde:  $\Delta T_a$  es el calentamiento del aceite en la parte superior y  $H$  es factor y tienen un valor de 1.1 para transformadores de distribución, 1.3 para transformadores de potencia.

### Correcciones

Se realizan las correcciones cuando los valores de potencia y corriente no se han alcanzado en la prueba de calentamiento, estos valores no deben ser menores al 80% de la potencia total de la prueba (pérdidas totales) y tienen que estar dentro del rango permitido:

- $\pm 20\%$  el valor para la potencia.
- $\pm 10\%$  el valor de la corriente.

Corrección para el calentamiento del aceite superior al final de la prueba con pérdidas totales se multiplicará por:

$$\left[ \frac{\textit{Pérdidas totales}}{\textit{Pérdidas reales en el ensayo}} \right]^x$$

*Ecuación N°33*

Corrección para el calentamiento medio del arrollamiento después de la desconexión se multiplicará por:

$$\left[ \frac{\textit{Corriente nominal}}{\textit{Corriente real en el ensayo}} \right]^y$$

*Ecuación N°34*

Corrección para el calentamiento del punto caliente después de la desconexión se multiplicará por:

$$\left[ \frac{\textit{Corriente nominal}}{\textit{Corriente real en el ensayo}} \right]^z$$

*Ecuación N°34*

Los valores de los exponentes se presentan en la tabla N°9 y para los transformadores de distribución no se especifica el exponente **z**.

	Transformadores de distribución	Transformadores de media y gran potencia			
	ONAN	ONAN	ONAF	OF....	ON....
Exponente <b>x</b> para el líquido en la parte superior	0.8	0.9	0.9	1	1
Exponente <b>y</b> para los arrollamientos	1.6	1.6	1.6	1.6	2
Exponente <b>z</b> para el punto caliente	-	1.6	1.6	1.6	2

*Tabla N°9 Exponentes para correcciones en el ensayo de calentamiento.*

*Fuente: NTP IEC 60076-02 2015*

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Variable Dependiente: Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite.**

La prueba de calentamiento tiene como finalidad el verificar la temperatura final de los arrollamientos en media y baja tensión además el aceite dieléctrico en el transformador, ya que están sometidos a la temperatura ambiente más la temperatura de trabajo durante su periodo de funcionamiento. En los laboratorios de la sala de pruebas de las empresas en lima, no realizan la prueba de calentamiento de manera correcta según las normatividades, lo que se desea es proponer un módulo de pruebas de calentamiento para transformadores en base a la normatividad NTP IEC 60076 y con ello conseguir resultados confiables que garanticen el buen funcionamiento del transformador.

#### **Dimensiones:**

D1: Temperaturas del transformador

Es la temperatura en las condiciones en la que se encuentre y estas pueden ser a temperatura ambiente, a temperatura de trabajo o en temperatura de prueba de calentamiento donde ira aumentada con el tiempo hasta alcanzar la estabilización.

I1: Temperatura del aceite superior

I2: Temperatura del aceite media

I3: Temperatura del aceite inferior

D2: Resistencia de arrollamientos media y baja tensión

Son el valor medido en ohms de los arrollamientos del transformador y los cuales deben ser medidos a temperatura ambiente y al término de la prueba de calentamiento debido al aumento de temperatura tendrá un

valor más elevado y el cual ayuda a obtener el valor de temperatura interna de los arrollamientos en media y baja tensión.

I1: Resistencia en frío

I2: Resistencia en caliente

### **2.3.2. Variable Independiente: Modulo eléctrico**

Según Castro (2020) en su trabajo de investigación implementa un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales y utilizando los equipos de medición necesarios para obtener los parámetros que se necesita en esta prueba.

Según Chico (2012) en su trabajo de investigación elaboro e implemento un módulo eléctrico para pruebas a transformadores con todos los equipos e instrumentos de medición que se necesita y así poder obtener los parámetros eléctricos de los transformadores.

Según Caiza y Juiña (2018) en su trabajo de investigación construyeron un módulo eléctrico para poder hacer pruebas eléctricas a los transformadores eléctricos.

Según Lino (2017) en su trabajo de investigación implementa un módulo eléctrico didáctico para los transformadores y así poder hacer el diseño e implementarlo en el laboratorio de cualquier universidad o empresa.

De lo expuesto por los autores, en el presente trabajo de investigación se verificará como la propuesta del módulo eléctrico para la prueba de calentamiento en transformadores de distribución sumergidos en aceite puede obtener los parámetros de manera correcta y confiable, además de dar seguridad y garantía al transformador mediante el protocolo correspondiente.



## **Dimensiones:**

D1: Pérdidas Totales

Son el resultado de la suma de las pérdidas del arrollamiento a 75°C y las pérdidas del núcleo magnético del transformador.

I1: Pérdidas de Vacío

I2: Pérdidas de Cortocircuito

D2: Corriente nominal

Es la corriente con la cual se inicia la segunda etapa de la prueba de calentamiento y está en función de la potencia, fdp y tensión.

I1: Pérdidas a corriente nominal

I2: Tensión a corriente nominal

## 2.4. Definición de términos básicos

**Transformador sumergido en líquido:** Es un transformador en el cual su parte activa que son sus devanados y núcleo magnético están sumergidos en un líquido dieléctrico.

**Arrollamiento:** El grupo de espiras que componen un circuito eléctrico, vinculado a uno de los voltajes, para los que fue diseñado el transformador.

**Arrollamiento con tomas:** Es el arrollamiento al cual se le puede variar el número de espiras en forma escalonada mediante un conmutador de taps.

**Toma principal:** Es la toma a la cual se refieren sus magnitudes nominales.

**Calentamiento de aceite:** Es cuando el transformador está funcionando a plena carga, el aceite alcanza la temperatura más alta.

**Calentamiento de cobre:** Es cuando el transformador está funcionando a plena carga, el arrollamiento alcanza la temperatura más alta.

**Corriente nominal:** Es la corriente que circula por un terminal de un arrollamiento, se determina a partir de la potencia nominal y la tensión.

**Frecuencia nominal:** Es la frecuencia para la cual ha sido diseñado el transformador,

**Núcleo:** Puede ser apilado o envuelto, está hecho de hierro Silicoso de grano orientado y que sirve de camino para el flujo magnético.

**Pérdidas totales:** Son la suma de pérdidas en el material que pueden ser de cobre o aluminio referenciadas a 75°C y las perdidas debidas al núcleo magnetico.

**Pérdidas de fierro:** Son las pérdidas que se generan cuando al transformador se le inyecta la tensión nominal en vacío, estas incluyen las pérdidas por histéresis y parásitas.

**Pérdidas por corrientes parásitas:** Son las pérdidas provocadas por las corrientes parasitas que se mueven a través de un material metálico.

**Pérdidas por Histéresis:** Es la pérdida de energía causada por un campo magnetico alterno, sobre un material magnetico.

**Pérdidas de cobre:** Son aquellas perdidas que se generan por el funcionamiento a plena carga del transformador y son la suma de las perdidas resistivas y las adicionales.

**Potencia Aparente (S):** Es la potencia total que está conformada por la suma de la potencia activa y reactiva, su unidad de medida es volt-ampere (VA).

**Potencia Activa (P):** Es la potencia que sirve para realizar trabajo, llamada también potencia útil, su medida es en vatio (W).

**Potencia Reactiva (Q):** Es la potencia para generar los campos magnéticos, su unidad de medida es volt-amperios reactivos (Var).

**Pruebas de rutina:** Son las pruebas que realiza cada empresa en base a la normatividad para dar la seguridad y confiabilidad al destinatario final del proyecto electrico.

**Termocupla:** Dispositivo de medición de temperatura, su función es medir la temperatura de una parte específica de un transformador y esta influenciado por la temperatura ambiente.

**Relación de transformación de un transformador:** Es la relación entre en número de vueltas en el primario vs el secundario.

**Tensión nominal de un devanado:** Es la tensión por la cual el devanado ha sido diseñado.

**Refrigeración:** Es el medio por donde se disipa el calor generado internamente en el transformador hacia el medio ambiente exterior.

**Impedancia (tensión de impedancia):** Es la tensión a la cual se hará recorrer en el devanado su corriente nominal.

**Devanado primario:** Devanados que reciben la tensión y corriente del circuito alimentador.

**Devanado secundario:** Devanados que, mediante inducción electromagnética, toman energía del devanado primario y la transfieren al circuito de carga.

**Temperatura ambiente:** Para los transformadores a ventilación natural y para aquellos a ventilación forzada, esta es la temperatura del medio externo.

### **III. HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis General:**

La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima - 2023.

##### **3.1.2. Hipótesis Específicas:**

HE01: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

HE02: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

HE03: Las pérdidas totales influyen significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

HE04: La corriente nominal del transformador influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.

### 3.2. Operacionalización de variable

Tabla N° 10 Matriz de operacionalización de la variable, Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite</b>	La prueba de calentamiento tiene como finalidad el verificar la temperatura final de los arrollamientos en media y baja tensión además el aceite dieléctrico en el transformador, ya que están sometidos a la temperatura ambiente más la temperatura de trabajo durante su periodo de funcionamiento.	La variable prueba de calentamiento a los transformadores de distribución sumergidos en aceite será medida a través de sus dimensiones temperaturas del transformador y resistencia de arrollamientos alta y baja tensión, siendo su instrumento la recopilación documental	Temperaturas del transformador	Temperatura del aceite superior, media e inferior
			Resistencia de arrollamientos media y baja tensión	Resistencia en frío Resistencia en caliente

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11 Matriz de operacionalización de la variable, Módulo eléctrico

Variable independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Módulo Eléctrico</b>	El módulo eléctrico será utilizado para la realización de la prueba de calentamiento cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales y utilizando los equipos de medición necesarios para obtener los parámetros que se necesita en esta prueba	La Variable módulo eléctrico será medida a través de sus dimensiones Pérdidas totales y corriente nominal, cuyo instrumento de medición es la observación y ficha de datos.	Pérdidas totales	Pérdidas de vacío Pérdidas de cortocircuito
			Corriente nominal	Pérdidas a corriente nominal Tensión a corriente nominal

Fuente: Elaboración propia

## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

#### **ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativo**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, el enfoque cuantitativo se basa en la recopilación, el análisis y la prueba de hipótesis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis que se han desarrollado previamente. También pone énfasis en la medición de variables y herramientas de investigación, utilizando estadística descriptiva e inferencial, análisis estadístico e hipótesis. Pruebas, así como la formulación de hipótesis estadísticas y el diseño formalizado de tipos de investigación.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. No se pueden omitir pasos porque cada etapa procede a la siguiente en un orden muy riguroso. Comienza con un concepto restringido que luego se delimita, del cual se derivan objetos y preguntas de investigación, se examina la literatura y se desarrolla un marco teórico. Se crea un plan para probar las hipótesis en función de las preguntas y variables, luego las variables se miden en un contexto específico. Luego se analizan las mediciones y se extraen una serie de conclusiones sobre la(s) hipótesis.

El presente trabajo de investigación es cuantitativo porque conlleva un procedimiento con el cual se puede determinar la veracidad o falsedad de la hipótesis a partir de los resultados obtenidos y deduciendo la relación que existe entre las dos variables en estudio.

## **TIPO DE INVESTIGACIÓN: Investigación Aplicada**

Según Caballero Romero 2014, en su libro Metodología integral innovadora para planes y tesis, la resolución práctica de problemas es el objetivo principal de la investigación aplicada, que toma la forma de una variedad de acciones destinadas a aprovechar los avances científicos y tecnológicos.

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, la investigación aplicada está orientada a resolver objetivamente los problemas de los procesos de cualquier actividad humana.

De lo expuesto por los autores, el presente trabajo de investigación es del tipo aplicada, pues se implementará un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite, en la sala de pruebas de una empresa de Lima, utilizando los conocimientos producidos por las investigaciones básicas con aplicación directa.

## **NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Explicativa**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, una investigación explicativa tiene el objetivo de encontrar una relación de causa y efecto mediante el uso de hipótesis que expliquen cómo las variables independientes afectan a la variable dependiente en un nivel más profundo y riguroso.

Según Caballero Romero 2014, en su libro Metodología integral innovadora para planes y tesis, una investigación explicativa son las que plantean hipótesis que mediante la relación de sus variables como son el



problema, la realidad y el marco teórico, plantean propuestas de explicación al problema.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, una investigación explicativa se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno, bajo que circunstancias se manifiesta o por que se relacionan dos o más variables con el fin de identificar las causas de los eventos o fenómenos que se están estudiando.

El nivel de investigación es explicativo, pues trata de identificar las causas y los efectos que pueden influir en la realización de la prueba de calentamiento a los transformadores eléctricos sumergidos en aceite y como el módulo eléctrico nos permite generar una mejora en esta prueba.

#### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental – pre experimental**

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, una investigación es tipo experimental cuando se pretenden manipular intencionalmente una o más variables y así analizar sus posibles resultados. Es decir, analizar las consecuencias que la manipulación de las variables independientes tiene sobre las variables dependientes.

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, en su libro Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis, una investigación es tipo experimental cuando el investigador manipula o controla una o más variables independientes y observa las posibles variaciones o causas que tendrán en las variables dependientes.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, se dice que el diseño preexperimental es el para un solo grupo y consiste en administrar y tratar

un grupo para después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es el nivel del grupo y es útil como una primera aproximación en el problema de investigación en la realidad.

El presente trabajo de investigación tiene un diseño experimental - preexperimental, pues se trata de verificar cambios en el resultado final al manipular la variable independiente de acuerdo a los parámetros establecidos en la investigación, además que estos son aplicados a un solo grupo en específico que son los transformadores eléctricos sumergidos en aceite.

#### **4.2. Método de investigación**

Según Caballero Romero 2014, en su libro Metodología integral innovadora para planes y tesis, el método de investigación científica es racional capaz de resolver problemas y puede hacerlo porque se plantea hipótesis, implicando cierto riesgo, pero también dar un poder creativo e innovador para poder resolver problemas y adquirir o descubrir nuevos conocimientos.

El método es hipotético - deductivo ya que utiliza la recolección de datos y el análisis de los parámetros que serán necesarios para el funcionamiento del módulo eléctrico, además ira de un conocimiento general que son las pruebas de rutina y tipo a los transformadores eléctricos, hacia algo específico que me permita implementar el módulo eléctrico para poder analizar los parámetros de calentamiento en el transformador y comprobar el resultado de mi hipótesis.

### **4.3. Población y muestra**

#### **Población**

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, la población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, En las ciencias sociales la población es el grupo de individuos o instituciones que son el objetivo de las investigaciones. Es una práctica común en la investigación social distinguir entre la población accesible que esta fácilmente disponible y es útil en la investigación y la población objeto que es la población total pero no está disponible.

En el presente proyecto de investigación, la población estará constituida por 7 transformadores de distribución sumergidos en aceite entre 15 a 250 kVA en una empresa de lima - 2023.

#### **Muestra**

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, la muestra es el subgrupo de la población en el que todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser elegidos.

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, la muestra es el subconjunto o parte de la población que ha sido seleccionado por diversos métodos, pero siempre teniendo en cuenta su representatividad en la población

En el presente proyecto de investigación, la población estará constituida por 4 transformadores de distribución sumergidos en aceite elegidos al azar de la población que se encuentran en las instalaciones de una empresa de lima - 2023.

#### 4.4. Lugar de estudio

El lugar de estudio del proyecto de investigación es en el área de pruebas de una empresa de lima - 2023.

#### 4.5. Técnicas e instrumentación para la recolección de la información

**Revisión documentaria:** Son los protocolos de rutina, los protocolos de pruebas tipo y revisión de las normas nacionales e internacionales.

**Observación experimental:** inspección del módulo eléctrico y el transformador eléctrico bajo prueba, verificando mediante los equipos de medición los parámetros que se necesitan para esta prueba, todo realizado en la sala de pruebas de una empresa.

##### **Validez**

Según Ñaupas Paitan, et al. 2014, la validez en un diseño de investigación esta referida al grado de control de la variable y la posibilidad de generalización que tiene el investigador sobre todos los resultados que se obtiene.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, La validez se refiere de manera directa al grado en que un instrumento mide la variable que pretende medir.

##### **Confiabilidad**

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, la confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Los datos serán procesados en un protocolo de pruebas tipo de calentamiento mediante el software Excel, con ayuda de protocolos de rutina se podrá facilitar y agilizar la labor de cálculo. Luego se utilizará las normas nacionales e internacionales para verificar si los valores obtenidos están de acuerdo a lo exigido.

#### **4.7. Aspectos Éticos en investigación**

Koepsell y Ruiz de Chávez 2015, pág. 61, en la “Ética de la investigación - Integridad científica”, sostienen que: La autoría es una responsabilidad, esto significa que el científico asume la obligación de rendir cuentas de su trabajo. Cuando los investigadores asumen la responsabilidad de sus contribuciones y su trabajo, otros investigadores pueden confiar en que sabrán todo lo que le puedan de su propia investigación, se aseguran de que sus palabras la transmitan con precisión y contribuyan al con la ciencia. Al no considerar la necesidad de que otros investigadores prueben y verifiquen el estudio, así como también conozcan la veracidad de lo que leen, el autor viola los principios éticos de la comunidad y traiciona la confianza y el deber que se tiene a la comunidad científica cuando se conoce la verdadera fuente.

El presente trabajo de investigación se ha elaborado con honestidad, seriedad y responsabilidad, los autores están debidamente referenciados, utilizando información de diversas fuentes bibliográficas.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

Existe un gran incumplimiento en las normas nacionales e internacionales con respecto a la realización de la prueba de calentamiento, esto se debe principalmente a la manera de realizarlo la cual tiene varios defectos, como es la conexión de los transformadores hacia el autotransformador de apoyo, la conexión de los sensores PT-100, los monitores de temperatura sobre una meso o carrito de equipos, la delimitación del área de trabajo la inyección de la tensión, corriente y el apunte de datos de calentamiento del transformador.

#### 5.1.1. Conexión de transformadores para la prueba de calentamiento

Al momento de conectar lo que se hizo es revisar el protocolo de pruebas ver la tensión de cortocircuito, corriente de cortocircuito y potencia del transformador para apoyarnos de un autotransformador de varias tensiones la cual se usó hasta obtener una tensión igual o similar a la tensión de cortocircuito según el protocolo de pruebas.

Figura N°22 Autotransformador de apoyo



Fuente: Elaboración propia

Figura N°21 Autotransformador con transformador de 50KVA



Fuente: Elaboración propia



*Figura N°24 Autotransformador con transformador de 400 KVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°23 Montaje de los medidores de temperatura sobre un carrito de equipos*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°25 Colocación de sensores de temperatura PT-100*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°26 Apunte de las temperaturas en cuaderno*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°27 Prueba de calentamiento transformador  
de 630 KVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°28 Medidores de temperatura y apunte de  
datos de temperatura en el carrito de equipos*

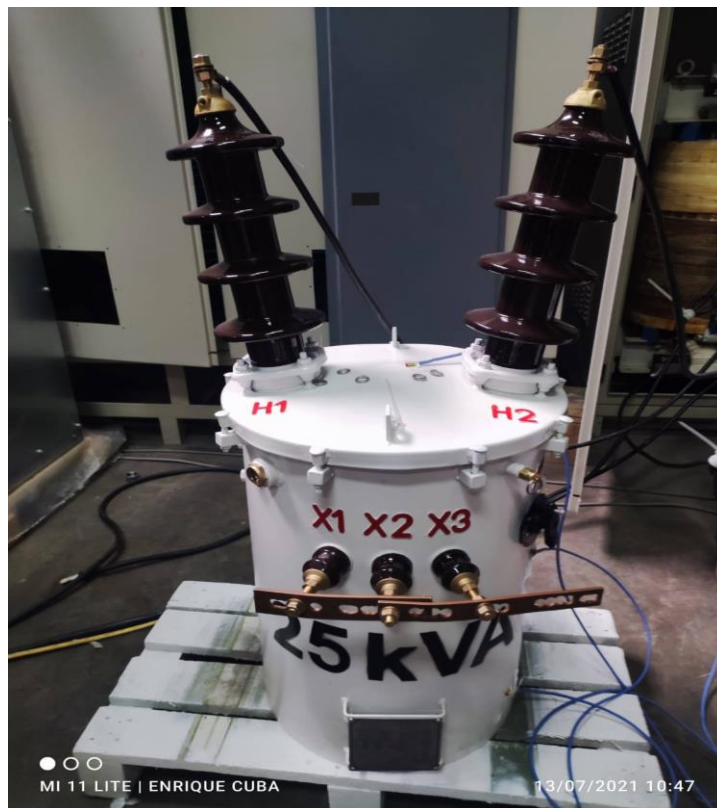
*Fuente: Elaboración propia*





*Figura N°29 Prueba de calentamiento transformador de 15 KVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°30 Colocación de sensores de temperatura*

*Fuente: Elaboración propia*

### **5.1.2. Protocolos de las pruebas de calentamiento antiguas**

Después de haber conectado el transformador a prueba de calentamiento el tiempo que se dio está en el rango de 5 a 6 horas, una vez que se cumplía este tiempo se procedió con el apagado y desconexión del transformador y se procedió a tomar resistencia de arrollamientos solamente en la media tensión.

Se comenzó con la realización de pruebas pasando los datos que se apuntaron en un cuaderno de pruebas para posteriormente ser pasados a una computadora para la realización del protocolo de calentamiento, el cual tiene el contenido de las temperaturas superior, media, inferior y ambiente, resistencias de arrollamientos en frío y caliente, curva de calentamiento de aceite y cálculo de la temperatura del arrollamiento en caliente.

Una vez pasado los datos se procede con el término final del protocolo que son la diferencia entre la temperatura media del aceite y la temperatura media del arrollamiento, el calentamiento final del aceite, el calentamiento final del arrollamiento y compararlo con los valores según la normatividad NTP IEC 60076-02.

Este protocolo de pruebas cuenta con 3 hojas, la primera tiene los resultados finales, el calentamiento del transformador en sus diferentes niveles y los valores de arrollamientos. La segunda hoja tiene el calentamiento del aceite hasta el término de la prueba y la tercera tiene el cálculo de la temperatura final después de la desconexión del arrollamiento.

A continuación, se presentan 4 protocolos de pruebas de calentamiento con todos los datos mencionados con anterioridad:

# N°1 - Protocolo de calentamiento:

Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5

Fecha: 26/10/2021

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO							F-AC-03-01		
							Versión 02		
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO</b>							ACEITE	: X	
CLIENTE : ELECTRONOROESTE S.A							OT :	37000797	
OBRA:									
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>									
Marca :	ITESA	Potencia :	100	KVA	Montaje :	EXTERIOR			
Número de Serie :	37000797	Relac. Transformación :	10000 - 22900 / 400 - 231 V		Nivel Aislam. Int. AT :	24	/	50 / 125 KV	
Tipo :	T3DI	Relac. Corriente :	5.77 - 2.52 / 144.3 - 249.9 A		Nivel Aislam. Ext. AT :	36	/	70 / 170 KV	
Año de Fabricación :	2021	Grupo de Conexión :	Dyn5 - Dd6		Nivel Aislam. Int. BT. :	1	/	2.5 / 7.5 KV	
Norma IEC :	60076	Tcc ( % ) :	4.05 4.30 %		Nivel Aislam. Ext. BT. :	1	/	3 / 10 KV	
Frecuencia :	60 Hz	Taps :	± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5 %		Peso del Aceite :	165 Kg.			
Refrigeración :	ONAN	Altitud m.s.n.m :	4500		Peso Total :	620 Kg.			
<b>1.- MEDIDA DE TEMPERATURAS EN EL TRANSFORMADOR</b>									
MEDICION NUMERO	HORA DE MEDICION		TEMPERATURAS EN EL ACEITE			TEMPERATURA AMBIENTE	GRADOS CENTIGRADOS		
			Punto Inferior	Punto Superior	Punto medio				
1	8.00	Horas.	19.00	19.00	20.00	18.00	°C		
2	8.20	Horas.	19.00	21.00	19.00	18.00	°C		
3	8.40	Horas.	20.00	28.00	23.00	18.00	°C		
4	9.00	Horas.	21.00	31.00	27.00	18.00	°C		
5	9.20	Horas.	22.00	34.00	31.00	18.00	°C		
6	9.40	Horas.	23.00	37.00	34.00	19.00	°C		
7	10.00	Horas.	24.00	38.00	36.00	19.00	°C		
8	10.20	Horas.	26.00	40.00	38.00	19.00	°C		
9	10.40	Horas.	26.00	41.00	39.00	19.00	°C		
10	11.00	Horas.	28.00	43.00	40.00	19.00	°C		
11	11.20	Horas.	29.00	44.00	43.00	19.00	°C		
12	11.40	Horas.	30.00	45.00	44.00	19.00	°C		
13	12.00	Horas.	30.00	45.00	44.00	19.00	°C		
14	12.20	Horas.	30.00	46.00	45.00	19.00	°C		
15	12.40	Horas.	31.00	46.00	45.00	19.00	°C		
16	13.00	Horas.	32.00	46.00	46.00	19.00	°C		
17	13.20	Horas.	32.00	47.00	47.00	19.00	°C		
18	13.40	Horas.	33.00	48.00	47.00	19.00	°C		
	14.00								
MEDICION FINAL	13.40	Horas.	33.00	48.00	47.00	19.00	°C		
<b>2.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>									
ARROLLAMIENTO INICIAL				T amb. = 18 °C	ARROLLAMIENTO FINAL				T amb. = 0 °C
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA		
U - V	17.65 mV	1 A	17.65 Ω	U - V	20.75 V	1 A	20.75 Ω		
V - W	17.65 mV	1 A	17.65 Ω	V - W	20.75 V	1 A	20.75 Ω		
W - U	17.65 mV	1 A	17.65 Ω	W - U	20.75 V	1 A	20.75 Ω		
<b>7.- TEMPERATURA MEDIA DEL ARROLLAMIENTO</b>									
TEMPERATURA INICIAL (Amb)			18.00 °C			TEMPERATURA SUPERIOR			19.00 °C
TEMPERATURA FINAL (Arrollamiento)			64.79 °C			TEMPERATURA INFERIOR			33.00 °C
						TEMPERATURA MEDIA			20.00 °C
<b>8.- TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE</b>									
						INICIAL			19.00 °C
						FINAL			48.00 °C
									33.00 °C
									47.00 °C
<b>9.- RESUMEN :</b>									
R0 =	Resistencia en frío	17.650	Ω	Pag. 1					
R =	Resistencia en caliente	20.750	Ω	Pag. 3					
⊙ θ =	Temperatura en °C de la resistencia medida en frío R0	18.00	°C	Pag. 1					
⊙ =	Temperatura promedio °C de la resistencia en caliente R	64.79	°C	Pag. 3					
⊙ k=	Devanado de Cobre	235.00		Constante					
⊙ L=	Temperatura del aceite	48.00	°C	Pag. 1					
Δ ⊙ - L=	Resistencia en caliente menos temperatura del aceite	16.79	°C	Pag. 1					
ΔL - t. amb.	Variación de la Temperatura del aceite sobre la temperatura del ambiente.	29.00	°C	Pag. 2	< a 60 °C				
Δ ⊙ / amb.	Variación de la Temperatura del devanado sobre la temperatura del ambiente.	44.79	°C	Pag. 3	< a 65 °C				
OBSERVACIONES : EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02									
DPTO. DE VARIACION Y PRUEBAS			DPTO. TECNICO			SUPERVISOR			26/10/2021
 Ing. Jesus Arzapalo Gambarra Fecha : 26/10/2021			 Fecha : 26/10/2021						

Figura N°31 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA resultados finales

Fuente: Elaboración propia

TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO		F-AC-03-01	
CLIENTE : ELECTRONOROESTE S.A		Versión 02	
OT: 37000797		ACEITE : X	
OBRA: ADJUDICACIÓN SIMPLIFICADA N° 011-2019-FONAFE DERIVADA DE LA LICITACIÓN PÚBLICA N° 006-2018-FONAFE			
CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA			
Marca :	ITESA	Potencia :	100 KVA
Número de Serie :	37000797	Relac. Transformación :	10000 - 22900 / 400 - 231 V
Tipo :	T3DI	Relac. Corriente :	5.77 - 2.52 / 144.3 - 249.9 A
Año de Fabricación :	2021	Grupo de Conexión :	Dyn5 - Dd6
Norma IEC :	60076	Tcc ( % ) :	4.05 4.30 %
Frecuencia :	60 Hz	Taps :	± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5 %
Refrigeración :	ONAN	Altitud m.s.n.m :	4500
Montaje :	EXTERIOR		
Nivel Aislam. Int. AT :	24 / 50 / 125 KV		
Nivel Aislam. Ext. AT :	36 / 70 / 170 KV		
Nivel Aislam. Int. BT :	1 / 2.5 / 7.5 KV		
Nivel Aislam. Ext. BT :	1 / 3 / 10 KV		
Peso del Aceite :	165 Kg.		
Peso Total :	620 Kg.		

Tempo (hora-min)	Variación Tempo (min)	Temperatura del Transformador (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Variación de Temperatura (°C)
8.00	0	20.0	18.00	2.0
8.20	20	19.0	18.00	1.0
8.40	40	23.0	18.00	5.0
9.00	60	27.0	18.00	9.0
9.20	100	31.0	18.00	13.0
9.40	120	34.0	19.00	15.0
10.00	140	36.0	19.00	17.0
10.20	160	38.0	19.00	19.0
10.40	180	39.0	19.00	20.0
11.00	200	40.0	19.00	21.0
11.20	220	43.0	19.00	24.0
11.40	240	44.0	19.00	25.0
12.00	260	44.0	19.00	25.0
12.20	280	45.0	19.00	26.0
12.40	300	45.0	19.00	26.0
13.00	320	46.0	19.00	27.0
13.20	340	47.0	19.00	28.0
13.40	360	47.0	19.00	28.0
		0.0	0.00	0.0
		0.0	0.00	0.0
		0.0	0.00	0.0

El CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02

DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS	DPTO. TECNICO	SUPERVISOR	26/10/2021
 SAC ANDRES TORRES Fecha : 26/10/2021	 Revisado Por Ing. Jesús Arzapalo Gamarrá Fecha : 26/10/2021		

Figura N°32 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA  
 curva de calentamiento del aceite

Fuente: Elaboración propia

Figura N°33 Protocolo de calentamiento transformador trifásico 100kVA  
cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión.

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>		F - AC - 03 - 10		
		VERSION: 02		
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO		O.T. 37000797		
CLIENTE: ELECTRONOROESTE S.A				
TEMPERATURA DE ARROLLAMIENTO EN INSTANTE CERO				
resistencia inicial	temperaua inicial	resistencia final	temperatura final	temperatura amb. Final
17.650 Ω	20 °C	20.75 Ω	64.788 °C	19 °C
		20.45 Ω	60.453 °C	
		20.15 Ω	56.119 °C	
		19.85 Ω	51.785 °C	
		19.55 Ω	47.450 °C	
		19.25 Ω	43.116 °C	

Tiempo (segundo)	Temperatura devanado
20	64.788
40	60.453
60	56.119
80	51.785
100	47.450
120	43.116

**NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7:**  
Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo electrica elevada (L/R), por esta razon lecturas precisas solamente se obtienen despues de cierta demora.  
\*(Por tal razon consideramos apartir de 40 seg)

**TEMPERATURA PUNTO CERO**

RESUMEN:			
Descripcion	medida	valor maximo	
Temperatura del devanado punto cero	64.79 °C		
Resistencia de devanado en punto cero	20.75 Ω		

DPTO. SALA DE PRUEBAS Probado por: Tec. María Ojeda SALA DE PRUEBAS 26/10/2021	DPTO. TECNICO Revisado por: Ing. Jesus Arzapalo Gamagra 26/10/2021	SUPERVISOR 26/10/2021
Fecha:	Fecha:	

**N°2 - Protocolo de calentamiento:**

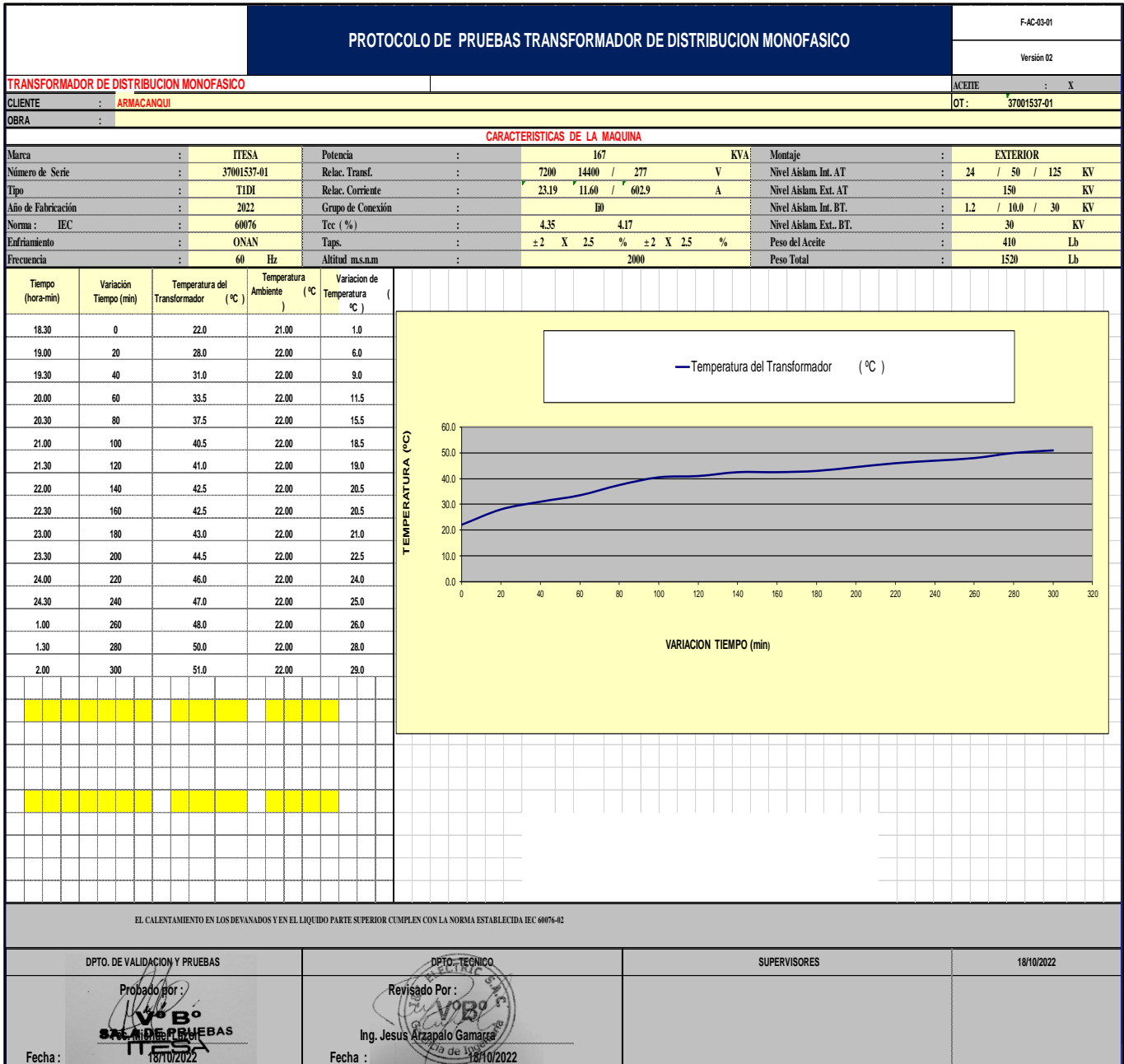
Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0

Fecha: 18/10/2022

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO							F-AC-03-01							
							Versión 02							
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO</b>							ACEITE	: X						
CLIENTE <b>ARMACANQUI</b>							OT:	37001537-01						
LICTACIÓN:														
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>														
Marca	:	ITESA	Potencia	:	167	KVA	Montaje	:	EXTERIOR					
Número de Serie	:	37001537-01	Relac. Transf.	:	7200 / 14400 / 277	V	Nivel Aislam. Int. AT	:	24 / 50 / 125 KV					
Tipo	:	TIDI	Relac. Corriente	:	23.19 / 11.60 / 602.9	A	Nivel Aislam. Ext. AT	:	150 KV					
Año de Fabricación	:	2022	Grupo de Conexión	:	li0		Nivel Aislam. Int. BT.	:	1.2 / 10.0 / 30 KV					
Norma	:	IEC 60076	Tcc (%)	:	4.35 / 4.17		Nivel Aislam. Ext. BT.	:	30 KV					
Enfriamiento	:	ONAN	Taps.	:	± 2 X 2.5 %	± 2 X 2.5 %	Peso del Aceite	:	410 Lb					
Frecuencia	:	60 Hz	Altitud m.s.n.m	:	2000		Peso Total	:	1520 Lb					
<b>1.- MEDIDA DE TEMPERATURAS EN EL TRANSFORMADOR</b>														
MEDICION NUMERO	HORA DE MEDICION		TEMPERATURAS EN EL ACEITE			TEMPERATURA AMBIENTE	GRADOS CENTIGRADOS							
			Punto Inferior	Punto Superior	Punto medio									
1	18.00	Horas.	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	°C						
2	18.30	Horas.	22.00	22.00	22.00	22.00	21.00	°C						
3	19.00	Horas.	25.00	31.00	28.00	22.00	22.00	°C						
4	19.30	Horas.	28.00	34.00	31.00	22.00	22.00	°C						
5	20.00	Horas.	31.00	36.00	33.50	22.00	22.00	°C						
6	20.30	Horas.	34.00	41.00	37.50	22.00	22.00	°C						
7	21.00	Horas.	36.00	45.00	40.50	22.00	22.00	°C						
8	21.30	Horas.	36.00	46.00	41.00	22.00	22.00	°C						
9	22.00	Horas.	37.00	48.00	42.50	22.00	22.00	°C						
10	22.30	Horas.	37.00	48.00	42.50	22.00	22.00	°C						
11	23.00	Horas.	38.00	48.00	43.00	22.00	22.00	°C						
12	23.30	Horas.	38.00	51.00	44.50	22.00	22.00	°C						
13	24.00	Horas.	40.00	52.00	46.00	22.00	22.00	°C						
14	24.30	Horas.	40.00	54.00	47.00	22.00	22.00	°C						
15	1.00	Horas.	40.00	56.00	48.00	22.00	22.00	°C						
16	1.30	Horas.	41.00	59.00	50.00	22.00	22.00	°C						
17	2.00	Horas.	41.00	61.00	51.00	22.00	22.00	°C						
18	2.30	Horas.	41.00	61.00	51.00	22.00	22.00	°C						
MEDICION FINAL	2.30	Horas.	41.00	61.00	51.00	22.00	22.00	°C						
<b>2.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>														
ARROLLAMIENTO INICIAL				T amb. = 22 °C		ARROLLAMIENTO FINAL				T amb. = 22 °C				
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA							
H1 - H2	1.630 mV	1 A	1.63 Ω	H1 - H2	1.95 V	1 A	1.95 Ω							
<b>7.- TEMPERATURA MEDIA DEL ARROLAMIENTO</b>						<b>8.- TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE</b>								
TEMPERATURA INICIAL (Amb)			22.00 °C			TEMPERATURA SUPERIOR			INICIAL			FINAL		
TEMPERATURA FINAL (Arrollamiento)			72.45 °C			TEMPERATURA INFERIOR			22.00 °C			41.00 °C		
TEMPERATURA MEDIA						22.00 °C			51.00 °C					
<b>9.- RESUMEN :</b>														
R0 =	Resistencia en frío	1.630	Ω	Pag. 1										
R =	Resistencia en caliente	1.950	Ω	Pag. 3										
⊙ 0 =	Temperatura en °C de la resistencia medida en frío R0	21.00	°C	Pag 1										
⊙ =	Temperatura promedio °C de la resistencia en caliente R	72.45	°C	Pag 3										
⊙ K=	Devanado de Cobre	235.00		Constante										
⊙ L=	Temperatura del aceite	61.00	°C	Pag. 1										
Δ⊙ - L=	Resistencia en caliente menos temperatura del aceite	11.45	°C	Pag. 1										
ΔL - t. amb.	Variación de la Temperatura del aceite sobre la temperatura del ambiente.	39.00	°C	Pag. 2	< a 60 °C									
Δ⊙ / amb.	variación de la Temperatura del devanado sobre la temperatura del ambiente.	50.45	°C	Pag. 3	< a 65 °C									
OBSERVACIONES : EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02														
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS				DPTO. TECNICO				SUPERVISORES				18/10/2022		
 Ing. Jesus Arzapalo Gamarrá Fecha : 18/10/2022				 Revisado Por : Ing. Jesus Arzapalo Gamarrá Fecha : 18/10/2022										

Figura N°34 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA resultados finales

Fuente: Elaboración propia



*Figura N°35 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA  
curva de calentamiento del aceite*

*Fuente: Elaboración propia*

Figura N°36 Protocolo de calentamiento transformador Monofásico 167kVA  
cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión.

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>		F - AC - 03 - 10		
		VERSION: 02		
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO		O.T. 37001537-01		
CLIENTE: ARMACANQUI				
TEMPERATURA DE ARROLLAMIENTO EN INSTANTE CERO				
resistencia inicial	temperatura inicial	resistencia final	temperatura final	temperatura amb. Final
1.630 Ω	22 °C	1.95 Ω	72.454 °C	21 °C
		1.85 Ω	56.687 °C	
		1.75 Ω	40.920 °C	
		1.65 Ω	25.153 °C	
		1.55 Ω	9.387 °C	
		1.45 Ω	-6.380 °C	

Tiempo (segundo)	Temperatura devanado
20	72.454
40	56.687
60	40.920
80	25.153
100	9.387
120	-6.380

**NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7:**  
Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora.  
\*(Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)

**TEMPERATURA PUNTO CERO**

Series1 Series2 Lineal (Series1)

RESUMEN:			
Descripcion	medida	valor maximo	
Temperatura del devanado punto cero	72.45 °C		
Resistencia de devanado en punto cero	1.95 Ω		

DPTO. SALA DE PRUEBAS Probado por: Tec. Miguel L. SALA DE PRUEBAS Fecha: 18/10/2022	DPTO. TECNICO Revisado Por: Ing. Jesús Arzapalo Gamara  Fecha: 18/10/2022	SUPERVISORES 18/10/2022
---	---	----------------------------



### N°3 - Protocolo de calentamiento:

Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 21/06/2021

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO							F-AC-03-01				
							Versión 02				
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO</b>							ACEITE	: X			
CLIENTE : ELECTRO DUNAS S.A.A.							OT :	37000660-01			
OBRA:											
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>											
Marca	: ITESA	Potencia	: 160	KVA	Montaje	: EXTERIOR					
Número de Serie	: 37000660-01	Relac. Transformación	: 10000 - 22900 / 400 - 231	V	Nivel Aislam. Int. AT	: 24 / 50 / 125	KV				
Tipo	: T3DI	Relac. Corriente	: 9.24 - 4.03 / 230.9 - 399.9	A	Nivel Aislam. Ext. AT	: 36 / 70 / 170	KV				
Año de Fabricación	: 2021	Grupo de Conexión	: Dyn5 - Dd6		Nivel Aislam. Int. BT.	: 1 / 2.5 / 7.5	KV				
Norma IEC	: 60076	Tcc (%)	: 3.64	3.82 %	Nivel Aislam. Ext. BT.	: 1 / 3 / 10	KV				
Frecuencia	: 60 Hz	Taps	: ± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5	%	Peso del Aceite	: 216	Kg.				
Refrigeración	: ONAN	Altitud m.s.n.m	: 1000		Peso Total	: 790	Kg.				
<b>1.- MEDIDA DE TEMPERATURAS EN EL TRANSFORMADOR</b>											
MEDICION NUMERO	HORA DE MEDICION	TEMPERATURAS EN EL ACEITE			TEMPERATURA AMBIENTE	GRADOS CENTIGRADOS					
		Punto Inferior	Punto Superior	Punto medio							
1	8.00 Horas.	19.00	19.00	20.00	18.00	°C					
2	8.20 Horas.	19.00	21.00	19.00	18.00	°C					
3	8.40 Horas.	20.00	28.00	23.00	18.00	°C					
4	9.00 Horas.	21.00	31.00	27.00	18.00	°C					
5	9.20 Horas.	22.00	34.00	31.00	18.00	°C					
6	9.40 Horas.	23.00	37.00	34.00	19.00	°C					
7	10.00 Horas.	24.00	38.00	36.00	19.00	°C					
8	10.20 Horas.	26.00	40.00	38.00	19.00	°C					
9	10.40 Horas.	26.00	41.00	39.00	19.00	°C					
10	11.00 Horas.	28.00	43.00	40.00	19.00	°C					
11	11.20 Horas.	29.00	44.00	43.00	19.00	°C					
12	11.40 Horas.	30.00	45.00	44.00	19.00	°C					
13	12.00 Horas.	30.00	45.00	44.00	19.00	°C					
14	12.20 Horas.	30.00	46.00	45.00	19.00	°C					
15	12.40 Horas.	31.00	46.00	45.00	19.00	°C					
16	13.00 Horas.	32.00	46.00	46.00	19.00	°C					
17	13.20 Horas.	32.00	47.00	47.00	19.00	°C					
18	13.40 Horas.	33.00	48.00	47.00	19.00	°C					
MEDICION FINAL	13.40 Horas.	33.00	48.00	47.00	19.00	°C					
<b>2.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLAMIENTOS:</b>											
ARROLAMIENTO INICIAL			T amb. = 18 °C			ARROLAMIENTO FINAL			T amb. = 0 °C		
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA				
U - V	9.60 mV	1 A	9.60 Ω	U - V	11.50 V	1 A	11.50 Ω				
V - W	9.60 mV	1 A	9.60 Ω	V - W	11.50 V	1 A	11.50 Ω				
W - U	9.60 mV	1 A	9.60 Ω	W - U	11.50 V	1 A	11.50 Ω				
<b>7.- TEMPERATURA MEDIA DEL ARROLAMIENTO</b>				<b>8.- TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE</b>							
TEMPERATURA INICIAL (Amb.)	18.00 °C	TEMPERATURA SUPERIOR	19.00 °C	TEMPERATURA INICIAL	19.00 °C	TEMPERATURA FINAL	48.00 °C				
TEMPERATURA FINAL (Arrolamiento)	70.47 °C	TEMPERATURA INFERIOR	19.00 °C	TEMPERATURA MEDIA	20.00 °C	TEMPERATURA MEDIA	47.00 °C				
<b>9.- RESUMEN :</b>											
R0 =	Resistencia en frío	9.600	Ω	REFERENCIA	Page 1	CONFORMIDAD					
R =	Resistencia en caliente	11.500	Ω	REFERENCIA	Page 3	CONFORMIDAD					
⊙ / θ =	Temperatura en °C de la resistencia medida en frío R0	18.00	°C	REFERENCIA	Page 1	CONFORMIDAD					
⊙ =	Temperatura promedio °C de la resistencia en caliente R	70.47	°C	REFERENCIA	Page 3	CONFORMIDAD					
⊙ k=	Devanado de Cobre	235.00		REFERENCIA	Constante	CONFORMIDAD					
⊙ L=	Temperatura del aceite	48.00	°C	REFERENCIA	Page 1	CONFORMIDAD					
Δ⊙ - L=	Resistencia en caliente menos temperatura del aceite	22.47	°C	REFERENCIA	Page 1	CONFORMIDAD					
ΔL - t. amb.	Variación de la Temperatura del aceite sobre la temperatura del ambiente.	29.00	°C	REFERENCIA	Page 2	CONFORMIDAD	< a 60 °C				
Δ⊙ / amb.	variación de la Temperatura del devanado sobre la temperatura del ambiente.	50.47	°C	REFERENCIA	Page 3	CONFORMIDAD	< a 65 °C				
OBSERVACIONES : EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02											
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS		DPTO. TECNICO		SUPERVISOR		21/06/2021					
 Ing. Jesus Arzapalo Gamarra Fecha : 21/06/2021		 Ing. Jesus Arzapalo Gamarra Fecha : 21/06/2021									

Figura N°37 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA resultados finales

Fuente: Elaboración propia

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO		F-AC-03-01
		Versión 02
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO</b>		ACEITE : X
CLIENTE:	ELECTRODINAS S.A.A.	OT : 37000797
OBRAS:		
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>		
Marca :	ITESA	Potencia : 160 KVA
Número de Serie :	37000797	Relac. Transformación : 10000 - 22900 / 400 - 231 V
Tipo :	T3DI	Relac. Corriente : 9.24 - 4.03 / 230.9 - 399.9 A
Año de Fabricación :	2021	Grupo de Conexión : Dyn5 - Dd6 -
Norma IEC :	60076	Tcc (%) : 4.05 4.30 %
Frecuencia :	60 Hz	Taps : ± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5 %
Refrigeración :	ONAN	Altitud m.s.n.m : 4500
Montaje :	EXTERIOR	
Nivel Aislam. Int. AT :	24 / 50 / 125 KV	
Nivel Aislam. Ext. AT :	36 / 70 / 170 KV	
Nivel Aislam. Int. BT. :	1 / 2.5 / 7.5 KV	
Nivel Aislam. Ext. BT. :	1 / 3 / 10 KV	
Peso del Aceite :	165 Kg.	
Peso Total :	620 Kg.	

Tempo (hora-min)	Variación Tempo (min)	Temperatura del Transformador (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Variación de Temperatura (°C)
8.00	0	20.0	18.00	2.0
8.20	20	19.0	18.00	1.0
8.40	40	23.0	18.00	5.0
9.00	60	27.0	18.00	9.0
9.20	100	31.0	18.00	13.0
9.40	120	34.0	19.00	15.0
10.00	140	36.0	19.00	17.0
10.20	160	38.0	19.00	19.0
10.40	180	39.0	19.00	20.0
11.00	200	40.0	19.00	21.0
11.20	220	43.0	19.00	24.0
11.40	240	44.0	19.00	25.0
12.00	260	44.0	19.00	25.0
12.20	280	45.0	19.00	26.0
12.40	300	45.0	19.00	26.0
13.00	320	46.0	19.00	27.0
13.20	340	47.0	19.00	28.0
13.40	360	47.0	19.00	28.0
		0.0	0.00	0.0
		0.0	0.00	0.0
		0.0	0.00	0.0

— Temperatura del Transformador (°C)

TEMPERATURA (°C)

VARIACION TIEMPO (min)

EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02

DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS

Procedido por  
**SALA DE PRUEBAS**  
**ITESA**

Fecha : 21/06/2021

DPTO. TECNICO

Revisado por  
 Ing. Jesus Arzapalo Gamara

Fecha : 21/06/2021

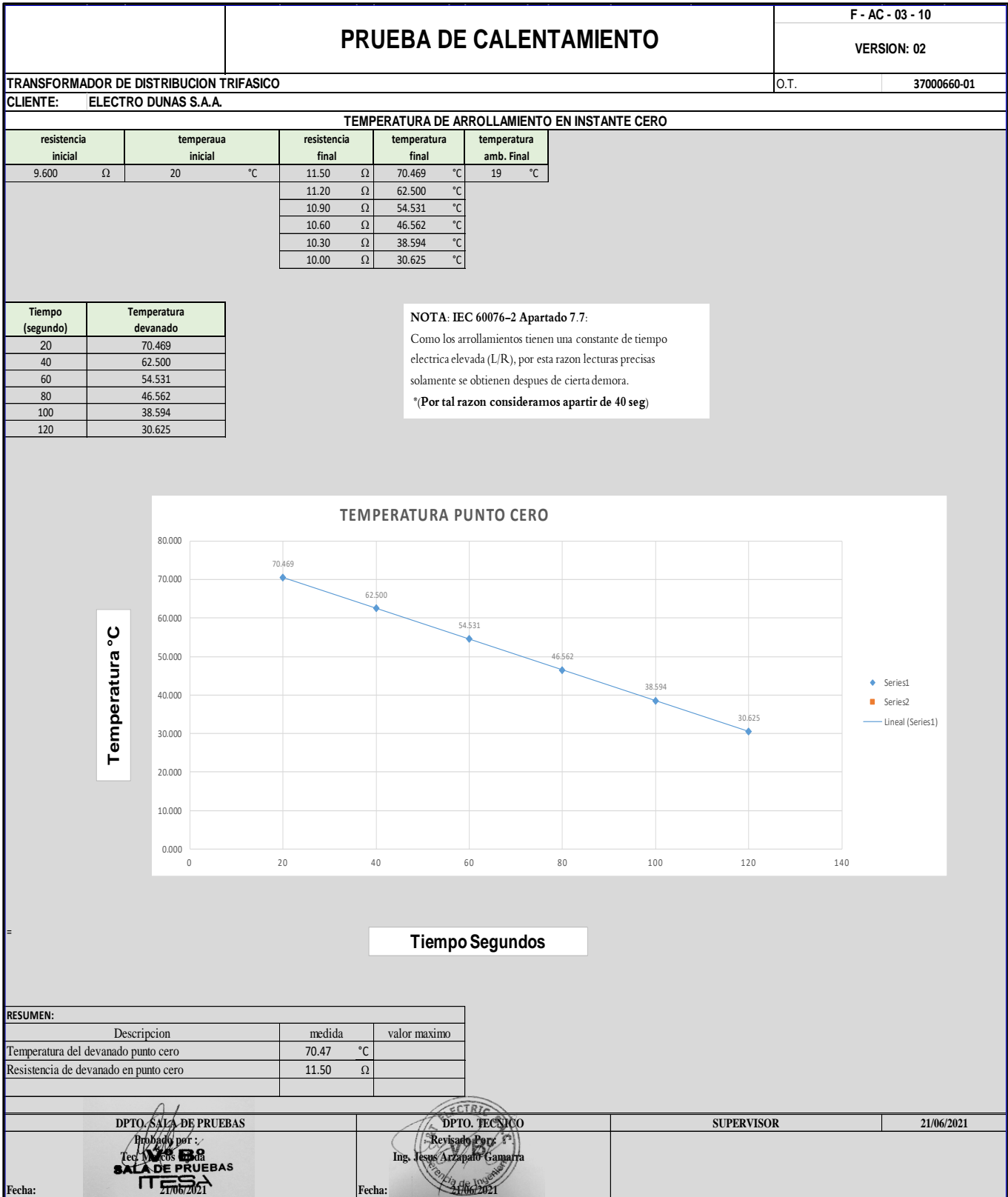
SUPERVISOR

21/06/2021

Figura N°38 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA  
 curva de calentamiento del aceite

Fuente: Elaboración propia

Figura N°39 Protocolo de calentamiento transformador Trifásico 160kVA  
cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión.



N°4 - Protocolo de calentamiento:

Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0

Fecha: 29/03/2021

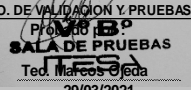
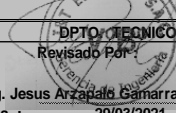
PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO							F-AC-03-01				
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO							Versión 02				
CLIENTE CONSORCIO VIRGEN DEL PRADO						ACEITE	: X				
LICITACIÓN:						OT:	37000536				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA											
Marca	: ITESA	Potencia	: 15	KVA	Montaje	: EXTERIOR					
Número de Serie	: 37000536	Relac. Transf.	: 13200	22900 / 460 - 230 V	Nivel Aislam. Int. AT	: 24	/	50 / 125 KV			
Tipo	: TIDI	Relac. Corriente	: 1.14	0.66 / 32.6 - 65.2 A	Nivel Aislam. Ext. AT	: 36	/	70 / 170 KV			
Año de Fabricación	: 2021	Grupo de Conexión	: I0		Nivel Aislam. Int. BT.	: 1	/	2.5 / 7.5 KV			
Norma	: IEC 60076	Tcc (%)	: 4.03	3.03	Nivel Aislam. Ext. BT.	: 1	/	3 / 10 KV			
Enfriamiento	: ONAN	Taps.	: ± 2 X 4.337	% ± 2 X 2.5 %	Peso del Aceite	: 30 Kg					
Frecuencia	: 60 Hz	Altitud m.s.n.m	: 4500		Peso Total	: 120 Kg					
1.- MEDIDA DE TEMPERATURAS EN EL TRANSFORMADOR											
MEDICION NUMERO	HORA DE MEDICION		TEMPERATURAS EN EL ACEITE			TEMPERATURA AMBIENTE	GRADOS CENTIGRADOS				
			Punto Inferior	Punto Superior	Punto medio						
1	10.40	Horas.	20.00	20.00	20.00	20.00		°C			
2	11.00	Horas.	20.00	22.00	21.00	20.00		°C			
3	11.20	Horas.	21.00	24.00	22.50	20.00		°C			
4	11.40	Horas.	22.00	27.00	24.50	23.00		°C			
5	12.00	Horas.	23.00	29.00	26.00	22.00		°C			
6	12.20	Horas.	25.00	31.00	28.00	22.00		°C			
7	12.40	Horas.	26.00	33.00	29.50	23.00		°C			
8	13.00	Horas.	27.00	42.00	34.50	23.00		°C			
9	13.20	Horas.	29.00	45.00	37.00	23.00		°C			
10	13.40	Horas.	30.00	46.00	38.00	23.00		°C			
11	14.00	Horas.	31.00	48.00	39.50	24.00		°C			
12	14.20	Horas.	32.00	49.00	40.50	24.00		°C			
13	14.40	Horas.	33.00	50.00	41.50	24.00		°C			
14	15.00	Horas.	34.00	52.00	43.00	24.00		°C			
15	15.20	Horas.	35.00	53.00	44.00	24.00		°C			
16	15.40	Horas.	35.00	54.00	44.50	24.00		°C			
17	16.00	Horas.	35.00	55.00	45.00	24.00		°C			
18	16.20	Horas.	36.00	55.00	45.50	24.00		°C			
19	16.40	Horas.	39.00	56.00	47.50	24.00		°C			
20	17.00	Horas.	38.00	56.00	47.00	23.00		°C			
21	17.20	Horas.	38.00	56.00	47.00	24.00		°C			
22	17.40	Horas.	37.00	56.00	46.50	24.00		°C			
23	18.00	Horas.	38.00	56.00	47.00	23.00		°C			
24	18.20	Horas.	38.00	56.00	47.00	23.00		°C			
MEDICION FINAL	18.20	Horas.	38.00	56.00	47.00	23.00		°C			
2.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLAMIENTOS:											
ARROLAMIENTO INICIAL			T amb. = 22 °C			ARROLAMIENTO FINAL			T amb. = 23 °C		
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA				
H1 - H2	171.400 mV	1	A 171.40 Ω	H1 - H2	201.00 V	1	A 201.00 Ω				
7.- TEMPERATURA MEDIA DEL ARROLAMIENTO				8.- TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE							
TEMPERATURA INICIAL (Amb)		22.00 °C		TEMPERATURA SUPERIOR		INICIAL	FINAL				
TEMPERATURA FINAL (Arrolamiento)		66.38 °C		TEMPERATURA INFERIOR		20.00 °C	56.00 °C				
				TEMPERATURA MEDIA		20.00 °C	47.00 °C				
9.- RESUMEN:											
R0 =	Resistencia en frio	171.400 Ω		REFERENCIA	Pag. 1						
R =	Resistencia en caliente	201.000 Ω		REFERENCIA	Pag. 3						
⊙ 0 =	Temperatura en °C de la resistencia medida en frio R0	20.00 °C		REFERENCIA	Pag. 1						
⊙ =	Temperatura promedio °C de la resistencia en caliente R	66.38 °C		REFERENCIA	Pag. 3						
⊙ k=	Devanado de Cobre	235.00		REFERENCIA	Constante						
⊙ L=	Temperatura del aceite	56.00 °C		REFERENCIA	Pag. 1						
Δ⊙ - L=	Resistencia en caliente menos temperatura del aceite	10.38 °C		REFERENCIA	Pag. 1						
ΔL - t. amb.	Variación de la Temperatura del aceite sobre la temperatura del ambiente.	33.00 °C		REFERENCIA	Pag. 2						
Δ⊙ / amb.	Variación de la Temperatura del devanado sobre la temperatura del ambiente.	40.88 °C		REFERENCIA	Pag. 3						
OBSERVACIONES: EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02											
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS		DPTO. TECNICO		SUPERVISORES		29/03/2021					
 Sala de Pruebas Ing. Marcos Ojeda Fecha: 29/03/2021		 Revisado Por: Ing. Jesus Arzapalo Gamarra Fecha: 29/03/2021									

Figura N°40 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA resultados finales

Fuente: Elaboración propia

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO		F-AC-03-01	
		Versión 02	
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO</b>		ACETITE	: X
CLIENTE	: CONSORCIO VIRGEN DEL PRADO	OT:	37000536
OBRERA :			
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>			
Marca	: ITESA	Potencia	: 15 KVA
Número de Serie	: 37000536	Relac. Transf.	: 13200 22900 / 460 - 230 V
Tipo	: TIDI	Relac. Corriente	: 1.14 0.66 / 32.6 - 65.2 A
Año de Fabricación	: 2021	Grupo de Conexión	: 10
Norma	: IEC 60076	Tec (%)	: 4.03 3.03
Enfriamiento	: ONAN	Taps	: ±2 X 4.337 % ±2 X 2.5 %
Frecuencia	: 60 Hz	Altitud m.s.n.m	: 4500
		Peso del Aceite	: 30 Kg
		Peso Total	: 120 Kg
Montaje	: EXTERIOR		
		Nivel Aislam. Int. AT	: 24.0 / 50 / 125 KV
		Nivel Aislam. Ext. AT	: 36 / 70 / 170 KV
		Nivel Aislam. Int. BT.	: 1 / 2.5 / 7.5 KV
		Nivel Aislam. Ext. BT.	: 1 / 3 / 10 KV

Tiempo (hora-min)	Variación Tiempo (min)	Temperatura del Transformador (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Variación de Temperatura (°C)
10:40	0	20.0	20.00	0.0
11:00	20	21.0	20.00	1.0
11:20	40	22.5	20.00	2.5
11:40	60	24.5	23.00	1.5
12:00	80	26.0	22.00	4.0
12:20	100	28.0	22.00	6.0
12:40	120	29.5	23.00	6.5
13:00	140	34.5	23.00	11.5
13:20	160	37.0	23.00	14.0
13:40	180	38.0	23.00	15.0
14:00	200	39.5	24.00	15.5
14:20	220	40.5	24.00	16.5
14:40	240	41.5	24.00	17.5
15:00	260	43.0	24.00	19.0
15:20	280	44.0	24.00	20.0
15:40	300	44.5	24.00	20.5

— Temperatura del Transformador (°C)

TEMPERATURA (°C)

VARIACION TIEMPO (min)

EL CALENTAMIENTO EN LOS DEVANADOS Y EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLEN CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02

DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS

DPTO. TECNICO

SUPERVISORES

29/03/2021

Probado por :  
  
 Fecha : 29/03/2021

Revisado Por :  
  
 Fecha : 29/03/2021

Figura N°41 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA  
 curva de calentamiento del aceite

Fuente: Elaboración propia

Figura N°42 Protocolo de calentamiento Monofásico 15kVA  
cálculo de la temperatura del arrollamiento en media tensión

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>		F - AC - 03 - 10		
		VERSION: 02		
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO		O.T. 37000536		
CLIENTE: CONSORCIO VIRGEN DEL PRADO				
TEMPERATURA DE ARROLLAMIENTO EN INSTANTE CERO				
resistencia inicial	temperatura inicial	resistencia final	temperatura final	temperatura amb. Final
171.400 Ω	22 °C	201.00 Ω	66.383 °C	21 °C
		200.70 Ω	65.933 °C	
		200.40 Ω	65.483 °C	
		200.10 Ω	65.033 °C	
		199.80 Ω	64.583 °C	
		199.50 Ω	64.134 °C	

Tiempo (segundo)	Temperatura devanado
20	66.383
40	65.933
60	65.483
80	65.033
100	64.583
120	64.134

**NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7:**  
 Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora.  
 \*(Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)

**TEMPERATURA PUNTO CERO**

RESUMEN:			
Descripcion	medida	valor maximo	
Temperatura del devanado punto cero	66.38 °C		
Resistencia de devanado en punto cero	201.00 Ω		

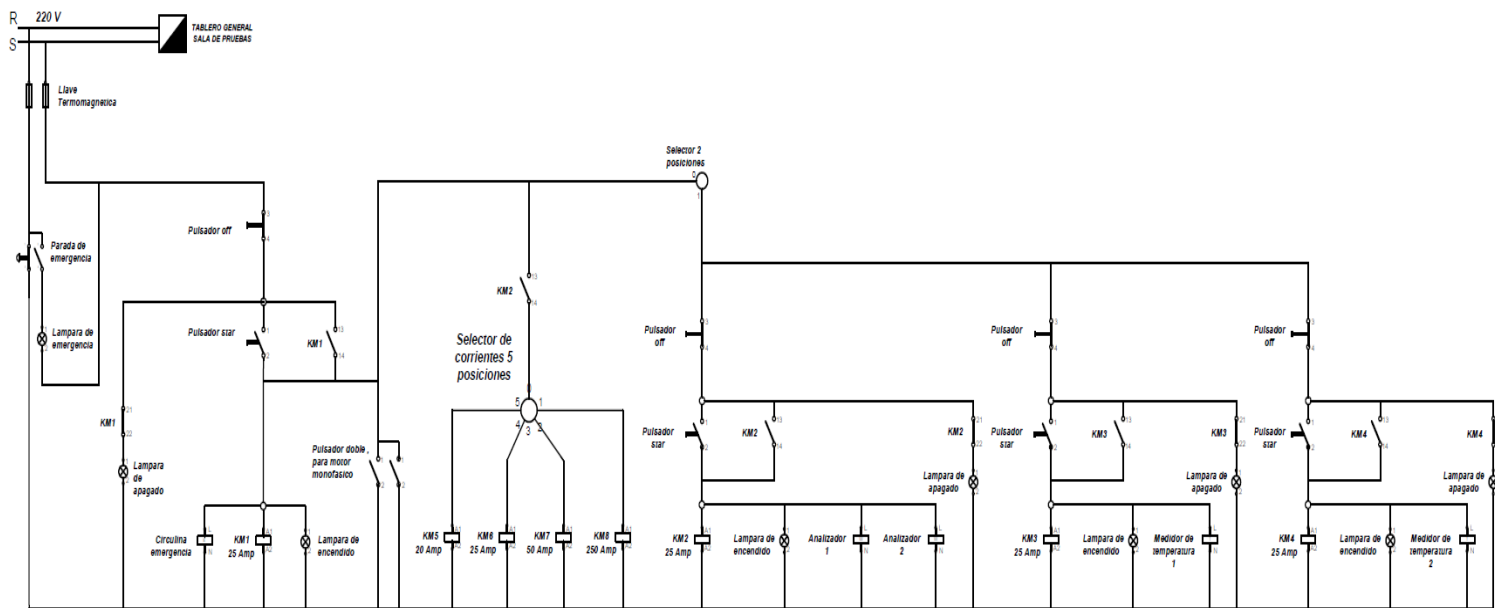
DPTO. SALA DE PRUEBAS Probado por: Tec. MARIO ESP SALA DE PRUEBAS NESA Fecha: 29/03/2021	DPTO. TECNICO Revisado Por: Ing. Jesus Arzapalo Gamarrá Fecha: 29/03/2021	SUPERVISORES 29/03/2021
---	--	----------------------------

### **5.1.3. Módulo eléctrico para prueba de calentamiento**

Para dar solución a la realización de la prueba de calentamiento se realizó el diseño y la fabricación de un módulo eléctrico el cual está equipado con los siguientes accesorios y equipos:

1. Analizadores de redes
2. Medidores de temperatura
3. Sensores de temperatura PT-100
4. Motor regulador de tensión de 90 - 920V, 500 KW
5. Bobinas de corriente de 5 - 20 - 50 - 250 / 5A
6. Bobinas de tensión de 1000 / 220V
7. Computadora y pantalla
8. Pulsadores star y off
9. Lámparas encendido y apagado
10. Selectores
11. Botonera de emergencia
12. Circulina
13. Pulsador doble para controlar motor con inversión de giro 220V
14. Conectores menequees
15. Cable N2XOH tripolar de 25mm<sup>2</sup>
16. Contactores 20A, 25A, 50A y 250A
17. Cámara termográfica
18. Equipo miliohmimetro

# CIRCUITO DE CONTROL



**ENCENDIDO MODULO DE CALENTAMIENTO**

**SELECTOR DE CORRIENTES 5 POSICIONES**

**PRUEBA DE CALENTAMIENTO**

	<b>Parada de emergencia</b>		<b>Contacto abierto de contactor</b>
	<b>Pulsador off</b>		<b>Contacto cerrado de contactor</b>
	<b>Pulsador star</b>		<b>Alimentación Circulina de emergencia</b>
	<b>Selector de 2 posiciones</b>		<b>Alimentación Analizador (Medidor multifunción)</b>
	<b>Lampara apagado - encendido</b>		<b>Alimentación monitor de temperatura</b>
	<b>Bobina de contactor</b>		<b>Selector de corrientes 5 posiciones</b>

Figura N°43 Circuito de control, Módulo eléctrico para la prueba de calentamiento

Fuente: Elaboración propia



# CIRCUITO DE FUERZA

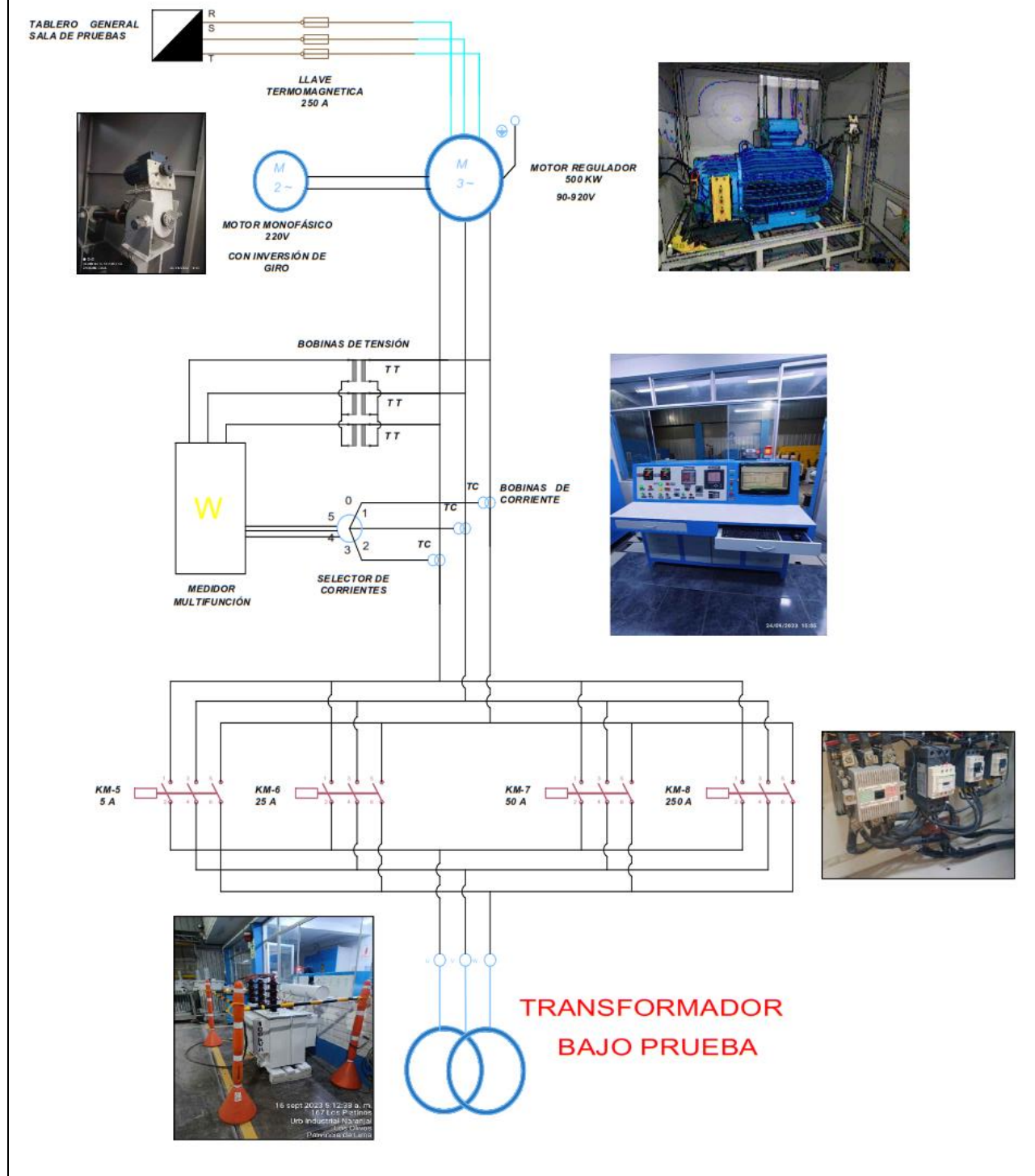


Figura N°44 Circuito de fuerza, Módulo eléctrico para la prueba de calentamiento

Fuente: Elaboración propia



*Figura N°45 Módulo eléctrico vista frontal*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°46 Módulo eléctrico vista superior y lateral*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°47 Módulo eléctrico con todo su equipamiento, cámara termográfica y miliohmimetro digital*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°48 Módulo eléctrico salida de sensores de temperatura y vista trasera*

*Fuente: Elaboración propia*

El objetivo del módulo eléctrico es obtener datos y parámetros correctos durante la prueba de calentamiento, estos parámetros se obtienen de manera correcta, siguiendo las pautas que nos da la normatividad NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 - 01:

Se obtiene el protocolo del transformador a prueba, se verifican los valores de pérdidas del arrollamiento a 75°C y las pérdidas del núcleo magnético, así obtener las pérdidas totales que serán visualizados en el analizador de redes N°2 ya que analizador de redes N°1 es para verificar la alimentación del módulo eléctrico y motor regulador. Además, por la potencia del transformador obtenemos su corriente nominal y su tensión de cortocircuito.



*Figura N°49 Encendido del módulo eléctrico y Regulación de pérdidas totales*

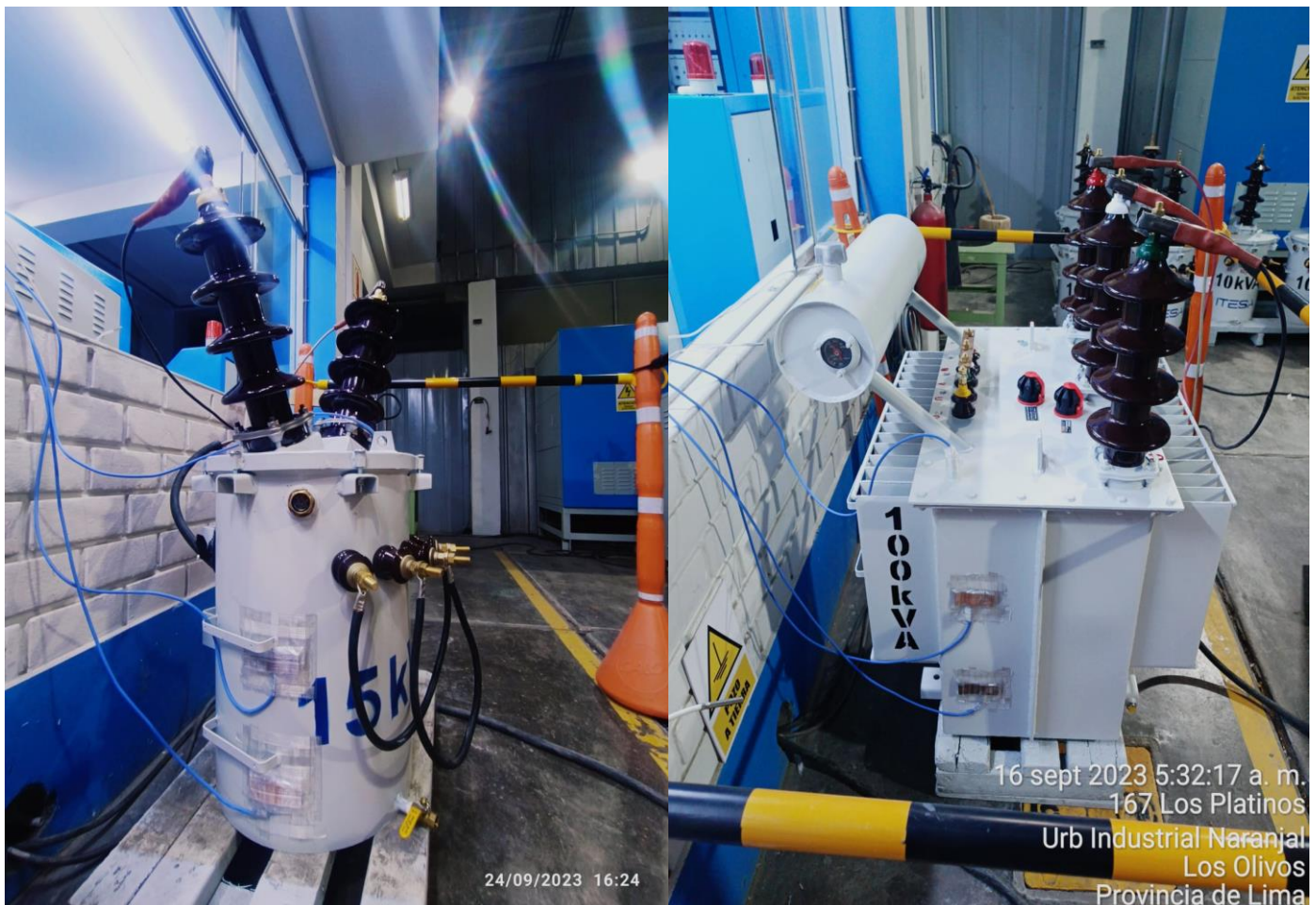
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°50 Selección de corriente e Inyección de pérdidas a transformador*

*Fuente: Elaboración propia*

Se prepara el transformador a prueba verificando siempre el nivel de aceite, también la visualización del pozo termométrico en caso de transformadores trifásicos y válvula de purga en caso de Monofásicos, una vez verificado esto se procede a la colocación de los sensores de temperatura PT-100 los cuales son colocados con una placa metálica de cobre y colocados con ayuda de cinta filamentada que se usa para bobinar los devanados, se pone en la parte superior, media e inferior del transformador, también se colocan 3 sensores alrededor del transformador para verificar la temperatura ambiente dentro del área y el uso de un higrómetro digital para verificar temperatura y humedad durante la prueba.



*Figura N°51 Montaje de sensores de temperatura PT-100 a transformador trifásico y monofásico*

Se procede a medir la resistencia de los arrollamientos del transformador a prueba verificando la temperatura y humedad con el higrómetro digital, para posteriormente poner en estado de cortocircuito el transformador, colocar los cables de inyección por el lado de media tensión y delimitar el área de trabajo donde está ubicado el transformador.



*Figura N°52 Medición de arrollamientos antes de la prueba y Colocación de cables de prueba*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°53 Anotación de valores en protocolo de calentamiento y Medición de la temperatura y humedad*

*Fuente: Elaboración propia*

En la primera parte de la prueba consiste en inyectar al transformador sus pérdidas totales que son la suma de las pérdidas del arrollamiento a 75°C y las del núcleo magnético e ir tomando medidas de las temperaturas superior, media, inferior y las de ambiente con los sensores PT - 100 y la cámara termográfica que tiene equipado el módulo eléctrico, estas medidas con diferentes equipos se hace para contrastar estos valores y obtener un valor medio significativo para esta prueba, además con el analizador de redes vamos ir observado los valores de pérdidas totales que este dentro del valor calculado e ir variando si es necesario para tener los valores de perdidas estables. Esta primera parte termina cuando la temperatura a se estabiliza y no varie su valor por 1 hora.



*Figura N°54 Cables de pruebas para el transformador y Delimitación del área de trabajo*

Luego para la segunda etapa se procederá a trabajar con la corriente nominal del transformador que se calcula con los datos de potencia y tensión en media del transformador, esta prueba se hará por 1 hora, después de pasado este tiempo se procede a apagar el módulo y desconectar el transformador para tomar medidas de arrollamientos en media y baja tensión de manera continua.

Todos estos valores de temperaturas y resistencias son anotados en tiempo real en la computadora del módulo eléctrico directamente al protocolo de calentamiento el cual conta de 6 páginas donde nos vota los valores reales y de acuerdo a la normatividad.



*Figura N°55 Medidas de la temperatura con cámara termográfica*

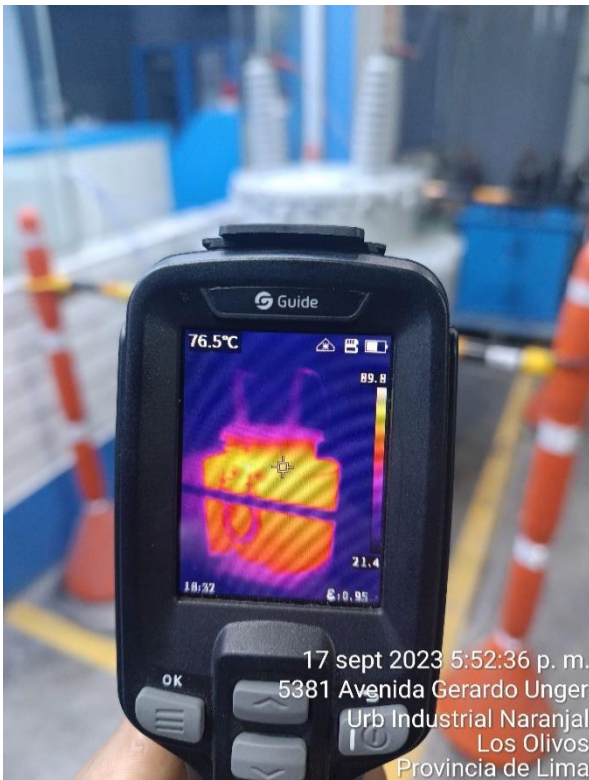
*Fuente: Elaboración propia*



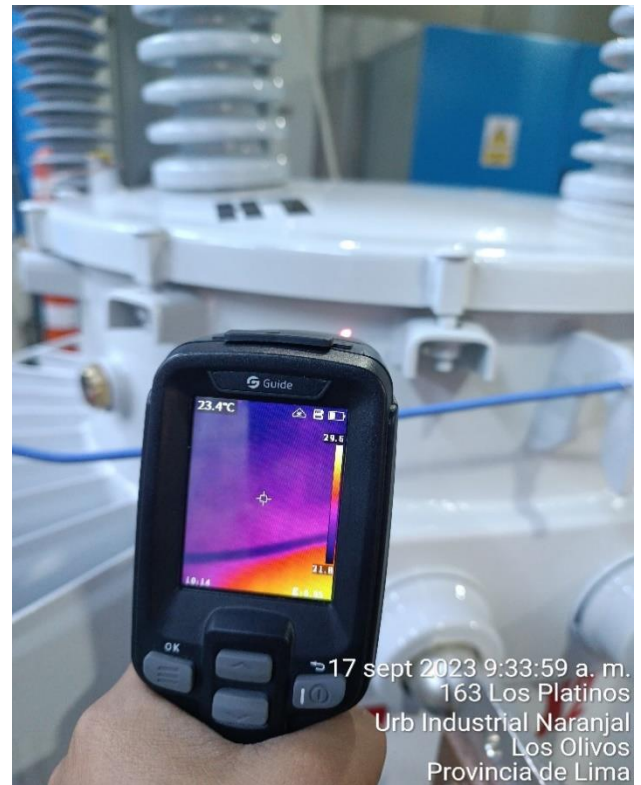
*Figura N°56 Medición de temperatura media*

*Fuente: Elaboración propia*





*Figura N°57 Temperatura media de transformador monofásico*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°58 Temperatura superior transformador monofásico*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°59 Temperatura inferior transformador trifásico*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°60 Temperatura media de transformador trifásico*



Figura N°61 Medidor de temperatura, medida del aceite superior y ambiente 1 - Medidor de temperatura, medida del aceite inferior y ambiente 3

Fuente: Elaboración propia



Figura N°62 Analizador de redes N°2, verificación de tensión y corriente en tablero general de sala de pruebas y Analizador de redes N°1, inyección de pérdidas totales y factor de potencia de la prueba

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.4. Realización de la prueba de calentamiento utilizando el módulo eléctrico y el nuevo protocolo

#### Muestra N°1 - Nuevo protocolo de calentamiento:

Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5

Fecha: 15/09/2023

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO										F-AC-03-01	
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO										Versión 02	
CLIENTE : L & M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA										ACEITE : X	
OBRA :										OT : 37002084	
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>											
Marca :	ITESA	Potencia :	100	KVA	Montaje :	EXTERIOR					
Número de Serie :	37002084	Relac. Transformación :	10000 - 22900 / 400 - 231	V	Nivel Aislam. Int. AT :	24 / 50 / 125 KV					
Tipo :	T3DI	Relac. Corriente :	5.77 - 2.52 / 144.34	A	Nivel Aislam. Ext. AT :	170 KV					
Año de Fabricación :	2023	Grupo de Conexión :	Dyn5	Dyn5	Nivel Aislam. Int. BT :	1.1 / 3.0 / KV					
Norma IEC :	60076	Tcc (%) :	3.81	3.84	%	Nivel Aislam. Ext. BT :	- / - / - KV				
Frecuencia :	60 Hz	Taps :	± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5		%	Peso del Aceite :	170 Kg.				
Refrigeración :	ONAN	Altitud m.s.n.m :	4500			Peso Total :	610 Kg.				
1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :										T amb. = 22.3 °C	
DENOMINACION		AT - BT			AT - Masa			BT - Masa			
M - Ohmios	24500	M - Ohm.	28000	M - Ohm.	1000	M - Ohm.	1000	M - Ohm.			
VDC	5000	VDC	5000	VDC	1000	VDC	1000	VDC			
2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO ( 10000 / 400 )											
POS.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA U - V / n - u	ERROR DE RELACION (%)	RELACION MEDIDA V - W / n - v	ERROR DE RELACION (%)	RELACION MEDIDA W - U / n - w	ERROR DE RELACION (%)	GRUPO			
1	45.466	45.641	-0.38	45.652	-0.41	45.649	-0.40	Dyn5			
2	44.384	44.474	-0.20	44.483	-0.22	44.452	-0.15	Dyn5			
3	43.301	43.330	-0.07	43.339	-0.09	43.318	-0.04	Dyn5			
4	42.219	42.193	0.06	42.196	0.05	42.213	0.01	Dyn5			
5	41.136	41.019	0.29	41.014	0.30	41.027	0.27	Dyn5			
2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO ( 22900 / 400 )											
POS.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	GRUPO			
1	104.118	103.820	0.29	103.860	0.25	103.860	0.25	Dyn5			
2	101.639	101.460	0.18	101.490	0.15	101.460	0.18	Dyn5			
3	99.160	99.159	0.00	99.485	-0.33	99.204	-0.04	Dyn5			
4	96.681	96.923	-0.25	96.921	-0.25	96.969	-0.30	Dyn5			
5	94.202	94.569	-0.39	94.605	-0.43	94.625	-0.45	Dyn5			
3.- MEDIDA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :										T amb. ( °C )	
										22.3	
										IEC 60156	
										KV	
										50	
										ACEITE FLUIDO FR3	
4.- PRUEBA EN VACIO :											
POS.	VOLTIOS		CV = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS		CW = 1	
COM.	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	TOTAL		
3	400	400	400	1.77	1.5	1.64		425	425		
5.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :											
ARROLLAMIENTO DE BT			ARROLLAMIENTO DE AT			10 KV.	ARROLLAMIENTO DE AT			22.9 KV.	
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA
u - n	11.7 mV	1 A	11.7 mΩ	U - V	17.01 V	1 A	17.0 Ω	U - V	78.86 V	1 A	78.9 Ω
v - n	11.7 mV	1 A	11.7 mΩ	V - W	16.97 V	1 A	17.0 Ω	V - W	79.32 V	1 A	79.3 Ω
w - n	11.7 mV	1 A	11.7 mΩ	W - U	17.09 V	1 A	17.1 Ω	W - U	25.79 V	1 A	25.8 Ω
6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO : 10 KV. T amb. = 22.3 °C											
POS.	VOLTIOS		CV = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS		CW = 1	
COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	TOTAL	Pcu WATTS	Tcc (%)
3	372.2	372.2	372.17	5.86	5.68	5.77		1489.3	1489.3	1489.3	3.72
6.1- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO : 22.9 KV. T amb. = 22.3 °C											
COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	TOTAL	Pcu WATTS	Tcc (%)
3	869.7	869.7	871	2.56	2.47	2.53		1421.5	1421.4846	1421.48	3.80
7.- PRUEBA DE TENSION INDUCIDA :											
VOLTIOS			Hz.	Amp.	SEGUNDOS	AT / BT - M	50 KV	7.19 A	60 Seg.		
800			120	1.00	60	BT / AT - M	3 KV	1.04 A	60 Seg.		
9.- RESUMEN :											
CALCULADO				MEDIDO				GARANTIZADO		TOLERANCIA (%)	
				10 KV	22.9 KV						
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )				425.00	425.00					+ 15	
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )				1693.10	1536.77					+ 15	
Tcc a 75 °C (%)				3.81	3.84					+ - 10	
Io a Vnom, Fnom (%)				1.13	1.13					+ 30	
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )				1480.86	1417.21						
Tcc a 20 °C (%)				3.72	3.80						
OBSERVACIONES :											
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS			DPTO. TECNICO			SUPERVISOR			15/09/2023		
Probado por :			Revisado Por :								
Ing. Jesus Arzapalo Camarra			Ing. Jesus Arzapalo Camarra								
Fecha : 15/09/2023			Fecha : 15/09/2023								

Figura N°63 Protocolo de pruebas de rutina, transformador

trifásico 100 kVA

Fuente: Elaboración propia

## Revisión del protocolo de rutina y preparación de transformador:

Se revisó el protocolo de pruebas para calcular las pérdidas totales, se ubicó el transformador en el área delimitada para la prueba, se instalaron los sensores de temperatura y se midió la resistencia de arrollamientos en media y baja tensión, para después proceder a ponerlo en estado de cortocircuito y proceder con la prueba en pérdidas totales.



*Figura N°64 Colocación de placa metálica de cobre, Colocación de sensor de temperatura y Montaje con cinta filamentada, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°65 Sensor en pozo termométrico, temp. Superior transformador hermetizado, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura N°66 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de baja tensión, 100 kVA**

Fuente: Elaboración propia



**Figura N°67 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de media tensión, 100 kVA**

Fuente: Elaboración propia



**Figura N°68 Medición de resistencia media y baja tensión, 100 kVA**

Fuente: Elaboración propia



Figura N°69 Pérdidas totales y factor de potencia, Tensiones de pérdidas totales y Corrientes de pérdidas totales, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°70 Temperatura superior y ambiente N°1 y Temperatura media y ambiente N°2, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°71 Temperatura inferior y ambiente N°3, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia

## Registro de temperaturas hasta la estabilización:

Se realizó el registro de temperaturas tanto con los medidores de temperatura, la cámara termográfica y el higrómetro digital, cada 20 minutos hasta la estabilización de las temperaturas en el transformador.



*Figura N°72 Temperatura superior cámara termográfica y Temperatura media cámara termográfica, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°73 Temperatura inferior cámara termográfica, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°74 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba y Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°75 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*





Figura N°76 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia

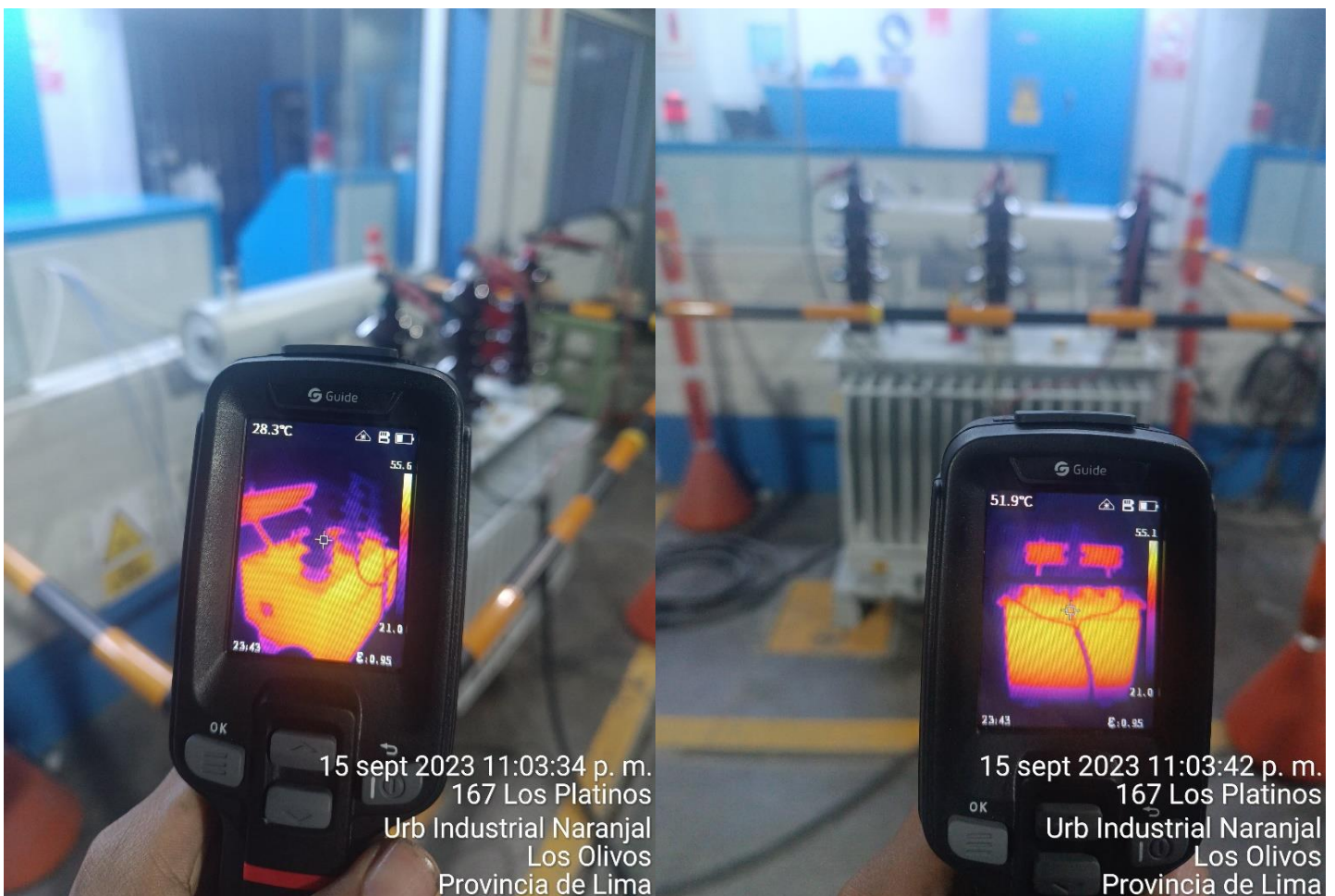


Figura N°77 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia

### Corriente nominal:

Luego que las temperaturas se han estabilizado se procedió con la inyección de la corriente nominal del transformador por 1 hora.



Figura N°78 Tensiones a corriente nominal y Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°79 Perdidas a corriente nominal y Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 100 kVA

Fuente: Elaboración propia

**Resistencia de arrollamientos en caliente:**

Después del término de la hora en corriente nominal se procedió con la desernegización del transformador, desconexión del estado de cortocircuito y medición de las resistencias de arrollamientos en media y baja tensión, se hizo en el devanado central en media tensión fase V - W y en baja n - v.



*Figura N°80 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°81 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 100 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

# Protocolo de calentamiento:

## PRUEBA DE CALENTAMIENTO

PRUEBA DE CALENTAMIENTO										Tipo de enfriamiento					
Cliente: L & M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL										Aceite		60 °C			
ORDEN DE TRABAJO: 37002084										16/09/2023					
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>															
Marca	ITESA	POTENCIA	100.00	KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV					
Fecha	16-Set-23	Volt-MT	10000	22900 V	Numero terminales MT	3	Und	Numero terminales BT	4	Und					
Nro de serie	37002084	Volt-BT	400	231 V	Montaje	Exterior		Altura de operación	4500	msnm					
TIPO	T3DI	Amp-MT	5.77	2.52 A	Peso del aceite	170	Kg	Peso parte activa	310	Kg					
Nro de fases	3	Amp-BT	144.34	249.94 A	Peso Total	610	Kg								
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00												
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50	2.50											
Grupo de conexión	Dyn5	Vcc (%)	3.81	3.84											
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02, IEC 60076-01												
<b>1. DATOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS (PERDIDAS DEL TRANSFORMADOR)</b>															
Perdidas del núcleo:	425	W	Factor k de perdidas:	1.12	K	Corriente perdidas totales:	6.46	A							
Perdidas del cobre 75°C:	1693	W	Corriente de cortocircuito:	5.77	A	Tensión perdidas totales:	426.15	V							
Perdidas totales:	2118	W	Tensión de cortocircuito:	381.00	V	Temp. Max Aceite corregida	51.25	°C							
<b>RESISTENCIAS MT - R1 (Ω)</b>	<b>RESISTENCIAS BT - R2 (Ω)</b>	<b>RESISTENCIA EQUIVALENTE (Ω)</b>			<b>PERDIDAS I<sup>2</sup>R (W)</b>			<b>PRUEBA DE CORTOCIRCUITO (W)</b>							
17.007	0.01174	Req D-Y:	$Req\ I\phi = \left(\frac{R1}{3}\right) + R2 + (Vp/Vs)^2$		Perd. 3Ø - Tamb	1301		Perd. 3Ø - Tamb	1489						
16.967	0.01174	Req Y-Y:	$Req\ I\phi = (R1) + R2 + (Vp/Vs)^2$		Perd. 3Ø - 75°C	1568		Perd. 3Ø - 75°C	1693						
17.093	0.01174	Req 1Ø - Tamb	13.01	Ω	Perd. Adicionales	188		Perd. Adicionales	125						
17.022	0.01174	Req 1Ø - 75°C	15.68	Ω	Temp. Amb			75°C							
<b>EQUIVALENTE (R1/3)</b>	<b>EQUIVALENTE R2*</b>	Perd. 1Ø - Tamb	433.72	W	<b>PRUEBA DE VACIO (W)</b>										
5.67	0.01174	Perd. 1Ø - 75°C	522.55	W	Perd. Vacio 1Ø - Tamb	425	W								
<b>2. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A PERDIDAS TOTALES</b>															
Hora	Análizador de redes				Monitor de temperatura y Camara termica						Monitor de temperatura			Termohigrometro	
	I. Perd. Totales (Ip)	V. Perd. totales (Vp)	Fdp cosφ	Perdidas totales (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
07:20:00 p. m.	6.63	450.05	0.41	2120	24.00	23.40	24.00	24.01	22.00	22.10	22.00	22.00	22.00	68.30	23.00
07:40:00 p. m.	6.61	430.22	0.43	2118	27.00	27.20	26.00	26.20	23.00	23.02	22.00	22.00	22.00	68.30	23.10
08:00:00 p. m.	6.59	431.75	0.43	2118	31.00	31.00	29.00	29.00	25.00	25.60	22.00	22.00	22.00	65.70	23.30
08:20:00 p. m.	6.56	434.75	0.43	2123	35.00	36.10	32.00	34.40	28.00	28.80	22.00	22.00	22.00	65.30	23.20
08:40:00 p. m.	6.52	426.87	0.44	2120	39.00	39.30	36.00	37.50	30.00	30.80	22.00	22.00	22.00	63.20	23.20
09:00:00 p. m.	6.49	428.91	0.44	2122	41.00	42.10	38.00	40.30	32.00	34.40	22.00	22.00	22.00	62.90	23.20
09:20:00 p. m.	6.46	430.21	0.44	2118	43.00	45.10	40.00	43.60	33.00	36.80	22.00	22.00	22.00	64.20	23.20
09:40:00 p. m.	6.46	431.23	0.44	2123	46.00	46.90	41.00	45.20	35.00	38.30	22.00	22.00	22.00	66.20	23.40
10:00:00 p. m.	6.43	422.79	0.45	2120	47.00	48.90	42.00	47.10	36.00	38.50	22.00	22.00	22.00	63.20	23.60
10:20:00 p. m.	6.40	424.99	0.45	2120	49.00	50.50	44.00	48.90	37.00	41.50	22.00	22.00	22.00	62.60	23.70
10:40:00 p. m.	6.41	424.33	0.45	2120	50.00	51.60	45.00	49.90	38.00	41.90	22.00	22.00	22.00	64.90	23.30
11:00:00 p. m.	6.39	426.89	0.45	2125	51.00	53.40	46.00	51.60	39.00	44.00	22.00	22.00	22.00	64.00	23.60
11:20:00 p. m.	6.38	425.95	0.45	2117	52.00	54.40	46.00	52.60	40.00	46.20	22.00	22.00	22.00	65.00	23.50
11:40:00 p. m.	6.38	426.73	0.45	2122	54.00	54.80	47.00	53.20	40.00	45.70	22.00	22.00	22.00	63.80	23.40
12:00:00 p. m.	6.37	427.58	0.45	2124	54.00	55.50	47.00	53.90	40.00	45.70	22.00	22.00	22.00	61.80	23.60
12:20:00 a. m.	6.37	426.97	0.45	2121	54.00	56.10	48.00	54.40	42.00	47.00	22.00	22.00	22.00	63.10	23.20
12:40:00 a. m.	6.35	426.54	0.45	2121	54.00	56.10	48.00	56.10	42.00	47.40	22.00	21.00	23.00	63.90	23.10
01:00:00 a. m.	6.37	417.12	0.46	2117	55.00	56.70	48.00	56.90	42.00	47.40	22.00	21.00	22.00	63.40	23.10
01:20:00 a. m.	6.35	418.85	0.46	2118	55.00	57.50	49.00	58.00	42.00	48.30	22.00	21.00	23.00	63.20	23.10
01:40:00 a. m.	6.35	419.45	0.46	2121	55.00	57.70	49.00	58.30	43.00	48.30	22.00	21.00	23.00	62.00	23.20
02:00:00 a. m.	6.35	419.45	0.46	2121	56.00	57.90	49.00	58.50	43.00	49.30	22.00	21.00	23.00	63.30	23.00
02:20:00 a. m.	6.33	419.54	0.46	2117	56.00	58.50	49.00	58.70	43.00	49.50	22.00	21.00	22.00	62.00	22.90
02:40:00 a. m.	6.34	419.07	0.46	2118	56.00	58.90	50.00	57.10	43.00	49.90	22.00	21.00	23.00	61.80	23.20
03:00:00 a. m.	6.35	419.64	0.46	2122	57.00	59.00	50.00	57.30	44.00	50.80	22.00	21.00	23.00	62.70	23.00
03:20:00 a. m.	6.34	419.67	0.46	2121	57.00	59.10	50.00	57.50	44.00	50.40	22.00	21.00	23.00	63.20	22.90
03:40:00 a. m.	6.34	420.26	0.46	2124	57.00	59.30	50.00	57.70	44.00	50.40	22.00	21.00	23.00	64.10	23.00
04:00:00 a. m.	6.34	419.29	0.46	2118	57.00	59.50	50.00	58.00	44.00	50.80	22.00	21.00	23.00	65.00	23.00
04:20:00 a. m.	6.33	419.56	0.46	2116	57.00	59.40	50.00	58.20	44.00	50.40	22.00	21.00	23.00	67.40	23.00
<b>Medición Final Perdidas de prueba</b>	<b>6.33</b>	<b>419.56</b>	<b>0.46</b>	<b>2116</b>	<b>58.20</b>		<b>54.10</b>		<b>47.20</b>		<b>22.25</b>			<b>67.40%</b>	
<b>3. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A CORRIENTE NOMINAL</b>															
Hora	I. Nominal (In)	Tensión a In (Vin)	Fdp cosφ	Perdidas a In (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
	5.75	383.08	0.46	1755	57.00	59.50	50.00	57.95	44.00	50.80	22.00	21.00	23.00	66.70	23.00
04:35:00 a. m.	5.77	379.36	0.46	1745	57.00	59.30	50.00	57.90	44.00	50.40	22.00	21.00	23.00	67.20	22.90
04:40:00 a. m.	5.76	379.36	0.46	1742	57.00	59.25	50.00	57.50	44.00	50.20	22.00	21.00	22.00	67.40	22.95
04:45:01 a. m.	5.77	378.92	0.46	1743	57.00	59.20	50.00	57.25	43.00	50.00	22.00	21.00	22.00	67.50	22.98
04:50:01 a. m.	5.77	386.90	0.45	1740	57.00	59.20	50.00	57.10	43.00	49.80	22.00	21.00	22.00	67.80	23.00
04:55:00 a. m.	5.78	388.23	0.45	1750	56.00	59.00	50.00	57.00	43.00	49.81	22.00	21.00	22.00	68.00	23.00
05:00:00 a. m.	5.77	387.34	0.45	1743	56.00	58.70	50.00	56.90	43.00	49.80	22.00	21.00	22.00	68.50	22.90
05:05:00 a. m.	5.78	386.67	0.45	1743	56.00	58.50	49.00	56.80	43.00	49.70	22.00	21.00	22.00	68.80	23.00
05:10:00 a. m.	5.78	386.90	0.45	1743	56.00	58.10	49.00	56.10	43.00	49.70	22.00	21.00	22.00	68.90	22.90
05:15:00 a. m.	5.77	387.12	0.45	1742	56.00	58.00	49.00	56.00	43.00	48.65	22.00	21.00	22.00	69.00	22.90
05:20:00 a. m.	5.79	388.00	0.45	1752	56.00	57.80	49.00	55.80	43.00	48.88	22.00	21.00	22.00	69.50	22.85
05:25:00 a. m.	5.79	389.78	0.45	1758	56.00	57.75	49.00	55.45	43.00	48.87	22.00	21.00	22.00	69.80	22.90
05:30:00 a. m.	5.80	388.66	0.45	1756	56.00	57.70	49.00	55.30	43.00	48.90	22.00	21.00	22.00	70.10	22.65
05:30:00 a. m.	5.80	388.66	0.45	1756	56.00	57.70	49.00	55.30	43.00	48.90	22.00	21.00	22.00	70.20	22.50
<b>Medición Final Corriente nominal</b>	<b>5.80</b>	<b>388.66</b>	<b>0.45</b>	<b>1756.00</b>	<b>56.85</b>		<b>52.15</b>		<b>45.95</b>		<b>21.88</b>			<b>70.20%</b>	
<b>4. MEDIDAS DE LOS ARROLAMIENTOS</b>															
MEDIA TENSION : 10 Kv						BAJA TENSION: 6.4 Kv									
ARROLAMIENTO INICIAL: T ambiente 22.3 °C						ARROLAMIENTO INICIAL: T ambiente 22.3 °C									
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA
U - V	17.01 mV	1 A	17.01 Ω	u - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω	U - V	17.01 mV	1 A	17.01 Ω	u - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω
V - W	16.97 mV	1 A	16.97 Ω	v - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω	V - W	16.97 mV	1 A	16.97 Ω	v - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω
U - W	17.09 mV	1 A	17.09 Ω	w - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω	U - W	17.09 mV	1 A	17.09 Ω	w - n	11.7 mV	1 A	0.0117 Ω
<b>5. TEMPERATURAS DEL ACEITE</b>												<b>6. RESULTADOS DE LA TEMPERATURA Y CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b>			
INICIAL	FINAL (PERD TOTAL)	FINAL (PERD NOM)	Temperatura media del aceite (Tam)	52.7 °C											
Temperatura superior	23.70	58.20	Temperatura media despues de la desconexion (Tamd)	51.4 °C											
Temperatura media	24.01	54.10	Calentamiento de la parte superior (ΔTa)	36.0 °C											
Temperatura inferior	22.05	47.20	Calentamiento medio del aceite (ΔTm)	30.5 °C											
Temperatura ambiente	22.25	22.25	Calentamiento medio del aceite despues de la desconexion (ΔTmd)	29.5 °C											
Humedad %	68.60%	67													

Figura N°83 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 100 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>					
Cliente: <b>L &amp; M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL</b> ORDEN DE TRABAJO: <b>37002084</b>				Tipo de enfriamiento <b>Aceite 60 °C</b>	
<b>16/09/2023</b>					
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR					
Marca: <b>ITESA</b> Fecha: <b>16-Set-23</b> Nro de serie: <b>37002084</b> TIPO: <b>T3DI</b> Nro de fases: <b>3</b> Enfriamiento: <b>ONAN</b> Clase de aislam.: <b>A</b> Grupo de conexión: <b>Dyn5</b> Frecuencia: <b>60</b>	POTENCIA: <b>100 KVA</b> Volt-MT: <b>10000 22900 V</b> Volt-BT: <b>400 231 V</b> Amp-MT: <b>5.77 2.52 A</b> Amp-BT: <b>144.34 249.94 A</b> Nro. de taps.: <b>5.00</b> % de reg: <b>2.50 2.50</b> Vcc (%): <b>3.81 3.84</b> Normas: <b>IEC 60076-02 - IEC 60076-01</b>	Nivel Aislam. Int. MT: <b>24 / 50 / 125 KV</b> Nivel Aislam. Int. BT: <b>1.1 / 3 / - KV</b> Numero terminales MT: <b>3 KV</b> Numero terminales BT: <b>4 KV</b> Montaje: <b>Exterior</b> Altura de operación: <b>4500 msnm</b> Peso del aceite: <b>170 Kg</b> Peso parte activa: <b>310 Kg</b> Peso Total: <b>620 Kg</b>			
CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE					
PERDIDAS TOTALES:					
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente ( °C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	
07:20:00 p. m.	0	23.70	22.25	1.45	
07:40:00 p. m.	20	27.10	22.28	4.83	
08:00:00 p. m.	40	31.00	22.33	8.68	
08:20:00 p. m.	60	35.55	22.30	13.25	
08:40:00 p. m.	80	39.15	22.30	16.85	
09:00:00 p. m.	100	41.55	22.30	19.25	
09:20:00 p. m.	120	44.05	22.30	21.75	
09:40:00 p. m.	140	46.45	22.35	24.10	
10:00:00 p. m.	160	47.95	22.40	25.55	
10:20:00 p. m.	180	49.75	22.43	27.33	
10:40:00 p. m.	200	50.80	22.33	28.48	
11:00:00 p. m.	220	52.20	22.40	29.80	
11:20:00 p. m.	240	53.20	22.38	30.83	
11:40:00 p. m.	260	53.90	22.60	31.30	
12:00:00 a. m.	280	54.75	22.40	32.35	
12:20:00 a. m.	300	55.05	22.30	32.75	
12:40:00 a. m.	320	55.05	22.28	32.78	
01:00:00 a. m.	340	55.85	22.03	33.83	
01:20:00 a. m.	360	56.25	22.28	33.98	
01:40:00 a. m.	380	56.35	22.30	34.05	
02:00:00 a. m.	400	56.95	22.25	34.70	
02:20:00 a. m.	420	57.25	21.98	35.28	
02:40:00 a. m.	440	57.45	22.30	35.15	
03:00:00 a. m.	460	58.00	22.25	35.75	
03:20:00 a. m.	480	58.05	22.23	35.83	
03:40:00 a. m.	500	58.15	22.25	35.90	
04:00:00 a. m.	520	58.25	22.25	36.00	
04:20:00 a. m.	540	58.20	22.25	35.95	
CORRIENTE NOMINAL:					
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente ( °C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	
04:30:00 a. m.	0	58.25	22.25	36.00	
04:35:00 a. m.	5	58.15	22.23	35.93	
04:40:00 a. m.	10	58.13	21.99	36.14	
04:45:01 a. m.	15	58.10	22.00	36.11	
04:50:01 a. m.	20	58.05	22.00	36.05	
04:55:00 a. m.	25	57.50	22.00	35.50	
05:00:00 a. m.	30	57.35	21.98	35.38	
05:05:00 a. m.	35	57.25	22.00	35.25	
05:10:00 a. m.	40	57.05	21.98	35.08	
05:15:00 a. m.	45	57.00	21.98	35.03	
05:20:00 a. m.	50	56.90	21.96	34.94	
05:25:00 a. m.	55	56.88	21.95	34.93	
05:30:00 a. m.	60	56.85	21.91	34.94	
OBSERVACIONES:					
EL CALENTAMIENTO DEL LIQUIDO EN LA PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LA NORMA ESTABLECIDA NTP IEC 60076-02					
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS  Bachiller Enrique Cuba Islado		DPTO. TÉCNICO DE INGENIERÍA  Revisado por: Ing. Jesús Arzapalo Gamarra		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)	
Fecha:	16/09/2023	Fecha:	16/09/2023		

Figura N°84 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 100 kVA

PRUEBA DE CALENTAMIENTO							
Cliente: L & M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL					Tipo de enfriamiento		
ORDEN DE TRABAJO: 37002084					Aceite 60 °C		
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR							
16/09/2023							
Marca	ITESA	POTENCIA	100 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV	
Fecha	16-Set-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV	
Nro de serie	37002084	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3	KV	
TIPO	T3DI	Amp-MT	5.77 2.52 A	Numero terminales BT	4	KV	
Nro de fases	3	Amp-BT	144.34 249.94 A	Montaje	Exterior		
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500	msnm	
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	170	Kg	
Grupo de conexión	Dyn5	Vcc (%)	3.81 3.84	Peso parte activa	310	Kg	
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	620	Kg	
MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DESPUES DEL CORTE							
Medición de la resistencia en caliente MT Fases (V - W)				Medición de la resistencia en caliente BT Fases (u - n)			
°N	Hora	Resistencia	Unidad	°N	Hora	Resistencia	Unidad
1	05:35:00 a. m.	20.0260	Ω	1	05:35:00 a. m.	0.01328	Ω
2	05:35:10 a. m.	20.0170	Ω	2	05:35:10 a. m.	0.01327	Ω
3	05:35:20 a. m.	20.0080	Ω	3	05:35:20 a. m.	0.01326	Ω
4	05:35:30 a. m.	19.9990	Ω	4	05:35:30 a. m.	0.01325	Ω
5	05:35:40 a. m.	19.9900	Ω	5	05:35:40 a. m.	0.01324	Ω
6	05:35:50 a. m.	19.9810	Ω	6	05:35:50 a. m.	0.01323	Ω
7	05:36:00 a. m.	19.9720	Ω	7	05:36:00 a. m.	0.01322	Ω
8	05:36:10 a. m.	19.9630	Ω	8	05:36:10 a. m.	0.01321	Ω
9	05:36:20 a. m.	19.9540	Ω	9	05:36:20 a. m.	0.01320	Ω
10	05:36:30 a. m.	19.9450	Ω	10	05:36:30 a. m.	0.01319	Ω
11	05:36:40 a. m.	19.9360	Ω	11	05:36:40 a. m.	0.01318	Ω
12	05:36:50 a. m.	19.9270	Ω	12	05:36:50 a. m.	0.01317	Ω
13	05:37:00 a. m.	19.9180	Ω	13	05:37:00 a. m.	0.01316	Ω
14	05:37:10 a. m.	19.9090	Ω	14	05:37:10 a. m.	0.01315	Ω
15	05:37:20 a. m.	19.9000	Ω	15	05:37:20 a. m.	0.01314	Ω
16	05:37:30 a. m.	19.8910	Ω	16	05:37:30 a. m.	0.01313	Ω
17	05:37:40 a. m.	19.8820	Ω	17	05:37:40 a. m.	0.01312	Ω
18	05:37:50 a. m.	19.8730	Ω	18	05:37:50 a. m.	0.01311	Ω
19	05:38:00 a. m.	19.8640	Ω	19	05:38:00 a. m.	0.01310	Ω
20	05:38:10 a. m.	19.8550	Ω	20	05:38:10 a. m.	0.01309	Ω
21	05:38:20 a. m.	19.8460	Ω	21	05:38:20 a. m.	0.01308	Ω
22	05:38:30 a. m.	19.8370	Ω	22	05:38:30 a. m.	0.01307	Ω
23	05:38:40 a. m.	19.8280	Ω	23	05:38:40 a. m.	0.01306	Ω
24	05:38:50 a. m.	19.8190	Ω	24	05:38:50 a. m.	0.01305	Ω
25	05:39:00 a. m.	19.8100	Ω	25	05:39:00 a. m.	0.01304	Ω
26	05:39:10 a. m.	19.8010	Ω	26	05:39:10 a. m.	0.01303	Ω
27	05:39:20 a. m.	19.7920	Ω	27	05:39:20 a. m.	0.01302	Ω
28	05:39:30 a. m.	19.7830	Ω	28	05:39:30 a. m.	0.01301	Ω
29	05:39:40 a. m.	19.7740	Ω	29	05:39:40 a. m.	0.01300	Ω
30	05:39:50 a. m.	19.7650	Ω	30	05:39:50 a. m.	0.01299	Ω
31	05:40:00 a. m.	19.7560	Ω	31	05:40:00 a. m.	0.01298	Ω
32	05:40:10 a. m.	19.7470	Ω	32	05:40:10 a. m.	0.01297	Ω
33	05:40:20 a. m.	19.7380	Ω	33	05:40:20 a. m.	0.01296	Ω
34	05:40:30 a. m.	19.7290	Ω	34	05:40:30 a. m.	0.01295	Ω
35	05:40:40 a. m.	19.7200	Ω	35	05:40:40 a. m.	0.01294	Ω
36	05:40:50 a. m.	19.7110	Ω	36	05:40:50 a. m.	0.01293	Ω
37	05:41:00 a. m.	19.7020	Ω	37	05:41:00 a. m.	0.01292	Ω
38	05:41:10 a. m.	19.6930	Ω	38	05:41:10 a. m.	0.01291	Ω
39	05:41:20 a. m.	19.6840	Ω	39	05:41:20 a. m.	0.01290	Ω
40	05:41:30 a. m.	19.6750	Ω	40	05:41:30 a. m.	0.01289	Ω
Resistencia MT:	Resistencia en frio	Resistencia en caliente	Resistencia BT	Resistencia en frio	Resistencia en caliente		
	17.02	20.03		0.011740	0.013280		
OBSERVACIONES:							
LA MEDICIÓN DE LOS ARROLLAMIENTOS EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA NTP IEC 60076-02							
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TÉCNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA			
Propiedad por:  Bacilio A. M. P. B. S. I.		Revisado por:  Ing. Jesus Arzandón Gamarra		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)			
Fecha: 16/09/2023		Fecha: 16/09/2023					



Figura N°86 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión,  
100 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																																						
Cliente: L & M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL				Tipo de enfriamiento																																																																																																																																																																		
ORDEN DE TRABAJO: 37002084				Aceite 60 °C																																																																																																																																																																		
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR				16/09/2023																																																																																																																																																																		
Marca	ITESA	POTENCIA	100 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV																																																																																																																																																																	
Fecha	16-Set-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV																																																																																																																																																																	
Nro de serie	37002084	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3 KV																																																																																																																																																																	
TIPO	T3DI	Amp-MT	5.77 2.52 A	Numero terminales BT	4 KV																																																																																																																																																																	
Nro de fases	3	Amp-BT	144.34 249.94 A	Montaje	Exterior																																																																																																																																																																	
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500 msnm																																																																																																																																																																	
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	170 Kg																																																																																																																																																																	
Grupo de conexión	Dyn5	Vcc (%)	3.81 3.84	Peso parte activa	310 Kg																																																																																																																																																																	
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	620 Kg																																																																																																																																																																	
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO BT</b>																																																																																																																																																																						
Medición de la resistencia en caliente BT Fases ( v - n )				Datos de los arrollamientos en BT																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Tiempo 10 seg</th> <th>Resistencia R2</th> <th>Temperatura Ø2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>40</td><td>0.013280</td><td>54.74</td></tr> <tr><td>2</td><td>50</td><td>0.013270</td><td>54.53</td></tr> <tr><td>3</td><td>60</td><td>0.013260</td><td>54.32</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>0.013250</td><td>54.11</td></tr> <tr><td>5</td><td>80</td><td>0.013240</td><td>53.90</td></tr> <tr><td>6</td><td>90</td><td>0.013230</td><td>53.69</td></tr> <tr><td>7</td><td>100</td><td>0.013220</td><td>53.48</td></tr> <tr><td>8</td><td>110</td><td>0.013210</td><td>53.27</td></tr> <tr><td>9</td><td>120</td><td>0.013200</td><td>53.05</td></tr> <tr><td>10</td><td>130</td><td>0.013190</td><td>52.84</td></tr> <tr><td>11</td><td>140</td><td>0.013180</td><td>52.63</td></tr> <tr><td>12</td><td>150</td><td>0.013170</td><td>52.42</td></tr> <tr><td>13</td><td>160</td><td>0.013160</td><td>52.21</td></tr> <tr><td>14</td><td>170</td><td>0.013150</td><td>52.00</td></tr> <tr><td>15</td><td>180</td><td>0.013140</td><td>51.79</td></tr> <tr><td>16</td><td>190</td><td>0.013130</td><td>51.58</td></tr> <tr><td>17</td><td>200</td><td>0.013120</td><td>51.37</td></tr> <tr><td>18</td><td>210</td><td>0.013110</td><td>51.16</td></tr> <tr><td>19</td><td>220</td><td>0.013100</td><td>50.95</td></tr> <tr><td>20</td><td>230</td><td>0.013090</td><td>50.74</td></tr> <tr><td>21</td><td>240</td><td>0.013080</td><td>50.53</td></tr> <tr><td>22</td><td>250</td><td>0.013070</td><td>50.32</td></tr> <tr><td>23</td><td>260</td><td>0.013060</td><td>50.11</td></tr> <tr><td>24</td><td>270</td><td>0.013050</td><td>49.89</td></tr> <tr><td>25</td><td>280</td><td>0.013040</td><td>49.68</td></tr> <tr><td>26</td><td>290</td><td>0.013030</td><td>49.47</td></tr> <tr><td>27</td><td>300</td><td>0.013020</td><td>49.26</td></tr> <tr><td>28</td><td>310</td><td>0.013010</td><td>49.05</td></tr> <tr><td>29</td><td>320</td><td>0.013000</td><td>48.84</td></tr> <tr><td>30</td><td>330</td><td>0.012990</td><td>48.63</td></tr> <tr><td>31</td><td>340</td><td>0.012980</td><td>48.42</td></tr> <tr><td>32</td><td>350</td><td>0.012970</td><td>48.21</td></tr> <tr><td>33</td><td>360</td><td>0.012960</td><td>48.00</td></tr> <tr><td>34</td><td>370</td><td>0.012950</td><td>47.79</td></tr> <tr><td>35</td><td>380</td><td>0.012940</td><td>47.58</td></tr> <tr><td>36</td><td>390</td><td>0.012930</td><td>47.37</td></tr> <tr><td>37</td><td>400</td><td>0.012920</td><td>47.16</td></tr> <tr><td>38</td><td>410</td><td>0.012910</td><td>46.95</td></tr> <tr><td>39</td><td>420</td><td>0.012900</td><td>46.74</td></tr> <tr><td>40</td><td>430</td><td>0.012890</td><td>46.52</td></tr> </tbody> </table>	N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	1	40	0.013280	54.74	2	50	0.013270	54.53	3	60	0.013260	54.32	4	70	0.013250	54.11	5	80	0.013240	53.90	6	90	0.013230	53.69	7	100	0.013220	53.48	8	110	0.013210	53.27	9	120	0.013200	53.05	10	130	0.013190	52.84	11	140	0.013180	52.63	12	150	0.013170	52.42	13	160	0.013160	52.21	14	170	0.013150	52.00	15	180	0.013140	51.79	16	190	0.013130	51.58	17	200	0.013120	51.37	18	210	0.013110	51.16	19	220	0.013100	50.95	20	230	0.013090	50.74	21	240	0.013080	50.53	22	250	0.013070	50.32	23	260	0.013060	50.11	24	270	0.013050	49.89	25	280	0.013040	49.68	26	290	0.013030	49.47	27	300	0.013020	49.26	28	310	0.013010	49.05	29	320	0.013000	48.84	30	330	0.012990	48.63	31	340	0.012980	48.42	32	350	0.012970	48.21	33	360	0.012960	48.00	34	370	0.012950	47.79	35	380	0.012940	47.58	36	390	0.012930	47.37	37	400	0.012920	47.16	38	410	0.012910	46.95	39	420	0.012900	46.74	40	430	0.012890	46.52	Material de los arrollamientos: Aluminio Constante del material: 225 Temperatura Ø1 22.30 Resistencias de arrollamientos BT u - n 0.01174 v - n 0.01174 w - n 0.01174 Resistencia resultante R1 (Ω) 0.01174 Temperatura media de los arrollamientos: COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$ ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$	
	N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2																																																																																																																																																																		
	1	40	0.013280	54.74																																																																																																																																																																		
	2	50	0.013270	54.53																																																																																																																																																																		
	3	60	0.013260	54.32																																																																																																																																																																		
4	70	0.013250	54.11																																																																																																																																																																			
5	80	0.013240	53.90																																																																																																																																																																			
6	90	0.013230	53.69																																																																																																																																																																			
7	100	0.013220	53.48																																																																																																																																																																			
8	110	0.013210	53.27																																																																																																																																																																			
9	120	0.013200	53.05																																																																																																																																																																			
10	130	0.013190	52.84																																																																																																																																																																			
11	140	0.013180	52.63																																																																																																																																																																			
12	150	0.013170	52.42																																																																																																																																																																			
13	160	0.013160	52.21																																																																																																																																																																			
14	170	0.013150	52.00																																																																																																																																																																			
15	180	0.013140	51.79																																																																																																																																																																			
16	190	0.013130	51.58																																																																																																																																																																			
17	200	0.013120	51.37																																																																																																																																																																			
18	210	0.013110	51.16																																																																																																																																																																			
19	220	0.013100	50.95																																																																																																																																																																			
20	230	0.013090	50.74																																																																																																																																																																			
21	240	0.013080	50.53																																																																																																																																																																			
22	250	0.013070	50.32																																																																																																																																																																			
23	260	0.013060	50.11																																																																																																																																																																			
24	270	0.013050	49.89																																																																																																																																																																			
25	280	0.013040	49.68																																																																																																																																																																			
26	290	0.013030	49.47																																																																																																																																																																			
27	300	0.013020	49.26																																																																																																																																																																			
28	310	0.013010	49.05																																																																																																																																																																			
29	320	0.013000	48.84																																																																																																																																																																			
30	330	0.012990	48.63																																																																																																																																																																			
31	340	0.012980	48.42																																																																																																																																																																			
32	350	0.012970	48.21																																																																																																																																																																			
33	360	0.012960	48.00																																																																																																																																																																			
34	370	0.012950	47.79																																																																																																																																																																			
35	380	0.012940	47.58																																																																																																																																																																			
36	390	0.012930	47.37																																																																																																																																																																			
37	400	0.012920	47.16																																																																																																																																																																			
38	410	0.012910	46.95																																																																																																																																																																			
39	420	0.012900	46.74																																																																																																																																																																			
40	430	0.012890	46.52																																																																																																																																																																			
				<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b> 																																																																																																																																																																		
CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:																																																																																																																																																																						
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				55.58 °C																																																																																																																																																																		
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				0.0137946 Ω																																																																																																																																																																		
Temperatura ambiente:				21.88 °C																																																																																																																																																																		
Calentamiento medio del arrollamiento:				33.71 °C																																																																																																																																																																		
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				4.18 °C																																																																																																																																																																		
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																																						
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEI ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA NTP IEC 60076-02																																																																																																																																																																						
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA																																																																																																																																																																		
Probado por: Bacilio Enrique Cuba Islado I.T.E.S.A. Fecha: 16/09/2023		Revisado por: Ing. Jesús Arzapalo Camarra Fecha: 16/09/2023		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																																																																																																																																																		



Figura N°87 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 100 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																															
<b>Cliente:</b> L & M ELECTRO INDUSTRIAL EMPRESA INDIVIDUAL		<b>Tipo de enfriamiento</b> Aceite 60 °C																																																																																																																																																													
<b>ORDEN DE TRABAJO:</b> 37002084		<b>16/09/2023</b>																																																																																																																																																													
<b>CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>																																																																																																																																																															
Marca: ITESA Fecha: 16-Set-23 Nro de serie: 37002084 TIPO: T3DI Nro de fases: 3 Enfriamiento: ONAN Clase de aislam.: A Grupo de conexión: Dyn5 Frecuencia: 60	POTENCIA: 100 KVA Volt-MT: 10000 Volt-BT: 400 Amp-MT: 5.77 Amp-BT: 144.34 Nro. de taps.: 5.00 % de reg: 2.50 Vcc (%): 3.81 Normas: IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Nivel Aislam. Int. MT: 24 / 50 / 125 KV Nivel Aislam. Int. BT: 1.1 / 3 / - KV Numero terminales MT: 3 KV Numero terminales BT: 4 KV Montaje: Exterior Altura de operación: 4500 msnm Peso del aceite: 170 Kg Peso parte activa: 310 Kg Peso Total: 620 Kg																																																																																																																																																													
<b>RESULTADOS FINALES DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																															
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA:</b>																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">TEMPERATURA DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_{amb1}</math> =</td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES</td> <td>22.25</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{asup}</math> =</td> <td>TEMP. PARTE SUPERIOR</td> <td>58.20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{ainf}</math> =</td> <td>TEMP. PARTE INFERIOR</td> <td>47.20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{am}</math> =</td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES</td> <td>52.70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amd}</math> =</td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN</td> <td>51.40</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb2}</math> =</td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL</td> <td>21.88</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_1</math> =</td> <td>HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)</td> <td>67.40%</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_2</math> =</td> <td>HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)</td> <td>70.20%</td> <td>°C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\Delta T_a</math> =</td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR</td> <td>35.95</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{ai}</math> =</td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR</td> <td>24.95</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{am}</math> =</td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE</td> <td>30.45</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm</td> <td>35.95</td> <td>≤ 60 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 4500 msnm</td> <td>35.95</td> <td>≤ 51.25 °C</td> </tr> <tr> <td>Gradiente (g)</td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>16.85</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2 - \Delta T_{am}</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>4.18</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hot Spot</td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT</td> <td>54.48</td> <td>≤ 78 °C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_a + gH</math></td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT</td> <td>40.55</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math> =</td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>17.0223</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math> =</td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>20.0620</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math> =</td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>22.30</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math> =</td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>68.25</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{cobre}</math> =</td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE</td> <td>235.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math> =</td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>21.88</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math> =</td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>46.37</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>46.37</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm</td> <td>46.37</td> <td>≤ 56.25 °C</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math> =</td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>0.0117400</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math> =</td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>0.0137946</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math> =</td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>22.30</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math> =</td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>55.58</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{Al}</math> =</td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO</td> <td>225.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math> =</td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>21.88</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math> =</td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>33.71</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>33.71</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm</td> <td>33.71</td> <td>≤ 56.25 °C</td> </tr> </tbody> </table>				TEMPERATURA DEL ACEITE				$T_{amb1}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	22.25	°C	$T_{asup}$ =	TEMP. PARTE SUPERIOR	58.20	°C	$T_{ainf}$ =	TEMP. PARTE INFERIOR	47.20	°C	$T_{am}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES	52.70	°C	$T_{amd}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	51.40	°C	$T_{amb2}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	21.88	°C	$H_1$ =	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	67.40%	°C	$H_2$ =	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	70.20%	°C	CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE				$\Delta T_a$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	35.95	°C	$\Delta T_{ai}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	24.95	°C	$\Delta T_{am}$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	30.45	°C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	35.95	≤ 60 °C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 4500 msnm	35.95	≤ 51.25 °C	Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	16.85		$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	4.18		Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	54.48	≤ 78 °C	$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	40.55		CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT				$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO	17.0223	Ω	$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE	20.0620	Ω	$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.30	°C	$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	68.25	°C	$K_{cobre}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00		$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE	21.88	°C	$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	46.37	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	46.37	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	46.37	≤ 56.25 °C	CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT				$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO	0.0117400	Ω	$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0137946	Ω	$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.30	°C	$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	55.58	°C	$K_{Al}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00		$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE	21.88	°C	$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	33.71	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	33.71	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	33.71	≤ 56.25 °C
TEMPERATURA DEL ACEITE																																																																																																																																																															
$T_{amb1}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	22.25	°C																																																																																																																																																												
$T_{asup}$ =	TEMP. PARTE SUPERIOR	58.20	°C																																																																																																																																																												
$T_{ainf}$ =	TEMP. PARTE INFERIOR	47.20	°C																																																																																																																																																												
$T_{am}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES	52.70	°C																																																																																																																																																												
$T_{amd}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	51.40	°C																																																																																																																																																												
$T_{amb2}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	21.88	°C																																																																																																																																																												
$H_1$ =	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	67.40%	°C																																																																																																																																																												
$H_2$ =	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	70.20%	°C																																																																																																																																																												
CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE																																																																																																																																																															
$\Delta T_a$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	35.95	°C																																																																																																																																																												
$\Delta T_{ai}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	24.95	°C																																																																																																																																																												
$\Delta T_{am}$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	30.45	°C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	35.95	≤ 60 °C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 4500 msnm	35.95	≤ 51.25 °C																																																																																																																																																												
Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	16.85																																																																																																																																																													
$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	4.18																																																																																																																																																													
Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	54.48	≤ 78 °C																																																																																																																																																												
$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	40.55																																																																																																																																																													
CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT																																																																																																																																																															
$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO	17.0223	Ω																																																																																																																																																												
$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE	20.0620	Ω																																																																																																																																																												
$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.30	°C																																																																																																																																																												
$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	68.25	°C																																																																																																																																																												
$K_{cobre}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00																																																																																																																																																													
$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE	21.88	°C																																																																																																																																																												
$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	46.37	°C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	46.37	≤ 65 °C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	46.37	≤ 56.25 °C																																																																																																																																																												
CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT																																																																																																																																																															
$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO	0.0117400	Ω																																																																																																																																																												
$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0137946	Ω																																																																																																																																																												
$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.30	°C																																																																																																																																																												
$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	55.58	°C																																																																																																																																																												
$K_{Al}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00																																																																																																																																																													
$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE	21.88	°C																																																																																																																																																												
$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	33.71	°C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	33.71	≤ 65 °C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	33.71	≤ 56.25 °C																																																																																																																																																												
<b>EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>EQUIPOS</th> <th>MARCA</th> <th>N° SERIE</th> <th>CALIBRACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 1</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>334</td> <td>CLT-0003-2023</td> </tr> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 2</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>341</td> <td>CLT-0004-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°1</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-10</td> <td>CLT-0007-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°2</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-11</td> <td>CLT-0008-2023</td> </tr> <tr> <td>ANALIZADOR DE REDES</td> <td>SATEC</td> <td>990916</td> <td>CLE-008-2023</td> </tr> <tr> <td>CAMARA TERMOGRAFICA</td> <td>Guide</td> <td>ZC04A2000728</td> <td>222961</td> </tr> <tr> <td>TERMOHIGROMETRO</td> <td>UNI-T</td> <td>2AWEE-8762-01</td> <td>CLT-0150-2023</td> </tr> <tr> <td>MILIOMIMETRO</td> <td>Megabras - MO 2Ke</td> <td>UU20471</td> <td>224546</td> </tr> </tbody> </table>				EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN	MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023	MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023	ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023	CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961	TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023	MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546																																																																																																																								
EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN																																																																																																																																																												
MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023																																																																																																																																																												
MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023																																																																																																																																																												
SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023																																																																																																																																																												
SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023																																																																																																																																																												
ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023																																																																																																																																																												
CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961																																																																																																																																																												
TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023																																																																																																																																																												
MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546																																																																																																																																																												
<b>OBSERVACIONES:</b> EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02 EL CALENTAMIENTO DE LOS ARROLLAMIENTOS CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02 EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LO EXIGIDO EN LA NORMATIVIDAD POR LO TANTO SE CONCLUYE QUE EL DISEÑO ESTA HECHO PARA ESA POTENCIA 100KVA.																																																																																																																																																															
<b>RESULTADO:</b> EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LOS VALORES ESPECIFICADOS EN LA NORMA IEC 60076-02																																																																																																																																																															
<b>DPTO. VALIDACION Y PRUEBAS</b>		<b>DPTO TECNICO DE INGENIERIA</b>																																																																																																																																																													
Probado por: Bachiller <b>V. B. B. B.</b> SALA DE PRUEBAS Fecha: 16/09/2023		Revisado por: Ing. Jesus Arraño Gamarrá Fecha: 16/09/2023																																																																																																																																																													
		<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b> NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																																																																																																																																													

## Resultados finales:

1. **El calentamiento medio del aceite superior a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 51.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $35.95^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda que se pueden quitar aletas de refrigeración, debido a que el transformador tiene actualmente mucha ventilación, ya que aún se tiene mucha tolerancia con el límite permitido  $51.25^{\circ}\text{C}$ .

2. **El calentamiento medio del arrollamiento en media tensión a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 56.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $46.95^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda mantener el diseño del arrollamiento en media tensión ya que hay una tolerancia de aproximadamente  $10^{\circ}\text{C}$

3. **El calentamiento medio del arrollamiento en baja tensión a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 56.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $33.71^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, trabajar con una densidad de corriente más elevada para poder aumentar el calentamiento del arrollamiento o la otra opción ver si el diseño tiene mucha ventilación entre capas y quitar alguna de esta ventilación en una capa.

4. **La temperatura del punto más caliente tiene que ser  $\leq 78^{\circ}\text{C}$ :**

La media tensión tiene  $54.48^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

La baja tensión tiene  $40.55^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

## Muestra N°2 - Nuevo protocolo de calentamiento:

Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4 / 0.277 KV, LiO

Fecha: 17/09/2023

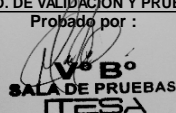

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MONOFASICO						F-AC-03-02			
						Versión 02			
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO</b>						ACEITE	: X		
CLIENTE : COBRE TECHNOLOGIES						OT:	37002064		
OBRA :									
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>									
Marca :	ITESA	Potencia :	167	KVA	Montaje :	EXTERIOR			
Número de Serie :	37002064 - 23	Relac. Transf. :	7200 - 14400 / 277	V	Nivel Aislam. Int. AT :	24 / 50 / 125	KV		
Tipo :	TIDI	Relac. Corriente :	23.19 - 11.60 / 602.9	A	Nivel Aislam. Ext. AT :	150 KV			
Año de Fabricación :	2023	Grupo de Conexión :	H0	(L-L)	Nivel Aislam. Int. BT. :	1.2 / 10 / 30	KV		
Norma :	IEEE C57.12	Tec (%) :	4.58	4.38	Nivel Aislam. Ext. BT. :	30 KV			
Enfriamiento :	ONAN	Taps. :	± 2 X 2.5	% ± 2 X 2.5	Peso del Aceite :	410 Lb			
Frecuencia :	60 Hz	Altitud m.s.n.m :	2000		Peso Total :	1520 Lb			
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>						T amb. = 22.6 °C			
DENOMINACION		Primario - Secundario		Primario - Masa		Secundario - Masa			
RESISTANCIA DE AISLAMIENTO		43000 MΩ		31900 MΩ		16800 MΩ			
VDC		5 000 V		5 000 V		1 000 V			
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>									
POS. COM	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	Limite de error	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	Limite de error	
	7200 / 277	H1-H2 / X1-X2			14400 / 277	H1-H2 / X1X2			
1	27.292	27.295	0.01	+ 0.5%	54.585	54.594	0.02	+ 0.5%	
2	26.643	26.629	-0.05	+ 0.5%	53.285	53.260	-0.05	+ 0.5%	
3	25.993	26.004	0.04	+ 0.5%	51.986	52.010	0.05	+ 0.5%	
4	25.343	25.337	-0.02	+ 0.5%	50.686	50.676	-0.02	+ 0.5%	
5	24.693	24.712	0.08	+ 0.5%	49.386	49.426	0.08	+ 0.5%	
<b>3.- MEDIDA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>		T amb. (°C)	NORMA		KV		ACEITE		
		22.6	IEC 60296		> 55		NYNAS DISTRO DT-11		
<b>4.- PRUEBA EN VACIO :</b>									
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	CA = 1	WATIOS	Cw = 1	TOTAL		
	X1 - X3		X1		W				
3	277 V		8.47		538 W		538		
<b>5.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>									
ARROLLAMIENTO DE BT		T amb. = 22.6 °C		ARROLLAMIENTO DE AT		T amb. = 22.6 °C			
FASES		RESISTENCIA		RESISTENCIA EN 7.2 KV.		RESISTENCIA			
X1 - X2		2.150 mΩ		FASE H1 - H2		1.3857 Ω			
				RESISTENCIA EN 14.4 KV.		RESISTENCIA			
				FASE H1 - H2		5.601 Ω			
<b>6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO ( 7.2 ) KV.</b>									
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	CA = 1	WATIOS	Cw = 1	Pcu	Tec	
	H1 - H2		H1		W	TOTAL	WATTS	(%)	
3	307 V		21.85 A		1564 W	1564	1762	4.52	
<b>6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO ( 14.4 ) KV.</b>									
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	CA = 1	WATIOS	Cw = 1	Pcu	Tec	
	H1 - H2		H1		W	TOTAL	WATTS	(%)	
3	622.9 V		11.60 A		1795.2 W	1795.25	1795	4.32	
<b>7.- PRUEBA DE TENSION INDUCIDA :</b>				<b>8.- PRUEBA DE TENSION APLICADA :</b>					
Alim. por 277 V	Hz.	Amp.	SEGUNDOS	AT / BT - M	50 KV	8.5 mA	60 Seg.		
554	120	1.17	60	BT / AT - M	10 KV	2.69 mA	60 Seg.		
<b>9.- RESUMEN :</b>									
CALCULADO		MEDIDO 7.2		MEDIDO 14.4 KV.		GARANTIZADO		TOLERANCIA (%)	
Pfe a Vnom, Fnom (Watts)		538.00		538.00				+ - 10	
Pcu a 85 °C, Inom (Watts)		2087.01		2116.88				+ - 10	
Tec a 85 °C (%)		4.58		4.38				+ - 7.5	
Io a Vnom, Fnom (%)		1.40		1.40				+ - 30	
Pcu a 20 °C, Inom (Watts)		1749.35		1782.39				+ - 10	
Tec a 20 °C (%)		4.52		4.32				+ - 7.5	
OBSERVACIONES :									
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS			DPTO. TECNICO			SUPERVISOR			17/09/2023
Probadó por :			Revisado Por :						
 <b>SALA DE PRUEBAS</b> <b>ITESA</b> Tec. Michael Lazon Fecha 17/09/2023			 Ing. Jesús Arzapalo Gamarra Fecha : 17/09/2023						

Figura N°88 Protocolo de pruebas de rutina, transformador monofásico 167 kVA

Fuente: Elaboración propia

### Revisión del protocolo de rutina y preparación de transformador:

Se revisó el protocolo de pruebas para calcular las pérdidas totales, se ubicó el transformador en el área delimitada para la prueba, se instalaron los sensores de temperatura y se midió la resistencia de arrollamientos en media y baja tensión, para después proceder a ponerlo en estado de cortocircuito y proceder con la prueba en pérdidas totales.



*Figura N°89 Colocación de plancha metálica de cobre, sensor de temperatura y montaje con cinta filamentada, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°90 Colocación de sensor de temperatura por válvula de alivio del transformador, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

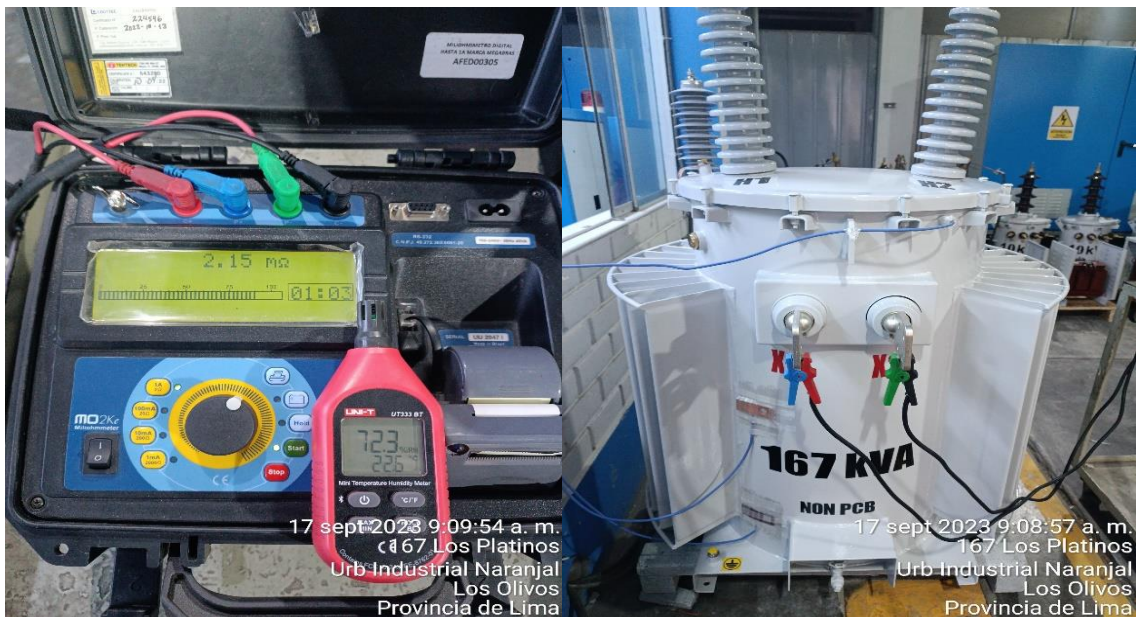


Figura N°91 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión, 167 kVA  
Fuente: Elaboración propia



Figura N°92 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de media tensión, 167 kVA  
Fuente: Elaboración propia



Figura N°93 Pérdidas totales, corriente y tensión al inicio de la prueba,  
167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°94 Temperatura superior medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°1, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°95 Temperatura media medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°2, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°96 Temperatura inferior medidor temperatura y cámara termográfica, ambiente N°3, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia

## Registro de temperaturas hasta la estabilización:

Se realizó el registro de temperaturas tanto con los medidores de temperatura, la cámara termográfica y el higrómetro digital, cada 20 minutos hasta la estabilización de las temperaturas en el transformador.



*Figura N°97 Temperatura superior cámara termográfica, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°98 Temperatura media cámara termográfica, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°99 Temperatura inferior cámara termográfica, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°100 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°101 Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°102 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*





Figura N°103 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 167 kVA



Figura N°104 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 167 kVA

**Corriente nominal:**

Luego que las temperaturas se han estabilizado se procedió con la inyección de la corriente nominal del transformador por 1 hora.



Figura N°105 Tensiones a corriente nominal, Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°106 Perdidas a corriente nominal, Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia

### Resistencia de arrollamientos en caliente:

Después del término de la hora en corriente nominal se procedió con la deserregización del transformador, desconexión del estado de cortocircuito y medición de las resistencias de arrollamientos en media y baja tensión.



Figura N°107 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°108 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 167 kVA

Fuente: Elaboración propia

# Protocolo de calentamiento:

## PRUEBA DE CALENTAMIENTO



Cliente: COBRE TECHNOLOGIES										Tipo de enfriamiento					
ORDEN DE TRABAJO: 37002064										Aceite 60 °C					
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR										17/09/2023					
Marca	ITESA			POTENCIA	167.00 KVA		Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV							
Fecha	17-Set-23			Volt-MT	7200 14400 V		Nivel Aislam. Int. BT.	1.2 / 10 / 30 KV							
Nro de serie	37002064-23			Volt-BT	277 V		Numero terminales MT	2 Und							
TIPO	T1D1			Amp-MT	23.19 11.60 A		Numero terminales BT	2 Und							
Nro de fases	2			Amp-BT	602.89 A		Montaje	Exterior							
Enfriamiento	ONAN			Nro. de taps.	5.00		Altura de operación	2000 msnm							
Clase de aislam.	A			% de reg	2.50 2.50		Peso del aceite	410 Lb							
Grupo de conexión	Ilo			Vcc (%)	4.58 4.38		Peso parte activa	840 Lb							
Frecuencia	60			Normas	IEC 60076-02 IEC 60076-01		Peso Total	1520 Lb							
<b>1. DATOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS (PERDIDAS DEL TRANSFORMADOR)</b>															
Perdidas del núcleo:	538 W			Factor k de pérdidas:	1.12 K			Corriente perdidas totales:	26.01 A						
Perdidas del cobre 85°C:	2087 W			Corriente de cortocircuito:	23.19 A			Tension perdidas totales:	369.83 V						
Perdidas totales:	2625 W			Tensión de cortocircuito:	329.76 V			Temp.Max Aceite corregida	57.50 °C						
RESISTENCIAS MT - R1 (Ω)	RESISTENCIAS BT - R2 (Ω)	RESISTENCIA EQUIVALENTE (Ω)				PERDIDAS I <sup>2</sup> R (W)				PRUEBA DE CORTOCIRCUITO (W)					
1.386	0.00215	$Req\ 1\phi = (R1) + R2 * (Vp/Vs)^2$				Perd. 1Ø - Tamb	1527		1762						
		Req 1Ø - Tamb	2.84		Ω	Perd. 1Ø - 85°C	1937		Perd. 1Ø - 85°C 2087						
1.386	0.00215	Req 1Ø - 85°C	3.53		Ω	Perd. Adicionales Temp. Amb	235		Perd. Adicionales 85°C 190						
EQUIVALENTE (R1/3)	EQUIVALENTE R2*	Perd. 1Ø - Tamb	1526.95		W	PRUEBA DE VACIO (W)									
1.39	0.00215	Perd. 1Ø - 85°C	1896.83		W	Perd. Vacio 1Ø - Tamb	538		W						
<b>2. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A PERDIDAS TOTALES</b>															
Analizador de redes					Monitor de temperatura y Camara termica					Monitor de temperatura		Termohigrometro			
Hora	I. Perd. Totales (Ip)	V. Perd. totales (Vp)	Fdp cosφ	Perdidas totales (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
09:30:00 a. m.	27.88	349.80	0.27	2629	21.00	23.40	23.00	21.80	22.00	21.00	22.00	23.00	23.00	70.60	23.10
09:50:00 a. m.	27.29	344.40	0.28	2630	33.00	32.30	25.00	26.10	23.00	21.30	23.00	23.00	23.00	69.90	23.30
10:10:00 a. m.	27.15	342.10	0.28	2627	41.00	42.80	31.00	33.40	24.00	23.30	23.00	23.00	23.00	69.90	23.40
10:30:00 a. m.	27.03	342.20	0.28	2629	47.00	47.50	35.00	38.80	27.00	27.20	22.00	23.00	24.00	69.30	23.60
10:50:00 a. m.	26.85	339.00	0.29	2623	51.00	51.30	39.00	41.70	30.00	31.20	23.00	24.00	24.00	68.80	23.70
11:10:00 a. m.	26.82	339.10	0.29	2626	55.00	56.20	42.00	48.50	33.00	33.90	24.00	24.00	24.00	68.70	23.80
11:30:00 a. m.	26.68	338.10	0.29	2624	58.00	58.30	44.00	50.40	35.00	35.80	24.00	24.00	25.00	67.80	24.10
11:50:00 a. m.	26.50	336.70	0.29	2622	62.00	63.70	46.00	52.20	37.00	39.90	24.00	24.00	25.00	68.90	24.10
12:10:00 p. m.	26.42	335.30	0.30	2623	64.00	65.80	48.00	55.10	39.00	41.80	25.00	24.00	26.00	67.60	24.40
12:30:00 p. m.	26.42	336.50	0.30	2625	66.00	68.30	50.00	57.30	40.00	43.60	25.00	24.00	26.00	65.20	24.60
12:50:00 p. m.	26.32	334.00	0.30	2627	68.00	69.50	51.00	59.10	42.00	46.50	25.00	25.00	27.00	64.80	24.70
01:10:00 p. m.	26.24	333.60	0.30	2627	70.00	70.80	52.00	61.40	43.00	47.80	25.00	25.00	26.00	65.10	24.90
01:30:00 p. m.	26.16	332.20	0.30	2623	72.00	73.00	54.00	63.00	44.00	49.40	26.00	25.00	27.00	62.50	25.00
01:50:00 p. m.	26.07	331.70	0.30	2622	73.00	71.60	55.00	65.00	45.00	49.50	26.00	25.00	27.00	62.40	25.20
02:10:00 p. m.	25.98	331.10	0.30	2623	75.00	74.30	56.00	65.50	46.00	52.60	26.00	26.00	27.00	61.50	25.10
02:30:00 p. m.	25.98	330.60	0.30	2625	76.00	74.80	57.00	66.90	47.00	54.90	26.00	26.00	27.00	61.70	25.10
02:50:00 p. m.	25.98	330.30	0.30	2628	77.00	76.40	58.00	67.10	48.00	55.30	26.00	25.00	27.00	61.90	25.20
03:10:00 p. m.	25.97	330.60	0.31	2626	78.00	77.30	58.00	68.50	48.00	56.30	26.00	26.00	27.00	61.20	25.20
03:30:00 p. m.	25.90	329.70	0.31	2623	79.00	78.70	59.00	69.40	49.00	56.30	26.00	26.00	28.00	59.90	25.60
03:50:00 p. m.	25.86	330.30	0.31	2627	80.00	79.40	59.00	70.70	50.00	55.20	26.00	26.00	27.00	60.80	25.50
04:10:00 p. m.	25.82	329.60	0.31	2624	80.00	80.70	60.00	71.60	50.00	59.80	26.00	25.00	27.00	60.70	25.40
04:30:00 p. m.	25.81	329.10	0.31	2626	81.00	79.90	60.00	70.30	50.00	57.60	26.00	26.00	27.00	60.00	25.50
04:50:00 p. m.	25.81	329.30	0.31	2627	81.00	80.30	60.00	71.30	51.00	58.60	26.00	25.00	27.00	60.90	25.40
05:10:00 p. m.	25.81	330.00	0.31	2624	82.00	80.10	61.00	71.90	50.00	59.30	26.00	25.00	27.00	60.40	25.40
05:30:00 p. m.	25.79	328.70	0.31	2623	82.00	81.20	61.00	71.60	51.00	59.90	26.00	25.00	27.00	59.50	25.60
05:50:00 p. m.	25.73	328.30	0.31	2625	83.00	82.20	61.00	73.60	51.00	60.90	25.00	25.00	26.00	60.70	25.60
06:10:00 p. m.	25.75	328.70	0.31	2626	83.00	81.90	61.00	72.80	50.00	59.10	25.00	24.00	26.00	63.80	24.90
06:30:00 p. m.	25.81	329.00	0.31	2628	83.00	81.60	61.00	72.00	50.00	59.20	25.00	24.00	25.00	61.90	25.00
Medición Final Perdidas de prueba	25.81	329.00	0.31	2628	82.30		66.50		54.60		24.75		61.90%		
<b>3. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A CORRIENTE NOMINAL</b>															
Hora	I. Nominal (In)	Tension a In (Vcc)	Fdp cosφ	Perdidas a In (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
06:30:00 p. m.	23.19	295.9	0.31	2128	83.00	81.60	61.00	72.00	50.00	59.20	25.00	24.00	25.00	62.80	24.90
06:35:00 p. m.	23.19	295.9	0.31	2127	83.00	81.60	61.00	72.00	50.00	59.20	25.00	24.00	25.00	61.90	25.20
06:40:00 p. m.	23.19	295.9	0.31	2127	83.00	81.60	61.00	72.00	50.00	59.20	25.00	24.00	25.00	63.70	24.90
06:45:00 p. m.	23.18	294.7	0.31	2118	83.00	80.50	60.00	71.10	50.00	57.50	25.00	24.00	25.00	63.60	24.90
06:50:00 p. m.	23.19	294.8	0.31	2119	82.00	80.20	60.00	70.10	50.00	57.50	25.00	24.00	25.00	63.60	24.90
06:55:00 p. m.	23.18	295.3	0.31	2122	82.00	80.20	60.00	70.10	49.00	56.80	25.00	24.00	25.00	62.70	24.80
07:00:00 p. m.	23.20	294.6	0.31	2119	82.00	80.40	59.00	70.50	49.00	56.80	25.00	24.00	25.00	58.40	26.00
07:05:00 p. m.	23.19	295.0	0.31	2121	81.00	80.40	59.00	70.50	48.00	56.20	25.00	24.00	25.00	62.10	25.10
07:10:00 p. m.	23.21	294.6	0.31	2120	81.00	80.10	59.00	70.10	48.00	56.10	25.00	24.00	25.00	61.30	25.10
07:15:00 p. m.	23.20	294.9	0.31	2121	81.00	80.10	59.00	70.00	48.00	56.30	25.00	23.00	25.00	61.60	24.90
07:20:00 p. m.	23.19	295.8	0.31	2115	81.00	79.40	58.00	67.80	48.00	56.10	24.00	23.00	25.00	61.60	24.60
07:25:00 p. m.	23.19	292.8	0.31	2105	80.00	79.30	58.00	67.80	48.00	56.10	24.00	24.00	24.00	60.30	24.50
07:30:00 p. m.	23.18	295.4	0.31	2104	80.00	79.00	58.00	68.60	48.00	57.60	24.00	24.00	25.00	60.10	24.70
07:30:00 p. m.	23.18	295.4	0.31	2104	80.00	79.00	58.00	68.60	48.00	57.60	24.00	24.00	25.00	60.10	24.70
Medición Final Corriente nominal	23.18	295.40	0.31	2104.00	79.50		63.30		52.80		24.43		60.10%		
<b>4. MEDIDAS DE LOS ARROLLAMIENTOS</b>															
MEDIA TENSION :	7.2 Kv					BAJA TENSION:					0.277 Kv				
ARROLLAMIENTO INICIAL:	T ambiente 22.5 °C					ARROLLAMIENTO INICIAL:					T ambiente 22.6 °C				
FASES	TENSION	CORRIENTE			RESITENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE			RESITENCIA				
H1 - H2	1.39 mV	1 A			1.39 Ω	x1 - x2	2.2 mV	1 A			0.0022 Ω				
<b>5. TEMPERATURAS DEL ACEITE</b>												<b>6. RESULTADOS DE LA TEMPERATURA Y CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b>			
Temperatura superior	INICIAL	FINAL (PERD TOTAL)			FINAL (PERD NOM)			Temperatura media del aceite (Tam)				68.5 °C			
Temperatura media	22.20	82.30			79.50			Temperatura media del aceite despues de la desconexión (Tam)				66.2 °C			
Temperatura inferior	22.40	66.50			63.30			Calentamiento de la parte superior (ΔTa)				57.6 °C			
Temperatura ambiente	21.50	54.60			52.80			Calentamiento medio del aceite (ΔTm)				43.7 °C			
Humedad %	22.78	24.75			24.43			Calentamiento medio del aceite despues de la desconexión (ΔTm)				41.7 °C			
	70.60%	61.90%			60.10%			Calentamiento inferior del aceite (ΔTa)				29.9 °C			
<b>OBSERVACIONES:</b>															
SE TOMAN REGISTROS DE DATOS EN PERDIDAS TOTALES Y CORRIENTE NOMINAL SEGÚN LA NORMA NTP IEC 60076-02															
LAS PRUEBAS EN PERDIDAS TOTALES SE HACE EN LA TOMA PRINCIPAL, POSICIÓN N°3 DEL CONMUTADOR SEGÚN NORMA NTP 60076-01															
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS				DPTO. TÉCNICO DE INGENIERÍA				NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA							
 Fecha: 17/09/2023				 Fecha: 17/09/2023				NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)							

Figura N°110 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 167 kVA

PRUEBA DE CALENTAMIENTO						
Cliente: COBRE TECHNOLOGIES					Tipo de enfriamiento	
ORDEN DE TRABAJO: 37002064					Aceite 60 °C	
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR					17/09/2023	
Marca	ITESA	POTENCIA	167 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV
Fecha	17-Set-23	Volt-MT	7200 14400 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.2 / 10 / 30	KV
Nro de serie	37002064-23	Volt-BT	277 V	Numero terminales MT	2	KV
TIPO	T1DI	Amp-MT	23.19 11.60 A	Numero terminales BT	2	KV
Nro de fases	2	Amp-BT	602.89 A	Montaje	Exterior	
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	2000	msnm
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	410	Lb
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	4.58 4.38	Peso parte activa	840	Lb
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	1520	Lb
CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE						
PERDIDAS TOTALES:						
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE	
09:30:00 a. m.	0	22.20	22.78	-0.57		
09:50:00 a. m.	20	32.65	23.08	9.58		
10:10:00 a. m.	40	41.90	23.35	18.55		
10:30:00 a. m.	60	47.25	23.15	24.10		
10:50:00 a. m.	80	51.15	23.68	27.48		
11:10:00 a. m.	100	55.60	23.95	31.65		
11:30:00 a. m.	120	58.15	24.28	33.88		
11:50:00 a. m.	140	62.85	24.28	38.58		
12:10:00 p. m.	160	64.90	24.85	40.05		
12:30:00 p. m.	180	67.15	24.90	42.25		
12:50:00 p. m.	200	68.75	25.43	43.33		
01:10:00 p. m.	220	70.40	25.23	45.18		
01:30:00 p. m.	240	71.45	25.75	45.70		
01:50:00 p. m.	260	72.30	25.80	46.50		
02:10:00 p. m.	280	74.65	26.03	48.63		
02:30:00 p. m.	300	75.40	26.03	49.38		
02:50:00 p. m.	320	76.70	25.80	50.90		
03:10:00 p. m.	340	77.65	26.05	51.60		
03:30:00 p. m.	360	78.85	26.40	52.45		
03:50:00 p. m.	380	79.70	26.13	53.58		
04:10:00 p. m.	400	80.35	25.85	54.50		
04:30:00 p. m.	420	80.45	26.13	54.33		
04:50:00 p. m.	440	80.65	25.85	54.80		
05:10:00 p. m.	460	81.05	25.85	55.20		
05:30:00 p. m.	480	81.60	25.90	55.70		
05:50:00 p. m.	500	82.60	25.40	57.20		
06:10:00 p. m.	520	82.45	24.98	57.48		
06:30:00 p. m.	540	82.30	24.75	57.55		
CORRIENTE NOMINAL:						
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE	
06:30:00 p. m.	0	82.30	24.73	57.58		
06:35:00 p. m.	5	82.30	24.80	57.50		
06:40:00 p. m.	10	82.30	24.73	57.58		
06:45:00 p. m.	15	81.75	24.73	57.03		
06:50:00 p. m.	20	81.10	24.73	56.38		
06:55:00 p. m.	25	81.10	24.70	56.40		
07:00:00 p. m.	30	81.20	25.00	56.20		
07:05:00 p. m.	35	80.70	24.78	55.93		
07:10:00 p. m.	40	80.55	24.78	55.78		
07:15:00 p. m.	45	80.50	24.48	56.03		
07:20:00 p. m.	50	80.20	24.15	56.05		
07:25:00 p. m.	55	79.65	24.13	55.53		
07:30:00 p. m.	60	79.50	24.43	55.08		
OBSERVACIONES:						
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02						
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA		
Propio por:  Bachiller de Pruebas I.T.E.S.A.		Revisado por:  Ing. Jesús Arzapalo Samarra		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)		
Fecha: 17/09/2023		Fecha: 17/09/2023				



Figura N°112 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 167 kVA

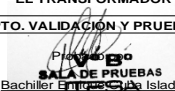

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																																										
Cliente: <b>COBRE TECHNOLOGIES</b> ORDEN DE TRABAJO: 37002064				Tipo de enfriamiento <b>Aceite 60 °C</b>																																																																																																																																																																						
<b>CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>				<b>17/09/2023</b>																																																																																																																																																																						
Marca: ITESA Fecha: 17-Set-23 Nro de serie: 37002064-23 TIPO: T1DI Nro de fases: 2 Enfriamiento: ONAN Clase de aislam.: A Grupo de conexión: Ilo Frecuencia: 60	POTENCIA: 167 KVA Volt-MT: 7200 14400 V Volt-BT: 277 V Amp-MT: 23.19 11.60 A Amp-BT: 602.89 A Nro. de taps.: 5.00 % de reg: 2.50 2.50 Vcc (%): 4.58 4.38 Normas: IEC 60076-02 - IEC 60076-11	Nivel Aislam. Int. MT: 24 / 50 / 125 KV Nivel Aislam. Int. BT.: 1.2 / 10 / 30 KV Numero terminales MT: 2 KV Numero terminales BT: 2 KV Montaje: Exterior Altura de operación: 2000 msnm Peso del aceite: 410 Lb Peso parte activa: 840 Lb Peso Total: 1520 Lb																																																																																																																																																																								
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO MT</b>																																																																																																																																																																										
Medición de la resistencia en caliente MT Fase (H1 - H2)				Datos de los arrollamientos en MT																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Tiempo 10 seg</th> <th>Resistencia R2</th> <th>Temperatura Ø2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>40</td><td>1.6660</td><td>72.56</td></tr> <tr><td>2</td><td>50</td><td>1.6654</td><td>72.46</td></tr> <tr><td>3</td><td>60</td><td>1.6651</td><td>72.40</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>1.6646</td><td>72.31</td></tr> <tr><td>5</td><td>80</td><td>1.6642</td><td>72.23</td></tr> <tr><td>6</td><td>90</td><td>1.6637</td><td>72.15</td></tr> <tr><td>7</td><td>100</td><td>1.6633</td><td>72.07</td></tr> <tr><td>8</td><td>110</td><td>1.6628</td><td>71.99</td></tr> <tr><td>9</td><td>120</td><td>1.6624</td><td>71.91</td></tr> <tr><td>10</td><td>130</td><td>1.6619</td><td>71.83</td></tr> <tr><td>11</td><td>140</td><td>1.6615</td><td>71.75</td></tr> <tr><td>12</td><td>150</td><td>1.6610</td><td>71.67</td></tr> <tr><td>13</td><td>160</td><td>1.6606</td><td>71.59</td></tr> <tr><td>14</td><td>170</td><td>1.6601</td><td>71.51</td></tr> <tr><td>15</td><td>180</td><td>1.6597</td><td>71.43</td></tr> <tr><td>16</td><td>190</td><td>1.6592</td><td>71.35</td></tr> <tr><td>17</td><td>200</td><td>1.6588</td><td>71.27</td></tr> <tr><td>18</td><td>210</td><td>1.6583</td><td>71.19</td></tr> <tr><td>19</td><td>220</td><td>1.6579</td><td>71.11</td></tr> <tr><td>20</td><td>230</td><td>1.6574</td><td>71.03</td></tr> <tr><td>21</td><td>240</td><td>1.6570</td><td>70.95</td></tr> <tr><td>22</td><td>250</td><td>1.6565</td><td>70.87</td></tr> <tr><td>23</td><td>260</td><td>1.6561</td><td>70.79</td></tr> <tr><td>24</td><td>270</td><td>1.6556</td><td>70.71</td></tr> <tr><td>25</td><td>280</td><td>1.6552</td><td>70.63</td></tr> <tr><td>26</td><td>290</td><td>1.6547</td><td>70.55</td></tr> <tr><td>27</td><td>300</td><td>1.6543</td><td>70.47</td></tr> <tr><td>28</td><td>310</td><td>1.6538</td><td>70.39</td></tr> <tr><td>29</td><td>320</td><td>1.6534</td><td>70.30</td></tr> <tr><td>30</td><td>330</td><td>1.6529</td><td>70.22</td></tr> <tr><td>31</td><td>340</td><td>1.6525</td><td>70.14</td></tr> <tr><td>32</td><td>350</td><td>1.6520</td><td>70.06</td></tr> <tr><td>33</td><td>360</td><td>1.6516</td><td>69.98</td></tr> <tr><td>34</td><td>370</td><td>1.6511</td><td>69.90</td></tr> <tr><td>35</td><td>380</td><td>1.6507</td><td>69.82</td></tr> <tr><td>36</td><td>390</td><td>1.6502</td><td>69.74</td></tr> <tr><td>37</td><td>400</td><td>1.6498</td><td>69.66</td></tr> <tr><td>38</td><td>410</td><td>1.6493</td><td>69.58</td></tr> <tr><td>39</td><td>420</td><td>1.6489</td><td>69.50</td></tr> <tr><td>40</td><td>430</td><td>1.6484</td><td>69.42</td></tr> </tbody> </table>	N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	1	40	1.6660	72.56	2	50	1.6654	72.46	3	60	1.6651	72.40	4	70	1.6646	72.31	5	80	1.6642	72.23	6	90	1.6637	72.15	7	100	1.6633	72.07	8	110	1.6628	71.99	9	120	1.6624	71.91	10	130	1.6619	71.83	11	140	1.6615	71.75	12	150	1.6610	71.67	13	160	1.6606	71.59	14	170	1.6601	71.51	15	180	1.6597	71.43	16	190	1.6592	71.35	17	200	1.6588	71.27	18	210	1.6583	71.19	19	220	1.6579	71.11	20	230	1.6574	71.03	21	240	1.6570	70.95	22	250	1.6565	70.87	23	260	1.6561	70.79	24	270	1.6556	70.71	25	280	1.6552	70.63	26	290	1.6547	70.55	27	300	1.6543	70.47	28	310	1.6538	70.39	29	320	1.6534	70.30	30	330	1.6529	70.22	31	340	1.6525	70.14	32	350	1.6520	70.06	33	360	1.6516	69.98	34	370	1.6511	69.90	35	380	1.6507	69.82	36	390	1.6502	69.74	37	400	1.6498	69.66	38	410	1.6493	69.58	39	420	1.6489	69.50	40	430	1.6484	69.42	Material de los arrollamientos: Aluminio      Constante del material: 225		Temperatura Ø1: 22.5	Resistencias de arrollamientos MT		Resistencia resultante
	N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2																																																																																																																																																																						
	1	40	1.6660	72.56																																																																																																																																																																						
	2	50	1.6654	72.46																																																																																																																																																																						
3	60	1.6651	72.40																																																																																																																																																																							
4	70	1.6646	72.31																																																																																																																																																																							
5	80	1.6642	72.23																																																																																																																																																																							
6	90	1.6637	72.15																																																																																																																																																																							
7	100	1.6633	72.07																																																																																																																																																																							
8	110	1.6628	71.99																																																																																																																																																																							
9	120	1.6624	71.91																																																																																																																																																																							
10	130	1.6619	71.83																																																																																																																																																																							
11	140	1.6615	71.75																																																																																																																																																																							
12	150	1.6610	71.67																																																																																																																																																																							
13	160	1.6606	71.59																																																																																																																																																																							
14	170	1.6601	71.51																																																																																																																																																																							
15	180	1.6597	71.43																																																																																																																																																																							
16	190	1.6592	71.35																																																																																																																																																																							
17	200	1.6588	71.27																																																																																																																																																																							
18	210	1.6583	71.19																																																																																																																																																																							
19	220	1.6579	71.11																																																																																																																																																																							
20	230	1.6574	71.03																																																																																																																																																																							
21	240	1.6570	70.95																																																																																																																																																																							
22	250	1.6565	70.87																																																																																																																																																																							
23	260	1.6561	70.79																																																																																																																																																																							
24	270	1.6556	70.71																																																																																																																																																																							
25	280	1.6552	70.63																																																																																																																																																																							
26	290	1.6547	70.55																																																																																																																																																																							
27	300	1.6543	70.47																																																																																																																																																																							
28	310	1.6538	70.39																																																																																																																																																																							
29	320	1.6534	70.30																																																																																																																																																																							
30	330	1.6529	70.22																																																																																																																																																																							
31	340	1.6525	70.14																																																																																																																																																																							
32	350	1.6520	70.06																																																																																																																																																																							
33	360	1.6516	69.98																																																																																																																																																																							
34	370	1.6511	69.90																																																																																																																																																																							
35	380	1.6507	69.82																																																																																																																																																																							
36	390	1.6502	69.74																																																																																																																																																																							
37	400	1.6498	69.66																																																																																																																																																																							
38	410	1.6493	69.58																																																																																																																																																																							
39	420	1.6489	69.50																																																																																																																																																																							
40	430	1.6484	69.42																																																																																																																																																																							
		H1 - H2: 1.39		R1 (Ω): 1.39																																																																																																																																																																						
Temperatura media de los arrollamientos:																																																																																																																																																																										
COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$																																																																																																																																																																										
ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$																																																																																																																																																																										
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>																																																																																																																																																																										
<b>CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>																																																																																																																																																																										
Temperatura del arrollamiento en el punto cero: _____				72.88 °C																																																																																																																																																																						
Resistencia del arrollamiento en el punto cero: _____				1.7237 Ω																																																																																																																																																																						
Temperatura ambiente: _____				24.43 °C																																																																																																																																																																						
Calentamiento medio del arrollamiento: _____				48.45 °C																																																																																																																																																																						
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio): _____				6.73 °C																																																																																																																																																																						
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																																																																										
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02																																																																																																																																																																										
<b>DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS</b>		<b>DPTO TÉCNICO DE INGENIERÍA</b>			<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b>																																																																																																																																																																					
Probado por:  IVE Bachiller en Pruebas de Aislado ITESA		Revisado por:  Ing. Jesús Arzapalo Gamarra			NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																																																																																																																																																					
Fecha: 17/09/2023		Fecha: 17/09/2023																																																																																																																																																																								

Figura N°113 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión,  
167 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>								
Cliente: <b>COBRE TECHNOLOGIES</b>				Tipo de enfriamiento				
ORDEN DE TRABAJO: 37002064				Aceite 60 °C				
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>								
Marca	ITESA	POTENCIA	167 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV			
Fecha	17-Set-23	Volt-MT	7200 14400 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.2 / 10 / 30 KV			
Nro de serie	37002064-23	Volt-BT	277 V	Numero terminales MT	2 KV			
TIPO	T1DI	Amp-MT	23.19 11.60 A	Numero terminales BT	2 KV			
Nro de fases	2	Amp-BT	602.89 A	Montaje	Exterior			
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	2000 msnm			
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	410 Lb			
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	4.58 4.38	Peso parte activa	840 Lb			
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	1520 Lb			
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO BT</b>								
<b>Medición de la resistencia en caliente BT Fases ( x1- x2)</b>				<b>Datos de los arrollamientos en BT</b>				
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	Material de los arrollamientos:	Aluminio	Constante del material:	225	
				Temperatura Ø1	Resistencias de arrollamiento BT			Resistencia resultante
				22.6	x1 - x2			R1 (Ω)
					0.00215		0.00215	
				Temperatura media de los arrollamientos:				
				COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$				
				ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$				
				<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>				
				<p>NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7: Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora. *(Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)</p>				
				<p>Temperatura °C</p> <p style="text-align: center;"><math>y = -0.12x + 72.12</math></p> <p style="text-align: center;">Tiempo Segundos</p>				
<b>CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>								
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				72.12 °C				
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				0.0026668 Ω				
Temperatura ambiente:				24.43 °C				
Calentamiento medio del arrollamiento:				47.70 °C				
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				5.97 °C				
<b>OBSERVACIONES:</b>								
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02								
<b>DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS</b>		<b>DPTO TECNICO DE INGENIERIA</b>		<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b>				
Probado por:  Bachiller Edwin Cuba Islado SALA DE PRUEBAS I.T.S.A.		Revisado por:  Ing. Jesus Arzapalo Gamarra Oficina de Ingeniería		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)				
Fecha: 17/09/2023		Fecha: 17/09/2023						



Figura N°114 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 167 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																													
<b>Cliente:</b> COBRE TECHNOLOGIES <b>ORDEN DE TRABAJO:</b> 37002064					<b>Tipo de enfriamiento</b> Aceite 60 °C																																								
<b>CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>					<b>17/09/2023</b>																																								
<b>Marca</b> ITESA <b>Fecha</b> 17-Set-23 <b>Nro de serie</b> 37002064-23 <b>TIPO</b> T1DI <b>Nro de fases</b> 2 <b>Enfriamiento</b> ONAN <b>Clase de aislam.</b> A <b>Grupo de conexión</b> Iio <b>Frecuencia</b> 60	<b>POTENCIA</b> 167 KVA <b>Volt-MT</b> 7200 14400 V <b>Volt-BT</b> 277 V <b>Amp-MT</b> 23.19 11.60 A <b>Amp-BT</b> 602.89 A <b>Nro. de taps.</b> 5.00 <b>% de reg</b> 2.50 2.50 <b>Vcc (%)</b> 4.58 4.38 <b>Normas</b> IEC 60076-02 - IEC 60076-01	<b>Nivel Aislam. Int. MT</b> 24 / 50 / 125 KV <b>Nivel Aislam. Int. BT.</b> 1.2 / 10 / 30 KV <b>Numero terminales MT</b> 2 KV <b>Numero terminales BT</b> 2 KV <b>Montaje</b> Exterior <b>Altura de operación</b> 2000 msnm <b>Peso del aceite</b> 410 Kg <b>Peso parte activa</b> 840 Kg <b>Peso Total</b> 1520 Kg																																											
<b>RESULTADOS FINALES DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																													
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA:</b>																																													
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">TEMPERATURA DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_{amb1}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES</td> <td>24.75</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{asup}</math></td> <td>TEMP. PARTE SUPERIOR</td> <td>82.30</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{ainf}</math></td> <td>TEMP. PARTE INFERIOR</td> <td>54.60</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{am}</math></td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>68.45</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amd}</math></td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN</td> <td>66.15</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb2}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL</td> <td>24.43</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_1</math></td> <td>HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)</td> <td>61.90%</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_2</math></td> <td>HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)</td> <td>60.10%</td> <td>°C</td> </tr> </tbody> </table>						TEMPERATURA DEL ACEITE				$T_{amb1}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	24.75	°C	$T_{asup}$	TEMP. PARTE SUPERIOR	82.30	°C	$T_{ainf}$	TEMP. PARTE INFERIOR	54.60	°C	$T_{am}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE	68.45	°C	$T_{amd}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	66.15	°C	$T_{amb2}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	24.43	°C	$H_1$	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	61.90%	°C	$H_2$	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	60.10%	°C				
TEMPERATURA DEL ACEITE																																													
$T_{amb1}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	24.75	°C																																										
$T_{asup}$	TEMP. PARTE SUPERIOR	82.30	°C																																										
$T_{ainf}$	TEMP. PARTE INFERIOR	54.60	°C																																										
$T_{am}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE	68.45	°C																																										
$T_{amd}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	66.15	°C																																										
$T_{amb2}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	24.43	°C																																										
$H_1$	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	61.90%	°C																																										
$H_2$	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	60.10%	°C																																										
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\Delta T_a</math></td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR</td> <td>57.55</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{ai}</math></td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR</td> <td>29.85</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{am}</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE</td> <td>43.70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm</td> <td>57.55</td> <td>≤ 60 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 2000 msnm</td> <td>57.55</td> <td>≤ 57.5 °C</td> </tr> <tr> <td>Gradiente (g)</td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>6.73</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2 \cdot \Delta T_{am}</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>5.97</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hot Spot</td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT</td> <td>64.95</td> <td>≤ 78 °C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_a + gH</math></td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT</td> <td>64.12</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE				$\Delta T_a$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	57.55	°C	$\Delta T_{ai}$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	29.85	°C	$\Delta T_{am}$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	43.70	°C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	57.55	≤ 60 °C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 2000 msnm	57.55	≤ 57.5 °C	Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	6.73		$\theta_2 \cdot \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	5.97		Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	64.95	≤ 78 °C	$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	64.12	
CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE																																													
$\Delta T_a$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	57.55	°C																																										
$\Delta T_{ai}$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	29.85	°C																																										
$\Delta T_{am}$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	43.70	°C																																										
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	57.55	≤ 60 °C																																										
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 2000 msnm	57.55	≤ 57.5 °C																																										
Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	6.73																																											
$\theta_2 \cdot \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	5.97																																											
Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	64.95	≤ 78 °C																																										
$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	64.12																																											
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>1.3857</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>1.7237</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>22.50</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>72.88</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{Al}</math></td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO</td> <td>225.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>24.43</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>48.45</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>48.45</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm</td> <td>48.45</td> <td>≤ 62.5 °C</td> </tr> </tbody> </table>						CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT				$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	1.3857	Ω	$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	1.7237	Ω	$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.50	°C	$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	72.88	°C	$K_{Al}$	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00		$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	24.43	°C	$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	48.45	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	48.45	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm	48.45	≤ 62.5 °C
CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT																																													
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	1.3857	Ω																																										
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	1.7237	Ω																																										
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.50	°C																																										
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	72.88	°C																																										
$K_{Al}$	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00																																											
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	24.43	°C																																										
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	48.45	°C																																										
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	48.45	≤ 65 °C																																										
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm	48.45	≤ 62.5 °C																																										
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>0.0021500</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>0.0026668</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>22.50</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>72.12</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{Al}</math></td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO</td> <td>225.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>24.43</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>47.70</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>47.70</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm</td> <td>47.70</td> <td>≤ 62.5 °C</td> </tr> </tbody> </table>						CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT				$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	0.0021500	Ω	$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0026668	Ω	$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.50	°C	$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	72.12	°C	$K_{Al}$	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00		$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	24.43	°C	$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	47.70	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	47.70	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm	47.70	≤ 62.5 °C
CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT																																													
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	0.0021500	Ω																																										
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0026668	Ω																																										
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	22.50	°C																																										
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	72.12	°C																																										
$K_{Al}$	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO	225.00																																											
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	24.43	°C																																										
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	47.70	°C																																										
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	47.70	≤ 65 °C																																										
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 2000 msnm	47.70	≤ 62.5 °C																																										
<b>EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:</b>																																													
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>EQUIPOS</th> <th>MARCA</th> <th>N° SERIE</th> <th>CALIBRACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 1</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>334</td> <td>CLT-0003-2023</td> </tr> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 2</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>341</td> <td>CLT-0004-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°1</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-10</td> <td>CLT-0007-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°2</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-11</td> <td>CLT-0008-2023</td> </tr> <tr> <td>ANALIZADOR DE REDES</td> <td>SATEC</td> <td>990916</td> <td>CLE-008-2023</td> </tr> <tr> <td>CAMARA TERMOGRAFICA</td> <td>Guide</td> <td>ZC04A2000728</td> <td>222961</td> </tr> <tr> <td>TERMOHIGROMETRO</td> <td>UNI-T</td> <td>2AWEE-8762-01</td> <td>CLT-0150-2023</td> </tr> <tr> <td>MILIOMIMETRO</td> <td>Megabras - MO 2Ke</td> <td>UU20471</td> <td>224546</td> </tr> </tbody> </table>						EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN	MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023	MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023	ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023	CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961	TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023	MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546				
EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN																																										
MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023																																										
MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023																																										
SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023																																										
SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023																																										
ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023																																										
CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961																																										
TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023																																										
MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546																																										
<b>OBSERVACIONES:</b>																																													
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02																																													
EL CALENTAMIENTO DE LOS ARROLLAMIENTOS CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02																																													
EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LO EXIGIDO EN LA NORMATIVIDAD POR LO TANTO SE CONCLUYE QUE EL DISEÑO ESTA HECHO PARA ESA POTENCIA DE 167 KVA																																													
<b>RESULTADO: EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LOS VALORES ESPECIFICADOS EN LA NORMA IEC 60076-02</b>																																													
<b>DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS</b>  Bachiller Enrique de la Isla		<b>DPTO. TECNICO DE INGENIERIA</b>  Ing Jesus Arzapalo Gamarra		<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b> NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																									
Fecha: 17/09/2023		Fecha: 17/09/2023																																											

## Resultados finales:

- 1. El calentamiento medio del aceite superior a una altitud de 2000 msnm debe tener un valor  $\leq 57.5^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $57.55^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda aumentar la disipación de calor con más aletas, ya que el transformador está bien al trabajar en plena carga. Y en una sobrecarga el aceite se calentará perjudicando los aislamientos.

- 2. El calentamiento medio del arrollamiento en media tensión a una altitud de 2000 msnm debe tener un valor  $\leq 62.5^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $48.45^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda mantener el diseño del arrollamiento en media tensión ya que hay una tolerancia de aproximadamente  $14^{\circ}\text{C}$ .

- 3. El calentamiento medio del arrollamiento en baja tensión a una altitud de 2000 msnm debe tener un valor  $\leq 62.5^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $47.70^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda mantener el diseño del arrollamiento en media tensión ya que hay una tolerancia de aproximadamente  $14^{\circ}\text{C}$ .

- 4. La temperatura del punto más caliente tiene que ser  $\leq 78^{\circ}\text{C}$ :**

La media tensión tiene  $64.95^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

La baja tensión tiene  $64.12^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

### Muestra N°3 - Nuevo protocolo de calentamiento:

Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 –

Dd6, Fecha: 20/09/2023

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO										F-AC-03-01			
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION TRIFASICO										Versión 02			
CLIENTE: TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.										ACEITE: X			
OBRA:										OT: 37002119			
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>													
Marca	ITESA		Potencia	160 KVA		Montaje	EXTERIOR						
Número de Serie	37002119		Relac. Transformación	10000 - 22900 / 400 - 231 V		Nivel Aislam. Int. AT	24 / 50 / 125 KV						
Tipo	T3DI		Relac. Corriente	9.24 - 4.03 / 230.94 A		Nivel Aislam. Ext. AT	170 KV						
Año de Fabricación	2023		Grupo de Conexión	Dyn5 - Dd6		Nivel Aislam. Int. BT	1.1 / 3.0 / - KV						
Norma IEC	60076		Tcc (%)	3.97 4.06 %		Nivel Aislam. Ext. BT	- KV						
Frecuencia	60 Hz		Taps	± 2 x 2.5 / ± 2 x 2.5 %		Peso del Aceite	210 Kg.						
Refrigeración	ONAN		Altitud m.s.n.m	1000		Peso Total	800 Kg.						
1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO:										T amb. = 21.1 °C			
DENOMINACION			AT - BT			AT - Masa			BT - Masa				
M - Ohmios			37200 M - Ohm.			34500 M - Ohm.			17000 M - Ohm.				
VDC			5000 VDC			5000 VDC			1000 VDC				
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO ( 10000 / 400 )</b>													
POS.	RELACION	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	GRUPO			
COM.	TEORICA	U - V / n - u	RELACION (%)	V - W / n - v	RELACION (%)	W - U / n - w	RELACION (%)						
1	45.466	45.648	-0.40	45.648	-0.40	45.647	-0.40			Dyn5			
2	44.384	44.481	-0.22	44.481	-0.22	44.480	-0.22			Dyn5			
3	43.301	43.347	-0.11	43.347	-0.11	43.346	-0.10			Dyn5			
4	42.219	42.179	0.09	42.179	0.09	42.179	0.09			Dyn5			
5	41.136	41.012	0.30	41.012	0.30	41.012	0.30			Dyn5			
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO ( 22900 / 400 )</b>													
POS.	RELACION	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	RELACION MEDIDA	ERROR DE	GRUPO			
COM.	TEORICA	U - V / v - u	RELACION (%)	V - W / w - v	RELACION (%)	W - U / u - w	RELACION (%)						
1	104.118	103.820	0.29	103.820	0.29	103.820	0.29			Dyn5			
2	101.639	101.480	0.16	101.480	0.16	101.480	0.16			Dyn5			
3	99.160	99.214	-0.05	99.217	-0.06	99.214	-0.05			Dyn5			
4	96.681	96.879	-0.20	96.880	-0.21	96.879	-0.20			Dyn5			
5	94.202	94.544	-0.36	94.544	-0.36	94.543	-0.36			Dyn5			
3.- MEDIDA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE:										T amb. (°C)			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										21.1			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										IEC 60296			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										KV			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										50			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										ACEITE			
DIELECTRICA DEL ACEITE:										NYNAS DISTRO DT-11			
<b>4.- PRUEBA EN VACIO:</b>													
POS.	VOLTIOS			CV = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			CW = 1	
COM.	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	TOTAL				
3	400	401	400	3.24	2.68	3.19		640	640				
<b>5.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS:</b>													
T amb. = 21.1 °C													
ARROLLAMIENTO DE BT				ARROLLAMIENTO DE AT				10 KV.	ARROLLAMIENTO DE AT				22.9 KV.
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA		
u - n	5.4 mV	1 A	5.4 mΩ	U - V	9.72 V	1 A	9.7 Ω	U - V	45.50 V	1 A	45.5 Ω		
v - n	5.3 mV	1 A	5.3 mΩ	V - W	9.69 V	1 A	9.7 Ω	V - W	45.60 V	1 A	45.6 Ω		
w - n	5.2 mV	1 A	5.2 mΩ	W - U	9.70 V	1 A	9.7 Ω	W - U	45.40 V	1 A	45.4 Ω		
<b>6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO: 10 KV.</b>													
T amb. = 21.1 °C													
POS.	VOLTIOS			CV = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			CW = 1	
COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	TOTAL	Pcu WATTS	Tcc (%)		
3	390.91	391.9	391.91	9.24	9.32	9.16		2241.0	2241	2240.97	3.92		
<b>6.1- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO: 22.9 KV.</b>													
T amb. = 21.1 °C													
POS.	VOLTIOS			CV = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			CW = 1	
COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	TOTAL	Pcu WATTS	Tcc (%)		
3	915.98	919.7	917.8	4.03	4.03	4.03		2013.4	2013.4	2013.43	4.01		
<b>7.- PRUEBA DE TENSION INDUCIDA:</b>													
<b>8.- PRUEBA DE TENSION APLICADA:</b>													
VOLTIOS	Hz.	Amp.	SEGUNDOS	AT / BT - M				50 KV	5.87 A	60 Seg.			
800	120	2.14	60	BT / AT - M				3 KV	1.16 A	60 Seg.			
<b>9.- RESUMEN:</b>													
CALCULADO				MEDIDO				GARANTIZADO				TOLERANCIA (%)	
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )				10 KV			22.9 KV.				+ 15		
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )				2491.25			2252.86				+ 15		
Tcc a 75 °C (%)				3.97			4.06				+ - 10		
Io a Vnom, Fnom (%)				1.31			1.31				+ 30		
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )				2236.30			2008.92						
Tcc a 20 °C (%)				3.91			4.01						
* Todas las pruebas estan CONFORME según norma IEC 60076													
DPTO. DE VALIDACION Y PRUEBAS				DPTO. TECNICO				PARTICIPANTES				20/09/2023	
Probado por:  V.B. SALA DE PRUEBAS Tec. M. Pineda				Revisado Por:  V.B. Sala de Pruebas									
Fecha: 20/09/2023				Fecha: 20/09/2023									

Figura N°115 Protocolo de pruebas de rutina, transformador

trifásico 160 kVA

## Revisión del protocolo de rutina y preparación de transformador:

Se revisó el protocolo de pruebas para calcular las pérdidas totales, se ubicó el transformador en el área delimitada para la prueba, se instalaron los sensores de temperatura y se midió la resistencia de arrollamientos en media y baja tensión, para después proceder a ponerlo en estado de cortocircuito y proceder con la prueba en pérdidas totales.



*Figura N°116 Colocación de plancha metálica de cobre, sensor de temperatura y montaje con cinta filamentada, 160 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°117 transformador terminado y conectado para la prueba, 160 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura N°118 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de baja tensión, 160 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura N°119 Medidas de resistencias de arrollamientos, lado de media tensión, 160 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura N°120 Medición de resistencia media tensión, 160 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura N°121 Medición de resistencia baja tensión, 160 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



Figura N°122 Pérdidas totales,  
160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°123 Tensiones de  
pérdidas totales, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°124 Corrientes de  
pérdidas totales, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°125 Temperatura superior y ambiente N°1, Temperatura media y ambiente N°2, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°126 Temperatura inferior y ambiente N°3, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia

## Registro de temperaturas hasta la estabilización:

Se realizó el registro de temperaturas tanto con los medidores de temperatura, la cámara termográfica y el higrómetro digital, cada 20 minutos hasta la estabilización de las temperaturas en el transformador.



*Figura N°127 Temperatura superior cámara termográfica, Temperatura media cámara termográfica, 160 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°128 Temperatura inferior cámara termográfica, 160 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*





Figura N°129 Temperatura superior y ambiente N°1, Temperatura media y ambiente N°2 en el transcurso de la prueba, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°130 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°131 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°132 Temperatura media del transformador en el transcurso de la prueba, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia

**Corriente nominal:**

Luego que las temperaturas se han estabilizado se procedió con la inyección de la corriente nominal del transformador por 1 hora.



*Figura N°133 Tensiones a corriente nominal y corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 160 kVA*

Fuente: Elaboración propia



*Figura N°134 Perdidas a corriente nominal y Humedad a corriente nominal, 160 kVA*

Fuente: Elaboración propia

### Resistencia de arrollamientos en caliente:

Después del término de la hora en corriente nominal se procedió con la deserregización del transformador, desconexión del estado de cortocircuito y medición de las resistencias de arrollamientos en media y baja tensión, se hizo en el devanado central en media tensión fase V - W y en baja n - v.



Figura N°135 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°136 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 160 kVA

Fuente: Elaboración propia

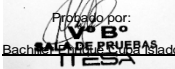

# Protocolo de calentamiento:

PRUEBA DE CALENTAMIENTO										Tipo de enfriamiento							
Cliente: <b>TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.</b> ORDEN DE TRABAJO: <b>37002119</b>										Aceite <b>60 °C</b> <b>21/09/2023</b>							
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>																	
Marca	ITESA	POTENCIA	160.00	KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV										
Fecha	21-Sep-23	Volt-MT	10000	22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV										
Nro de serie	37002119-01	Volt-BT	400	231 V	Numero terminales MT	3	Und										
TIPO	T3DI	Amp-MT	9.24	4.03 A	Numero terminales BT	6	Und										
Nro de fases	3	Amp-BT	230.94	399.90 A	Montaje	Exterior											
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00		Altura de operación	1000	msnm										
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50	2.50	Peso del aceite	210	Kg										
Grupo de conexión	Dyn5 - Djs5	Vcc (%)	3.97	4.06	Peso parte activa	410	Kg										
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02, IEC 60076-01		Peso Total	800	Kg										
<b>1. DATOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS (PERDIDAS DEL TRANSFORMADOR)</b>																	
Perdidas del nucleo:		639	W	Factor k de perdidas:		1.12	K	Corriente perdidas totales:		10.35	A						
Perdidas del cobre 75°C:		2491	W	Corriente de cortocircuito:		9.24	A	Tension perdidas totales:		445.01	V						
Perdidas totales:		3130	W	Tensión de cortocircuito:		397.00	V	Temp. Max Aceite corregida		60.00	°C						
<b>RESISTENCIAS MT - R1 (Ω)</b>		<b>RESISTENCIAS BT - R2*(Ω)</b>		<b>RESISTENCIA EQUIVALENTE (Ω)</b>				<b>PERDIDAS I<sup>2</sup>R (W)</b>		<b>PRUEBA DE CORTOCIRCUITO (W)</b>							
9.719	0.00536	Req D-Y:		Req $\phi = \left(\frac{R1}{3}\right) + R2 + (Vp/Vs)^2$		1672	1672	Perd. 3Ø - Tamb		2241							
9.685	0.00527	Req Y-Y:		Req $\phi = (R1) + R2 + (Vp/Vs)^2$		2023	2023	Perd. 3Ø - 75°C		2491							
9.698	0.00519	Req 1Ø - Tamb		6.53		Ω		Perd. Adicionales Temp. Amb		468							
9.701	0.00527	Req 1Ø - 75°C		7.90		Ω		Perd. Vacío 1Ø - Tamb		639							
<b>EQUIVALENTE (R1/3)</b>		<b>EQUIVALENTE R2*</b>		Req. 1Ø - Tamb		557.17	W	Perd. Vacío 1Ø - Tamb		639							
3.23		0.00527		Req. 1Ø - 75°C		674.44	W	Perd. Vacío 1Ø - Tamb		639							
<b>2. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A PERDIDAS TOTALES</b>																	
Analizador de redes				Monitor de temperatura y Camara termica								Monitor de temperatura				Termohigrometro	
Hora	L. Perd. Totales (W)	V. Perd. totales (Vp)	Fdp cosφ	Perdidas totales (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4		
07:20:00 p. m.	10.81	463.43	0.36	3129	23.00	22.80	23.00	22.60	24.00	23.10	21.00	21.00	21.00	76.30	21.60		
07:40:00 p. m.	10.59	454.30	0.37	3129	27.00	26.70	27.00	26.10	23.00	22.30	21.00	21.00	21.00	74.40	22.00		
08:00:00 p. m.	10.57	452.47	0.38	3129	33.00	34.20	32.00	33.60	26.00	25.80	21.00	21.00	21.00	75.00	21.60		
08:20:00 p. m.	10.49	450.80	0.38	3128	38.00	39.70	35.00	39.20	29.00	29.90	21.00	21.00	21.00	72.10	22.30		
08:40:00 p. m.	10.43	449.30	0.38	3130	41.00	43.70	38.00	43.40	31.00	33.00	21.00	21.00	21.00	71.90	22.20		
09:00:00 p. m.	10.40	447.63	0.39	3133	44.00	46.90	40.00	46.40	33.00	36.10	21.00	21.00	21.00	71.40	22.40		
09:20:00 p. m.	10.36	447.00	0.39	3132	46.00	50.20	42.00	48.70	34.00	37.40	22.00	21.00	21.00	71.20	22.30		
09:40:00 p. m.	10.32	446.27	0.39	3130	48.00	52.20	43.00	50.80	35.00	40.40	22.00	21.00	22.00	71.40	22.30		
10:00:00 p. m.	10.29	445.70	0.39	3131	50.00	54.10	45.00	52.70	37.00	42.80	22.00	21.00	22.00	72.00	22.20		
10:20:00 p. m.	10.38	447.43	0.39	3131	51.00	55.80	47.00	53.20	39.00	43.50	22.00	21.00	22.00	71.90	22.10		
10:40:00 p. m.	10.26	444.00	0.40	3128	52.00	55.50	47.00	54.60	39.00	45.40	22.00	21.00	22.00	71.10	22.30		
11:00:00 p. m.	10.23	442.47	0.40	3131	53.00	57.10	48.00	56.00	39.00	45.40	22.00	21.00	22.00	71.10	22.30		
11:20:00 p. m.	10.22	442.67	0.40	3132	53.00	57.70	49.00	56.60	40.00	44.30	22.00	21.00	22.00	71.90	22.20		
11:40:00 p. m.	10.22	442.50	0.40	3131	54.00	58.30	50.00	56.70	40.00	45.60	22.00	21.00	22.00	70.30	22.60		
12:00:00 a. m.	10.22	442.87	0.40	3131	55.00	59.40	50.00	56.90	41.00	45.80	22.00	21.00	21.00	71.70	22.20		
12:20:00 a. m.	10.19	442.07	0.40	3128	56.00	60.10	50.00	58.20	41.00	47.30	22.00	21.00	22.00	72.60	22.20		
12:40:00 a. m.	10.19	441.93	0.40	3131	56.00	60.70	51.00	58.70	42.00	48.00	22.00	21.00	22.00	72.40	22.00		
01:00:00 a. m.	10.16	441.27	0.40	3129	57.00	61.40	51.00	59.50	42.00	49.20	22.00	21.00	22.00	72.00	22.00		
01:20:00 a. m.	10.17	441.03	0.40	3130	57.00	61.90	52.00	59.90	42.00	50.30	22.00	21.00	22.00	72.70	22.00		
01:40:00 a. m.	10.16	441.47	0.40	3129	58.00	62.00	52.00	60.10	43.00	51.60	22.00	21.00	22.00	72.20	22.20		
02:00:00 a. m.	10.15	441.17	0.40	3130	58.00	62.70	52.00	60.60	43.00	52.20	23.00	21.00	22.00	72.90	22.20		
02:20:00 a. m.	10.14	440.63	0.40	3131	58.00	63.10	52.00	60.90	43.00	52.80	23.00	21.00	22.00	71.70	22.50		
02:40:00 a. m.	10.15	440.63	0.40	3132	59.00	63.20	52.00	60.90	43.00	52.30	23.00	22.00	22.00	72.40	23.10		
03:00:00 a. m.	10.15	440.57	0.40	3129	59.00	63.80	52.00	61.60	43.00	51.60	23.00	21.00	22.00	72.80	22.10		
03:20:00 a. m.	10.14	440.87	0.40	3129	59.00	63.40	53.00	61.20	44.00	51.10	23.00	21.00	22.00	72.80	22.00		
03:40:00 a. m.	10.13	439.97	0.40	3131	59.00	64.10	53.00	62.00	44.00	51.90	23.00	21.00	22.00	72.80	22.00		
04:00:00 a. m.	10.14	440.53	0.40	3128	59.00	64.10	53.00	62.30	44.00	51.60	23.00	21.00	22.00	73.10	22.10		
04:20:00 a. m.	10.14	440.80	0.40	3130	59.00	63.10	52.00	61.90	44.00	50.70	23.00	21.00	22.00	73.10	22.60		
<b>Medición Final Perdidas de prueba</b>		10.14	440.80	0.40	3130	61.05		56.95	47.35		22.15		73.10%				
<b>3. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A CORRIENTE NOMINAL</b>																	
Hora	L. Nominal (In)	Tension a In (Vin)	Fdp cosφ	Perdidas a In (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4		
04:30:00 a. m.	9.27	402.00	0.40	2613	59.00	63.10	52.00	61.90	44.00	50.70	23.00	21.00	22.00	73.10	22.60		
04:35:00 a. m.	9.25	401.70	0.40	2598	59.00	63.00	52.00	61.80	44.00	50.60	23.00	21.00	22.00	74.30	22.20		
04:40:00 a. m.	9.26	401.53	0.40	2598	59.00	63.00	52.00	61.80	43.00	50.60	23.00	21.00	22.00	74.30	22.20		
04:45:00 a. m.	9.25	401.35	0.40	2597	59.00	63.00	52.00	61.50	43.00	50.00	23.00	21.00	22.00	74.20	22.10		
04:50:00 a. m.	9.26	401.77	0.40	2595	59.00	62.90	52.00	61.20	43.00	49.90	23.00	21.00	22.00	74.40	22.20		
04:55:00 a. m.	9.27	401.80	0.40	2594	59.00	62.80	51.00	61.00	43.00	49.80	23.00	21.00	22.00	74.40	22.20		
05:00:00 a. m.	9.25	401.53	0.40	2583	58.00	62.60	51.00	60.90	43.00	49.70	23.00	21.00	22.00	73.60	22.10		
05:05:00 a. m.	9.25	401.13	0.40	2585	58.00	62.40	51.00	60.85	43.00	49.70	23.00	21.00	22.00	73.60	22.10		
05:10:00 a. m.	9.26	401.37	0.40	2581	58.00	62.40	51.00	60.70	43.00	49.50	23.00	21.00	22.00	73.50	22.00		
05:15:00 a. m.	9.24	400.37	0.40	2578	58.00	62.40	51.00	60.70	43.00	49.50	23.00	21.00	22.00	73.50	22.00		
05:20:00 a. m.	9.23	400.27	0.40	2574	58.00	62.40	51.00	60.60	43.00	49.50	23.00	21.00	22.00	73.60	22.10		
05:25:00 a. m.	9.23	400.97	0.40	2573	58.00	62.30	51.00	60.60	43.00	49.50	23.00	21.00	21.00	73.60	22.10		
05:30:00 a. m.	9.23	400.20	0.40	2572	57.00	61.90	50.00	59.10	43.00	49.10	23.00	21.00	21.00	73.40	22.10		
05:30:00 a. m.	9.23	400.20	0.40	2572	57.00	61.90	50.00	59.10	43.00	49.10	23.00	21.00	21.00	73.40	22.10		
<b>Medición Final Corriente nominal</b>		9.23	400.20	0.40	2572.00	59.45		54.55	46.05		21.78		73.40%				
<b>4. MEDIDAS DE LOS ARROLLAMIENTOS</b>																	
<b>MEDIA TENSION :</b> 10 Kv					<b>BAJA TENSION:</b> 0.4 Kv												
<b>ARROLLAMIENTO INICIAL:</b>					<b>ARROLLAMIENTO INICIAL:</b>												
FASES					FASES												
TENSION					TENSION												
CORRIENTE					CORRIENTE												
RESISTENCIA					RESISTENCIA												
U - V	9.719	mV	1	A	9.72	0	u - n	5.360	mV	1	A	0.0054	0				
V - W	9.685	mV	1	A	9.69	0	v - n	5.270	mV	1	A	0.0053	0				
U - W	9.698	mV	1	A	9.70	0	v - n	5.190	mV	1	A	0.0052	0				
<b>5. TEMPERATURAS DEL ACEITE</b>										<b>6. RESULTADOS DE LA TEMPERATURA Y CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b>							
Temperatura superior	22.90	FINAL (PERD TOTAL)	61.05	FINAL (PERD NOM)	59.45	Temperatura media del aceite (Tam)	54.2	°C									
Temperatura media	22.80	56.95	54.55	Temperatura media despues de la desconexion (Tamd)	52.8	°C											
Temperatura inferior	23.55	47.35	46.05	Calentamiento de la parte superior (ΔTa)	38.9	°C											
Temperatura ambiente	21.15	22.15	21.78	Calentamiento medio del aceite (ΔTm)	32.1	°C											
Humedad %	76.30%	73.10%	73.40%	Calentamiento medio del aceite despues de la desconexion (ΔTmd)	31.0	°C											
						Cal											

Figura N°138 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 160 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>					
Cliente: <b>TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.</b>					Tipo de enfriamiento <b>Aceite 60 °C</b>
ORDEN DE TRABAJO: <b>37002119</b>					<b>21/09/2023</b>
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR					
Marca	ITESA	POTENCIA	160 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV
Fecha	21-Sep-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV
Nro de serie	37002119-01	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3 KV
TIPO	T3DI	Amp-MT	9.24 4.03 A	Numero terminales BT	6 KV
Nro de fases	3	Amp-BT	230.94 399.90 A	Montaje	Exterior
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	1000 msnm
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	210 Kg
Grupo de conexión	Dyn5 - Dd6	Vcc (%)	3.97 4.06	Peso parte activa	410 Kg
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	800 Kg
CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE					
PERDIDAS TOTALES:					
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	<div style="text-align: center;"> <b>CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b> </div>
07:20:00 p. m.	0	22.90	21.15	1.75	
07:40:00 p. m.	20	27.85	21.25	6.60	
08:00:00 p. m.	40	33.60	21.15	12.45	
08:20:00 p. m.	60	38.85	21.33	17.53	
08:40:00 p. m.	80	42.35	21.30	21.05	
09:00:00 p. m.	100	45.45	21.35	24.10	
09:20:00 p. m.	120	48.10	21.58	26.53	
09:40:00 p. m.	140	50.10	21.83	28.28	
10:00:00 p. m.	160	52.05	21.80	30.25	
10:20:00 p. m.	180	53.40	21.78	31.63	
10:40:00 p. m.	200	53.75	21.83	31.93	
11:00:00 p. m.	220	55.05	21.83	33.23	
11:20:00 p. m.	240	55.35	21.80	33.55	
11:40:00 p. m.	260	56.15	21.90	34.25	
12:00:00 a. m.	280	57.20	21.55	35.65	
12:20:00 a. m.	300	58.05	21.80	36.25	
12:40:00 a. m.	320	58.35	21.75	36.60	
12:40:00 a. m.	340	59.20	21.75	37.45	
01:00:00 a. m.	360	59.45	21.75	37.70	
01:20:00 a. m.	380	60.00	21.80	38.20	
01:40:00 a. m.	400	60.35	22.05	38.30	
02:00:00 a. m.	420	60.55	22.13	38.43	
02:20:00 a. m.	440	61.10	22.53	38.58	
03:00:00 a. m.	460	61.40	22.03	39.38	
03:20:00 a. m.	480	61.20	22.00	39.20	
03:40:00 a. m.	500	61.55	22.00	39.55	
04:00:00 a. m.	520	61.55	22.03	39.53	
04:20:00 a. m.	540	61.05	22.15	38.90	
CORRIENTE NOMINAL:					
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	<div style="text-align: center;"> <b>CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b> </div>
04:30:00 a. m.	0	61.05	22.15	38.90	
04:35:00 a. m.	5	61.00	22.05	38.95	
04:40:00 a. m.	10	61.00	22.05	38.95	
04:45:00 a. m.	15	61.00	22.03	38.98	
04:50:00 a. m.	20	60.95	22.05	38.90	
04:55:00 a. m.	25	60.90	22.05	38.85	
05:00:00 a. m.	30	60.30	22.03	38.28	
05:05:00 a. m.	35	60.20	22.03	38.18	
05:10:00 a. m.	40	60.20	22.00	38.20	
05:15:00 a. m.	45	60.20	22.00	38.20	
05:20:00 a. m.	50	60.20	21.78	38.43	
05:25:00 a. m.	55	60.15	21.78	38.38	
05:30:00 a. m.	60	59.45	21.78	37.68	
OBSERVACIONES:					
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02					
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS Prof. por: Bachiller <b>CARLOS DE LA CRUZ</b> ITESA		DPTO TÉCNICO DE INGENIERIA Revisado por: Ing. <b>Jesús Arzapalo Camarra</b>		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)	
Fecha: 21/09/2023		Fecha: 21/09/2023			

Figura N°139 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 160 kVA

PRUEBA DE CALENTAMIENTO							
Cliente: TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.					Tipo de enfriamiento		
ORDEN DE TRABAJO: 37002119					Aceite 60 °C		
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR					21/09/2023		
Marca	ITESA	POTENCIA	160 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV	
Fecha	21-Set-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV	
Nro de serie	37002119-01	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3	KV	
TIPO	T3DI	Amp-MT	9.24 4.03 A	Numero terminales BT	6	KV	
Nro de fases	3	Amp-BT	230.94 399.90 A	Montaje	Exterior		
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	1000	msnm	
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	210	Kg	
Grupo de conexión	Dyn5 - Dd6	Vcc (%)	3.97 4.06	Peso parte activa	410	Kg	
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	800	Kg	
MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DESPUES DEL CORTE							
Medición de la resistencia en caliente MT Fases (V - W)				Medición de la resistencia en caliente BT Fases (u - n)			
°N	Hora	Resistencia	Unidad	°N	Hora	Resistencia	Unidad
1	05:35:00 a. m.	11.1000	Ω	1	05:35:00 a. m.	0.00596	Ω
2	05:35:10 a. m.	11.0660	Ω	2	05:35:10 a. m.	0.00594	Ω
3	05:35:20 a. m.	11.0320	Ω	3	05:35:20 a. m.	0.00592	Ω
4	05:35:30 a. m.	10.9980	Ω	4	05:35:30 a. m.	0.00590	Ω
5	05:35:40 a. m.	10.9640	Ω	5	05:35:40 a. m.	0.00588	Ω
6	05:35:50 a. m.	10.9300	Ω	6	05:35:50 a. m.	0.00586	Ω
7	05:36:00 a. m.	10.8960	Ω	7	05:36:00 a. m.	0.00584	Ω
8	05:36:10 a. m.	10.8620	Ω	8	05:36:10 a. m.	0.00582	Ω
9	05:36:20 a. m.	10.8280	Ω	9	05:36:20 a. m.	0.00580	Ω
10	05:36:30 a. m.	10.7940	Ω	10	05:36:30 a. m.	0.00578	Ω
11	05:36:40 a. m.	10.7600	Ω	11	05:36:40 a. m.	0.00576	Ω
12	05:36:50 a. m.	10.7260	Ω	12	05:36:50 a. m.	0.00574	Ω
13	05:37:00 a. m.	10.6920	Ω	13	05:37:00 a. m.	0.00572	Ω
14	05:37:10 a. m.	10.6580	Ω	14	05:37:10 a. m.	0.00570	Ω
15	05:37:20 a. m.	10.6240	Ω	15	05:37:20 a. m.	0.00568	Ω
16	05:37:30 a. m.	10.5900	Ω	16	05:37:30 a. m.	0.00566	Ω
17	05:37:40 a. m.	10.5560	Ω	17	05:37:40 a. m.	0.00564	Ω
18	05:37:50 a. m.	10.5220	Ω	18	05:37:50 a. m.	0.00562	Ω
19	05:38:00 a. m.	10.4880	Ω	19	05:38:00 a. m.	0.00560	Ω
20	05:38:10 a. m.	10.4540	Ω	20	05:38:10 a. m.	0.00558	Ω
21	05:38:20 a. m.	10.4200	Ω	21	05:38:20 a. m.	0.00556	Ω
22	05:38:30 a. m.	10.3860	Ω	22	05:38:30 a. m.	0.00554	Ω
23	05:38:40 a. m.	10.3520	Ω	23	05:38:40 a. m.	0.00552	Ω
24	05:38:50 a. m.	10.3180	Ω	24	05:38:50 a. m.	0.00550	Ω
25	05:39:00 a. m.	10.2840	Ω	25	05:39:00 a. m.	0.00548	Ω
26	05:39:10 a. m.	10.2500	Ω	26	05:39:10 a. m.	0.00546	Ω
27	05:39:20 a. m.	10.2160	Ω	27	05:39:20 a. m.	0.00544	Ω
28	05:39:30 a. m.	10.1820	Ω	28	05:39:30 a. m.	0.00542	Ω
29	05:39:40 a. m.	10.1480	Ω	29	05:39:40 a. m.	0.00540	Ω
30	05:39:50 a. m.	10.1140	Ω	30	05:39:50 a. m.	0.00538	Ω
31	05:40:00 a. m.	10.0800	Ω	31	05:40:00 a. m.	0.00536	Ω
32	05:40:10 a. m.	10.0460	Ω	32	05:40:10 a. m.	0.00534	Ω
33	05:40:20 a. m.	10.0120	Ω	33	05:40:20 a. m.	0.00532	Ω
34	05:40:30 a. m.	9.9780	Ω	34	05:40:30 a. m.	0.00530	Ω
35	05:40:40 a. m.	9.9440	Ω	35	05:40:40 a. m.	0.00528	Ω
36	05:40:50 a. m.	9.9100	Ω	36	05:40:50 a. m.	0.00526	Ω
37	05:41:00 a. m.	9.8760	Ω	37	05:41:00 a. m.	0.00524	Ω
38	05:41:10 a. m.	9.8420	Ω	38	05:41:10 a. m.	0.00522	Ω
39	05:41:20 a. m.	9.8080	Ω	39	05:41:20 a. m.	0.00520	Ω
40	05:41:30 a. m.	9.7740	Ω	40	05:41:30 a. m.	0.00518	Ω
Resistencia MT:	Resistencia en frío	Resistencia en caliente	Resistencia BT	Resistencia en frío	Resistencia en caliente		
	9.70	11.10		0.005273	0.005960		
<b>OBSERVACIONES:</b>							
LA MEDICIÓN DE LOS ARROLLAMIENTOS EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02							
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TÉCNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA			
Prueba por:  Bach. J. P. de Pruebas IESA		Revisado por:  Ing. Jesús Arzapalo Gamarra IESA		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)			
Fecha:	21/09/2023	Fecha:	21/09/2023				

Fuente: Elaboración propia

Figura N°140 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 160 kVA

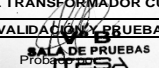

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>								
Cliente: TENCÍAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.				Tipo de enfriamiento				
ORDEN DE TRABAJO: 37002119				Aceite 60 °C				
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR								
Marca	ITESA	POTENCIA	160 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV			
Fecha	21-Set-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV			
Nro de serie	37002119-01	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3 KV			
TIPO	T3DI	Amp-MT	9.24 4.03 A	Numero terminales BT	6 KV			
Nro de fases	3	Amp-BT	230.94 399.90 A	Montaje	Exterior			
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	1000 msnm			
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	210 Kg			
Grupo de conexión	Dyn5 - Dd6	Vcc (%)	3.97 4.06	Peso parte activa	410 Kg			
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-11	Peso Total	800 Kg			
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO MT</b>								
Medición de la resistencia en caliente MT Fase (V - W)				Datos de los arrollamientos en MT				
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	Material de los arrollamientos:		235		
				Cobre		Constante del material:		
				Temperatura Ø1	Resistencias de arrollamientos MT			Resistencia resultante
				21.10	U - V	V - W	U - W	R1 (Ω)
				9.72	9.69	9.70	9.70	
Temperatura media de los arrollamientos:								
COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$								
ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$								
				<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>				
				<p>NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7: Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora. (Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)</p>				
				$y = -0.0898x + 61.633$				
<b>CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>								
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				61.63 °C				
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				11.2360 Ω				
Temperatura ambiente:				21.78 °C				
Calentamiento medio del arrollamiento:				39.86 °C				
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				8.88 °C				
OBSERVACIONES:								
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02								
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA				
Probado por:  Ingrid Cuba Islado SALA DE PRUEBAS I.T.E.A.		Revisado por:  Ingrid Cuba Islado I.T.E.A.		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)				
Fecha: 21/09/2023		Fecha: 21/09/2023						



Figura N°141 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión,  
160 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																																									
Cliente: TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.				Tipo de enfriamiento																																																																																																																																																																					
ORDEN DE TRABAJO: 37002119				Aceite 60 °C																																																																																																																																																																					
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR				21/09/2023																																																																																																																																																																					
Marca	ITESA	POTENCIA	160 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV																																																																																																																																																																				
Fecha	21-Set-23	Volt-MT	10000 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV																																																																																																																																																																				
Nro de serie	37002119-01	Volt-BT	400 231 V	Numero terminales MT	3 KV																																																																																																																																																																				
TIPO	T3DI	Amp-MT	9.24 4.03 A	Numero terminales BT	6 KV																																																																																																																																																																				
Nro de fases	3	Amp-BT	230.94 399.90 A	Montaje	Exterior																																																																																																																																																																				
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	1000 msnm																																																																																																																																																																				
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	210 Kg																																																																																																																																																																				
Grupo de conexión	Dyn5 - Dd6	Vcc (%)	3.97 4.06	Peso parte activa	410 Kg																																																																																																																																																																				
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	800 Kg																																																																																																																																																																				
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO BT</b>																																																																																																																																																																									
Medición de la resistencia en caliente BT Fases ( v - n )				Datos de los arrollamientos en BT																																																																																																																																																																					
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	Material de los arrollamientos: Cobre		Constante del material: 235																																																																																																																																																																			
				Temperatura Ø1		Resistencias de arrollamientos BT	Resistencia resultante																																																																																																																																																																		
				21.10		u - n	v - n	w - n	R1 (Ω)																																																																																																																																																																
						0.00536	0.00527	0.00519	0.00527																																																																																																																																																																
Temperatura media de los arrollamientos:																																																																																																																																																																									
COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$																																																																																																																																																																									
ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Tiempo 10 seg</th> <th>Resistencia R2</th> <th>Temperatura Ø2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>40</td><td>0.005960</td><td>54.45</td></tr> <tr><td>2</td><td>50</td><td>0.005940</td><td>53.48</td></tr> <tr><td>3</td><td>60</td><td>0.005920</td><td>52.51</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>0.005900</td><td>51.53</td></tr> <tr><td>5</td><td>80</td><td>0.005880</td><td>50.56</td></tr> <tr><td>6</td><td>90</td><td>0.005860</td><td>49.59</td></tr> <tr><td>7</td><td>100</td><td>0.005840</td><td>48.62</td></tr> <tr><td>8</td><td>110</td><td>0.005820</td><td>47.65</td></tr> <tr><td>9</td><td>120</td><td>0.005800</td><td>46.68</td></tr> <tr><td>10</td><td>130</td><td>0.005780</td><td>45.71</td></tr> <tr><td>11</td><td>140</td><td>0.005760</td><td>44.74</td></tr> <tr><td>12</td><td>150</td><td>0.005740</td><td>43.76</td></tr> <tr><td>13</td><td>160</td><td>0.005720</td><td>42.79</td></tr> <tr><td>14</td><td>170</td><td>0.005700</td><td>41.82</td></tr> <tr><td>15</td><td>180</td><td>0.005680</td><td>40.85</td></tr> <tr><td>16</td><td>190</td><td>0.005660</td><td>39.88</td></tr> <tr><td>17</td><td>200</td><td>0.005640</td><td>38.91</td></tr> <tr><td>18</td><td>210</td><td>0.005620</td><td>37.94</td></tr> <tr><td>19</td><td>220</td><td>0.005600</td><td>36.96</td></tr> <tr><td>20</td><td>230</td><td>0.005580</td><td>35.99</td></tr> <tr><td>21</td><td>240</td><td>0.005560</td><td>35.02</td></tr> <tr><td>22</td><td>250</td><td>0.005540</td><td>34.05</td></tr> <tr><td>23</td><td>260</td><td>0.005520</td><td>33.08</td></tr> <tr><td>24</td><td>270</td><td>0.005500</td><td>32.11</td></tr> <tr><td>25</td><td>280</td><td>0.005480</td><td>31.14</td></tr> <tr><td>26</td><td>290</td><td>0.005460</td><td>30.17</td></tr> <tr><td>27</td><td>300</td><td>0.005440</td><td>29.19</td></tr> <tr><td>28</td><td>310</td><td>0.005420</td><td>28.22</td></tr> <tr><td>29</td><td>320</td><td>0.005400</td><td>27.25</td></tr> <tr><td>30</td><td>330</td><td>0.005380</td><td>26.28</td></tr> <tr><td>31</td><td>340</td><td>0.005360</td><td>25.31</td></tr> <tr><td>32</td><td>350</td><td>0.005340</td><td>24.34</td></tr> <tr><td>33</td><td>360</td><td>0.005320</td><td>23.37</td></tr> <tr><td>34</td><td>370</td><td>0.005300</td><td>22.40</td></tr> <tr><td>35</td><td>380</td><td>0.005280</td><td>21.42</td></tr> <tr><td>36</td><td>390</td><td>0.005260</td><td>20.45</td></tr> <tr><td>37</td><td>400</td><td>0.005240</td><td>19.48</td></tr> <tr><td>38</td><td>410</td><td>0.005220</td><td>18.51</td></tr> <tr><td>39</td><td>420</td><td>0.005200</td><td>17.54</td></tr> <tr><td>40</td><td>430</td><td>0.005180</td><td>16.57</td></tr> </tbody> </table>				N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	1	40	0.005960	54.45	2	50	0.005940	53.48	3	60	0.005920	52.51	4	70	0.005900	51.53	5	80	0.005880	50.56	6	90	0.005860	49.59	7	100	0.005840	48.62	8	110	0.005820	47.65	9	120	0.005800	46.68	10	130	0.005780	45.71	11	140	0.005760	44.74	12	150	0.005740	43.76	13	160	0.005720	42.79	14	170	0.005700	41.82	15	180	0.005680	40.85	16	190	0.005660	39.88	17	200	0.005640	38.91	18	210	0.005620	37.94	19	220	0.005600	36.96	20	230	0.005580	35.99	21	240	0.005560	35.02	22	250	0.005540	34.05	23	260	0.005520	33.08	24	270	0.005500	32.11	25	280	0.005480	31.14	26	290	0.005460	30.17	27	300	0.005440	29.19	28	310	0.005420	28.22	29	320	0.005400	27.25	30	330	0.005380	26.28	31	340	0.005360	25.31	32	350	0.005340	24.34	33	360	0.005320	23.37	34	370	0.005300	22.40	35	380	0.005280	21.42	36	390	0.005260	20.45	37	400	0.005240	19.48	38	410	0.005220	18.51	39	420	0.005200	17.54	40	430	0.005180	16.57	<p style="text-align: center;"><b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b></p>	
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2																																																																																																																																																																						
1	40	0.005960	54.45																																																																																																																																																																						
2	50	0.005940	53.48																																																																																																																																																																						
3	60	0.005920	52.51																																																																																																																																																																						
4	70	0.005900	51.53																																																																																																																																																																						
5	80	0.005880	50.56																																																																																																																																																																						
6	90	0.005860	49.59																																																																																																																																																																						
7	100	0.005840	48.62																																																																																																																																																																						
8	110	0.005820	47.65																																																																																																																																																																						
9	120	0.005800	46.68																																																																																																																																																																						
10	130	0.005780	45.71																																																																																																																																																																						
11	140	0.005760	44.74																																																																																																																																																																						
12	150	0.005740	43.76																																																																																																																																																																						
13	160	0.005720	42.79																																																																																																																																																																						
14	170	0.005700	41.82																																																																																																																																																																						
15	180	0.005680	40.85																																																																																																																																																																						
16	190	0.005660	39.88																																																																																																																																																																						
17	200	0.005640	38.91																																																																																																																																																																						
18	210	0.005620	37.94																																																																																																																																																																						
19	220	0.005600	36.96																																																																																																																																																																						
20	230	0.005580	35.99																																																																																																																																																																						
21	240	0.005560	35.02																																																																																																																																																																						
22	250	0.005540	34.05																																																																																																																																																																						
23	260	0.005520	33.08																																																																																																																																																																						
24	270	0.005500	32.11																																																																																																																																																																						
25	280	0.005480	31.14																																																																																																																																																																						
26	290	0.005460	30.17																																																																																																																																																																						
27	300	0.005440	29.19																																																																																																																																																																						
28	310	0.005420	28.22																																																																																																																																																																						
29	320	0.005400	27.25																																																																																																																																																																						
30	330	0.005380	26.28																																																																																																																																																																						
31	340	0.005360	25.31																																																																																																																																																																						
32	350	0.005340	24.34																																																																																																																																																																						
33	360	0.005320	23.37																																																																																																																																																																						
34	370	0.005300	22.40																																																																																																																																																																						
35	380	0.005280	21.42																																																																																																																																																																						
36	390	0.005260	20.45																																																																																																																																																																						
37	400	0.005240	19.48																																																																																																																																																																						
38	410	0.005220	18.51																																																																																																																																																																						
39	420	0.005200	17.54																																																																																																																																																																						
40	430	0.005180	16.57																																																																																																																																																																						
CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:																																																																																																																																																																									
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				58.33 °C																																																																																																																																																																					
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				0.0060399 Ω																																																																																																																																																																					
Temperatura ambiente:				21.78 °C																																																																																																																																																																					
Calentamiento medio del arrollamiento:				36.56 °C																																																																																																																																																																					
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				5.58 °C																																																																																																																																																																					
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																																									
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02																																																																																																																																																																									
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA																																																																																																																																																																					
Preparado por: BELEN BARRERA, Islado ITESA		Revisado por: Ing. Jesús Arzapalo Gamarra		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																																																																																																																																																					
Fecha: 21/09/2023		Fecha: 21/09/2023																																																																																																																																																																							

Figura N°142 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 160 kVA

PRUEBA DE CALENTAMIENTO																																														
Cliente: <b>TENCIAS INGENIEROS CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.</b> ORDEN DE TRABAJO: <b>37002119</b>						Tipo de enfriamiento <b>Aceite 60 °C</b>																																								
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR						<b>21/09/2023</b>																																								
Marca: <b>ITESA</b> Fecha: <b>21-Set-23</b> Nro de serie: <b>37002119-01</b> TIPO: <b>T3DI</b> Nro de fases: <b>3</b> Enfriamiento: <b>ONAN</b> Clase de aislam.: <b>A</b> Grupo de conexión: <b>Dyn5 - Dd6</b> Frecuencia: <b>60</b>	POTENCIA: <b>160 KVA</b> Volt-MT: <b>10000 22900 V</b> Volt-BT: <b>400 231 V</b> Amp-MT: <b>9.24 4.03 A</b> Amp-BT: <b>230.94 399.90 A</b> Nro. de taps.: <b>5.00</b> % de reg: <b>2.50 2.50</b> Vcc (%): <b>3.97 4.06</b> Normas: <b>IEC 60076-02 - IEC 60076-01</b>	Nivel Aislam. Int. MT: <b>24 / 50 / 125 KV</b> Nivel Aislam. Int. BT.: <b>1.1 / 3 / - KV</b> Numero terminales MT: <b>3 KV</b> Numero terminales BT: <b>6 KV</b> Montaje: <b>Exterior</b> Altura de operación: <b>1000 msnm</b> Peso del aceite: <b>210 Kg</b> Peso parte activa: <b>410 Kg</b> Peso Total: <b>800 Kg</b>																																												
RESULTADOS FINALES DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO																																														
RESULTADOS DE LA PRUEBA:																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">TEMPERATURA DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>T_{amb1}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES</td> <td>22.15</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{asup}</math></td> <td>TEMP. PARTE SUPERIOR</td> <td>61.05</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{ainf}</math></td> <td>TEMP. PARTE INFERIOR</td> <td>47.35</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{am}</math></td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>54.20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amd}</math></td> <td>TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN</td> <td>52.75</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb2}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL</td> <td>21.78</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_1</math></td> <td>HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)</td> <td>73.10%</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>H_2</math></td> <td>HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)</td> <td>73.40%</td> <td>°C</td> </tr> </tbody> </table>							TEMPERATURA DEL ACEITE				$T_{amb1}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	22.15	°C	$T_{asup}$	TEMP. PARTE SUPERIOR	61.05	°C	$T_{ainf}$	TEMP. PARTE INFERIOR	47.35	°C	$T_{am}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE	54.20	°C	$T_{amd}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	52.75	°C	$T_{amb2}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	21.78	°C	$H_1$	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	73.10%	°C	$H_2$	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	73.40%	°C				
TEMPERATURA DEL ACEITE																																														
$T_{amb1}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	22.15	°C																																											
$T_{asup}$	TEMP. PARTE SUPERIOR	61.05	°C																																											
$T_{ainf}$	TEMP. PARTE INFERIOR	47.35	°C																																											
$T_{am}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE	54.20	°C																																											
$T_{amd}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	52.75	°C																																											
$T_{amb2}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	21.78	°C																																											
$H_1$	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	73.10%	°C																																											
$H_2$	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	73.40%	°C																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\Delta T_a</math></td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR</td> <td>38.90</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{ai}</math></td> <td>CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR</td> <td>25.20</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{am}</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE</td> <td>32.05</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm</td> <td>38.90</td> <td>≤ 60 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm</td> <td>38.90</td> <td>≤ 60 °C</td> </tr> <tr> <td>Gradiente (g)</td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>8.88</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2 - \Delta T_{am}</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td>5.58</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hot Spot</td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT</td> <td>48.67</td> <td>≤ 78 °C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_a + gH</math></td> <td>CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT</td> <td>45.04</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE				$\Delta T_a$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	38.90	°C	$\Delta T_{ai}$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	25.20	°C	$\Delta T_{am}$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	32.05	°C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	38.90	≤ 60 °C		CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	38.90	≤ 60 °C	Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	8.88		$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	5.58		Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	48.67	≤ 78 °C	$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	45.04	
CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE																																														
$\Delta T_a$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	38.90	°C																																											
$\Delta T_{ai}$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	25.20	°C																																											
$\Delta T_{am}$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	32.05	°C																																											
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	38.90	≤ 60 °C																																											
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	38.90	≤ 60 °C																																											
Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	8.88																																												
$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	5.58																																												
Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	48.67	≤ 78 °C																																											
$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	45.04																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>9.7007</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>11.2360</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>21.10</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>61.63</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{cobre}</math></td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE</td> <td>235.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>21.78</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>39.86</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>39.86</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>39.86</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> </tbody> </table>							CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT				$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	9.7007	Ω	$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	11.2360	Ω	$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	21.10	°C	$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	61.63	°C	$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00		$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.78	°C	$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	39.86	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	39.86	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	39.86	≤ 65 °C
CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT																																														
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	9.7007	Ω																																											
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	11.2360	Ω																																											
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	21.10	°C																																											
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	61.63	°C																																											
$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00																																												
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.78	°C																																											
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	39.86	°C																																											
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	39.86	≤ 65 °C																																											
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	39.86	≤ 65 °C																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>0.0052733</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>0.0060399</td> <td>Ω</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_1</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td>21.10</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\theta_2</math></td> <td>TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td>58.33</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>K_{cobre}</math></td> <td>CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE</td> <td>235.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>T_{amb}</math></td> <td>TEMP. AMBIENTE</td> <td>21.78</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta \theta</math></td> <td>CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO</td> <td>36.56</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>36.56</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm</td> <td>36.56</td> <td>≤ 65 °C</td> </tr> </tbody> </table>							CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT				$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	0.0052733	Ω	$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0060399	Ω	$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	21.10	°C	$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	58.33	°C	$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00		$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.78	°C	$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	36.56	°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	36.56	≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	36.56	≤ 65 °C
CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT																																														
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	0.0052733	Ω																																											
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.0060399	Ω																																											
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	21.10	°C																																											
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	58.33	°C																																											
$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00																																												
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.78	°C																																											
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	36.56	°C																																											
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	36.56	≤ 65 °C																																											
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	36.56	≤ 65 °C																																											
EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPOS</th> <th>MARCA</th> <th>N° SERIE</th> <th>CALIBRACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 1</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>334</td> <td>CLT-0003-2023</td> </tr> <tr> <td>MONITOR DE TEMPERATURA 2</td> <td>TECSYSTEM - T154</td> <td>341</td> <td>CLT-0004-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°1</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-10</td> <td>CLT-0007-2023</td> </tr> <tr> <td>SENSOR TEMP. PT-100 - N°2</td> <td>TECSYSTEM</td> <td>ST-11</td> <td>CLT-0008-2023</td> </tr> <tr> <td>ANALIZADOR DE REDES</td> <td>SATEC</td> <td>990916</td> <td>CLE-008-2023</td> </tr> <tr> <td>CAMARA TERMOGRAFICA</td> <td>Guide</td> <td>ZC04A2000728</td> <td>222961</td> </tr> <tr> <td>TERMOHIGROMETRO</td> <td>UNI-T</td> <td>2AWEE-8762-01</td> <td>CLT-0150-2023</td> </tr> <tr> <td>MILIOMIMETRO</td> <td>Megabras - MO 2Ke</td> <td>UU20471</td> <td>224546</td> </tr> </tbody> </table>							EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN	MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023	MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023	SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023	ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023	CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961	TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023	MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546				
EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN																																											
MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023																																											
MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023																																											
SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023																																											
SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023																																											
ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023																																											
CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961																																											
TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023																																											
MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546																																											
OBSERVACIONES:																																														
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02 EL CALENTAMIENTO DE LOS ARROLLAMIENTOS CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02 EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LO EXIGIDO EN LA NORMATIVIDAD POR LO TANTO SE CONCLUYE QUE EL DISEÑO ESTA HECHO PARA ESA POTENCIA 160KVA.																																														
RESULTADO: EL TRANSFORMADOR CUMPLE CON LOS VALORES ESPECIFICADOS EN LA NORMA IEC 60076-02																																														
DPTO. VALIDACIÓN DE PRUEBAS  Bachiller Enrique Cuba Islado		DPTO TECNICO DE INGENIERIA  Revisado por: Ing Jesus Arzabala Garmarra		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)																																										
Fecha: 21/09/2023		Fecha: 21/09/2023																																												

## Resultados finales:

- 1. El calentamiento medio del aceite superior a una altitud de 1000 msnm debe tener un valor  $\leq 60^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $38.9^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, que se pueden quitar aletas de refrigeración, debido a que el transformador tiene actualmente mucha ventilación, ya que aún se tiene mucha tolerancia con el límite permitido  $60^{\circ}\text{C}$ .

- 2. El calentamiento medio del arrollamiento en media tensión a una altitud de 1000 msnm debe tener un valor  $\leq 65^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $39.86^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, trabajar con una densidad de corriente más elevada para poder aumentar el calentamiento del arrollamiento o la otra opción ver si el diseño tiene mucha ventilación entre capas y quitar alguna de esta ventilación en una capa.

- 3. El calentamiento medio del arrollamiento en baja tensión a una altitud de 1000 msnm debe tener un valor  $\leq 65^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $36.56^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, trabajar con una densidad de corriente más elevada para poder aumentar el calentamiento del arrollamiento o la otra opción ver si el diseño tiene mucha ventilación entre capas y quitar alguna de esta ventilación en una capa.

- 4. La temperatura del punto más caliente tiene que ser  $\leq 78^{\circ}\text{C}$ :**

La media tensión tiene  $48.67^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

La baja tensión tiene  $45.04^{\circ}\text{C}$ , está dentro de lo permitido.

## Muestra N°4 - Nuevo protocolo de calentamiento:

Prototipo transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230

KV, Li0, Fecha: 24/09/2023

PROTOCOLO DE PRUEBAS TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MONOFASICO						F-AC-03-02	
						Versión 02	
<b>TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICO</b>						ACEITE : X	
CLIENTE <b>CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTARINA</b>						OT: 37002078	
<b>LICITACIÓN:</b>							
<b>CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA</b>							
Marca :	ITESA	Potencia :	15	KVA	Montaje :	EXTERIOR	
Número de Serie :	37002078 - 01	Relac. Transf. :	13200 - 22900 / 460 - 230	V	Nivel Aislam. Int. AT :	24 / 50 / 125 KV	
Tipo :	TIDI	Relac. Corriente :	1.14 - 0.66 / 32.6 - 65.2	A	Nivel Aislam. Ext. AT :	36 / 70 / 170 KV	
Año de Fabricación :	2023	Grupo de Conexión :	H0		Nivel Aislam. Int. BT. :	1 / 2.5 / 7.5 KV	
Norma :	IEC 60076	Tec (%) :	3.16	3.20	%	Nivel Aislam. Ext. BT. :	1 / 3 / 10 KV
Enfriamiento :	ONAN	Taps. :	± 2 X 2.5	% ± 2 X 2.5	%	Peso del Aceite :	30 Kg
Frecuencia :	60 Hz	Altitud m.s.n.m. :	4500			Peso Total :	120 Kg
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>						T amb. = 20.8 °C	
DENOMINACION		Primario - Secundario		Primario - Masa		Secundario - Masa	
RESISTANCIA DE AISLAMIENTO		80500 MΩ		42100 MΩ		15100 MΩ	
VDC		5 000 V		5 000 V		1 000 V	
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>							
POS. COM	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	
	13200 / 460	H1-H2 / X1-X3		13200 / 230	H1-H2 / X1X2 ó X2X3		
1	30.130	30.149	0.062	60.261	60.285	0.040	
2	29.413	29.429	0.054	58.826	58.862	0.061	
3	28.696	28.707	0.040	57.391	57.439	0.083	
4	27.978	27.984	0.021	55.957	56.016	0.106	
5	27.261	27.263	0.008	54.522	54.593	0.131	
<b>2.1.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>							
POS. COM	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR DE RELACION (%)	
	22900 / 460	H1-H2 / X1-X3		22900 / 230	H1-H2 / X1X2 ó X2X3		
1	52.272	52.310	0.073	104.543	104.620	0.073	
2	51.027	51.058	0.060	102.054	102.110	0.055	
3	49.783	49.805	0.045	99.565	99.641	0.076	
4	48.538	48.557	0.039	97.076	97.140	0.066	
5	47.293	47.306	0.026	94.587	94.688	0.107	
<b>3.- MEDIDA DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>			T amb. (°C)	NORMA	KV	ACEITE	
			20.8	IEC 60156	> 55	NYNAS DISTRO DT-11	
<b>4.- PRUEBA EN VACIO : Alimentación por 460 V</b>							
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	Ca = 1	WATIOS	Cw = 1	
	X1 - X3		X1		W	TOTAL	
3	460 V		1.04		88 W	88	
<b>5.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>							
ARROLLAMIENTO DE BT			T amb. = 20.8 °C	ARROLLAMIENTO DE AT			
FASES			RESISTENCIA	FASES EN 13.2 KV.			
X1 - X2			49.8 mΩ	H1 - H2			
X2 - X3			49.6 mΩ	RESISTENCIA EN 22.9 KV.			
X1 - X3			99.3 mΩ	H1 - H2			
				269.8 Ω			
<b>6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO ( 13.2 ) kv.</b>							
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	Ca = 1	WATIOS	Cw = 1	
	H1 - H2		H1		W	TOTAL	
3	389 V		1.14 A		275 W	275	
						Pcu WATTS	
						273	
						Tec (%)	
						2.94	
<b>6.- PRUEBA EN CORTOCIRCUITO ( 22.9 ) kv.</b>							
POS.	VOLTIOS	Cv = 1	AMPERIOS	Ca = 1	WATIOS	Cw = 1	
	H1 - H2		H1		W	TOTAL	
3	714.1 V		0.66 A		233.18 W	233.181	
						Pcu WATTS	
						233	
						Tec (%)	
						3.12	
<b>7.- PRUEBA DE TENSION INDUCIDA :</b>				<b>8.- PRUEBA DE TENSION APLICADA :</b>			
Alim. por 460 V	Hz.	Amp.	SEGUNDOS	AT / BT - M	50 KV	5.1 mA	
920	120	0.14	60	BT / AT - M	2.5 KV	0.33 mA	
					60	Seg.	
					60	Seg.	
<b>9.- RESUMEN :</b>							
CALCULADO			MEDIDO 13.2	MEDIDO 22.9	KV.	GARANTIZADO	
Tolerancia (%)			TOLERANCIA (%)				
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )			88.00				+ 15
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )			324.70				+ 15
Tec a 75 °C (%)			3.16				+ - 10
Io a Vnom, Fnom (%)			3.19				+ 30
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )			272.50				
Tec a 20 °C (%)			2.93				
<b>OBSERVACIONES :</b>							
DPTO. DE VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO. TECNICO		SUPERVISOR		24/09/2023	
Revisado Por :		Revisado Por :					
Tec. Efrael Romero Linares		Ing. Jesus Arzapalo Gamarra					
Fecha: 24/09/2023		Fecha : 24/09/2023					

Figura N°143 Protocolo de pruebas de rutina, transformador

monofásico 15 kVA

Fuente: Elaboración propia

## Revisión del protocolo de rutina y preparación de transformador:

Se revisó el protocolo de pruebas para calcular las pérdidas totales, se ubicó el transformador en el área delimitada para la prueba, se instalaron los sensores de temperatura y se midió la resistencia de arrollamientos en media y baja tensión, para después proceder a ponerlo en estado de cortocircuito y proceder con la prueba en pérdidas totales.



*Figura N°144 Colocación de sensor de temperatura, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°145 Colocación de placa metálica de cobre, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°146 Sensor por válvula de alivio, temp. Superior, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°147 transformador terminado, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



**Figura N°148 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de media tensión, 15 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura N°149 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión x1-x3, 15 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura N°150 Medida de resistencia de arrollamiento, lado de baja tensión x2-x4, 15 kVA**  
**Fuente: Elaboración propia**



*Figura N°151 Módulo eléctrico en funcionamiento y Pérdidas totales y factor de potencia, 15 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°152 Tensiones de pérdidas totales y Corrientes de pérdidas totales, 15 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°153 Temperatura superior y ambiente N°1, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



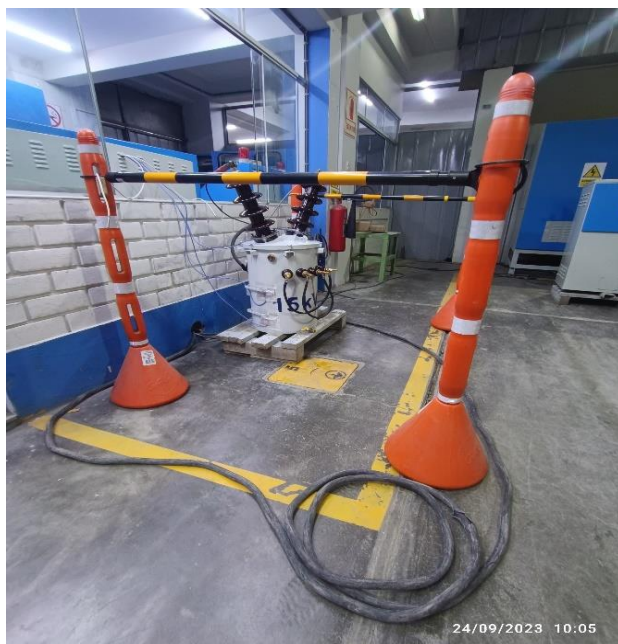
*Figura N°154 Temperatura media y ambiente N°2, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°155 Temperatura inferior y ambiente N°4, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°156 Temperatura ambiente N°4 y humedad, 15 kVA*  
*Fuente: Elaboración propia*



*Figura N°157 Transformador en funcionamiento, en etapa de pérdidas totales, 15 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*



## Registro de temperaturas hasta la estabilización:

Se realizó el registro de temperaturas tanto con los medidores de temperatura, la cámara termográfica y el higrómetro digital, cada 20 minutos hasta la estabilización de las temperaturas en el transformador.



Figura N°158 Temperatura superior y ambiente N°1, en el transcurso de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°159 Temperatura media y ambiente N°2, en el transcurso de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°160 Temperatura inferior y ambiente N°3, en el transcurso de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°161 Temperatura ambiente N°4 y humedad en el transcurso de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia

**Corriente nominal:**

Luego que las temperaturas se han estabilizado se procedió con la inyección de la corriente nominal del transformador por 1 hora.



Figura N°162 Tensiones a corriente nominal y Corrientes nominales, Fase 2 de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°163 Perdidas a corriente nominal y Perdidas reactivas a corriente nominal, Fase 2 de la prueba, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia

### Resistencia de arrollamientos en caliente:

Después del término de la hora en corriente nominal se procedió con la deserregización del transformador, desconexión del estado de cortocircuito y medición de las resistencias de arrollamientos en media y baja tensión.



Figura N°164 Medición de resistencias en caliente, lado de media tensión, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia



Figura N°165 Medición de resistencias en caliente, lado de baja tensión, 15 kVA

Fuente: Elaboración propia

# Protocolo de calentamiento

## PRUEBA DE CALENTAMIENTO

Cliente: CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA		Tipo de enfriamiento <b>Aceite 60 °C</b>													
ORDEN DE TRABAJO: 37002078-01		24/09/2023													
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>															
Marca: ITESA	POTENCIA: 15.00 KVA	Nivel Aislam. Int. MT: 24 / 50 / 125 KV													
Fecha: 24-Sep-23	Volt-MT: 13200	Nivel Aislam. Int. BT: 1.1 / 3 / - KV													
Nro de serie: 37002078-01	Volt-BT: 460	Numero terminales MT: 2	Und												
TIPO: T1DI	Amp-MT: 1.14	Numero terminales BT: 2	Und												
Nro de fases: 2	Amp-BT: 32.61	Montaje: Exterior													
Enfriamiento: ONAN	Nro. de taps: 5.00	Altura de operación: 4500	msnm												
Clase de aislam.: A	% de reg: 2.50	Peso del aceite: 30	Kg												
Grupo de conexión: Ilo	Vcc (%): 3.16	Peso parte activa: 60	Kg												
Frecuencia: 60	Normas: IEC 60076-02, IEC 60076-01	Peso Total: 120	Kg												
<b>1. DATOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS (PERDIDAS DEL TRANSFORMADOR)</b>															
Perdidas del núcleo: 88 W	Factor k de pérdidas: 1.13 K	Corriente pérdidas totales: 1.28 A													
Perdidas del cobre 75°C: 325 W	Corriente de cortocircuito: 1.14 A	Tension pérdidas totales: 470.26 V													
Perdidas totales: 413 W	Tensión de cortocircuito: 417.12 V	Temp. Max Aceite corregida: 51.25 °C													
<b>RESISTENCIAS MT - R1 (Ω)</b>	<b>RESISTENCIAS BT - R2(Ω)</b>	<b>RESISTENCIA EQUIVALENTE (Ω)</b>	<b>PERDIDAS I<sup>2</sup>R (W)</b>												
116.700	0.09933	$Req\ 1\phi = (R1) + R2 * (Vp/Vs)^2$	Perd. 1Ø - Tamb: 256												
			Perd. 1Ø - 75°C: 310												
			Perd. Adicionales 75°C: 325												
			Perd. Adicionales Temp. Amb: 14												
<b>EQUIVALENTE (R1/3)</b>	<b>EQUIVALENTE R2'</b>	<b>PRUEBA DE VACIO (W)</b>													
116.70	0.09933	Perd. 1Ø - Tamb: 256.32 W													
		Perd. 1Ø - 75°C: 310.38 W													
		Perd. Vacío 1Ø - Tamb: 68 W													
<b>2. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A PERDIDAS TOTALES</b>															
Hora	Analizador de redes				Monitor de temperatura y Camara termica				Monitor de temperatura			Termohigrometro			
	I. Perd. Totales (W)	V. Perd. totales (Vp)	Fdp cosφ	Perdidas totales (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
10:00:00 a. m.	1.41	474.20	0.61	412	21.00	22.00	22.00	22.00	21.00	22.00	21.00	21.00	75.80	20.80	
10:20:00 a. m.	1.34	470.10	0.65	412	23.00	25.00	23.00	24.00	22.00	22.50	21.00	21.00	74.90	20.90	
10:40:00 a. m.	1.32	469.90	0.66	413	27.00	29.00	25.00	27.00	23.00	23.50	21.00	21.00	75.10	20.90	
11:00:00 a. m.	1.31	469.50	0.67	413	32.00	34.50	28.00	30.50	24.00	25.00	21.00	21.00	75.20	21.00	
11:20:00 a. m.	1.31	470.10	0.67	414	37.00	39.20	31.00	34.50	26.00	27.90	21.00	22.00	75.90	21.10	
11:40:00 a. m.	1.30	469.80	0.68	414	40.00	42.60	34.00	36.10	28.00	29.50	21.00	22.00	74.70	21.30	
12:00:00 p. m.	1.30	469.20	0.68	415	44.00	46.30	37.00	39.00	30.00	33.10	21.00	22.00	74.30	21.40	
12:20:00 p. m.	1.29	468.60	0.68	413	47.00	49.60	38.00	41.50	31.00	35.00	22.00	22.00	73.80	21.60	
12:40:00 p. m.	1.29	469.00	0.68	412	50.00	53.10	41.00	44.60	33.00	36.50	22.00	22.00	73.60	21.70	
01:00:00 p. m.	1.29	468.70	0.69	413	52.00	54.30	42.00	46.00	34.00	37.90	22.00	22.00	73.70	21.60	
01:20:00 p. m.	1.28	468.70	0.69	414	54.00	57.10	44.00	47.50	36.00	39.60	22.00	22.00	73.50	21.70	
01:40:00 p. m.	1.28	469.80	0.69	415	56.00	59.00	45.00	49.30	37.00	41.00	22.00	22.00	73.30	21.90	
02:00:00 p. m.	1.27	467.60	0.69	413	58.00	61.00	47.00	50.00	38.00	42.30	22.00	23.00	71.90	21.90	
02:20:00 p. m.	1.27	468.30	0.69	413	60.00	63.20	48.00	51.30	39.00	43.60	22.00	23.00	71.10	22.00	
02:40:00 p. m.	1.27	469.20	0.69	414	62.00	65.00	49.00	52.50	40.00	44.50	22.00	23.00	71.60	21.90	
03:00:00 p. m.	1.27	469.90	0.70	415	63.00	66.40	50.00	53.80	41.00	45.80	22.00	23.00	71.10	22.00	
03:20:00 p. m.	1.27	468.70	0.70	414	64.00	67.10	51.00	54.50	42.00	46.70	23.00	23.00	70.80	22.30	
03:40:00 p. m.	1.27	469.00	0.70	412	66.00	69.10	52.00	56.00	42.00	47.00	23.00	23.00	72.10	22.10	
04:00:00 p. m.	1.26	467.50	0.70	412	67.00	70.30	53.00	57.10	43.00	48.50	23.00	23.00	72.10	21.90	
04:20:00 p. m.	1.26	468.90	0.70	413	68.00	71.20	53.00	57.60	43.00	49.20	22.00	23.00	72.00	22.00	
04:40:00 p. m.	1.26	467.70	0.70	412	68.00	71.50	54.00	58.10	44.00	50.20	23.00	23.00	72.20	21.80	
05:00:00 p. m.	1.26	467.80	0.70	412	69.00	72.90	55.00	60.00	45.00	50.50	23.00	23.00	72.00	21.80	
05:20:00 p. m.	1.26	469.00	0.70	414	70.00	73.50	55.00	60.50	45.00	50.90	23.00	23.00	72.30	21.70	
05:40:00 p. m.	1.26	468.90	0.70	414	70.00	73.60	56.00	61.20	45.00	51.20	22.00	22.00	72.90	21.60	
06:00:00 p. m.	1.26	469.90	0.70	415	71.00	74.50	56.00	61.60	45.00	51.70	22.00	22.00	73.30	21.40	
06:20:00 p. m.	1.26	469.00	0.70	414	72.00	75.20	56.00	62.00	45.00	52.00	22.00	22.00	74.60	21.20	
06:40:00 p. m.	1.25	467.40	0.70	412	72.00	75.20	56.00	62.00	45.00	52.00	22.00	22.00	74.50	20.90	
07:00:00 p. m.	1.25	467.80	0.70	413	72.00	75.30	56.00	62.10	45.00	52.00	22.00	21.00	73.90	21.00	
<b>Medición Final Perdidas de prueba</b>	1.25	467.80	0.70	413	73.65		59.05		48.50		21.25			73.90%	
<b>3. MEDIDAS DE TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR A CORRIENTE NOMINAL</b>															
Hora	I. Nominal (In)	Tension a ln (Vn)	Fdp cosφ	Perdidas a ln (W)	Temp. Sup (Sensor PT-100)	Temp. Sup (Camara Termica)	Temp. Med (Sensor PT-100)	Temp. Med (Camara Termica)	Temp. Inf (Sensor PT-100)	Temp. Inf (Camara Termica)	Temp. Amb.1	Temp. Amb.2	Temp. Amb.3	Humedad %	Temp. Amb.4
07:00:00 p. m.	1.14	425.5	0.70	342	72.00	75.30	56.00	62.10	45.00	52.00	22.00	21.00	21.00	73.90	21.00
07:05:00 p. m.	1.14	425.5	0.70	342	72.00	75.30	56.00	62.10	45.00	52.00	22.00	21.00	21.00	73.90	21.00
07:10:00 p. m.	1.13	425.3	0.70	341	72.00	75.20	55.00	61.80	45.00	52.00	22.00	21.00	21.00	73.40	20.90
07:15:00 p. m.	1.14	425.2	0.70	341	72.00	75.00	55.00	61.60	45.00	51.90	22.00	21.00	21.00	74.50	20.90
07:20:00 p. m.	1.14	422.3	0.70	336	72.00	74.90	55.00	61.50	45.00	51.70	22.00	21.00	21.00	74.60	21.00
07:25:00 p. m.	1.13	422.3	0.70	337	72.00	74.80	55.00	61.40	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.60	21.50
07:30:00 p. m.	1.14	422.4	0.70	336	72.00	74.50	55.00	61.40	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	73.60	21.20
07:35:00 p. m.	1.14	422.7	0.70	337	72.00	74.40	55.00	61.40	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	73.80	21.10
07:40:00 p. m.	1.14	421.7	0.70	335	71.00	74.20	55.00	61.20	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.00	21.00
07:45:00 p. m.	1.13	421.2	0.70	335	71.00	74.10	55.00	61.10	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.50	21.10
07:50:00 p. m.	1.14	421.6	0.70	335	71.00	74.10	55.00	61.10	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.50	21.00
07:55:00 p. m.	1.14	422.2	0.70	336	71.00	73.90	55.00	60.90	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.50	21.10
08:00:00 p. m.	1.14	422.3	0.70	337	71.00	73.80	55.00	60.80	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.00	21.20
08:00:00 p. m.	1.14	422.3	0.70	337	71.00	73.80	55.00	60.80	45.00	51.60	22.00	21.00	21.00	74.00	21.20
<b>Medición Final Corriente nominal</b>	1.14	422.30	0.70	337.00	72.40		57.90		48.30		21.30			74.00%	
<b>4. MEDIDAS DE LOS ARROLLAMIENTOS</b>															
MEDIA TENSION :	13.2 Kv				BAJA TENSION: 0.46 Kv										
ARROLLAMIENTO INICIAL:	T ambiente 20.8 °C				T ambiente 21.1 °C										
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESITENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESITENCIA								
H1 - H2	116.70 mV	1 A	116.70 Ω	x1 - x4	99.3 mV	1 A	0.0993 Ω								
<b>5. TEMPERATURAS DEL ACEITE</b>				<b>6. RESULTADOS DE LA TEMPERATURA Y CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b>											
Temperatura superior	INICIAL	FINAL (PERD TOTAL)	FINAL (PERD NOM)	Temperatura media del aceite (Tam)	61.1 °C										
Temperatura media	21.50	73.65	72.40	Temperatura media del aceite despues de la desconexión (Tamd)	60.4 °C										
Temperatura inferior	22.00	59.05	57.90	Calentamiento de la parte superior (ΔTa)	52.4 °C										
Temperatura ambiente	21.50	48.50	48.30	Calentamiento medio del aceite (ΔTm)	39.8 °C										
Humedad %	20.95	21.25	21.30	Calentamiento medio del aceite despues de la desconexión (ΔTmd)	39.1 °C										
	75.80%	73.90%	74.00%	Calentamiento inferior del aceite (ΔTai)	27.3 °C										
<b>OBSERVACIONES:</b>															
SE TOMAN REGISTROS DE DATOS EN PERDIDAS TOTALES Y CORRIENTE NOMINAL SEGÚN LA NORMA NTP IEC 60076-02															
LAS PRUEBAS EN PERDIDAS TOTALES SE HACE EN LA TOMA PRINCIPAL, POSICIÓN N°3 DEL CONMUTADOR SEGÚN NORMA NTP 60076-01															
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS	DPTO. TÉCNICO DE INGENIERÍA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA												
Bachiller E. H. Escobar Estrada	Ing. Jesús A. Zúñiga Gamarrá		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021)												
Fecha: 24/09/2023	Fecha: 24/09/2023		NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)												

Figura N°166 Protocolo N°1 temperaturas y perdidas, 15 kVA

Figura N°167 Protocolo N°2 Curva de calentamiento del aceite, 15 kVA

PRUEBA DE CALENTAMIENTO						
Cliente: CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA					Tipo de enfriamiento	
ORDEN DE TRABAJO: 37002078-01					Aceite 60 °C	
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR						
Marca	ITESA	POTENCIA	15 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV
Fecha	24-Set-23	Volt-MT	13200 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV
Nro de serie	37002078-01	Volt-BT	460 V	Numero terminales MT	2	KV
TIPO	T1DI	Amp-MT	1.14 0.66 A	Numero terminales BT	2	KV
Nro de fases	2	Amp-BT	32.61 A	Montaje	Exterior	
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500	msnm
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	30	Kg
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	3.16 3.20	Peso parte activa	60	Kg
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	120	Kg
CURVAS DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE						
PERDIDAS TOTALES:						
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE	
10:00:00 a. m.	0	21.50	20.95	0.55		
10:20:00 a. m.	20	24.00	20.98	3.03		
10:40:00 a. m.	40	28.00	20.98	7.03		
11:00:00 a. m.	60	33.25	21.00	12.25		
11:20:00 a. m.	80	38.10	21.28	16.83		
11:40:00 a. m.	100	41.30	21.58	19.73		
12:00:00 p. m.	120	45.15	21.60	23.55		
12:20:00 p. m.	140	48.30	21.90	26.40		
12:40:00 p. m.	160	51.55	21.93	29.63		
01:00:00 p. m.	180	53.15	21.90	31.25		
01:20:00 p. m.	200	55.55	21.93	33.63		
01:40:00 p. m.	220	57.50	22.23	35.28		
02:00:00 p. m.	240	59.50	22.23	37.28		
02:20:00 p. m.	260	61.60	22.50	39.10		
02:40:00 p. m.	280	63.50	22.48	41.03		
03:00:00 p. m.	300	64.70	22.50	42.20		
03:20:00 p. m.	320	65.55	22.83	42.73		
03:40:00 p. m.	340	67.55	22.78	44.78		
04:00:00 p. m.	360	68.65	22.73	45.93		
04:20:00 p. m.	380	69.60	22.50	47.10		
04:40:00 p. m.	400	69.75	22.70	47.05		
05:00:00 p. m.	420	70.95	22.70	48.25		
05:20:00 p. m.	440	71.75	22.68	49.08		
05:40:00 p. m.	460	71.80	22.15	49.65		
06:00:00 p. m.	480	72.75	21.85	50.90		
06:20:00 p. m.	500	73.60	21.80	51.80		
06:40:00 p. m.	520	73.60	21.73	51.88		
07:00:00 p. m.	540	73.65	21.25	52.40		
CORRIENTE NOMINAL:						
Hora	Variación del tiempo (min)	Temperatura del transformador ( °C)	Temperatura ambiente (°C)	(Δ) Variación de calentamiento aceite	CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE	
07:00:00 p. m.	0	73.65	21.25	52.40		
07:05:00 p. m.	5	73.65	21.25	52.40		
07:10:00 p. m.	10	73.60	21.23	52.38		
07:15:00 p. m.	15	73.50	21.23	52.28		
07:20:00 p. m.	20	73.45	21.25	52.20		
07:25:00 p. m.	25	73.40	21.38	52.03		
07:30:00 p. m.	30	73.25	21.30	51.95		
07:35:00 p. m.	35	73.20	21.28	51.93		
07:40:00 p. m.	40	72.60	21.25	51.35		
07:45:00 p. m.	45	72.55	21.28	51.28		
07:50:00 p. m.	50	72.55	21.25	51.30		
07:55:00 p. m.	55	72.45	21.28	51.18		
08:00:00 p. m.	60	72.40	21.30	51.10		
OBSERVACIONES:						
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR NO CUMPLE CON LA NORMA ESTABLECIDA IEC 60076-02 PARA UNA ALTITUD DE 4500 msnm						
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA		
Prueba por:  Bachiller: Enrique Torres Rodríguez		Revisado por:  Ing. Jesus Arzapalo Gamarra		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)		
Fecha: 24/09/2023		Fecha: 24/09/2023				

Figura N°168 Protocolo N°3 resistencias de arrollamientos en caliente, 15 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																
Cliente: <b>CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA</b>					Tipo de enfriamiento											
ORDEN DE TRABAJO: 37002078-01					Aceite 60 °C											
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR					<b>24/09/2023</b>											
Marca	ITESA	POTENCIA	15 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125	KV										
Fecha	24-Set-23	Volt-MT	13200 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / -	KV										
Nro de serie	37002078-01	Volt-BT	460 V	Numero terminales MT	2	KV										
TIPO	T1DI	Amp-MT	1.14 0.66 A	Numero terminales BT	2	KV										
Nro de fases	2	Amp-BT	32.61 A	Montaje	Exterior											
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500	msnm										
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	30	Kg										
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	3.16 3.20	Peso parte activa	60	Kg										
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	120	Kg										
<b>MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DESPUES DEL CORTE</b>																
<b>Medición de la resistencia en caliente MT Fases (H1-H2)</b>				<b>Medición de la resistencia en caliente BT Fases (x1-x2)</b>												
°N	Hora	Resistencia	Unidad	°N	Hora	Resistencia										
1	08:05:00 p. m.	145.0000	Ω	1	08:05:00 p. m.	0.12379										
2	08:05:10 p. m.	144.5000	Ω	2	08:05:10 p. m.	0.12366										
3	08:05:20 p. m.	144.0000	Ω	3	08:05:20 p. m.	0.12353										
4	08:05:30 p. m.	143.5000	Ω	4	08:05:30 p. m.	0.12340										
5	08:05:40 p. m.	143.0000	Ω	5	08:05:40 p. m.	0.12327										
6	08:05:50 p. m.	142.5000	Ω	6	08:05:50 p. m.	0.12314										
7	08:06:00 p. m.	142.0000	Ω	7	08:06:00 p. m.	0.12301										
8	08:06:10 p. m.	141.5000	Ω	8	08:06:10 p. m.	0.12288										
9	08:06:20 p. m.	141.0000	Ω	9	08:06:20 p. m.	0.12275										
10	08:06:30 p. m.	140.5000	Ω	10	08:06:30 p. m.	0.12262										
11	08:06:40 p. m.	140.0000	Ω	11	08:06:40 p. m.	0.12249										
12	08:06:50 p. m.	139.5000	Ω	12	08:06:50 p. m.	0.12236										
13	08:07:00 p. m.	139.0000	Ω	13	08:07:00 p. m.	0.12223										
14	08:07:10 p. m.	138.5000	Ω	14	08:07:10 p. m.	0.12210										
15	08:07:20 p. m.	138.0000	Ω	15	08:07:20 p. m.	0.12197										
16	08:07:30 p. m.	137.5000	Ω	16	08:07:30 p. m.	0.12184										
17	08:07:40 p. m.	137.0000	Ω	17	08:07:40 p. m.	0.12171										
18	08:07:50 p. m.	136.5000	Ω	18	08:07:50 p. m.	0.12158										
19	08:08:00 p. m.	136.0000	Ω	19	08:08:00 p. m.	0.12145										
20	08:08:10 p. m.	135.5000	Ω	20	08:08:10 p. m.	0.12132										
21	08:08:20 p. m.	135.0000	Ω	21	08:08:20 p. m.	0.12119										
22	08:08:30 p. m.	134.5000	Ω	22	08:08:30 p. m.	0.12106										
23	08:08:40 p. m.	134.0000	Ω	23	08:08:40 p. m.	0.12093										
24	08:08:50 p. m.	133.5000	Ω	24	08:08:50 p. m.	0.12080										
25	08:09:00 p. m.	133.0000	Ω	25	08:09:00 p. m.	0.12067										
26	08:09:10 p. m.	132.5000	Ω	26	08:09:10 p. m.	0.12054										
27	08:09:20 p. m.	132.0000	Ω	27	08:09:20 p. m.	0.12041										
28	08:09:30 p. m.	131.5000	Ω	28	08:09:30 p. m.	0.12028										
29	08:09:40 p. m.	131.0000	Ω	29	08:09:40 p. m.	0.12015										
30	08:09:50 p. m.	130.5000	Ω	30	08:09:50 p. m.	0.12002										
31	08:10:00 p. m.	130.0000	Ω	31	08:10:00 p. m.	0.11989										
32	08:10:10 p. m.	129.5000	Ω	32	08:10:10 p. m.	0.11976										
33	08:10:20 p. m.	129.0000	Ω	33	08:10:20 p. m.	0.11963										
34	08:10:30 p. m.	128.5000	Ω	34	08:10:30 p. m.	0.11950										
35	08:10:40 p. m.	128.0000	Ω	35	08:10:40 p. m.	0.11937										
36	08:10:50 p. m.	127.5000	Ω	36	08:10:50 p. m.	0.11924										
37	08:11:00 p. m.	127.0000	Ω	37	08:11:00 p. m.	0.11911										
38	08:11:10 p. m.	126.5000	Ω	38	08:11:10 p. m.	0.11898										
39	08:11:20 p. m.	126.0000	Ω	39	08:11:20 p. m.	0.11885										
40	08:11:30 p. m.	125.5000	Ω	40	08:11:30 p. m.	0.11872										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="2">Resistencia MT:</td> <td>Resistencia en frio</td> <td>Resistencia en caliente</td> <td rowspan="2">Resistencia BT</td> <td>Resistencia en frio</td> <td>Resistencia en caliente</td> </tr> <tr> <td>116.70</td> <td>145.00</td> <td>0.099330</td> <td>0.123790</td> </tr> </table>							Resistencia MT:	Resistencia en frio	Resistencia en caliente	Resistencia BT	Resistencia en frio	Resistencia en caliente	116.70	145.00	0.099330	0.123790
Resistencia MT:	Resistencia en frio	Resistencia en caliente	Resistencia BT	Resistencia en frio	Resistencia en caliente											
	116.70	145.00		0.099330	0.123790											
<b>OBSERVACIONES:</b>																
LA MEDICIÓN DE LOS ARROLLAMIENTOS EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02																
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TECNICO DE INGENIERIA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA												
Firmado por: Ing. Efraim E. C. Isla Bachiller Efraim E. C. Isla		Revisado por: Ing. Jesús Arzapalé Gamarrá		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)												
Fecha: 24/09/2023		Fecha: 24/09/2023														

Figura N°169 Protocolo N°4 Calculo de temperatura de arrollamiento, media tensión, 15 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>					
Cliente: <b>CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA</b>				<b>Tipo de enfriamiento</b>	
ORDEN DE TRABAJO: <b>37002078-01</b>				<b>Aceite 60 °C</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>				<b>24/09/2023</b>	
Marca	ITESA	POTENCIA	15 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV
Fecha	24-Sep-23	Volt-MT	13200 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV
Nro de serie	37002078-01	Volt-BT	460 V	Numero terminales MT	2 KV
TIPO	T1DI	Amp-MT	1.14 0.66 A	Numero terminales BT	2 KV
Nro de fases	2	Amp-BT	32.61 A	Montaje	Exterior
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500 msnm
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	30 Kg
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	3.16 3.20	Peso parte activa	60 Kg
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-11	Peso Total	120 Kg
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO MT</b>					
Medición de la resistencia en caliente MT Fase (H1 - H2)				Datos de los arrollamientos en MT	
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	Material de los arrollamientos:	
				Cobre	
				Constante del material:	
				235	
				Temperatura Ø1	Resistencia resultante
				Resistencias de arrollamientos MT	
				H1 - H2	
				20.8	116.70
					R1 (Ω)
					116.70
Temperatura media de los arrollamientos:					
COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$					
ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$					
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>					
<p>NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7: Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora. (Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)</p> <p style="text-align: center;"><math>y = -0.1096x + 87.216</math></p>					
<b>CÁLCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>					
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				87.216 °C	
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				147.0000 Ω	
Temperatura ambiente:				21.30 °C	
Calentamiento medio del arrollamiento:				65.92 °C	
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				26.87 °C	
<b>OBSERVACIONES:</b>					
LA MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02					
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS		DPTO TÉCNICO DE INGENIERÍA		NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA	
 Bachiller Enrique Cuba Islado		 Ing. Jesus Arzapala Gamarra		NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)	
Fecha: 24/09/2023		Fecha: 24/09/2023			

Figura N°170 Protocolo N°5 Calculo de temperatura de arrollamiento, baja tensión,  
15 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>					
Cliente: <b>CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA</b>				<b>Tipo de enfriamiento</b>	
ORDEN DE TRABAJO: 37002078-01				<b>Aceite 60 °C</b>	
CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR				<b>24/09/2023</b>	
Marca	ITESA	POTENCIA	15 KVA	Nivel Aislam. Int. MT	24 / 50 / 125 KV
Fecha	24-Set-23	Volt-MT	13200 22900 V	Nivel Aislam. Int. BT.	1.1 / 3 / - KV
Nro de serie	37002078-01	Volt-BT	460 V	Numero terminales MT	2 KV
TIPO	T1DI	Amp-MT	1.14 0.66 A	Numero terminales BT	2 KV
Nro de fases	2	Amp-BT	32.61 A	Montaje	Exterior
Enfriamiento	ONAN	Nro. de taps.	5.00	Altura de operación	4500 msnm
Clase de aislam.	A	% de reg	2.50 2.50	Peso del aceite	30 Kg
Grupo de conexión	lio	Vcc (%)	3.16 3.20	Peso parte activa	60 Kg
Frecuencia	60	Normas	IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Peso Total	120 Kg
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO BT</b>					
<b>Medición de la resistencia en caliente BT Fases ( x1- x2)</b>				<b>Datos de los arrollamientos en BT</b>	
<b>N°</b>	<b>Tiempo 10 seg</b>	<b>Resistencia R2</b>	<b>Temperatura Ø2</b>	<b>Material de los arrollamientos:</b>	
				Cobre	
				<b>Constante del material:</b>	
				235	
				<b>Temperatura Ø1</b>	<b>Resistencias de arrollamientos BT</b>
				21.1	<b>x1 - x2</b>
					<b>R1 (Ω)</b>
					0.09933
<b>Temperatura media de los arrollamientos:</b>					
COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$					
ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$					
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>					
NOTA: IEC 60076-2 Apartado 7.7: Como los arrollamientos tienen una constante de tiempo eléctrica elevada (L/R), por esta razón lecturas precisas solamente se obtienen después de cierta demora. *(Por tal razón consideramos apartir de 40 seg)					
<b>CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>					
Temperatura del arrollamiento en el punto cero				85.51 °C	
Resistencia del arrollamiento en el punto cero:				0.1243118 Ω	
Temperatura ambiente:				21.30 °C	
Calentamiento medio del arrollamiento:				64.21 °C	
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				25.16 °C	
<b>OBSERVACIONES:</b>					
LA MEDICIÓN Y CALCULO DEL ARROLLAMIENTO EN CALIENTE SE HACE DE ACUERDO A LO EXIGIDO POR LA NORMA IEC 60076-02					
<b>DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS</b>		<b>DPTO TECNICO DE INGENIERIA</b>		<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b>	
Protado por:  Bach. Juan Carlos de Pruebas ITESA		Revisado por:  Ing. Jesús Arzapala Gamarra		NTP- IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP- IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)	
Fecha: 24/09/2023		Fecha: 24/09/2023			



Figura N°171 Protocolo N°6 Resultados finales después del ensayo, 15 kVA

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>Ciente:</b> CONSORCIO ELECTRIFICACIÓN VILLA KINTIARINA <b>ORDEN DE TRABAJO:</b> 37002078-01		<b>Tipo de enfriamiento</b> Aceite 60 °C	
<b>CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR</b>			
Marca: ITESA Fecha: 24-Set-23 Nro de serie: 37002078-01 TIPO: T1DI Nro de fases: 2 Enfriamiento: ONAN Clase de aislam.: A Grupo de conexión: Ilo Frecuencia: 60	POTENCIA: 15 KVA Volt-MT: 13200 Volt-BT: 460 Amp-MT: 1.14 Amp-BT: 32.61 Nro. de taps.: 5.00 % de reg: 2.50 Vcc (%): 3.16 Normas: IEC 60076-02 - IEC 60076-01	Nivel Aislam. Int. MT: 24 / 50 / 125 KV Nivel Aislam. Int. BT: 1.1 / 3 / - KV Numero terminales MT: 2 KV Numero terminales BT: 2 KV Montaje: Exterior Altura de operación: 4500 msnm Peso del aceite: 30 Kg Peso parte activa: 60 Kg Peso Total: 120 Kg	<b>24/09/2023</b>
<b>RESULTADOS FINALES DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>			
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA:</b>			
<b>TEMPERATURA DEL ACEITE</b>			
$T_{amb1}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES	21.25	°C
$T_{asup}$	TEMP. PARTE SUPERIOR	73.65	°C
$T_{ainf}$	TEMP. PARTE INFERIOR	48.50	°C
$T_{am}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE	61.08	°C
$T_{ama}$	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN	60.35	°C
$T_{amb2}$	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL	21.30	°C
$H_1$	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)	73.90%	°C
$H_2$	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)	74.00%	°C
<b>CALCULO CALENTAMIENTO DEL ACEITE</b>			
$\Delta T_a$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR	52.40	°C
$\Delta T_{ai}$	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR	27.25	°C
$\Delta T_{am}$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE	39.83	°C
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 1000 msnm	52.40	≤ 60 °C
	CALENTAMIENTO MAX. DEL ACEITE A 4500 msnm	52.40	≤ 51.25 °C
Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	26.87	
$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE	25.16	
Hot Spot	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT	81.95	≤ 78 °C
$\Delta T_a + gH$	CALENTAMIENTO DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT	80.08	
<b>CALCULO ARROLLAMIENTO DE MT</b>			
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	116.7000	Ω
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	147.0000	Ω
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	20.80	°C
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	87.22	°C
$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00	
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.30	°C
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	65.92	°C
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	65.92	≤ 65 °C
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	65.92	≤ 56.25 °C
<b>CALCULO ARROLLAMIENTO DE BT</b>			
$R_1$	RESISTENCIA EN FRIO	0.0993300	Ω
$R_2$	RESISTENCIA EN CALIENTE	0.1243118	Ω
$\theta_1$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO	20.80	°C
$\theta_2$	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE	85.51	°C
$K_{cobre}$	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE	235.00	
$T_{amb}$	TEMP. AMBIENTE	21.30	°C
$\Delta \theta$	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ARROLLAMIENTO	64.21	°C
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 1000 msnm	64.21	≤ 65 °C
	CALENTAMIENTO. MAX DEL ARROLLAMIENTO A 4500 msnm	64.21	≤ 56.25 °C
<b>EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:</b>			
<b>EQUIPOS</b>	<b>MARCA</b>	<b>N° SERIE</b>	<b>CALIBRACIÓN</b>
MONITOR DE TEMPERATURA 1	TECSYSTEM - T154	334	CLT-0003-2023
MONITOR DE TEMPERATURA 2	TECSYSTEM - T154	341	CLT-0004-2023
SENSOR TEMP. PT-100 - N°1	TECSYSTEM	ST-10	CLT-0007-2023
SENSOR TEMP. PT-100 - N°2	TECSYSTEM	ST-11	CLT-0008-2023
ANALIZADOR DE REDES	SATEC	990916	CLE-008-2023
CAMARA TERMOGRAFICA	Guide	ZC04A2000728	222961
TERMOHIGROMETRO	UNI-T	2AWEE-8762-01	CLT-0150-2023
MILIOMIMETRO	Megabras - MO 2Ke	UU20471	224546
<b>OBSERVACIONES:</b>			
EL CALENTAMIENTO EN EL LIQUIDO PARTE SUPERIOR NO CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02			
EL CALENTAMIENTO DE LOS ARROLLAMIENTOS NO CUMPLE CON LO ESTABLECIDO EN LA NORMA NTP IEC 60076-02			
EL TRANSFORMADOR NO CUMPLE CON LO EXIGIDO EN LA NORMATIVIDAD POR LO TANTO SE CONCLUYE QUE EL DISEÑO NO PUEDE TRABAJAR A UNA ALTITUD 4500 msnm			
<b>RESULTADO:</b> EL TRANSFORMADOR NO CUMPLE CON LOS VALORES ESPECIFICADOS EN LA NORMA IEC 60076-02 A UNA ALTITUD DE 4500msnm			
<b>DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS</b>	<b>DPTO. TÉCNICO DE INGENIERÍA</b>	<b>NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA</b>	
 Bachiller Enrique Cuba Islado	 Inq Jesus Arzapalo Gamarra	NTP IEC-60076-01, 2015 (Revisada el 2021) NTP IEC-60076-02, 2015 (Revisada el 2021)	
Fecha: 24/09/2023	Fecha: 24/09/2023		

## **Resultados finales:**

- 1. El calentamiento medio del aceite superior a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 51.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $52.40^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, para este diseño prototipo un nuevo diseño para la altitud a la que trabajara, debido que el diseño actual calienta mucho

- 2. El calentamiento medio del arrollamiento en media tensión a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 56.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $65.92^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, trabajar con una menor densidad de corriente y poner refrigeración entre capas

- 3. El calentamiento medio del arrollamiento en baja tensión a una altitud de 4500 msnm debe tener un valor  $\leq 56.25^{\circ}\text{C}$ , el calentamiento está en  $64.21^{\circ}\text{C}$ .**

Se recomienda, trabajar con una menor densidad de corriente y poner refrigeración entre capas

- 4. La temperatura del punto más caliente tiene que ser  $\leq 78^{\circ}\text{C}$ :**

La media tensión tiene  $81.95^{\circ}\text{C}$ , está por encima de lo permitido.  
La baja tensión tiene  $80.08^{\circ}\text{C}$ , está por encima de lo permitido.

## 5.2. Resultados inferenciales

HG: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima - 2023”

<b>MÓDULO ELÉCTRICO - PRUEBA DE CALENTAMIENTO TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 100 KVA</b>		
<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO ANTIGUO</b>	<b>PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO</b>
<b>1. Uso de protocolo de pruebas</b>	No se utilizó el protocolo de pruebas solo se inyectó la tensión de corto circuito o un valor aproximado	Se utilizó el protocolo de pruebas, con el cual se utilizaron los datos de pérdidas del arrollamiento a 75°C y pérdidas del núcleo
<b>2. Uso de Placa metálica de cobre</b>	No se utilizó placas metálicas, únicamente se colocaron los sensores de temperatura con cinta scotch	Se utilizó placa metálica de cobre por su buena conductividad del calor y cinta filamentada, los cuales cierran herméticamente al sensor de temperatura tomando una lectura adecuada
<b>3. Medición de la resistencia en frío</b>	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo por el lado de media tensión	Se tomó el valor de resistencia media y baja tensión, temperatura del ambiente y humedad con el higrómetro digital antes de comenzar la prueba
<b>4. 1era etapa - Pérdidas totales</b>	No se realizó con pérdidas totales	Se comenzó con las pérdidas totales
<b>5. Uso del analizador de redes</b>	No se utilizó analizador de redes	Se utilizó analizador de redes verificando las pérdidas inyectadas
<b>6. Temperaturas del transformador</b>	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura solo con sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura y con cámara termográfica y el valor final es el promedio de sus medidas
<b>7. Temperatura ambiente</b>	Se tomó medición de la temperatura con un sensor de temperatura	Se tomaron 4 valores de temperatura y se sacó el promedio de estos valores
<b>8. 2da etapa - Corriente nominal</b>	No se realizó la segunda etapa	Se realizó la segunda etapa a corriente nominal
<b>9. Medición de la resistencia en caliente</b>	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba únicamente en el lado de media tensión	Se tomaron valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión
<b>10. Resultado temperatura del aceite</b>	Se da el resultado de la temperatura final del aceite	Se da el resultado de la temperatura final del aceite
<b>11. Resultado temperatura del arrollamiento</b>	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media tensión	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media y baja tensión
<b>12. Resultado Punto caliente</b>	No hubo resultado	Se dio el resultado del punto caliente en media y baja tensión

*Tabla N° 12 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador trifásico de 100kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>MÓDULO ELÉCTRICO - PRUEBA DE CALENTAMIENTO TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 167 KVA</b>		
<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO ANTIGUO</b>	<b>PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO</b>
<b>1. Uso de protocolo de pruebas</b>	No se utilizó el protocolo de pruebas solo se inyectó la tensión de corto circuito o un valor aproximado	Se utilizó el protocolo de pruebas, con el cual se utilizaron los datos de pérdidas del arrollamiento a 75°C y pérdidas del núcleo
<b>2. Uso de Placa metálica de cobre</b>	No se utilizó placas metálicas, únicamente se colocaron los sensores de temperatura con cinta scotch	Se utilizó placa metálica de cobre por su buena conductividad del calor y cinta filamentada, los cuales cierran herméticamente al sensor de temperatura tomando una lectura adecuada
<b>3. Medición de la resistencia en frío</b>	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo por el lado de media tensión	Se tomó el valor de resistencia media y baja tensión, temperatura del ambiente y humedad con el higrómetro digital antes de comenzar la prueba
<b>4. 1era etapa - Pérdidas totales</b>	No se realizó con pérdidas totales	Se comenzó con las pérdidas totales
<b>5. Uso del analizador de redes</b>	No se utilizó analizador de redes	Se utilizó analizador de redes verificando las pérdidas inyectadas
<b>6. Temperaturas del transformador</b>	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura solo con sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura y con cámara termográfica y el valor final es el promedio de sus medidas
<b>7. Temperatura ambiente</b>	Se tomó medición de la temperatura con un sensor de temperatura	Se tomaron 4 valores de temperatura y se sacó el promedio de estos valores
<b>8. 2da etapa - Corriente nominal</b>	No se realizó la segunda etapa	Se realizó la segunda etapa a corriente nominal
<b>9. Medición de la resistencia en caliente</b>	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba únicamente en el lado de media tensión	Se tomaron valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión
<b>10. Resultado temperatura del aceite</b>	Se da el resultado de la temperatura final del aceite	Se da el resultado de la temperatura final del aceite
<b>11. Resultado temperatura del arrollamiento</b>	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media tensión	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media y baja tensión
<b>12. Resultado Punto caliente</b>	No hubo resultado	Se dio el resultado del punto caliente en media y baja tensión

*Tabla N° 13 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador monofásico de 167 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>MÓDULO ELÉCTRICO - PRUEBA DE CALENTAMIENTO TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 160 KVA</b>		
<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO ANTIGUO</b>	<b>PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO</b>
<b>1. Uso de protocolo de pruebas</b>	No se utilizó el protocolo de pruebas solo se inyectó la tensión de corto circuito o un valor aproximado	Se utilizó el protocolo de pruebas, con el cual se utilizaron los datos de pérdidas del arrollamiento a 75°C y pérdidas del núcleo
<b>2. Uso de Placa metálica de cobre</b>	No se utilizó placas metálicas, únicamente se colocaron los sensores de temperatura con cinta scotch	Se utilizó placa metálica de cobre por su buena conductividad del calor y cinta filamentada, los cuales cierran herméticamente al sensor de temperatura tomando una lectura adecuada
<b>3. Medición de la resistencia en frío</b>	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo por el lado de media tensión	Se tomó el valor de resistencia media y baja tensión, temperatura del ambiente y humedad con el higrometro digital antes de comenzar la prueba
<b>4. 1era etapa - Pérdidas totales</b>	No se realizó con pérdidas totales	Se comenzó con las pérdidas totales
<b>5. Uso del analizador de redes</b>	No se utilizó analizador de redes	Se utilizó analizador de redes verificando las pérdidas inyectadas
<b>6. Temperaturas del transformador</b>	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura solo con sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura y con cámara termográfica y el valor final es el promedio de sus medidas
<b>7. Temperatura ambiente</b>	Se tomó medición de la temperatura con un sensor de temperatura	Se tomaron 4 valores de temperatura y se sacó el promedio de estos valores
<b>8. 2da etapa - Corriente nominal</b>	No se realizó la segunda etapa	Se realizó la segunda etapa a corriente nominal
<b>9. Medición de la resistencia en caliente</b>	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba únicamente en el lado de media tensión	Se tomaron valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión
<b>10. Resultado temperatura del aceite</b>	Se da el resultado de la temperatura final del aceite	Se da el resultado de la temperatura final del aceite
<b>11. Resultado temperatura del arrollamiento</b>	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media tensión	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media y baja tensión
<b>12. Resultado Punto caliente</b>	No hubo resultado	Se dio el resultado del punto caliente en media y baja tensión

*Tabla N° 14 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador trifásico de 160kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>MÓDULO ELÉCTRICO - PRUEBA DE CALENTAMIENTO TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 15 KVA</b>		
<b>PROCEDIMIENTOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO ANTIGUO</b>	<b>PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO</b>
<b>1. Uso de protocolo de pruebas</b>	No se utilizó el protocolo de pruebas solo se inyectó la tensión de corto circuito o un valor aproximado	Se utilizó el protocolo de pruebas, con el cual se utilizaron los datos de pérdidas del arrollamiento a 75°C y pérdidas del núcleo
<b>2. Uso de Placa metálica de cobre</b>	No se utilizó placas metálicas, únicamente se colocaron los sensores de temperatura con cinta scotch	Se utilizó placa metálica de cobre por su buena conductividad del calor y cinta filamentada, los cuales cierran herméticamente al sensor de temperatura tomando una lectura adecuada
<b>3. Medición de la resistencia en frío</b>	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo por el lado de media tensión	Se tomó el valor de resistencia media y baja tensión, temperatura del ambiente y humedad con el higrómetro digital antes de comenzar la prueba
<b>4. 1era etapa - Pérdidas totales</b>	No se realizó con pérdidas totales	Se comenzó con las pérdidas totales
<b>5. Uso del analizador de redes</b>	No se utilizó analizador de redes	Se utilizó analizador de redes verificando las pérdidas inyectadas
<b>6. Temperaturas del transformador</b>	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura solo con sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con sensores de temperatura y con cámara termográfica y el valor final es el promedio de sus medidas
<b>7. Temperatura ambiente</b>	Se tomó medición de la temperatura con un sensor de temperatura	Se tomaron 4 valores de temperatura y se sacó el promedio de estos valores
<b>8. 2da etapa - Corriente nominal</b>	No se realizó la segunda etapa	Se realizó la segunda etapa a corriente nominal
<b>9. Medición de la resistencia en caliente</b>	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba únicamente en el lado de media tensión	Se tomaron valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión
<b>10. Resultado temperatura del aceite</b>	Se da el resultado de la temperatura final del aceite	Se da el resultado de la temperatura final del aceite
<b>11. Resultado temperatura del arrollamiento</b>	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media tensión	Se dio el resultado de la temperatura del arrollamiento en media y baja tensión
<b>12. Resultado Punto caliente</b>	No hubo resultado	Se dio el resultado del punto caliente en media y baja tensión

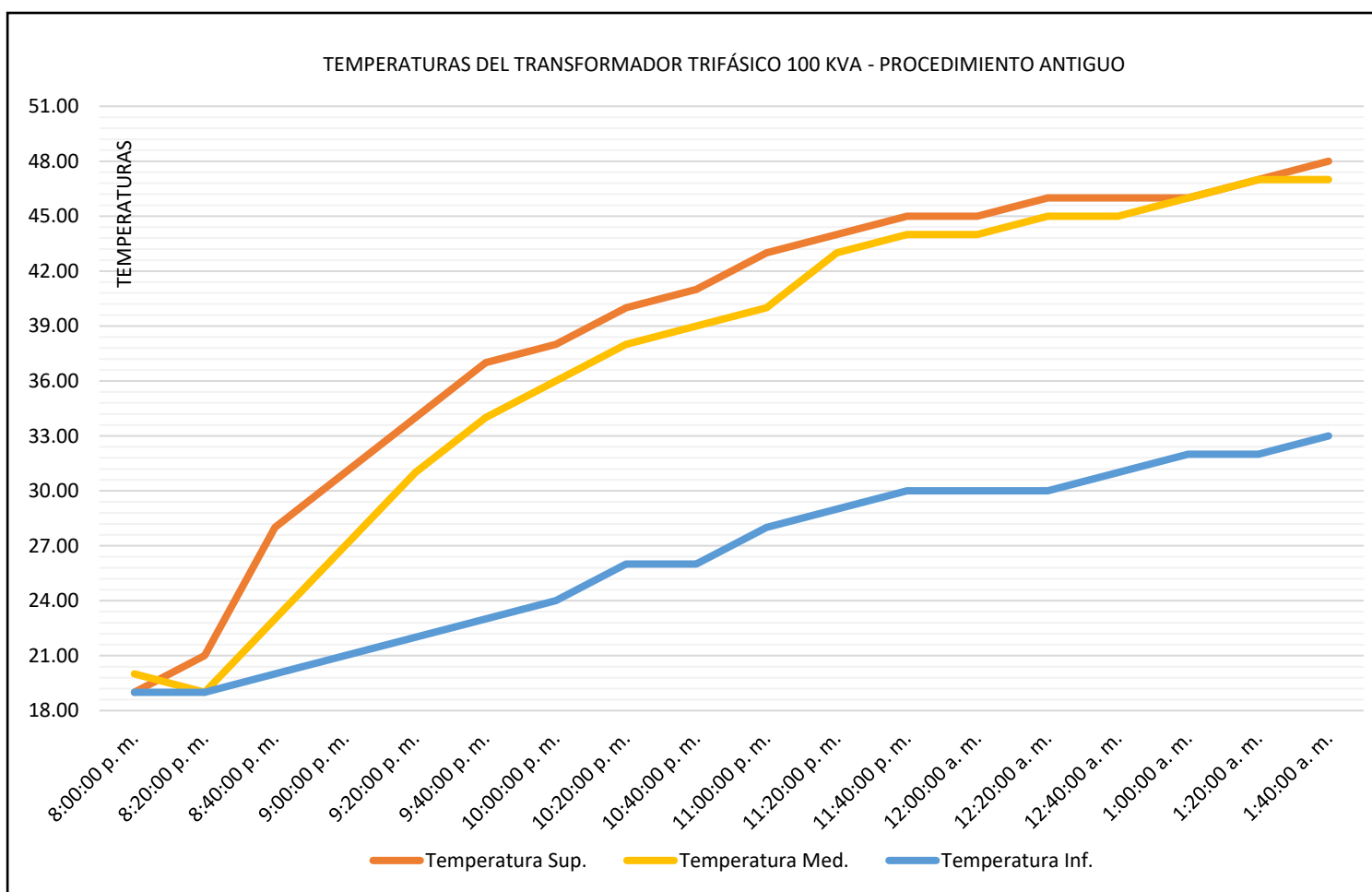
*Tabla N° 15 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en el transformador monofásico de 15kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

De las tablas se observó que los procedimientos realizados con el módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite, se hicieron de acuerdo a lo exigido en las normativas vigentes y de los cuales se obtuvieron valores de acuerdo a estas.

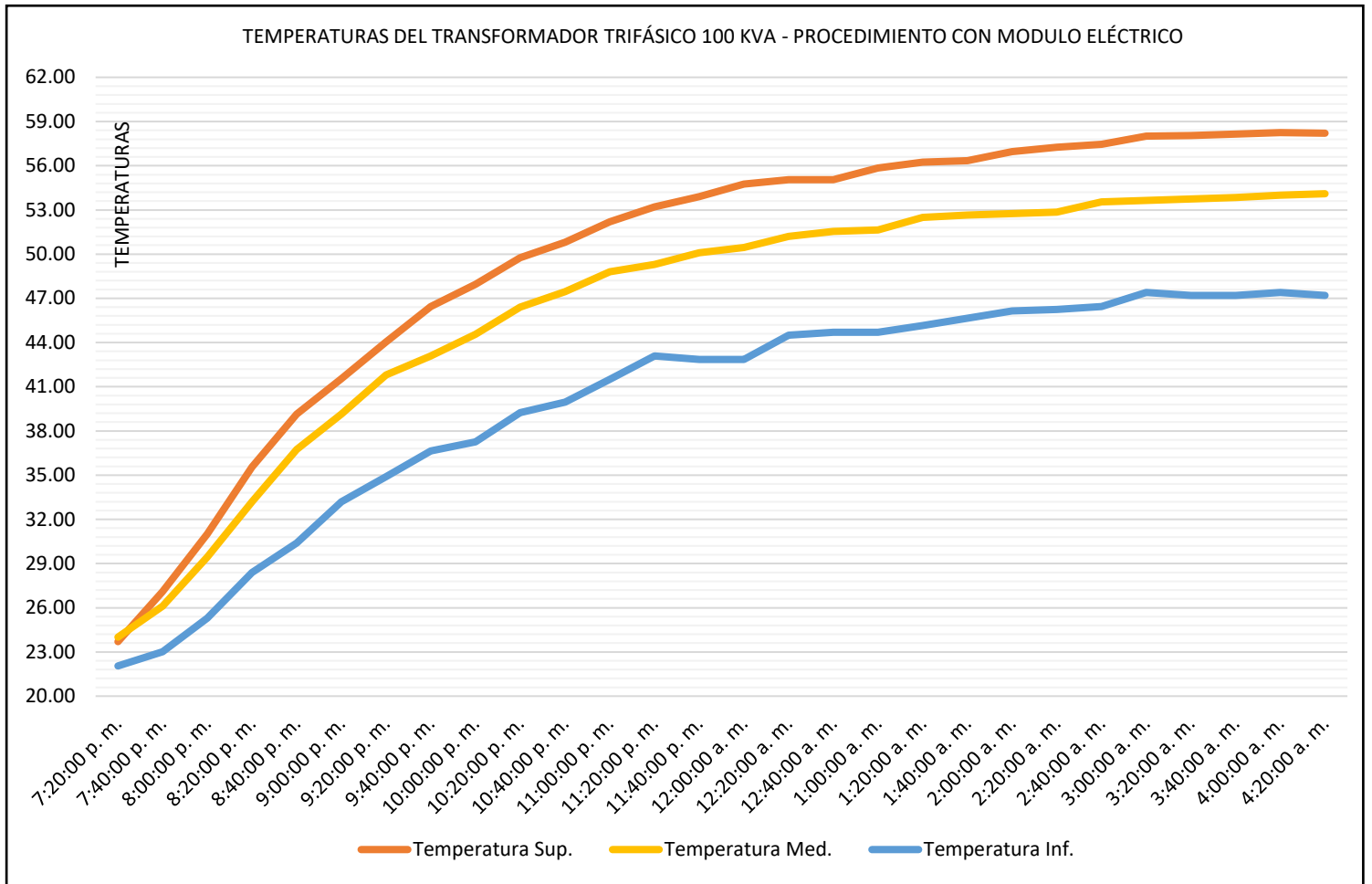
Por lo que se comprueba que la implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima – 2023

HE01: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.



Grafica N°1 Temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



Grafica N°2 Temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

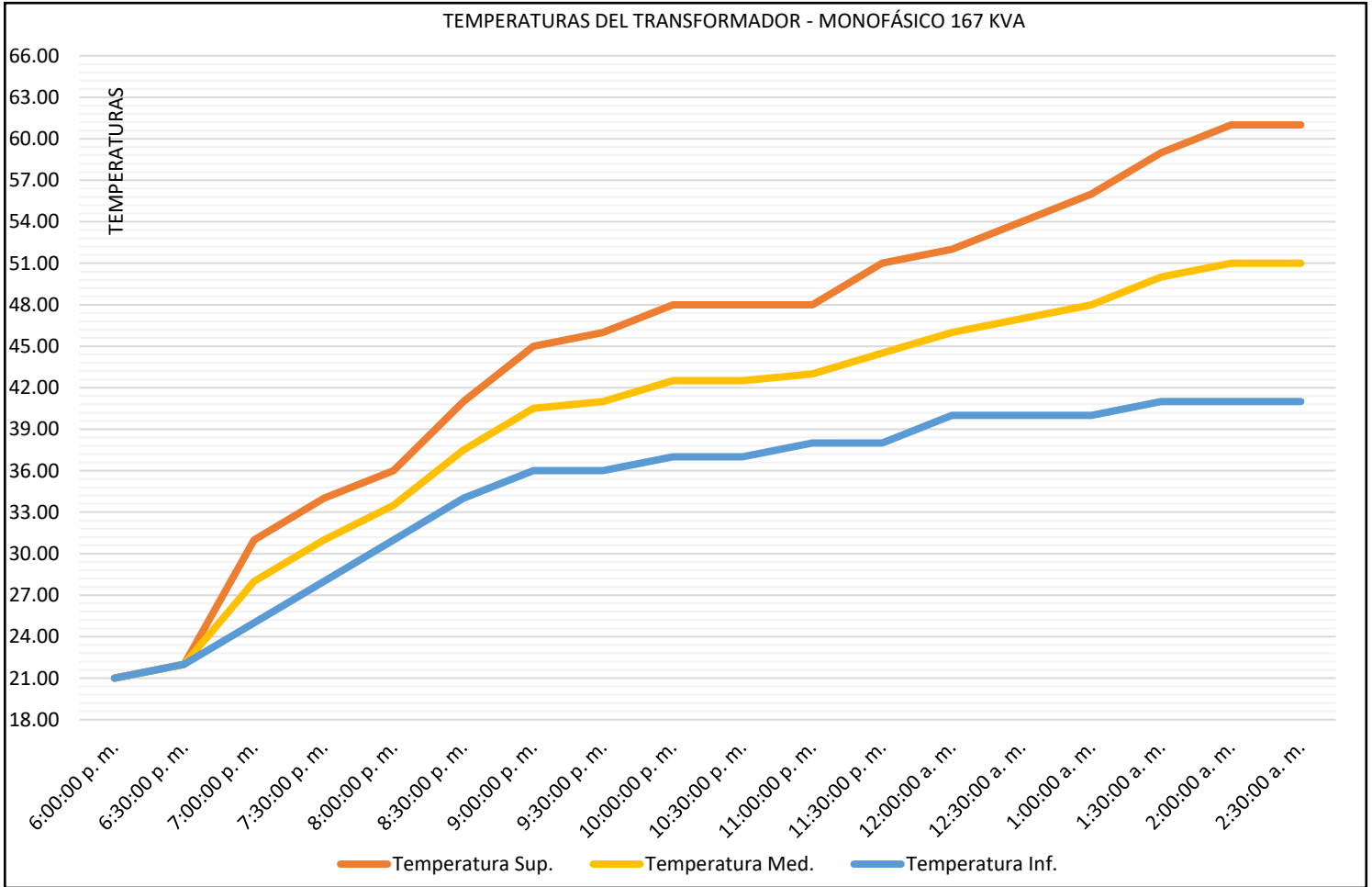
Fuente: Elaboración propia

TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5 Fecha: 26/10/2021
Temperaturas del transformador	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura además con la cámara termográfica y se sacó el promedio de estos valores

Tabla N° 16 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador trifásico de 100 kVA

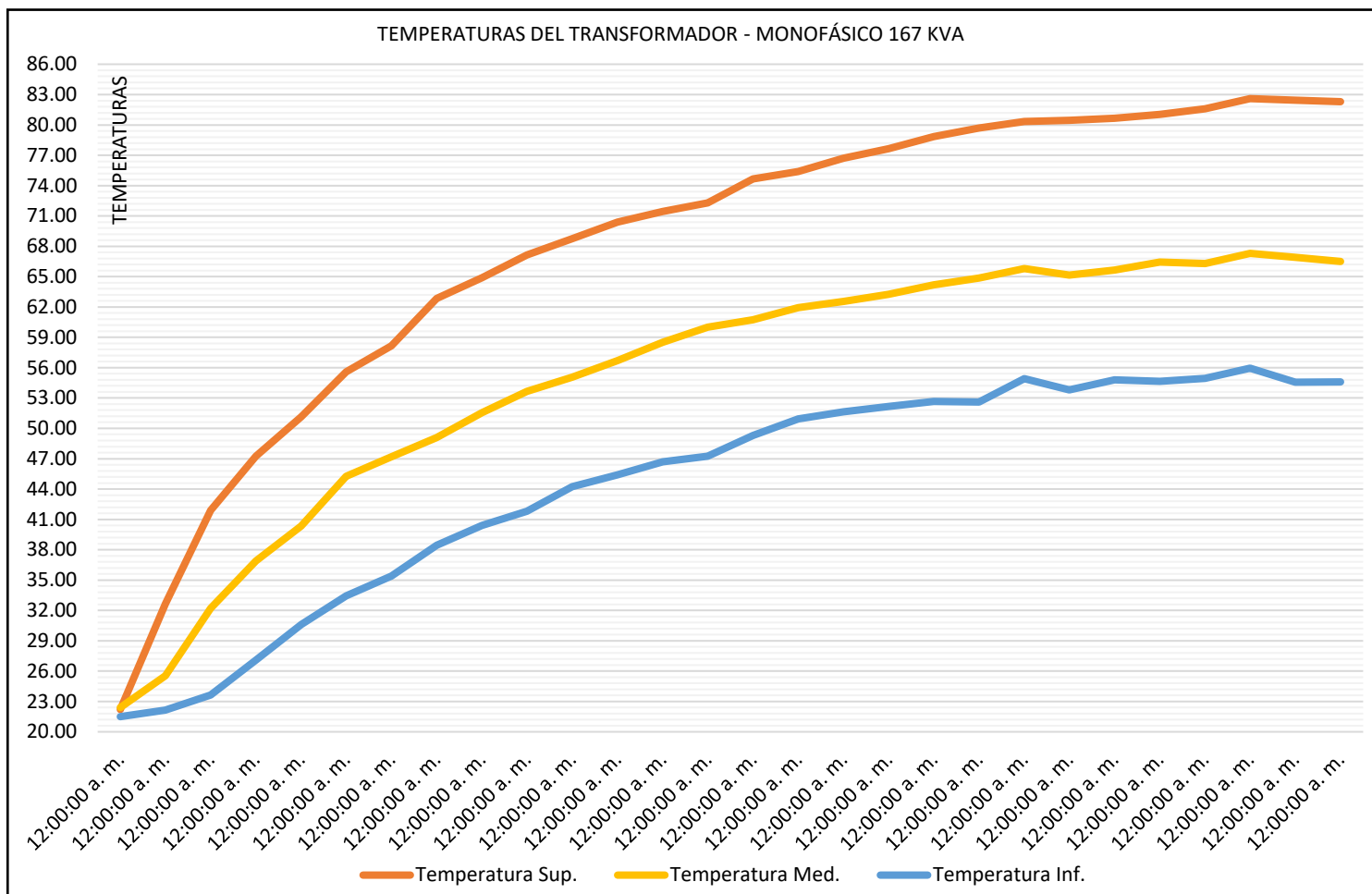
Fuente: Elaboración propia





*Grafica N°3 Temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento antiguo*

*Fuente: Elaboración propia*



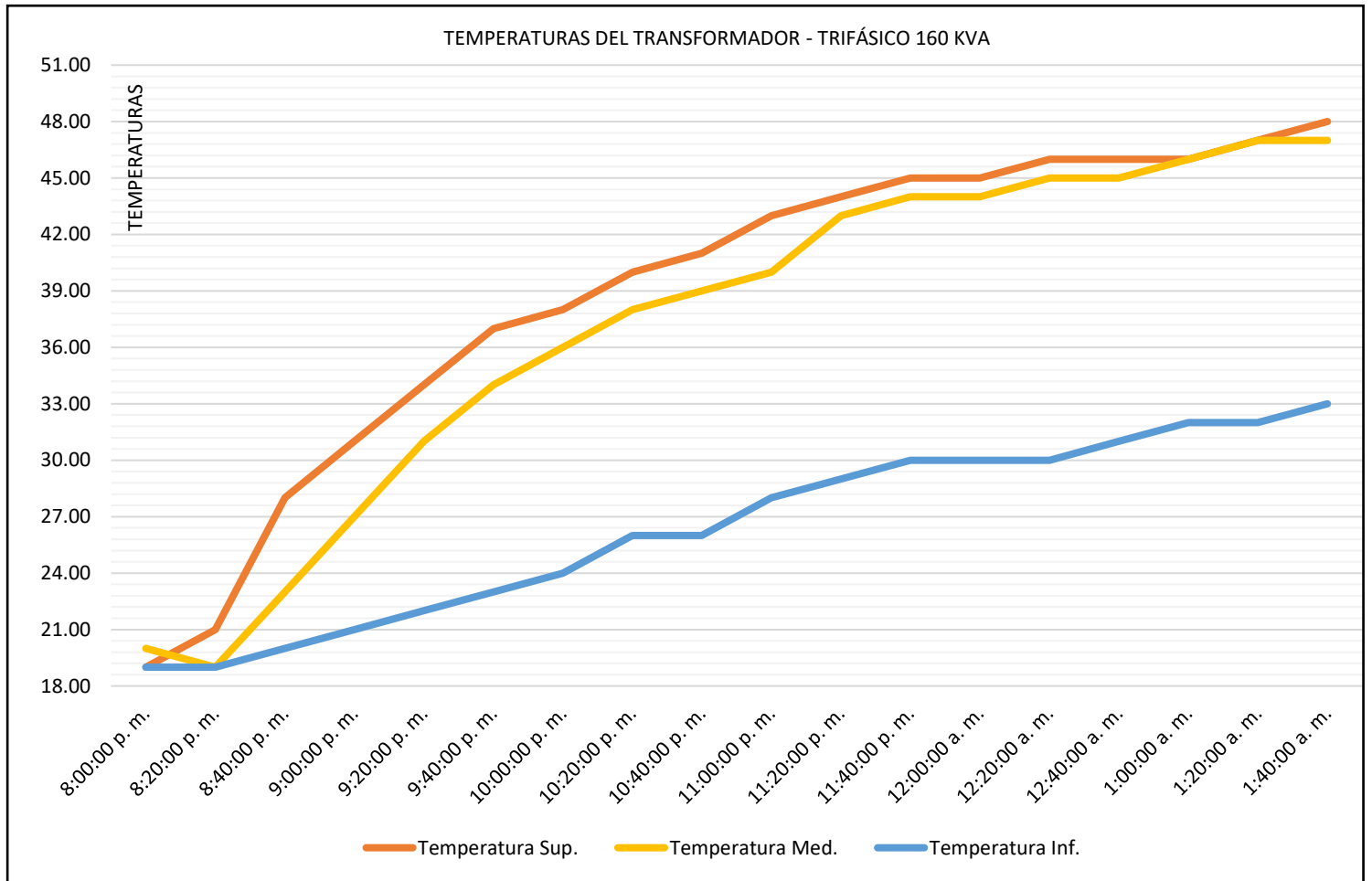
Grafica N°4 Temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
	Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 18/10/2022	Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 17/09/2023
Temperaturas del transformador	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura además con la cámara termográfica y se sacó el promedio de estos valores

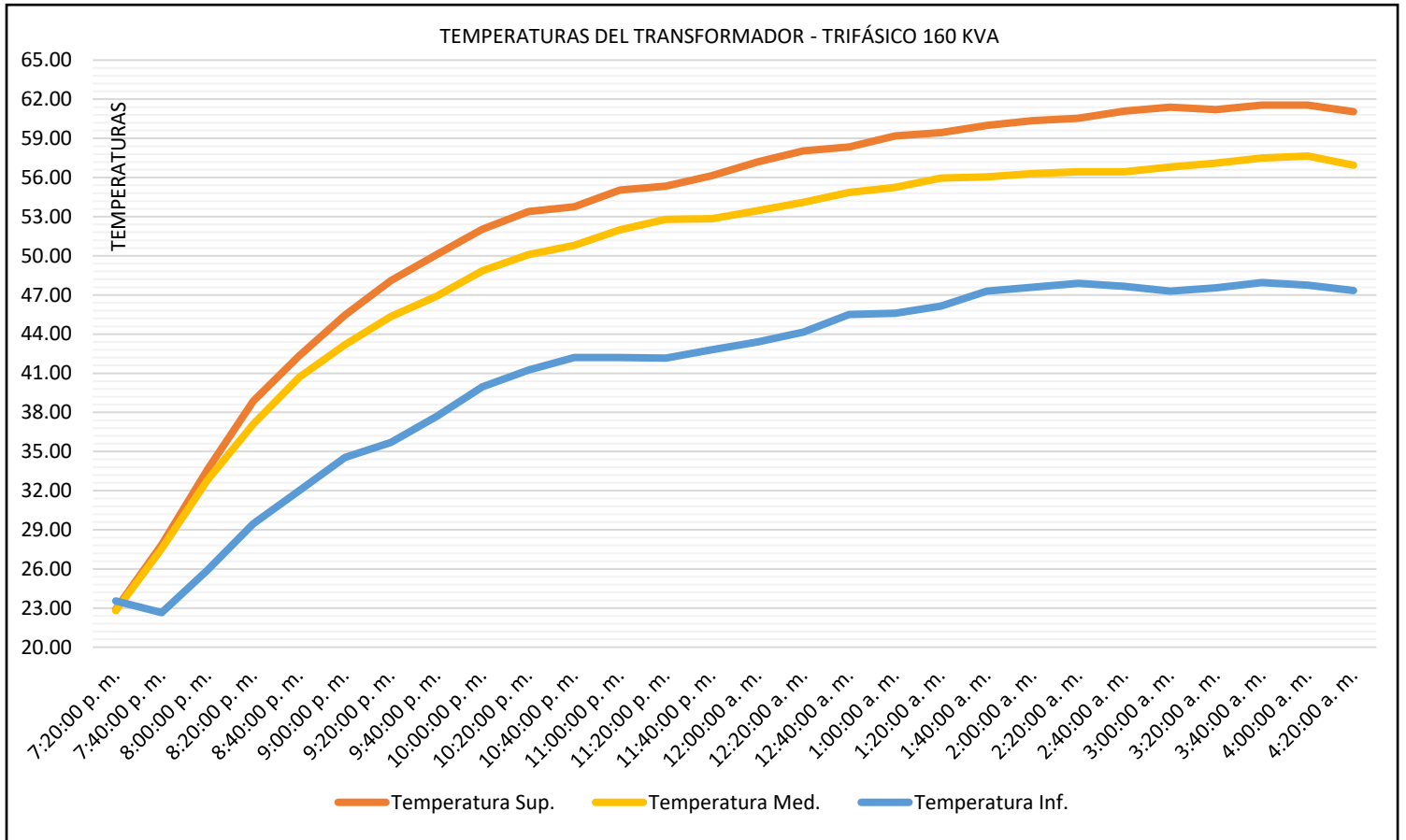
Tabla N° 17 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador monofásico de 167 kVA

Fuente: Elaboración propia



Grafica N°5 Temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



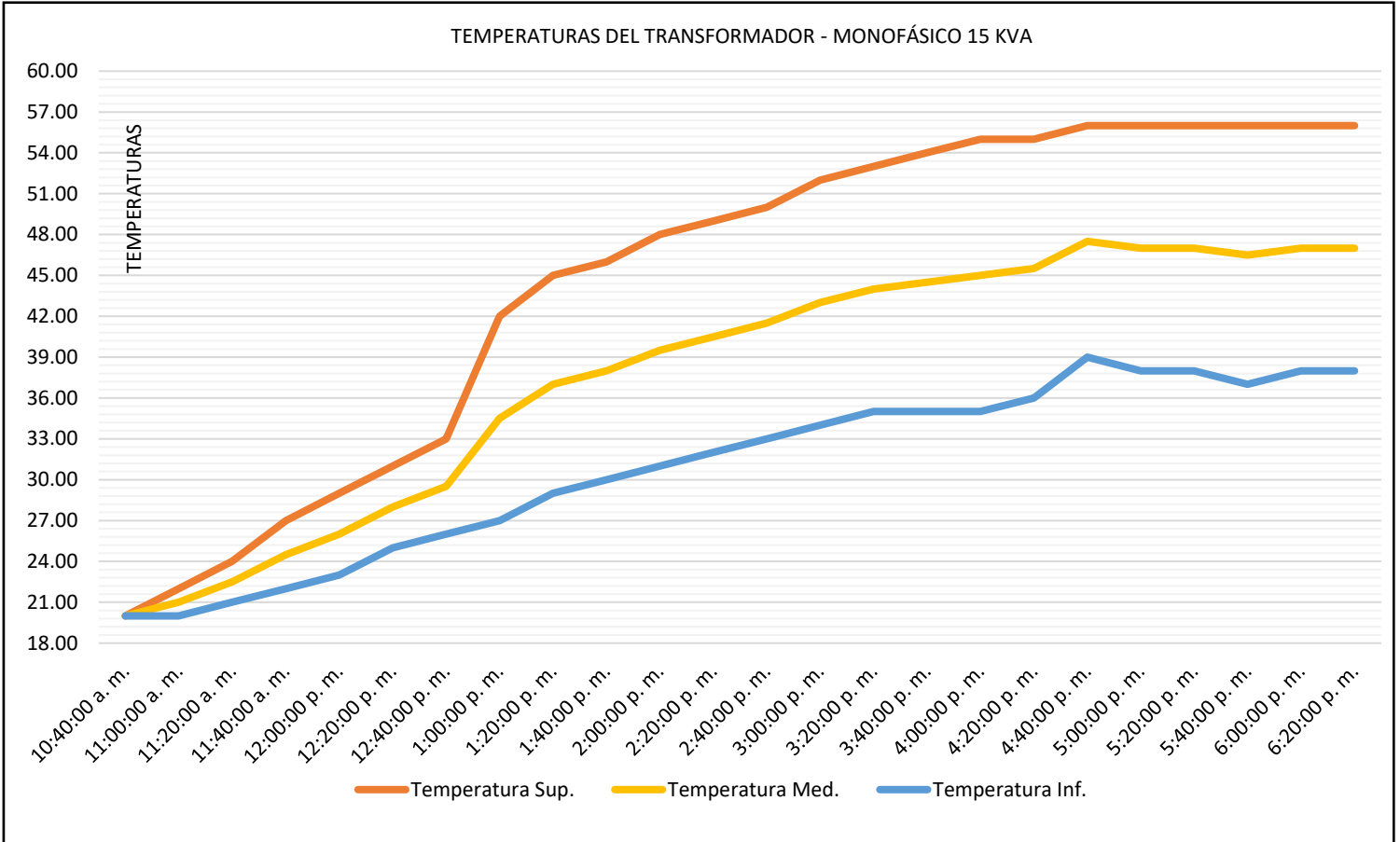
Grafica N°6 Temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
	Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 21/06/2021	Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 20/09/2023
Temperaturas del transformador	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura además con la cámara termográfica y se sacó el promedio de estos valores

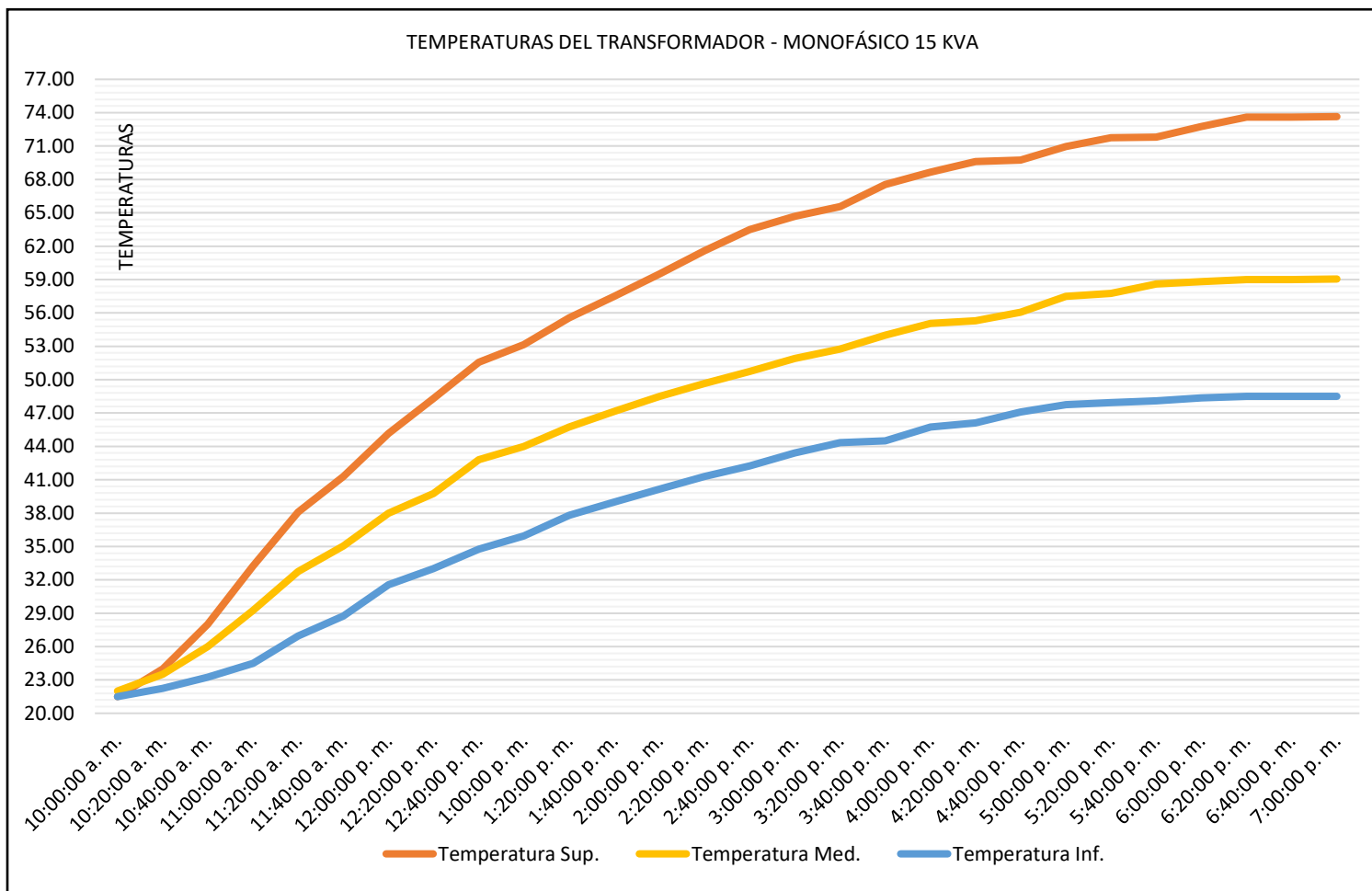
Tabla N° 18 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador trifásico de 160 kVA

Fuente: Elaboración propia



Grafica N°7 Temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



*Grafica N°8 Temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

*Fuente: Elaboración propia*

TEMPERATURAS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0 Fecha: 29/03/2021
Temperaturas del transformador	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura	Se tomaron mediciones de la temperatura superior, media e inferior con 3 sensores de temperatura además con la cámara termográfica y se sacó el promedio de estos valores

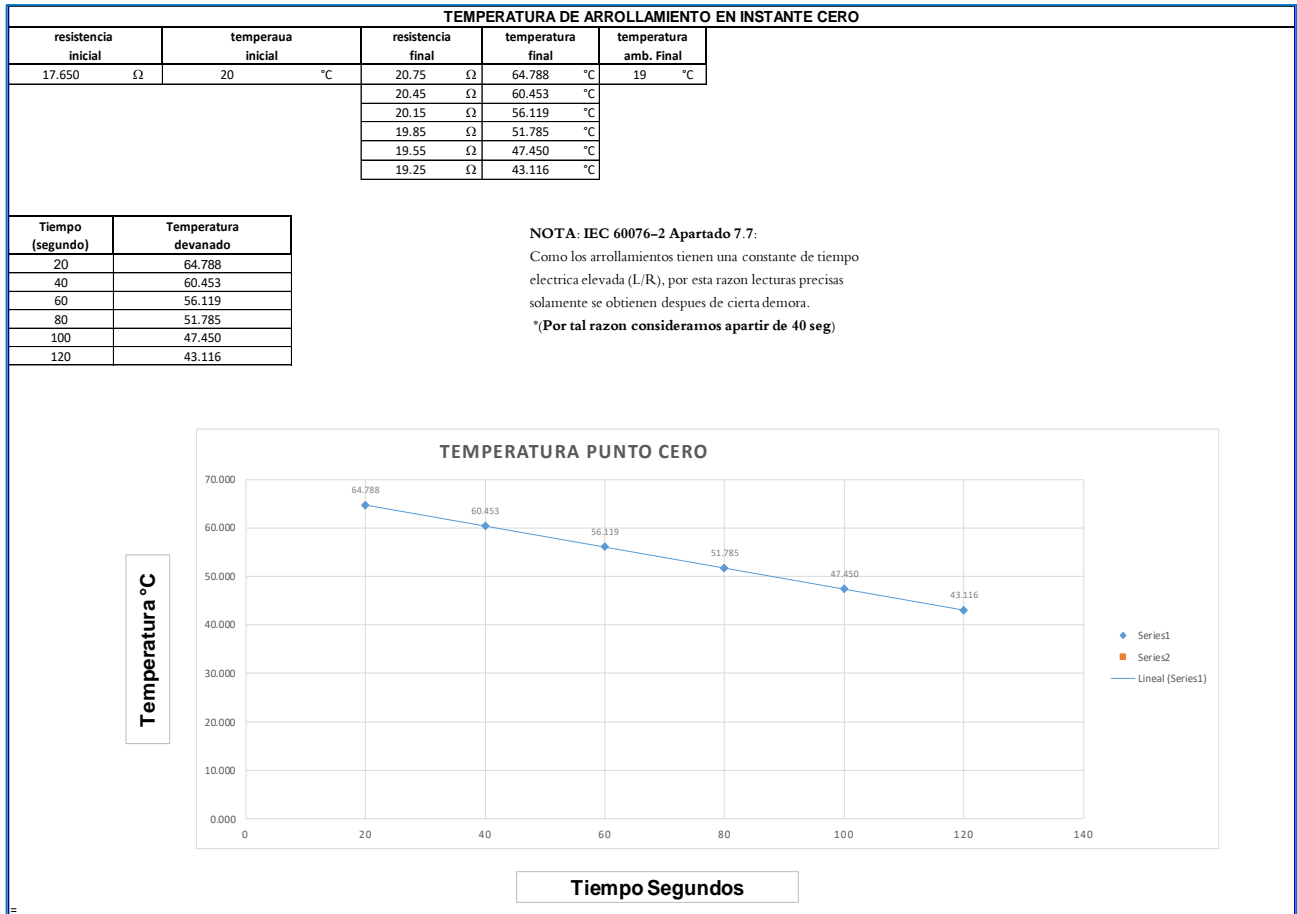
*Tabla N° 19 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador monofásico de 15 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

De las tablas y graficas se observó que la toma de temperaturas se hace de acuerdo a las normatividades vigentes con el módulo eléctrico, porque en los últimos valores en las gráficas con el nuevo procedimiento se va notando los valores constantes durante la última hora de la prueba, a comparación del procedimiento antiguo donde no se observa eso. Debido a que el módulo eléctrico cuenta con sensores de temperatura que son colocados con placa metálica de cobre y colocados al tanque con ayuda de cinta filamentada, además con una cámara termográfica los cuales tomaran los valores de temperatura superior, media e inferior del transformador y el resultado final será el promedio de estas medidas.

Por lo que se comprueba que el módulo eléctrico influye significativamente en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima 2023.

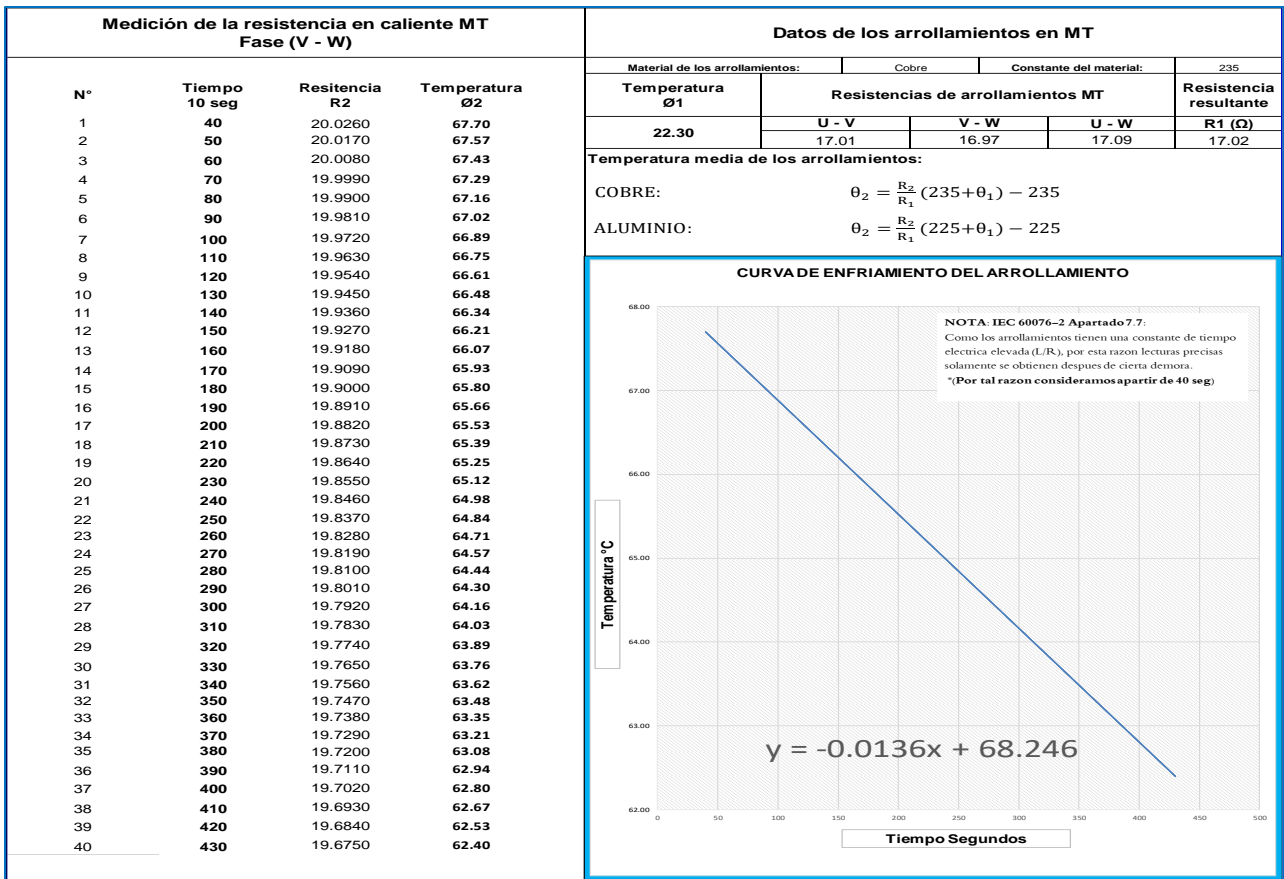
HE02: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.



*Grafica N°9 Resistencia en caliente transformador trifásico de 100 kVA media tensión, procedimiento antiguo*

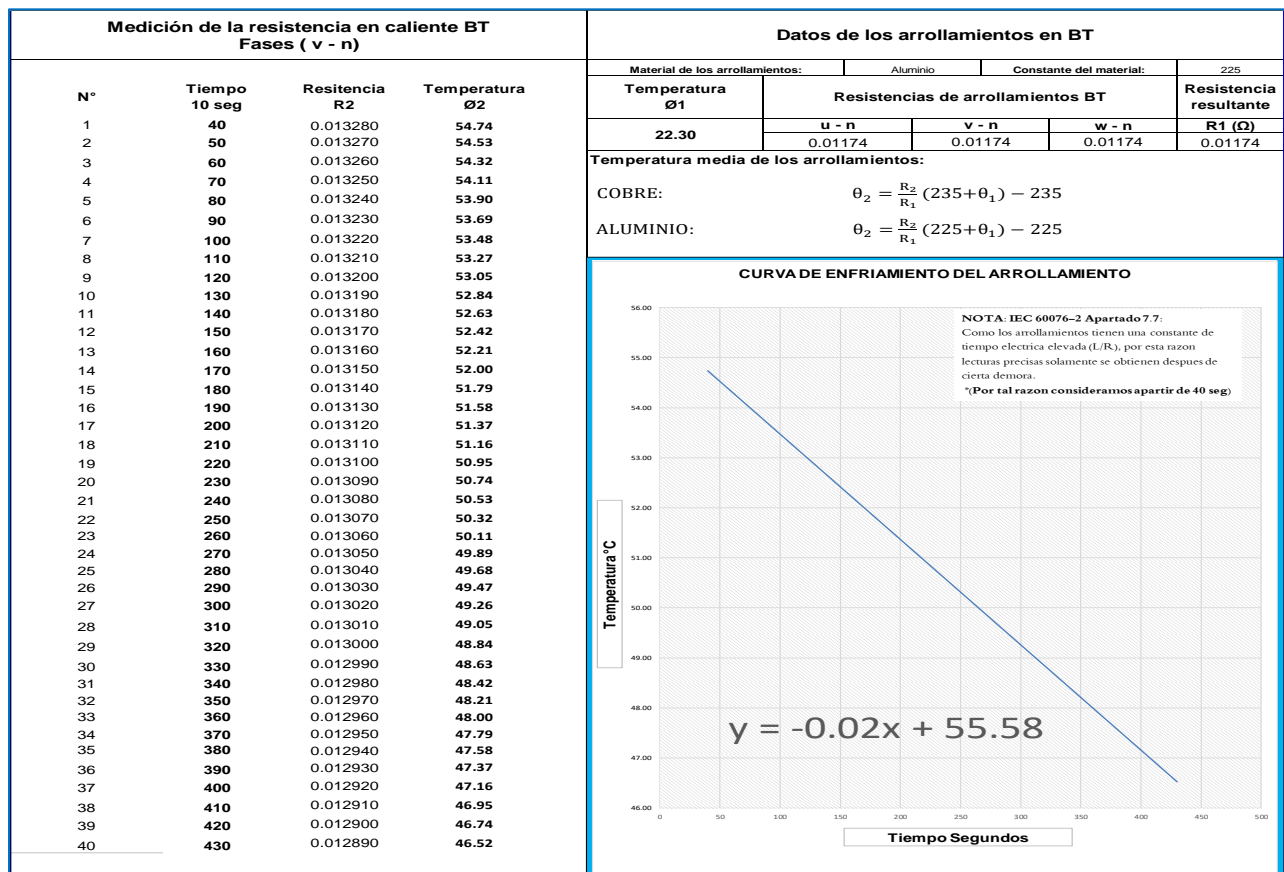
*Fuente: Elaboración propia*





Grafica N°10 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 100 kVA media tensión,  
procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia



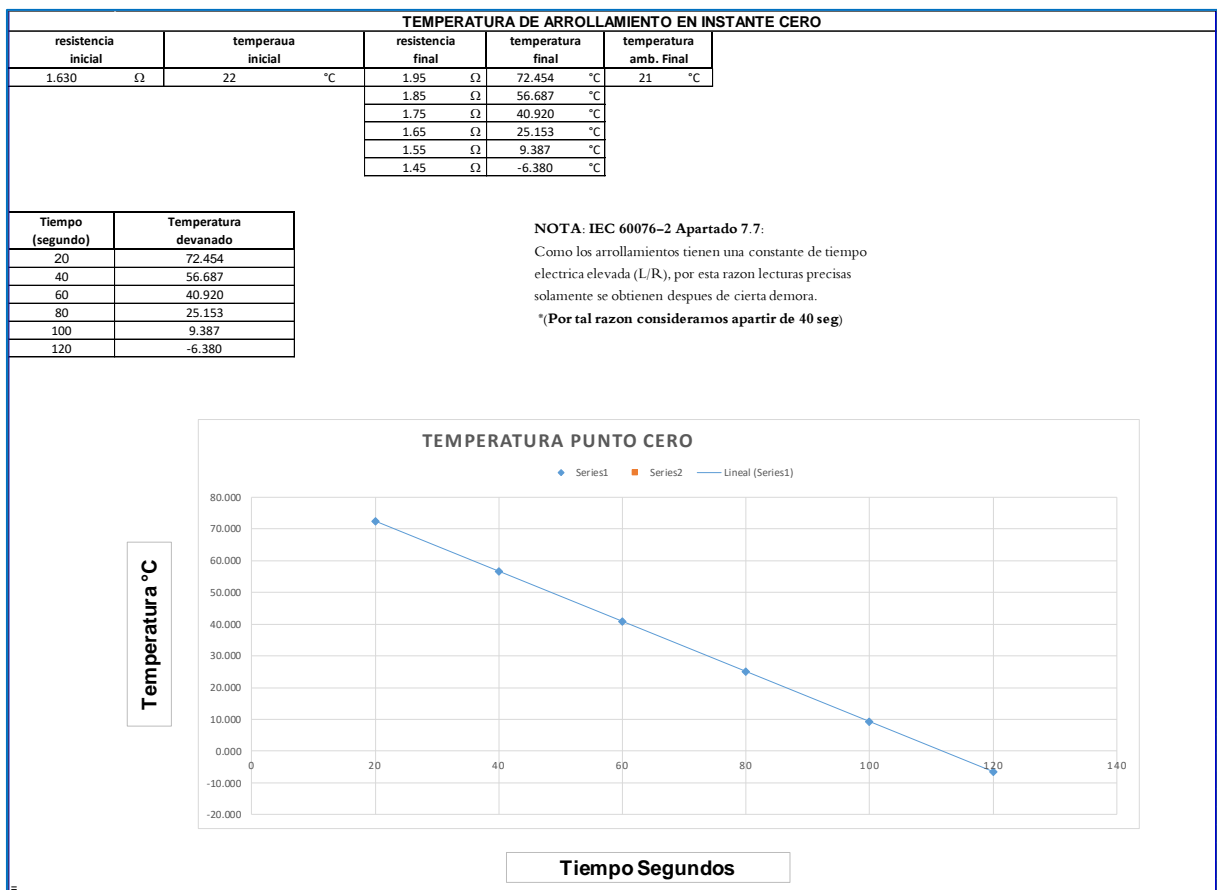
Grafica N°11 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 100 kVA  
baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5 Fecha: 26/10/2021
Medición de la resistencia en frío	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo en media tensión	Se tomó el valor de resistencia, en media y baja tensión, además de la temperatura del ambiente y humedad con el higrometro digital antes de comenzar la prueba
Medición de la resistencia en caliente	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba solo en media tensión	Se tomó valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión, además medida de la temperatura del ambiente y humedad

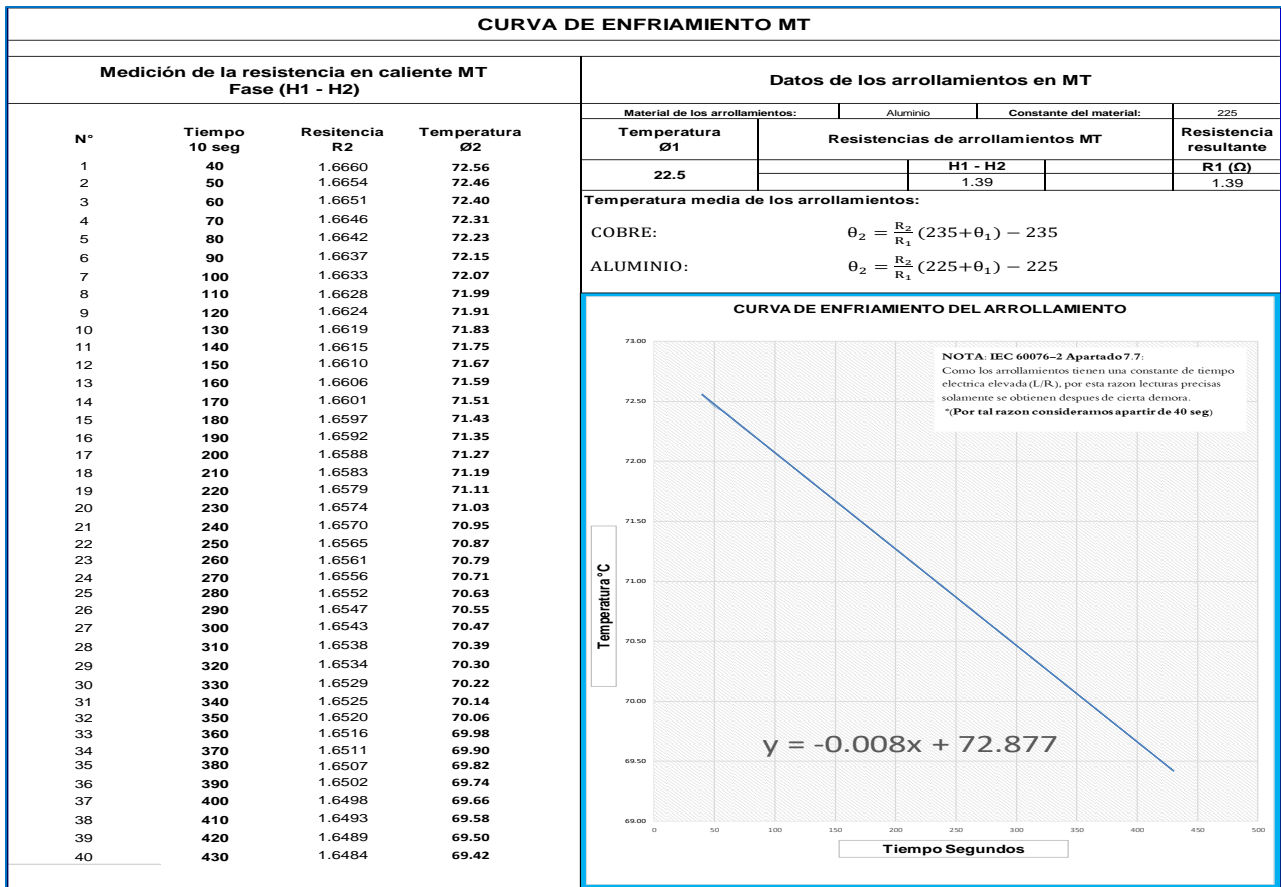
Tabla N° 20 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador trifásico de 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



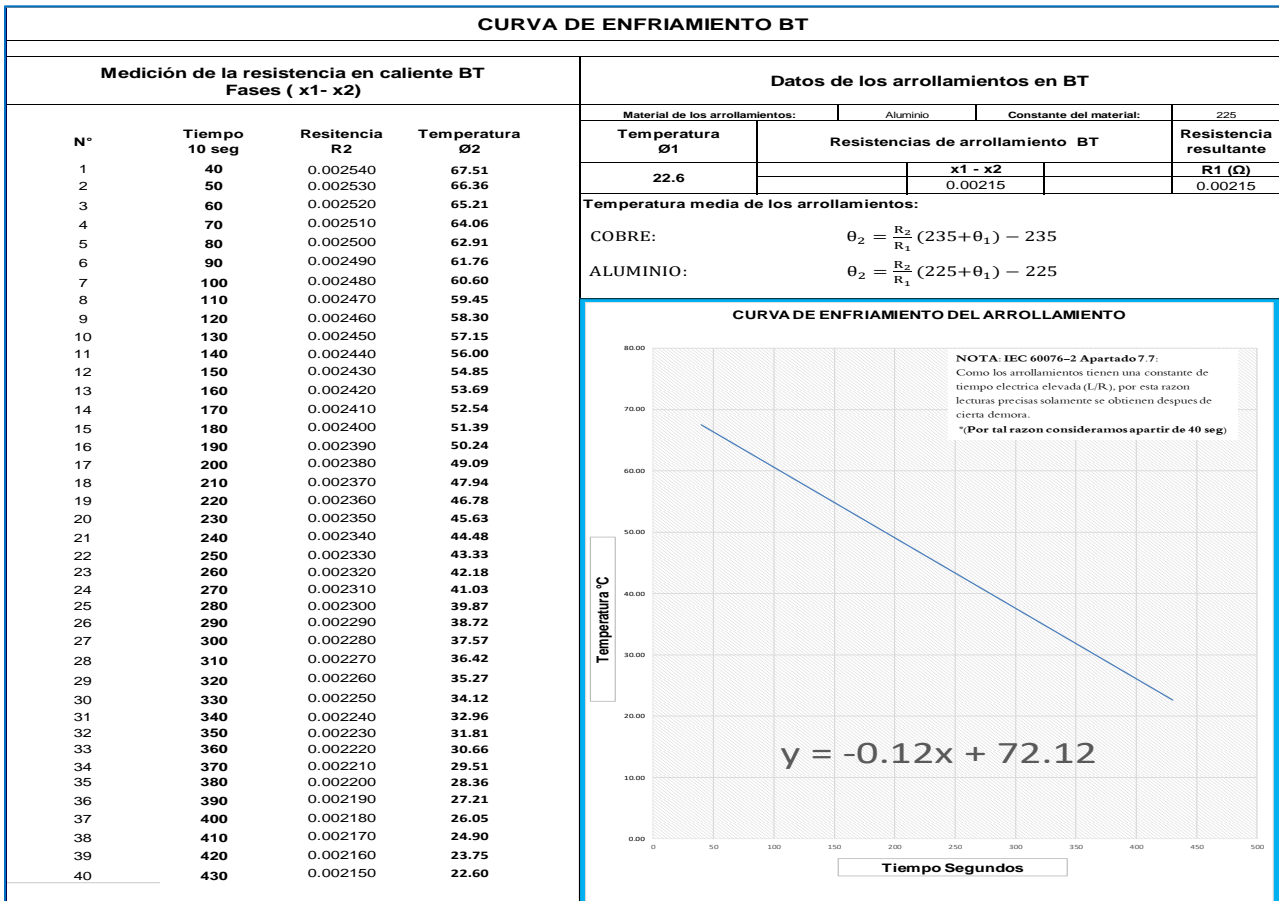
Grafica N°12 Resistencia en caliente transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



Grafica N°13 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia



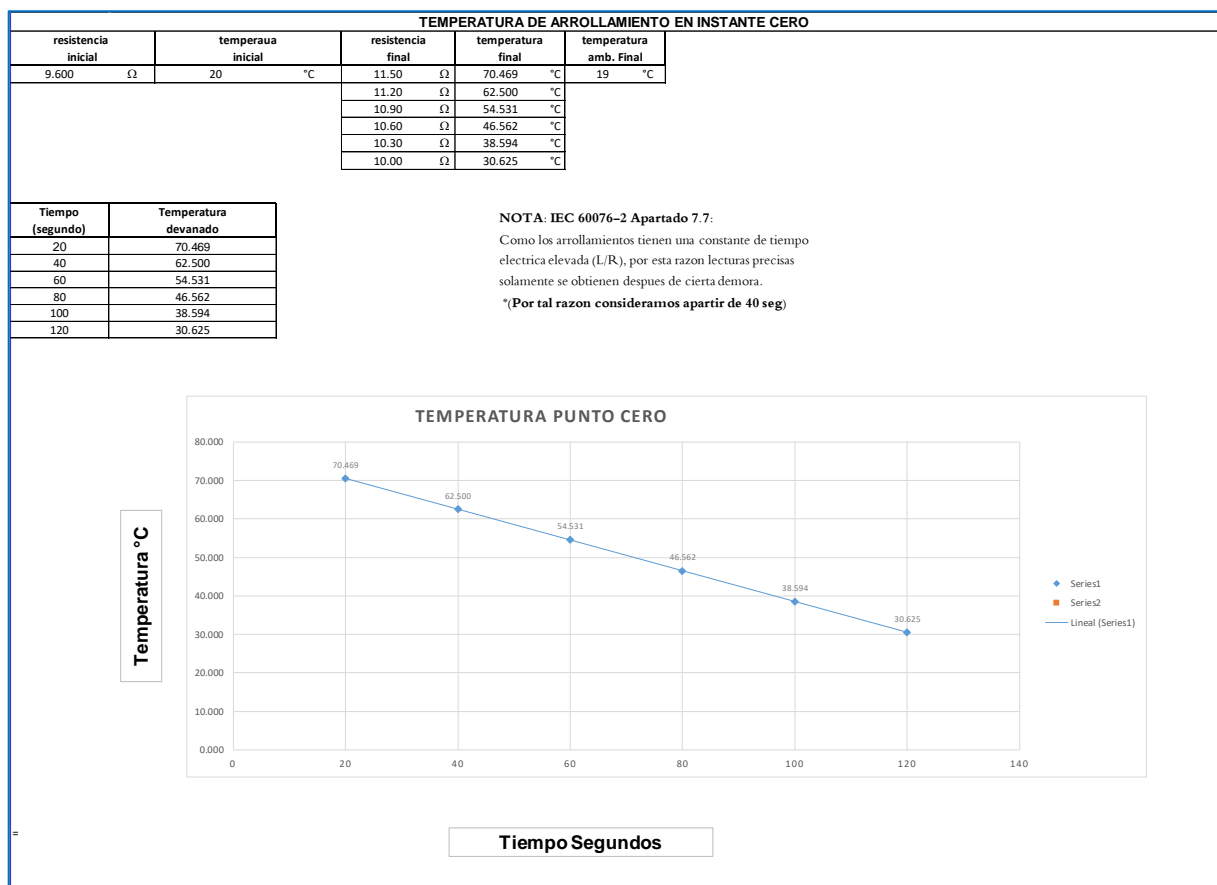
Grafica N°14 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 18/10/2022
Medición de la resistencia en frío	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo en media tensión	Se tomó el valor de resistencia, en media y baja tensión, además de la temperatura del ambiente y humedad con el higrometro digital antes de comenzar la prueba
Medición de la resistencia en caliente	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba solo en media tensión	Se tomó valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión, además de la temperatura del ambiente y humedad

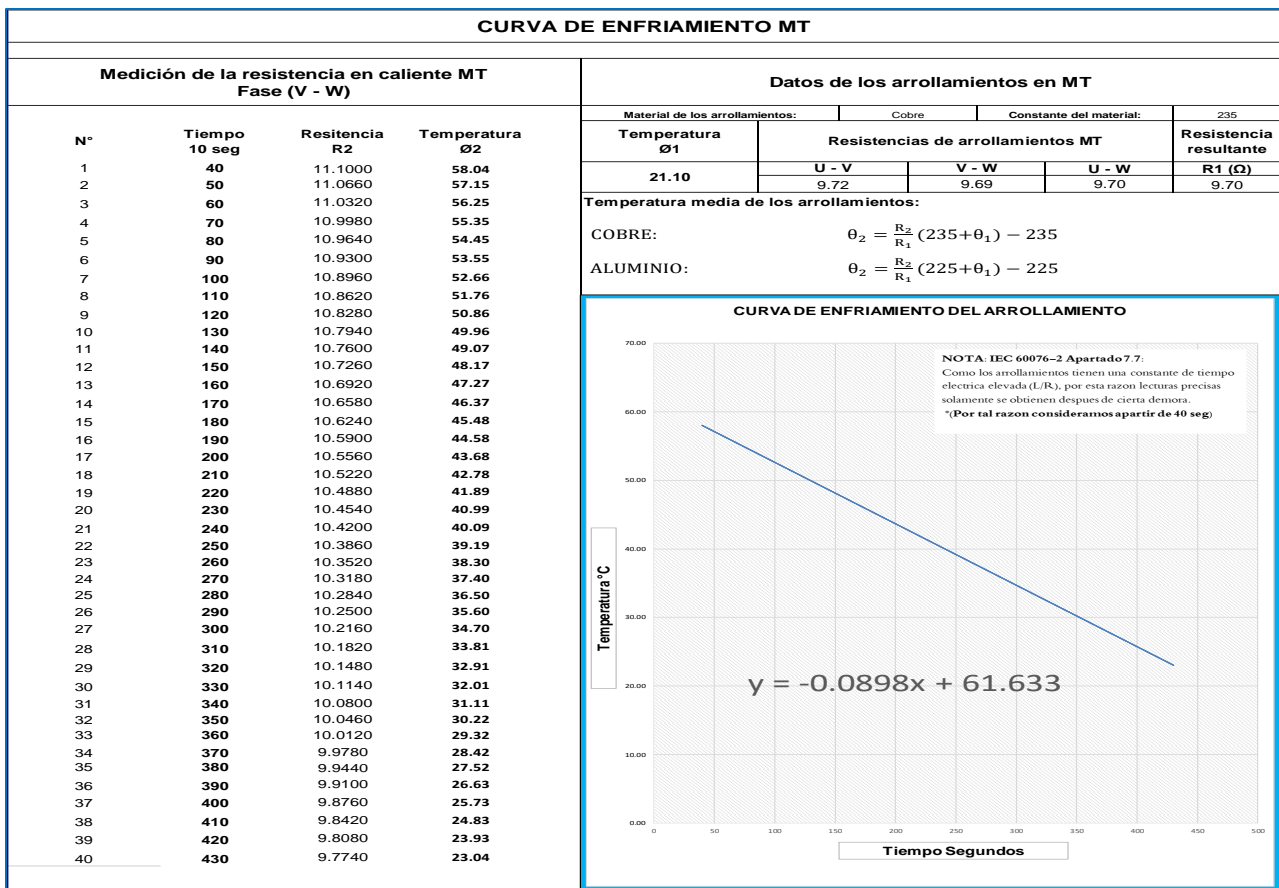
Tabla N° 21 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador Monofásico de 167 kVA

Fuente: Elaboración propia

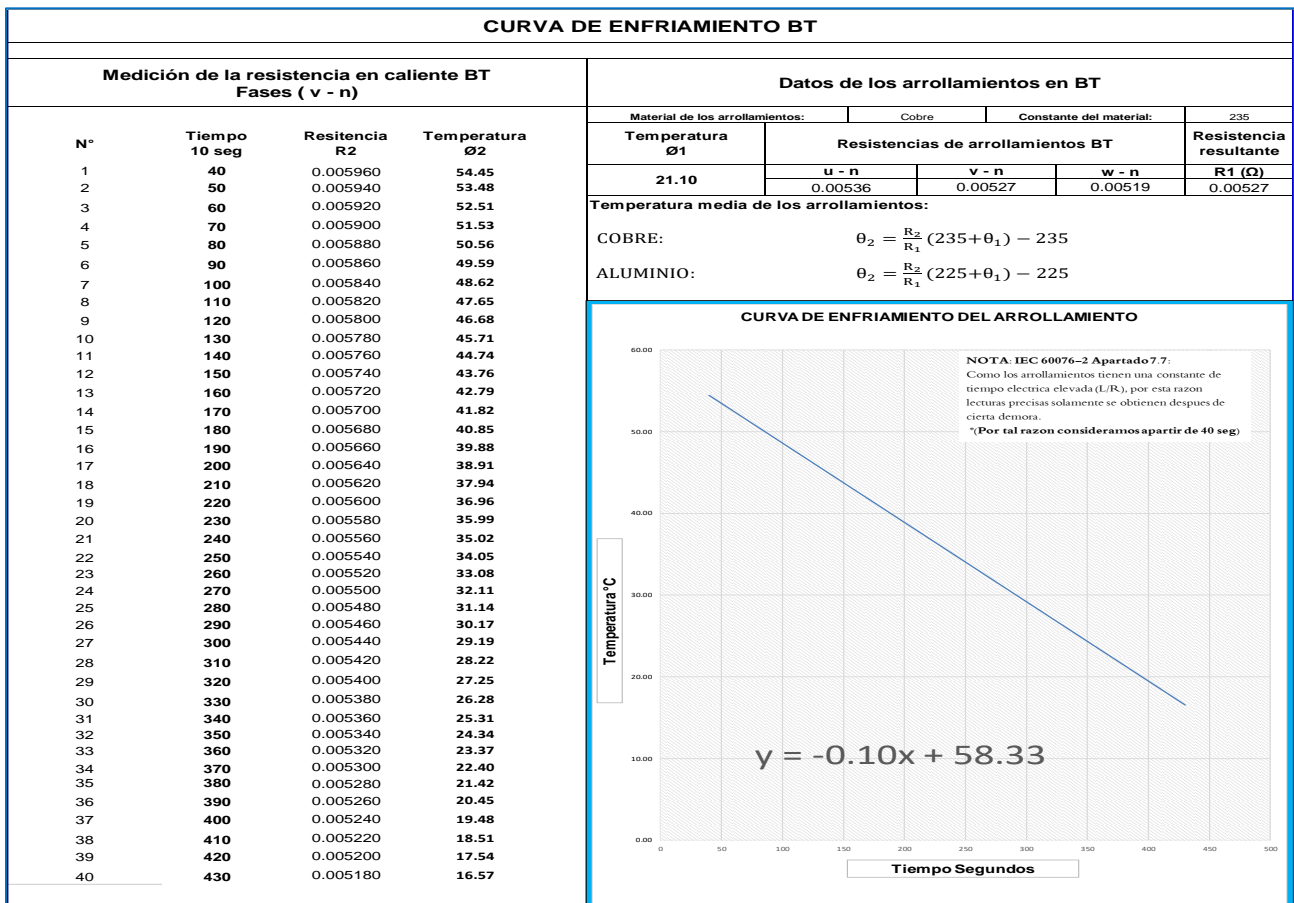


Grafica N°15 Resistencia en caliente transformador trifásico de 160 kVA media tensión, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



*Gráfica N°16 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 160 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico*  
Fuente: Elaboración propia

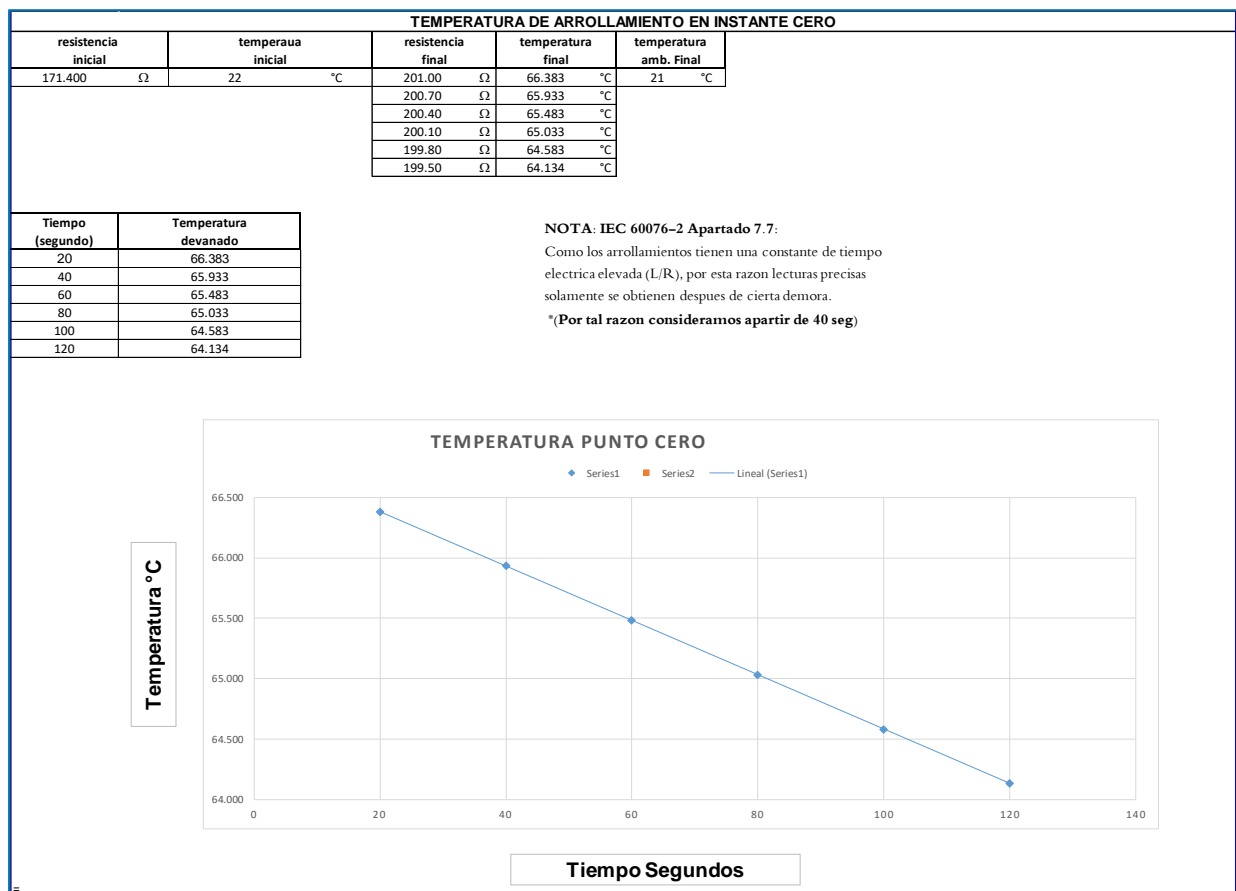


*Gráfica N°17 Resistencia en caliente, transformador trifásico de 160 kVA*  
*baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico*  
Fuente: Elaboración propia

RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 21/06/2021
Medición de la resistencia en frio	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo en media tensión	Se tomó el valor de resistencia, en media y baja tensión, además de la temperatura del ambiente y humedad con el higrometro digital antes de comenzar la prueba
Medición de la resistencia en caliente	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba solo en media tensión	Se tomó valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión, además medida de la temperatura del ambiente y humedad

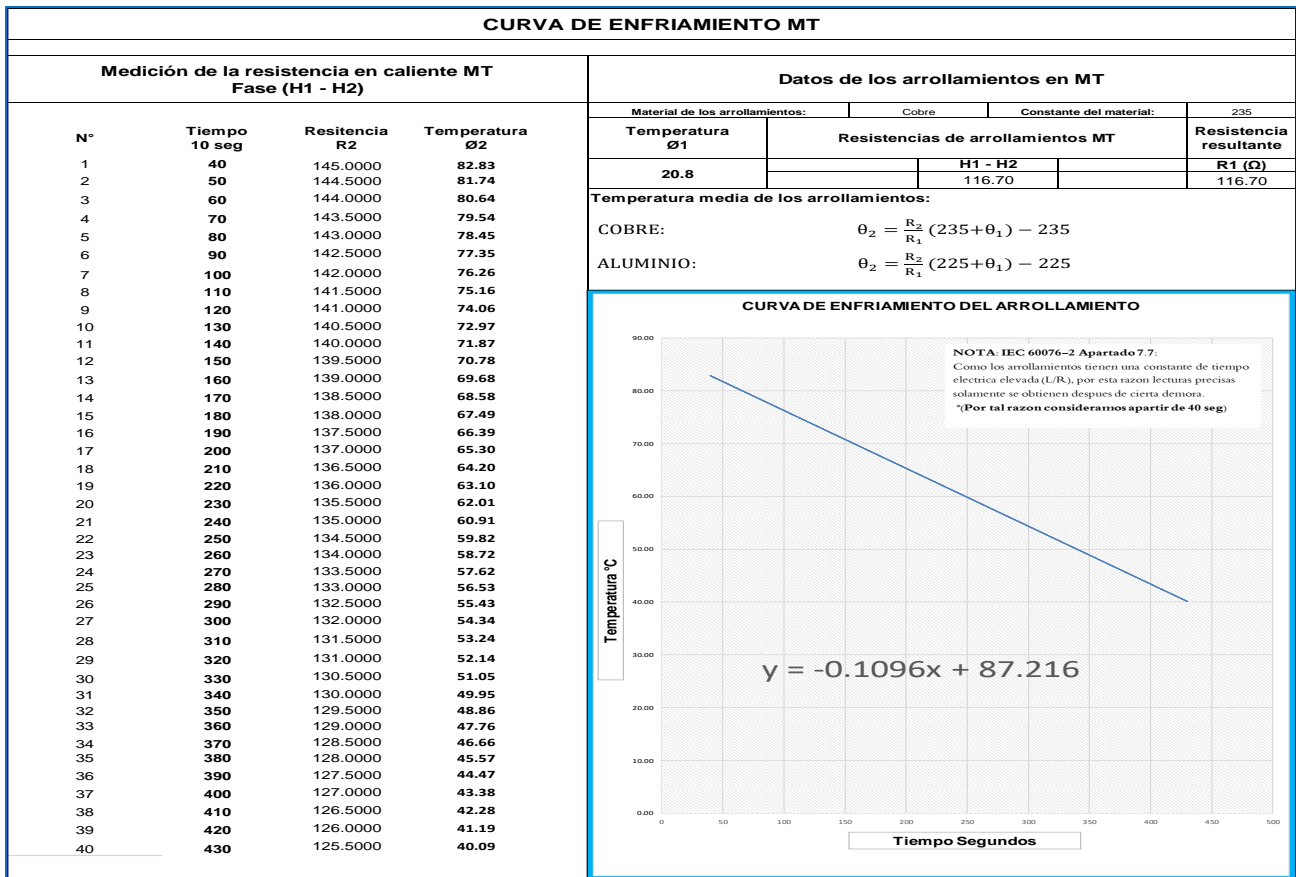
Tabla N° 22 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador trifásico de 160 kVA

Fuente: Elaboración propia

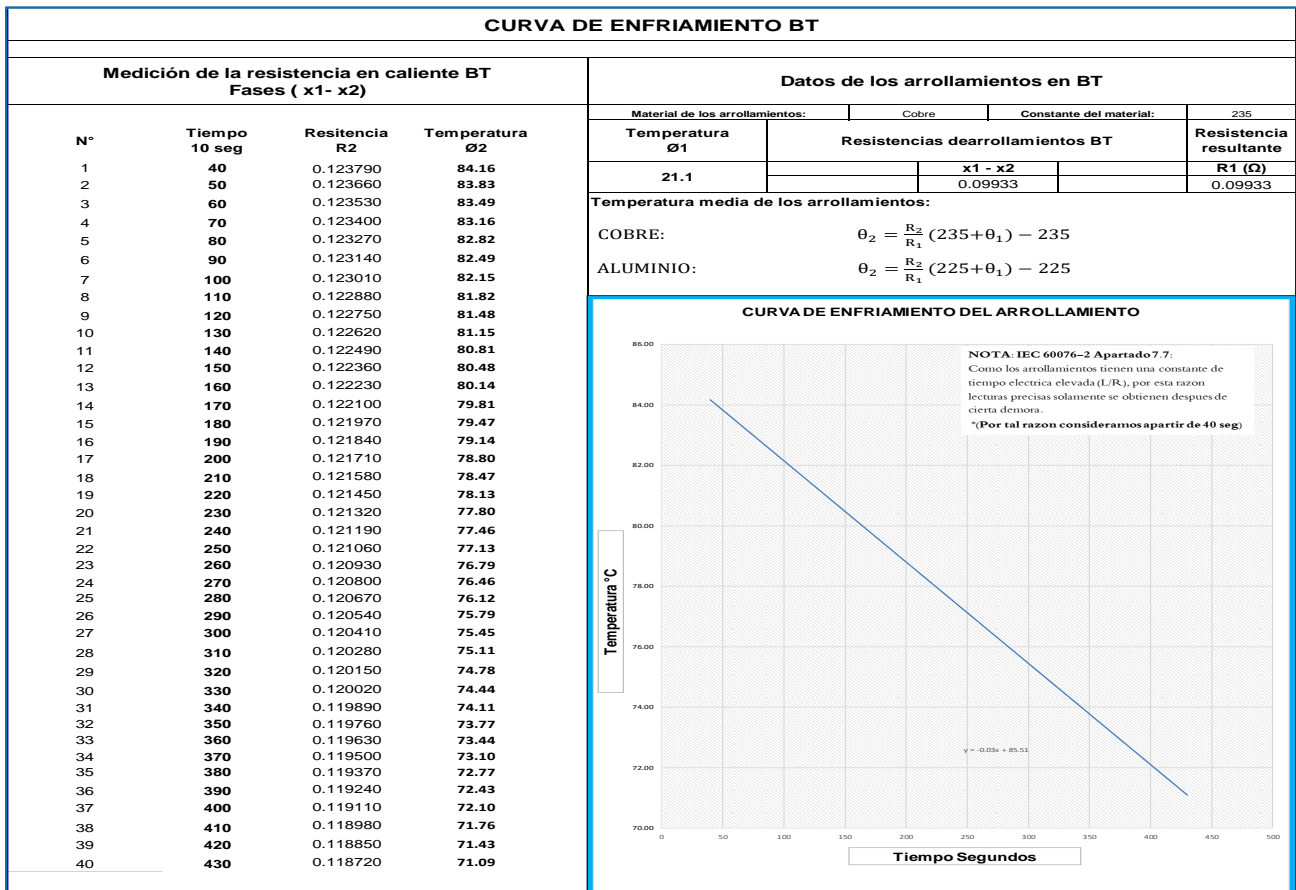


Grafica N°18 Resistencia en caliente transformador monofásico de 15 kVA media tensión, procedimiento antiguo

Fuente: Elaboración propia



Gráfica N°19 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA media tensión, procedimiento con módulo eléctrico  
Fuente: Elaboración propia



Gráfica N°20 Resistencia en caliente, transformador monofásico de 167 kVA baja tensión, procedimiento con módulo eléctrico  
Fuente: Elaboración propia

RESISTENCIA DE ARROLLAMIENTOS DEL TRANSFORMADOR		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
	Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0 Fecha: 29/03/2021	Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0 Fecha: 24/09/2023
<b>Medición de la resistencia en frío</b>	Se tomó el valor de resistencia antes de comenzar la prueba solo en media tensión	Se tomó el valor de resistencia, en media y baja tensión, además de la temperatura del ambiente y humedad con el higrometro digital antes de comenzar la prueba
<b>Medición de la resistencia en caliente</b>	Se tomó la resistencia en caliente al finalizar la prueba solo en media tensión	Se tomó valores de resistencia en caliente al finalizar la prueba, en media y baja tensión, además medida de la temperatura del ambiente y humedad

*Tabla N° 23 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos del transformador Monofásico de 15 kVA*

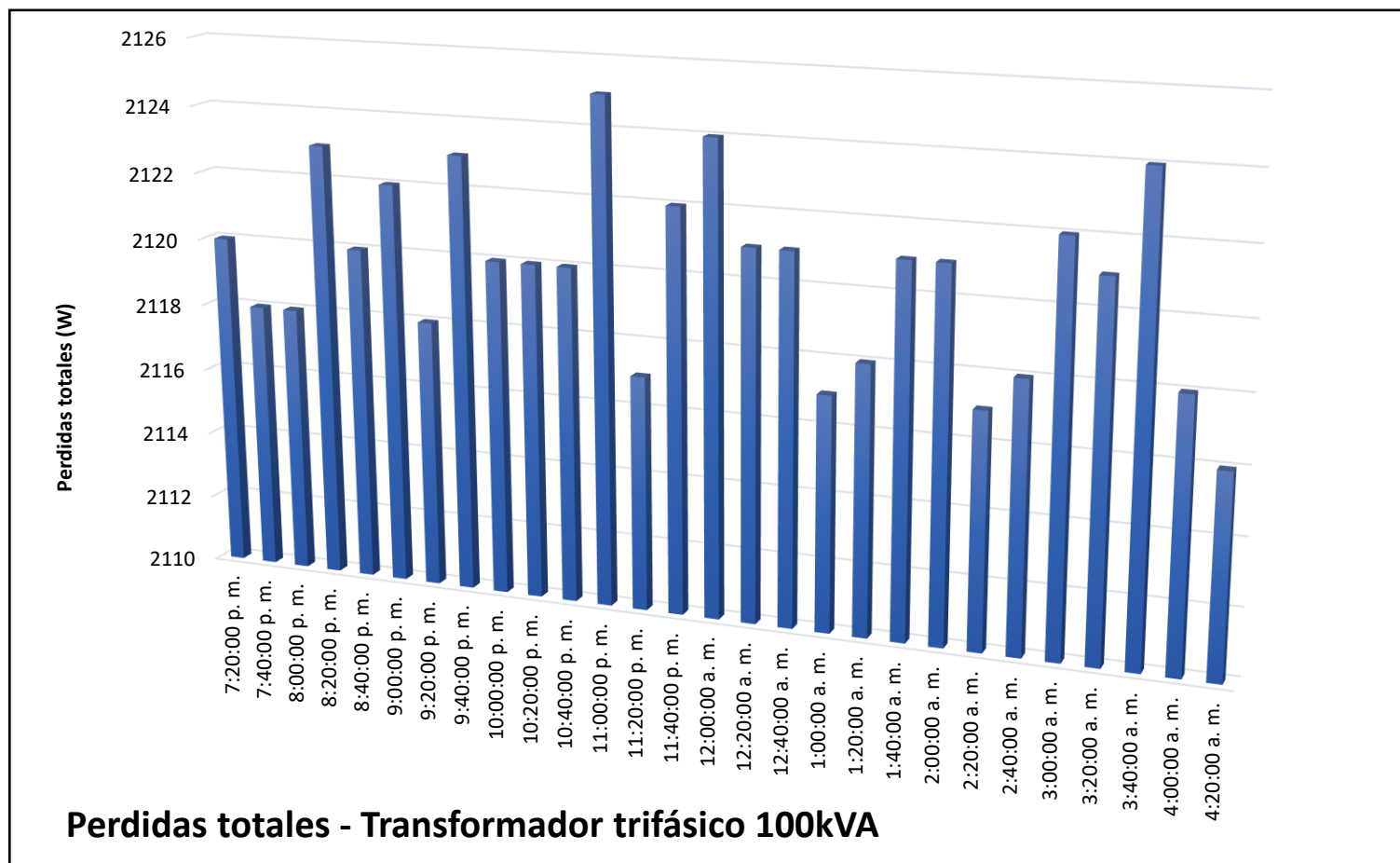
*Fuente: Elaboración propia*

De las tablas y graficas se observó que las mediciones de los arrollamientos se realizaron de acuerdo a las normatividades vigentes con el módulo eléctrico, porque con el nuevo procedimiento se realizó la curva de enfriamiento de los arrollamientos en media y baja, que a comparación del procedimiento antiguo solo se hacía por media tensión. Debido a que el módulo eléctrico cuenta con un equipo de medición de arrollamientos que toma mediciones de la resistencia de arrollamiento antes y después de la prueba.

Por lo que se comprueba que el módulo eléctrico influye significativamente en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima 2023.



HE03: Las pérdidas totales influyen significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.



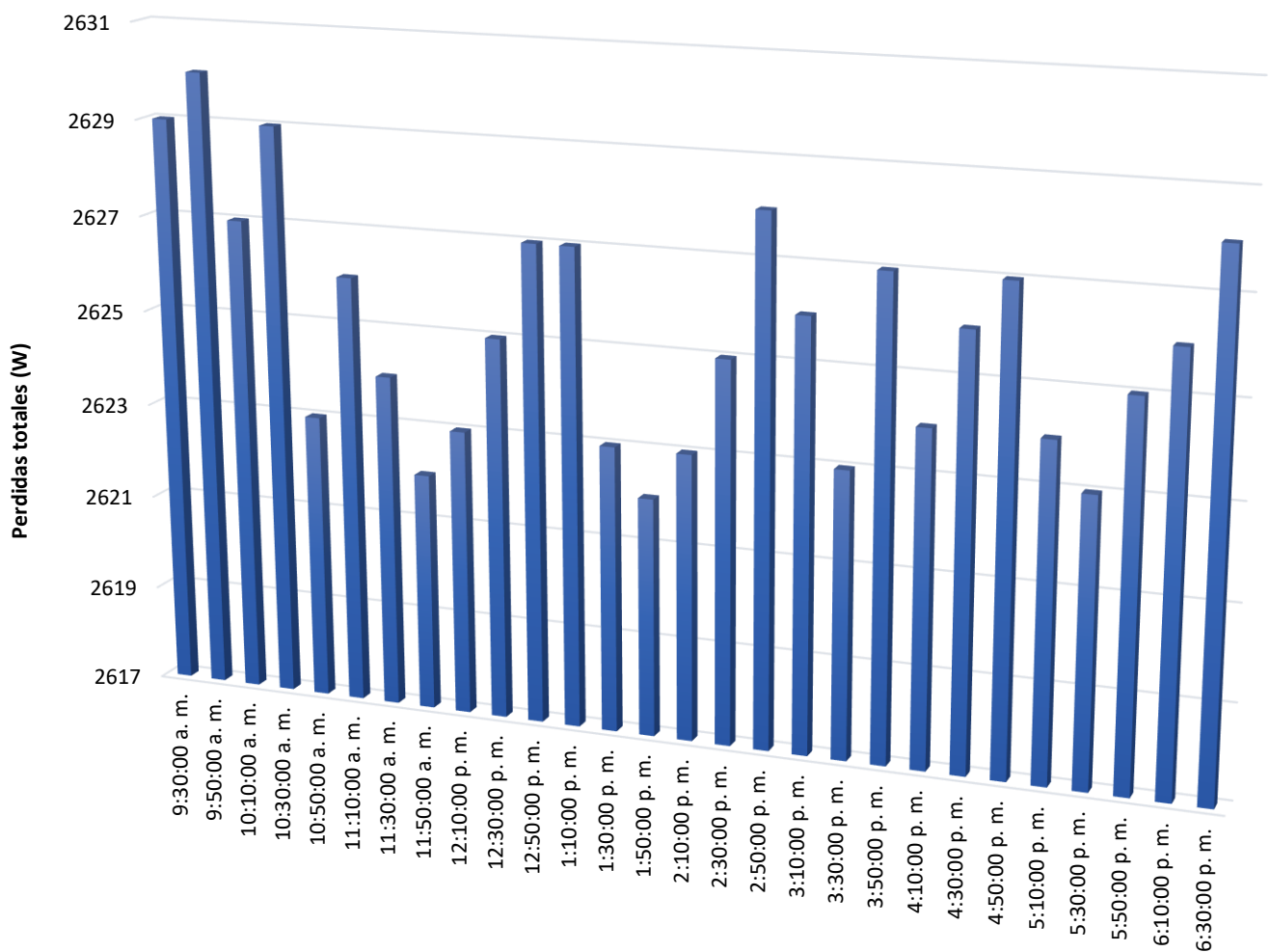
Grafica N°21 Pérdidas totales, transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

PERDIDAS TOTALES		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5 Fecha: 26/10/2021
Perdidas totales	No se realizó con pérdidas totales, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	Se comenzó con las pérdidas totales que fueron el resultado de la suma de pérdidas del arrollamiento a 75°C y las pérdidas del núcleo magnético

Tabla N° 24 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador trifásico de 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



**Perdidas totales - Transformador monofásico 167 kVA**

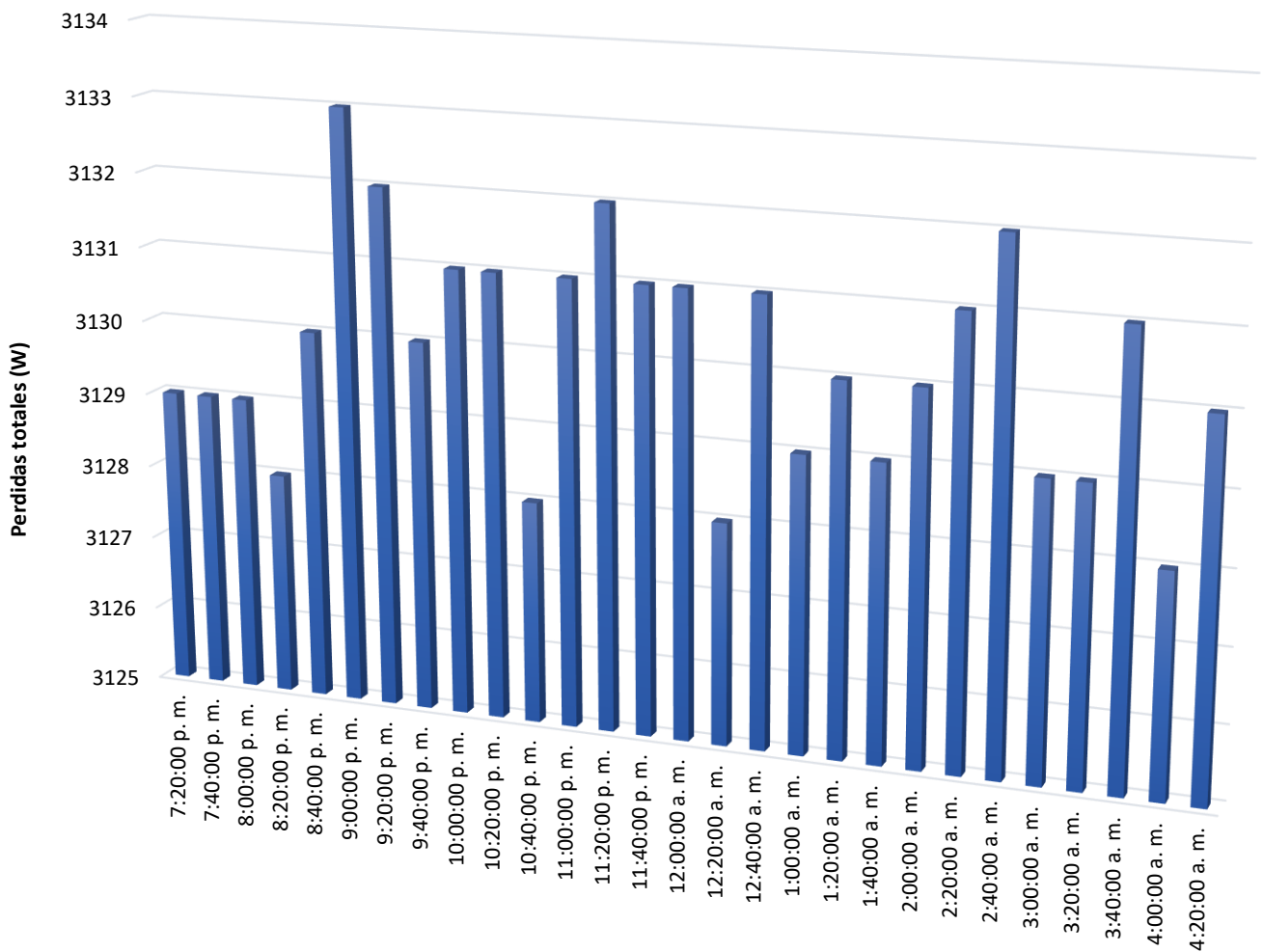
*Grafica N°22 Pérdidas totales, transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

Fuente: Elaboración propia

PERDIDAS TOTALES		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
	Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 18/10/2022	Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 17/09/2023
<b>Perdidas totales</b>	No se realizó con pérdidas totales, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	Se comenzó con las pérdidas totales que fueron el resultado de la suma de pérdidas del arrollamiento a 75°C y las pérdidas del núcleo magnético

*Tabla N° 25 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador monofásico de 167 kVA*

Fuente: Elaboración propia



**Perdas totales - Transformador trifásico 160kVA**

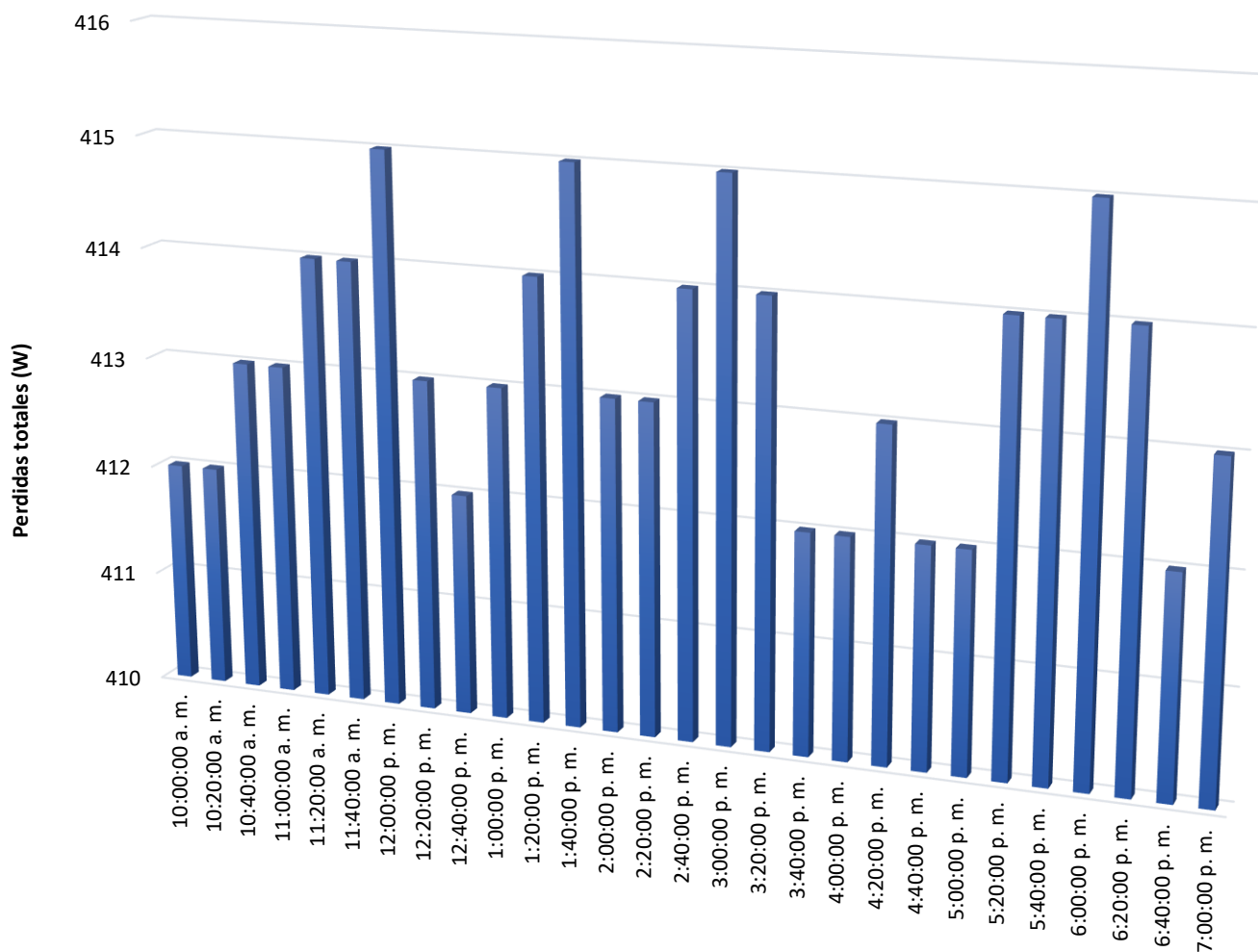
*Grafica N°23 Pérdidas totales, transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

Fuente: Elaboración propia

PERDIDAS TOTALES		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 21/06/2021
<b>Perdas totales</b>	No se realizó con perdas totales, lo que se hizo fue inyectar la tension de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	Se comenzó con las perdas totales que fueron el resultado de la suma de perdas del arrollamiento a 75°C y las perdas del nucleo magnetico

*Tabla N° 26 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador trifásico de 160 kVA*

Fuente: Elaboración propia



**Perdas totales - Transformador monofásico 15kVA**

*Grafica N°24 Pérdidas totales, transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

*Fuente: Elaboración propia*

PERDIDAS TOTALES		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0 Fecha: 29/03/2021
<b>Perdas totales</b>	No se realizó con perdas totales, lo que se hizo fue inyectar la tension de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	Se comenzó con las perdas totales que fueron el resultado de la suma de perdas del arrollamiento a 75°C y las perdas del nucleo magnetico

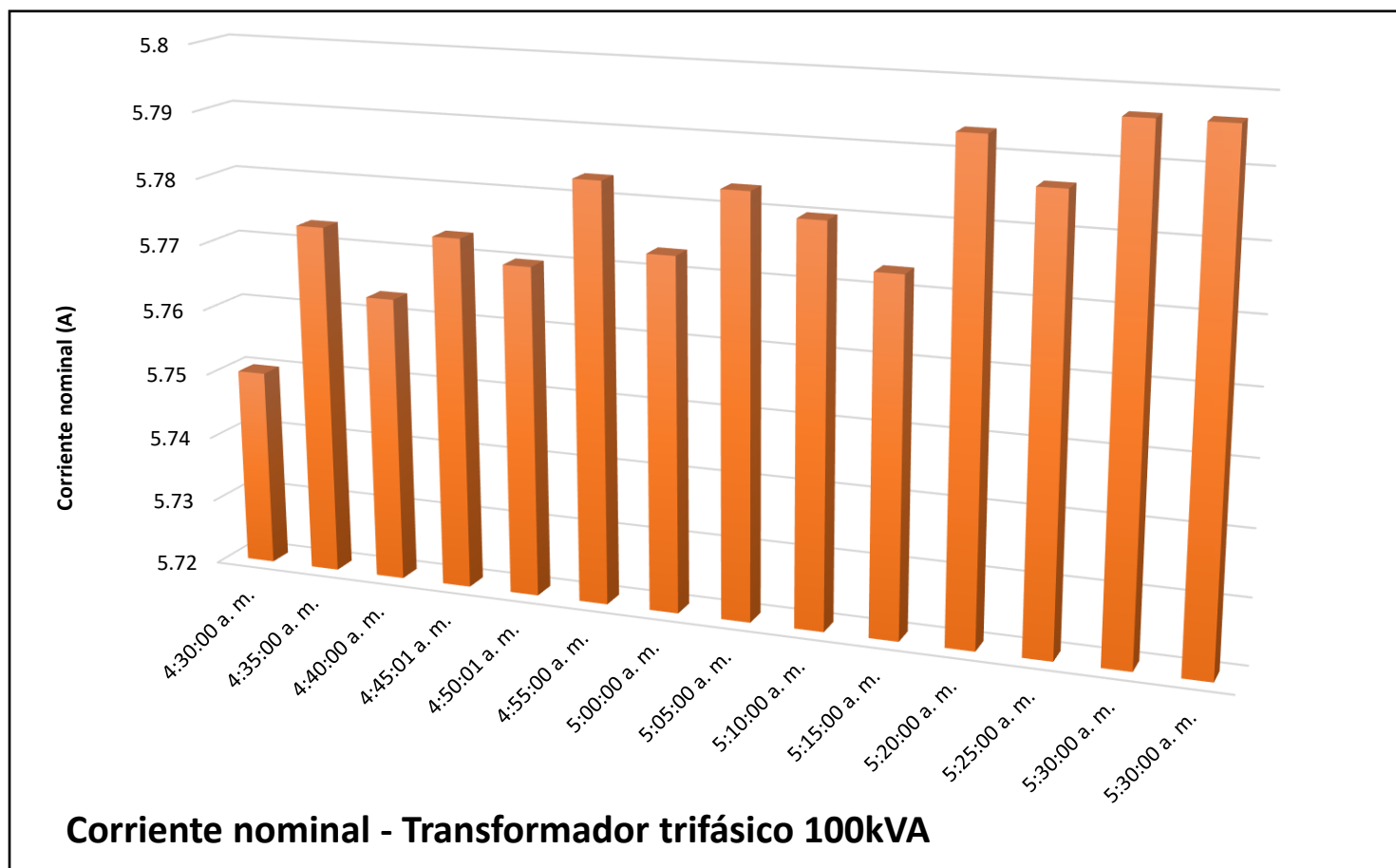
*Tabla N° 27 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en las pérdidas totales en transformador monofásico de 15 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*

De las tablas y graficas se observó que la inyección de las pérdidas totales se realizó de acuerdo a las normatividades vigentes con el módulo eléctrico al inicio de la primera etapa de la prueba de calentamiento conociendo así la temperatura final del aceite, que a comparación con el procedimiento antiguo no se empezó con las pérdidas totales.

Por lo que se comprueba que las pérdidas totales influyen significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima 2023.

HE04: La corriente nominal del transformador influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.



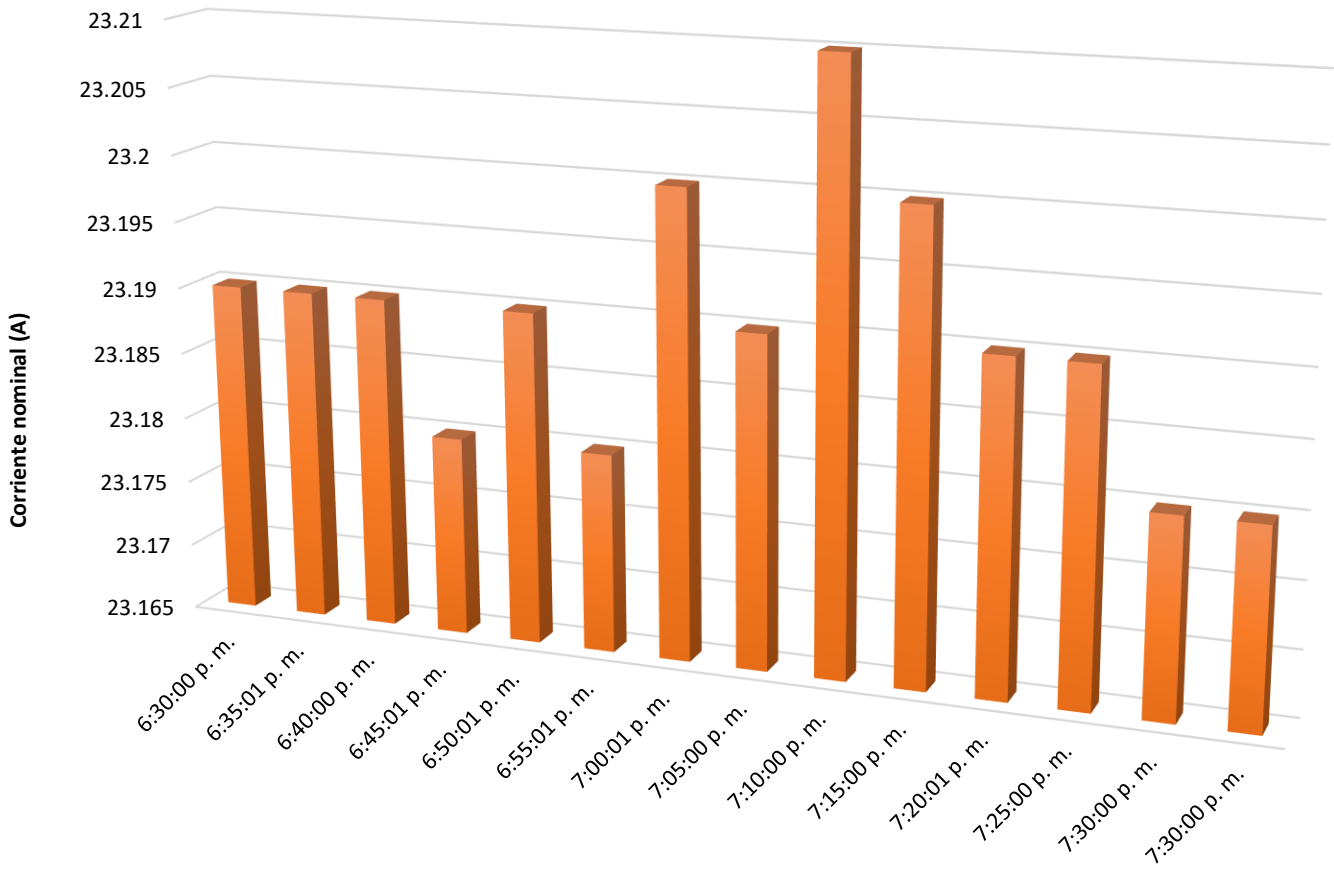
Grafica N°25 Corriente nominal, transformador trifásico de 100 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

CORRIENTE NOMINAL		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Trifásico 100 KVA, 10 - 22.9 / 0.400-0.231 KV, Dyn5 Fecha: 26/10/2021
Corriente nominal	No se realizó con la corriente nominal al estabilizarse las temperaturas del aceite, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	En la segunda etapa de la prueba se comenzó con la corriente nominal

Tabla N° 28 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador trifásico de 100 kVA

Fuente: Elaboración propia



**Corriente nominal - Transformador monofásico 167kVA**

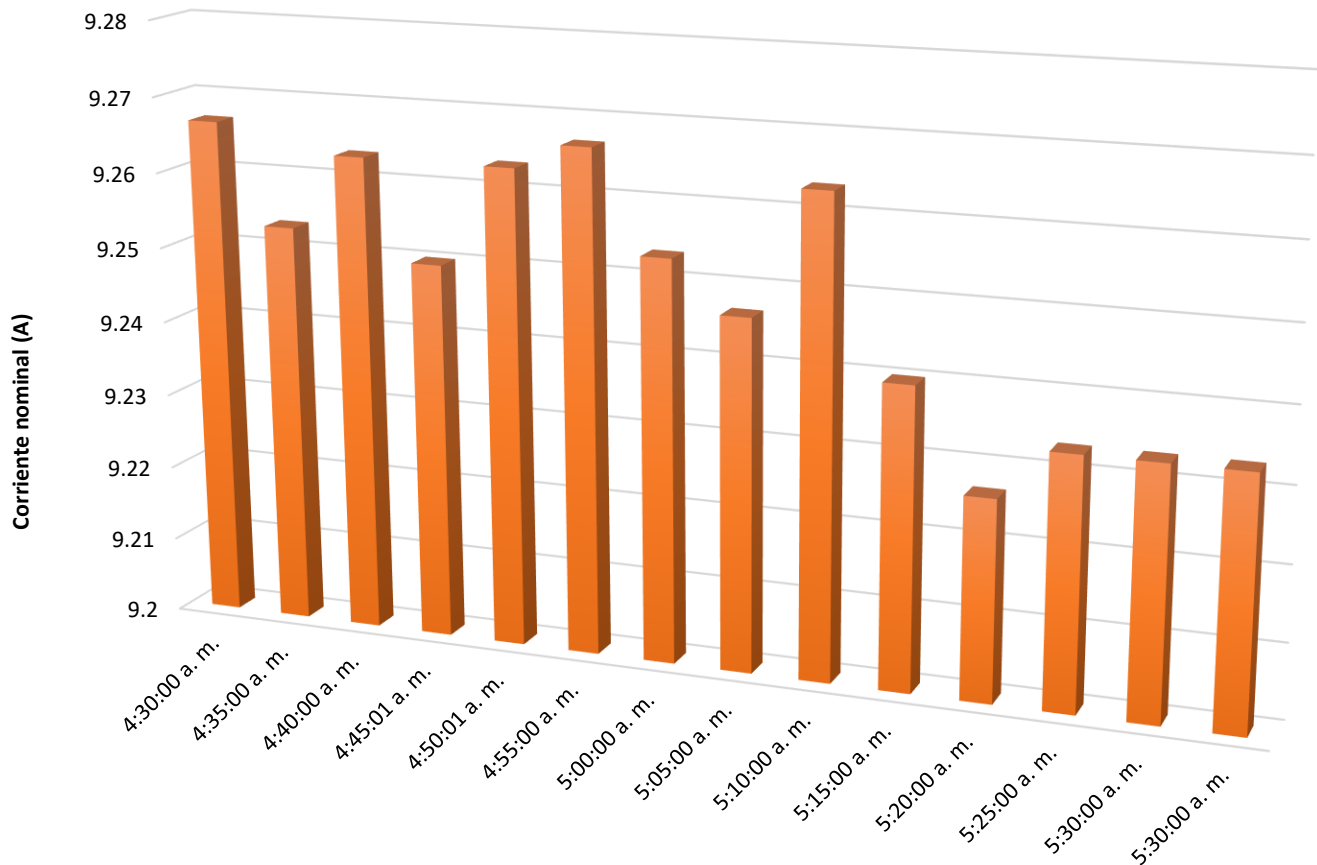
*Grafica N°26 Corriente nominal, transformador monofásico de 167 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

*Fuente: Elaboración propia*

CORRIENTE NOMINAL		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Monofásico 167 KVA, 7.2 - 14.4/0.277 KV, Li0 Fecha: 18/10/2022
Corriente nominal	No se realizó con la corriente nominal al estabilizarse las temperaturas del aceite, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	En la segunda etapa de la prueba se comenzó con la corriente nominal

*Tabla N° 29 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador monofásico de 167 Kva*

*Fuente: Elaboración propia*



**Corriente nominal - Transformador trifásico 160kVA**

*Grafica N°27 Corriente nominal, transformador trifásico de 160 kVA, procedimiento con módulo eléctrico*

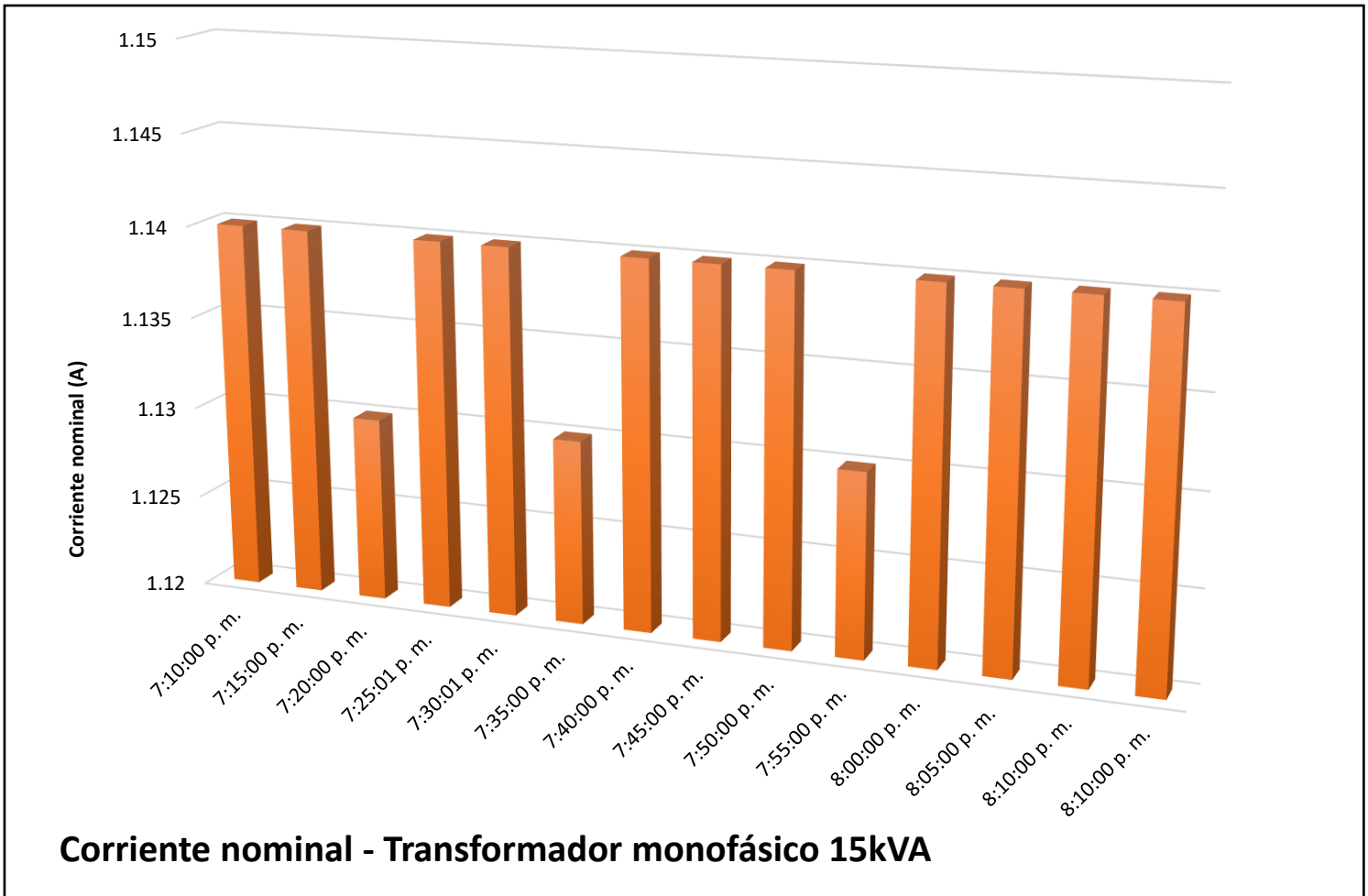
*Fuente: Elaboración propia*

	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
PROCEDIMIENTO	Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 21/06/2021	Transformador Trifásico 160 KVA, 10 – 22.9 / 0.400 – 0.231 KV, Dyn5 – Dd6, Fecha: 20/09/2023
Corriente nominal	No se realizó con la corriente nominal al estabilizarse las temperaturas del aceite, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	En la segunda etapa de la prueba se comenzó con la corriente nominal

*Tabla N° 30 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador trifásico de 160 kVA*

*Fuente: Elaboración propia*





Grafica N°28 Corriente nominal, transformador monofásico de 15 kVA, procedimiento con módulo eléctrico

Fuente: Elaboración propia

CORRIENTE NOMINAL		
PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO ANTIGUO	PROCEDIMIENTO CON EL MÓDULO ELÉCTRICO
		Transformador Monofásico 15 KVA, 13.2 – 22.9 / 0.460 – 0.230 KV, Li0 Fecha: 29/03/2021
Corriente nominal	No se realizó con la corriente nominal al estabilizarse las temperaturas del aceite, lo que se hizo fue inyectar la tensión de cortocircuito o un valor aproximado a esta, desde el inicio de la prueba	En la segunda etapa de la prueba se comenzó con la corriente nominal

Tabla N° 31 Comparación de resultados antes y después de la aplicación del módulo eléctrico en la corriente nominal en el transformador monofásico de 15 kVA

Fuente: Elaboración propia

De las tablas y graficas se observó que la inyección de corriente nominal durante la segunda etapa de la prueba de calentamiento se realizó de acuerdo a las normatividades vigentes con el módulo eléctrico conociendo así las temperaturas finales de los arrollamientos, que a comparación con el procedimiento antiguo no se empezó con la corriente nominal.

Por lo que se comprueba que la corriente nominal influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima 2023.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis

#### Hipótesis General

**HG:** La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima – 2023. Es comprobada mediante los resultados obtenidos en donde se demuestra que la aplicación del módulo eléctrico en la prueba de calentamiento, genera resultados correctos de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, así podemos verificar el diseño, fabricación y funcionamiento óptimo del transformador cuando entre en servicio en plena carga.

#### Hipótesis Específica 1

**HE01:** La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de Lima – 2023. Es comprobada ya que con el módulo eléctrico podemos tomar valores de las temperaturas de manera correcta con sensores de temperatura y cámara termográfica en todo el proceso hasta que las temperaturas del aceite se estabilicen, de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, así poder obtener el valor correcto de temperatura del aceite cuando el transformador entre en servicio en plena carga.

## **Hipótesis Específica 2**

**HE02:** La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023. Es comprobada ya que el módulo eléctrico está equipado con un equipo de medición de resistencia de arrollamientos, con el cual se toman medidas de resistencias en media y baja tensión al inicio y al finalizar la prueba de calentamiento, de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, estos valores de resistencias al finalizar la prueba generan una gráfica de la cual los valores se extrapolan generando una función, obteniendo la resistencia en el punto cero que es el momento de la desconexión y con este valor se encuentra la temperatura final del arrollamiento en media y baja tensión.

## **Hipótesis Específica 3**

**HE03:** Las pérdidas totales influyen significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima – 2023. Es comprobada ya que para iniciar con la primera etapa de la prueba de calentamiento se comienza con la inyección de las pérdidas totales que son la suma de las pérdidas del arrollamiento a 75°C y las pérdidas del núcleo magnético, de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, que son valores obtenidos del protocolo de pruebas del transformador, estas pérdidas sirven para llegar a obtener la temperatura de estabilización del aceite en el transformador.

#### **Hipótesis Específica 4**

**HE04:** La corriente nominal del transformador influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima – 2023. Es comprobada ya que para iniciar con la segunda etapa de la prueba de calentamiento se comienza con la inyección de la corriente nominal del transformador, de acuerdo con las normativas vigentes NTP IEC 60076 – 02 y NTP IEC 60076 – 01, esto sirve para obtener las temperaturas finales de los arrollamientos en media y baja tensión.

#### **6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares**

Los resultados encontrados guardan relación con lo que sostienen Herrera Acevedo 2020 y Arias Nina 2017, ya que ellos realizaron la prueba de calentamiento siguiendo las pautas marcadas en la normatividad NTP IEC 60076-02.

Se puede verificar que los autores siguen el mismo procedimiento de lo indicado en la normatividad NTP IEC 60076-02, la primera etapa con la inyección de pérdidas totales, mediciones de las resistencias de arrollamientos al inicio de la prueba, toma de temperaturas superior, media e inferior en el transformador, toma de temperaturas del ambiente, segunda etapa en inyección de la corriente nominal, mediciones de las resistencias de arrollamientos en caliente al finalizar la prueba, cálculo de la temperatura de arrollamientos y al final el reporte mediante un protocolo de pruebas de calentamiento verificando el diseño y fabricación del transformador bajo prueba.

Los resultados encontrados guardan relación con lo que sostiene Arias Nina 2017 en su tesis titulada “PROPUESTA DE UN CIRCUITO

ELÉCTRICO PARA LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR DE 6MVA 10/0.460kV”. Se obtuvieron resultados similares basados en lo que indica la norma tanto en la temperatura superior del aceite, de acuerdo al rango permitido y corriente nominal en la segunda etapa para verificar el calentamiento de los arrollamientos de media y baja tensión.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El autor involucrado en el estudio es responsable de la veracidad de la información presentada en la tesis titulada “PROPUESTA DE MÓDULO ELÉCTRICO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN ACEITE EN LA SALA DE PRUEBAS DE UNA EMPRESA DE LIMA - 2023”, que se realizó siguiendo las normas de la Universidad Nacional del Callao.

## VII. CONCLUSIONES

- 1) En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico en la prueba de calentamiento a los 4 transformadores de la muestra, se concluye que los valores obtenidos con el módulo eléctrico propuesto son valores correctos por que se sigue los pasos marcados en las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01, estos resultados pueden estar dentro o fuera de los permitidos y en base a estos se puede rechazar el diseño o aceptar garantizando la operatividad del transformador de distribución sumergido en aceite al momento de entrar en servicio.
- 2) En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico en la prueba de calentamiento en los valores de temperatura, se concluye que los valores obtenidos son correctos, ya que se colocan los sensores de temperatura de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01 y se toman los valores de temperatura de manera correcta hasta la estabilización del aceite, así podemos evaluar la capacidad que tiene el transformador para poder disipar el calor generado en el aceite en la primera etapa de perdidas totales.
- 3) En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico para la prueba de calentamiento los valores medidos de resistencia de arrollamientos, se concluye que los valores obtenidos de resistencias de arrollamiento se toman de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01, resistencias al inicio y al final, así poder evaluar la temperatura final en los arrollamientos en media y baja tensión de los transformadores de distribución sumergidos en aceite.
- 4) En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico para la prueba de calentamiento las pérdidas totales inyectadas a los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la primera etapa de la prueba, se concluye que estos valores son obtenidos del protocolo de pruebas del transformador, por lo cual estos valores de perdidas inyectadas son correctos de acuerdo a lo

exigido por las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01.

- 5) En base a los resultados obtenidos con el módulo eléctrico para la prueba de calentamiento, la corriente nominal inyectada a los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la segunda etapa de la prueba, se concluye que estos valores son obtenidos del protocolo de pruebas del transformador específicamente de sus características, por lo que estos valores de corriente nominal inyectada, está de acuerdo a lo exigido por las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01.
- 6) Los instrumentos que forman parte del módulo eléctrico para la prueba de calentamiento deben estar correctamente calibrados, para garantizar la calidad de los resultados.
- 7) En base a la investigación realizada se concluye que la implementación del módulo eléctrico de calentamiento para los transformadores de distribución sumergidos en aceite es de suma importancia para poder cumplir con lo exigido por las normatividades vigentes y garantizar la operatividad del transformador en condiciones de trabajo.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- 1) Se recomienda para el desarrollo de nuevos diseños de transformadores de distribución sumergidos en aceite que pasaran por la prueba de calentamiento hacer una evaluación de las condiciones donde trabajara el transformador como son la temperatura del ambiente en la zona y la altitud con respecto al nivel del mar. Esto servirá para hacer un diseño correcto, en tema de las densidades de corriente en los arrollamientos y la refrigeración adecuada al tanque del transformador, para obtener valores de acuerdo a las normatividades vigentes NTP IEC 60076-02 y NTP IEC 60076-01.



- 2) Se recomienda no sobrecargar al transformador de distribución sumergido en aceite con la inyección de pérdidas totales en la primera etapa, ya que los calentamientos finales del aceite y los arrollamientos no serán los correctos y no se podrá dar un resultado confiable al término de la prueba de calentamiento.
- 3) Se recomienda utilizar los conductores eléctricos adecuados de acuerdo a la corriente que pasa por el circuito de prueba de calentamiento, si es muy grande esta corriente se deben utilizar banco de condensadores para disminuir la corriente en el circuito.
- 4) Se recomienda realizar siempre la inspección visual del transformador durante toda la prueba de calentamiento, verificando el nivel del aceite debido a que la prueba hace que el este se expanda y se pueda originar una fuga de aceite en la parte del conservador en los transformadores trifásicos o activar la válvula de alivio de presión en los monofásicos.
- 5) Se recomienda siempre empezar la prueba de calentamiento hacerla con la inyección de pérdidas totales y la segunda etapa en corriente nominal porque así podemos obtener el valor correcto del calentamiento en el aceite y de los arrollamientos, si no se puede, se puede comenzar con un 80% de las pérdidas totales, pero se debe hacer las correcciones exigidas en las normatividades vigentes y que también están marcadas en la tesis.
- 6) Se recomienda la calibración de los instrumentos de medición que forman parte del módulo de calentamiento, hacerla de manera anual.
- 7) Se recomienda implementar el módulo eléctrico para la prueba de calentamiento, para poder cumplir con lo exigido en las normatividades vigentes y garantizar la operatividad del transformador en condiciones de trabajo.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACEBEDO, Andrés Hernández, LEDESMA VILCHIS, Rubén Rodrigo y PEREIRA MARTÍNEZ, Eduardo Alejandro, 2007. *Manual de pruebas a transformadores*. Tesis de grado. Instituto politécnico nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrico Unidad Zacatenco. México D.F.

ARIAS NINA, Christian Joel, 2017. Propuesta de un circuito eléctrico para prueba de calentamiento de un transformador de potencia de 6MVA 10/0.46 KV. Tesis de pregrado. Universidad tecnológica del Perú. Facultad de ingeniería industrial y mecánica. Lima, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/841>

ASTOCONDOR RABANAL, Edwin Ricardo, 2018. Implementación De Manual De Medición Y Análisis Para Transformadores Eléctricos De Potencia, Utilizando Maleta De Prueba Multifunción Y Desarrollando Aplicativo Móvil. Tesis de grado. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Facultad de Ingeniería y gestión. Escuela profesional de ingeniería mecánica y eléctrica. Villa el salvador. Perú. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/491>

CABALLERO ROMERO, Alejandro, 2014. Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos. Cengage Learning Editores, México, ISBN:9786075191829.

CAIZA PILATAXI, Carlos Fernando y JUIÑA ANAGUANO, Víctor Hugo, 2018. Construcción de un Módulo Didáctico de Transformadores Monofásicos para el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Esfot. Tesis de Licenciatura. Escuela Politécnica

nacional, Escuela de formación de tecnólogos. Quito. Ecuador. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19476>.

CARDENAS, David. et.al., 2020. Modelo térmico para determinar la vida útil de un transformador de distribución sumergido en aceite. Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, N° E30, p. 270-286. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=85084820869&partnerID=8YFLogxK>

CERÓN, Andrés. et.al., 2020. Estimación de la temperatura de punto caliente en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral utilizando regresión con vectores de soporte. Información Tecnológica, vol. 31, N° 4, p. 35-45. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400035>

CORRALES, Martin Juan, 1968. Teoría, cálculo y construcción de transformadores. Editorial Labor S.A. Barcelona, Taller de gráficos Ibérico Americanos.

CORRALES, Martin Juan, 1975. Calculo industrial de máquinas eléctricas. Tomo I. Edita Universidad Politécnica de Barcelona ETS, ISBN:8460067521.

CHICO LASCANO, Flavio Santiago. GÓMEZ CEVALLOS, Juan Carlos, 2012. Elaboración e implementación de un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución y potencias de hasta 25kva. Tesis de grado. Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. UTC. Latacunga. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1150>.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar, 2014. Metodología de la investigación, 6ta Edición, México: McGraw-Hill Interamericana Editores, ISBN: 9781456223960.

HERRERA ACEVEDO, Diego Fernando, 2020. Propuesta para la implementación del ensayo de calentamiento en transformadores de distribución. Trabajo Pregrado. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Duitama, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8824>

INACAL 2021. NTP IEC 60076-1, 2015. (Revisada el 2021), Power transformers - Part 1: General. 1ra edición.

INACAL 2021. NTP IEC 60076-02, 2015. (Revisada el 2021) Transformadores de potencia. Parte 2: Calentamiento de transformadores inmersos en líquido. 1ra edición.

INACAL 2018. NTP IEC 370.400, 2013. (Revisada el 2018) Transformadores. Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos autorefrigerados, sumergidos en líquido aislante. Corriente en vacío, pérdidas y tensión de cortocircuito. 1ra edición.

INACAL 2017. NTP IEC 60076-11, 2017. Transformadores de potencia. Parte 11: transformadores de tipo seco. 1ra edición.

INACAL 2016. NTP IEC 60076-03, 2017. Transformadores de potencia. Parte 3: Niveles de aislamiento, ensayos dieléctricos y distancias de aislamiento en aire. 1ra edición.

INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION, ANSI/NETA ATS-2009. Estándar for acceptance Testing specifications for Electrical power equipment and systems.

ITINTEC 1968. NTP 370.002, 1968. Transformadores de potencia

KOEPSELL, David R., RUIZ DE CHÁVEZ, Manuel H, 2015. Ética de la investigación - integridad científica, 1era edición, Comisión Nacional de Bioética/Secretaría de Salud, México, ISBN: 9786074605068.

LINO CARPIO, Alexander, 2017. Implementación de un Módulo Didáctico de Transformadores Trifásicos de 3KVA. para Conexiones Especiales. Tesis de pregrado. Universidad Católica de santa maría. Facultad de ciencias e ingenierías físicas y formales. Escuela profesional de ingeniería mecánica. Arequipa. Perú. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6035>

LÓPEZ LÓPEZ, Giovanni Alexander y BARBOSA RODRÍGUEZ, Luis Virgilio, 2007. Diseño e implementación de un campo de pruebas para transformadores de distribución de MT y BT hasta 5 MVA, serie 34.5 Kv. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Bogotá. Colombia. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1095&context=ing_electrica)

MORA SILVA, Jefferson D, 2015. Diseño e implementación de un Laboratorio de prueba de transformadores en la Universidad Técnica de Cotopaxi Sede La Maná, del Cantón la maná, Provincia de Cotopaxi Año 2013. Tesis de grado. Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión la Mana; Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; Carrera de Ingeniería Electromecánica. La Mana Cotopaxi. Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4627>

ÑAUPAS PAITAN, Humberto, et al. 2014. Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Ediciones de la U, Cuarta edición Bogotá, Colombia, ISBN: 9789587621884.

RODRÍGUEZ, Juan y OREJUELA, Víctor, 2013. Modelo computacional para determinar el nivel óptimo de cargabilidad de los transformadores de potencia del sistema nacional interconectado, Artículo científico, Ingenio revista de ciencia y tecnología (9), 36-41, ISSN: 1390-650X. Universidad Tecnológica de Pereira Colombia. ISSN:01122-1701. Disponible en: <https://doi.org/10.17163/ings.n9.2013.05>.

SALAVADOR GONZALES, M. 2001. Teoría y problemas Maquinas Eléctricas Estáticas. Tomo I. Primera edición corregida agosto 2001. Salvador Editores. Lima. Perú.

TUESTA VELA, Brayan y SIFUENTES ARTEAGA, Segundo, 2019. Diseño de un Banco de Pruebas Eléctricas para Caracterizar Parámetros de Transformadores de Distribución en el Laboratorio de una Universidad de Trujillo. Tesis de pregrado. Universidad Cesar Vallejo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Trujillo. Perú Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43662>

VÁSQUEZ PALACIOS, Hernando, GARCÍA GÓMEZ, Diego y HOLGUÍN BERROCAL, Andrés, 2019. Sistema electrónico para calentamiento a baja frecuencia (low frequency heating) como coadyuvante en procesos de secado de transformadores eléctricos. [en línea] Colombia: Universidad del Valle, 1 recurso en línea (17 páginas) [Fecha consulta: 10 de diciembre 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10893/20021>

# I. ANEXOS

## Anexo N°1. Matriz de consistencia.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿De qué manera influye un módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?	Determinar la influencia del módulo eléctrico para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023	La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de Lima - 2023.	<b>Módulo eléctrico</b>	El módulo eléctrico será utilizado para la realización de la prueba de calentamiento cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales y utilizando los equipos de medición necesarios para obtener los parámetros que se necesita en esta prueba	La Variable módulo eléctrico será medida a través de sus dimensiones, Pérdidas totales y Corriente nominal, cuyo instrumento de medición es la observación y ficha de datos	Pérdidas totales	Perdidas de vacío Perdidas de cortocircuito	<b>ENFOQUE:</b> Cuantitativo
						Corriente nominal	Perdidas a corriente nominal Tensión a corriente nominal	
ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
PE01: ¿De qué manera influye un módulo eléctrico en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?	OE01: Determinar la influencia del módulo eléctrico en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.	HE01: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en las temperaturas del transformador en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.	<b>Prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite</b>	La prueba de calentamiento tiene como finalidad el verificar la temperatura final de los arrollamientos en media y baja tensión además el aceite dieléctrico en el transformador, ya que están sometidos a la temperatura ambiente más la temperatura de trabajo durante su periodo de funcionamiento	La variable prueba de calentamiento a transformadores de distribución sumergidos en aceite será medida a través de sus dimensiones, temperaturas del transformador y resistencia de arrollamientos media y baja tensión, siendo su instrumento la recopilación documental	Temperaturas del transformador	Temperatura del aceite superior Temperatura del aceite media Temperatura del aceite inferior	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada
PE02: ¿De qué manera influye un módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?	OE02: Determinar la influencia del módulo eléctrico en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.	HE02: La implementación de un módulo eléctrico influye significativamente en la resistencia de arrollamientos de media y baja tensión en la sala de pruebas de una empresa de lima -2023.					Resistencia de arrollamientos Media y Baja tensión	
PE03: ¿De qué manera influye las pérdidas totales para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?	OE03: Determinar la influencia de las pérdidas totales para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.	HE03: Las pérdidas totales influyen significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.				Resistencia de arrollamientos Media y Baja tensión		Resistencia en frio Resistencia en caliente
PE04: ¿De qué manera influye la corriente nominal para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023?	OE04: Determinar la influencia de la corriente nominal para la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.	HE04: La corriente nominal influye significativamente en la realización de la prueba de calentamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite en la sala de pruebas de una empresa de lima - 2023.						

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°2. Tablas perdidas transformadores trifásicos de 15 a 630 kVA, AT ≤ 17.5 Kv  
y BT ≤ 1.0 Kv

<b>Transformadores Trifásicos de 15 a 630 kVA</b>				
<b>AT ≤ 17,5 kV y BT ≤ 1,0 Kv</b>				
<b>Potencia del transformador</b>	<b>Pérdidas en vacío</b>	<b>Pérdidas con carga</b>	<b>Corriente en vacío</b>	<b>Tensión de cortocircuito</b>
<b>kVA</b>	<b>W</b>	<b>W</b>	<b>% de In</b>	<b>% de Un</b>
15	106	451	4.6	4
25	146	595	4.26	4
37.5	188	866	3.91	4
50	232	1120	3.57	4
75	300	1521	3.11	4
100	374	1920	2.99	4
125	442	2239	2.76	4
160	537	2775	2.53	4
200	606	3375	2.3	4
250	734	3804	2.3	4
315	837	4533	2.19	4
400	968	5550	1.84	4
500	1179	6540	1.61	4
630	1411	8136	1.15	4

Fuente: NTP 370.400 – 2013 (Revisada el 2018)



Anexo N°3. Tablas perdidas transformadores trifásicos de 15 a 630 kVA,  $17.5 \leq AT \leq 36$  Kv y  $BT \leq 1.0$  Kv

<b>Transformadores Trifásicos de 15 a 630 kVA</b>				
<b><math>17.5 &lt; AT \leq 36</math> kV y <math>BT \leq 1.0</math> kV</b>				
<b>Potencia del transformador</b>	<b>Pérdidas en vacío</b>	<b>Pérdidas con carga</b>	<b>Corriente en vacío</b>	<b>Tensión de cortocircuito</b>
<b>kVA</b>	<b>W</b>	<b>W</b>	<b>% de <math>I_n</math></b>	<b>% de <math>U_n</math></b>
15	135	452	6.91	4
25	174	653	6.34	4
37.5	210	900	5.62	4
50	248	1135	5.04	4
75	327	1551	4.61	4
100	417	1975	4.18	4
125	483	2317	3.75	4
160	571	2843	3.6	4
200	648	3257	3.31	4
250	771	3737	3.31	4
315	866	4500	2.88	4
400	1050	5429	2.45	4
500	1221	6464	1.87	4
630	1486	8144	1.15	4

Fuente: NTP 370.400 – 2013 (Revisada el 2018)

Anexo N°4. Tablas perdidas transformadores Monofásicos de 5 a 50 kVA, AT ≤ 17.5 Kv y BT ≤ 1.0 Kv

<b>Transformadores monofásicos de 5 a 50 kVA</b>				
<b>AT ≤ 17,5 kV y BT ≤ 1,0 Kv</b>				
<b>Potencia del transformador</b>	<b>Pérdidas en vacío</b>	<b>Pérdidas con carga</b>	<b>Corriente en vacío</b>	<b>Tensión de cortocircuito</b>
<b>kVA</b>	<b>W</b>	<b>W</b>	<b>% de In</b>	<b>% de Un</b>
<b>5</b>	<b>49</b>	<b>142</b>	<b>2.95</b>	<b>2.75</b>
<b>10</b>	<b>68</b>	<b>211</b>	<b>2.6</b>	<b>2.75</b>
<b>15</b>	<b>86</b>	<b>278</b>	<b>2.4</b>	<b>2.75</b>
<b>20</b>	<b>103</b>	<b>342</b>	<b>2.25</b>	<b>2.75</b>
<b>25</b>	<b>120</b>	<b>410</b>	<b>2.1</b>	<b>2.75</b>
<b>37.5</b>	<b>165</b>	<b>608</b>	<b>2.05</b>	<b>2.75</b>
<b>50</b>	<b>199</b>	<b>776</b>	<b>1.95</b>	<b>2.75</b>

Fuente: NTP 370.400 – 2013 (Revisada el 2018)

Anexo N°5. Tablas perdidas transformadores Monofásicos de 5 a 50 kVA, 17.5 ≤ AT ≤ 36 Kv y BT ≤ 1.0 Kv

<b>Transformadores monofásicos de 5 a 50 kVA</b>				
<b>17.5 &lt; AT ≤ 36 kV y BT ≤ 1.0 kV</b>				
<b>Potencia del transformador</b>	<b>Pérdidas en vacío</b>	<b>Pérdidas con carga</b>	<b>Corriente en vacío</b>	<b>Tensión de cortocircuito</b>
<b>kVA</b>	<b>W</b>	<b>W</b>	<b>% de In</b>	<b>% de Un</b>
<b>5</b>	<b>62</b>	<b>144</b>	<b>3.54</b>	<b>3.25</b>
<b>10</b>	<b>81</b>	<b>233</b>	<b>3.21</b>	<b>3.25</b>
<b>15</b>	<b>101</b>	<b>319</b>	<b>2.98</b>	<b>3.25</b>
<b>20</b>	<b>125</b>	<b>388</b>	<b>2.85</b>	<b>3.25</b>
<b>25</b>	<b>150</b>	<b>469</b>	<b>2.6</b>	<b>3.25</b>
<b>37.5</b>	<b>196</b>	<b>629</b>	<b>2.35</b>	<b>3.25</b>
<b>50</b>	<b>240</b>	<b>793</b>	<b>2.3</b>	<b>3.25</b>

Fuente: NTP 370.400 – 2013 (Revisada el 2018)





Fuente: Elaboración propia

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>							
Cliente:				Tipo de enfriamiento			
ORDEN DE TRABAJO:				Aceite      °C			
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR							
Marca	POTENCIA			Nivel Aislam. Int. MT	KV		
Fecha	Volt-MT			Nivel Aislam. Int. BT.	KV		
Nro de serie	Volt-BT			Numero terminales MT	KV		
TIPO	Amp-MT			Numero terminales BT	KV		
Nro de fases	Amp-BT			Montaje			
Enfriamiento	Nro. de taps.			Altura de operación	msnm		
Clase de aislam.	% de reg			Peso del aceite	Kg		
Grupo de conexión	Vcc (%)			Peso parte activa	Kg		
Frecuencia	Normas			Peso Total	Kg		
MEDICIÓN DE RESISTENCIAS DESPUES DEL CORTE							
Medición de la resistencia en caliente MT Fases (V - W)				Medición de la resistencia en caliente BT Fases (u - n)			
°N	Hora	Resistencia	Unidad	°N	Hora	Resistencia	Unidad
1			Ω	1			Ω
2			Ω	2			Ω
3			Ω	3			Ω
4			Ω	4			Ω
5			Ω	5			Ω
6			Ω	6			Ω
7			Ω	7			Ω
8			Ω	8			Ω
9			Ω	9			Ω
10			Ω	10			Ω
11			Ω	11			Ω
12			Ω	12			Ω
13			Ω	13			Ω
14			Ω	14			Ω
15			Ω	15			Ω
16			Ω	16			Ω
17			Ω	17			Ω
18			Ω	18			Ω
19			Ω	19			Ω
20			Ω	20			Ω
21			Ω	21			Ω
22			Ω	22			Ω
23			Ω	23			Ω
24			Ω	24			Ω
25			Ω	25			Ω
26			Ω	26			Ω
27			Ω	27			Ω
28			Ω	28			Ω
29			Ω	29			Ω
30			Ω	30			Ω
31			Ω	31			Ω
32			Ω	32			Ω
33			Ω	33			Ω
34			Ω	34			Ω
35			Ω	35			Ω
36			Ω	36			Ω
37			Ω	37			Ω
38			Ω	38			Ω
39			Ω	39			Ω
40			Ω	40			Ω
Resistencia MT:	Resistencia en frio	Resistencia en caliente		Resistencia BT	Resistencia en frio	Resistencia en caliente	
<b>OBSERVACIONES:</b>							
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS			DPTO TECNICO DE INGENIERIA			NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA	

Fuente: Elaboración propia

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																													
Cliente:			<b>Tipo de enfriamiento</b>																										
ORDEN DE TRABAJO:			Aceite	°C																									
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR																													
Marca	POTENCIA	Nivel Aislam. Int. MT	KV																										
Fecha	Volt-MT	Nivel Aislam. Int. BT.	KV																										
Nro de serie	Volt-BT	Numero terminales MT	KV																										
TIPO	Amp-MT	Numero terminales BT	KV																										
Nro de fases	Amp-BT	Montaje																											
Enfriamiento	Nro. de taps.	Altura de operación	msnm																										
Clase de aislam.	% de reg	Peso del aceite	Kg																										
Grupo de conexión	Vcc (%)	Peso parte activa	Kg																										
Frecuencia	Normas	Peso Total	Kg																										
CURVA DE ENFRIAMIENTO MT																													
Medición de la resistencia en caliente MT Fase (V - W)			Datos de los arrollamientos en MT																										
			Material de los arrollamientos:	Cobre																									
			Constante del material:	235																									
<b>N°</b>	<b>Tiempo 10 seg</b>	<b>Resistencia R2</b>	<b>Temperatura Ø2</b>	<b>Resistencia resultante R1 (Ω)</b>																									
1	40																												
2	50																												
3	60																												
4	70																												
5	80																												
6	90																												
7	100																												
8	110																												
9	120																												
10	130																												
11	140																												
12	150																												
13	160																												
14	170																												
15	180																												
16	190																												
17	200																												
18	210																												
19	220																												
20	230																												
21	240																												
22	250																												
23	260																												
24	270																												
25	280																												
26	290																												
27	300																												
28	310																												
29	320																												
30	330																												
31	340																												
32	350																												
33	360																												
34	370																												
35	380																												
36	390																												
37	400																												
38	410																												
39	420																												
40	430																												
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Temperatura Ø1</td> <td colspan="3" style="padding: 2px; text-align: center;">Resistencias de devanados MT</td> <td style="padding: 2px;">Resistencia resultante</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">U - V</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">V - W</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">U - W</td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="padding: 2px;">Temperatura media de los arrollamientos:</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">COBRE:</td> <td colspan="4" style="padding: 2px; text-align: center;"><math>\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">ALUMINIO:</td> <td colspan="4" style="padding: 2px; text-align: center;"><math>\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225</math></td> </tr> </table>		Temperatura Ø1	Resistencias de devanados MT			Resistencia resultante		U - V	V - W	U - W		Temperatura media de los arrollamientos:					COBRE:	$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$				ALUMINIO:	$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$			
Temperatura Ø1	Resistencias de devanados MT			Resistencia resultante																									
	U - V	V - W	U - W																										
Temperatura media de los arrollamientos:																													
COBRE:	$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$																												
ALUMINIO:	$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$																												
<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>																													
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">Temperatura °C</div> </div>																													
<b>CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:</b>																													
Temperatura del devanado en el punto cero				°C																									
Resistencia del devanado en el punto cero:				Ω																									
Temperatura ambiente:				°C																									
Calentamiento medio del devanado:				°C																									
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				°C																									
OBSERVACIONES:																													
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS	DPTO TECNICO DE INGENIERIA	NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA																											

Fuente: Elaboración propia

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>				
Cliente:			<b>Tipo de enfriamiento</b>	
ORDEN DE TRABAJO:			Aceite	°C
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR				
Marca	POTENCIA	Nivel Aislam. Int. MT	KV	
Fecha	Volt-MT	Nivel Aislam. Int. BT.	KV	
Nro de serie	Volt-BT	Numero terminales MT	KV	
TIPO	Amp-MT	Numero terminales BT	KV	
Nro de fases	Amp-BT	Montaje	msnm	
Enfriamiento	Nro. de taps.	Altura de operación	Kg	
Clase de aislam.	% de reg	Peso del aceite	Kg	
Grupo de conexión	Vcc (%)	Peso parte activa	Kg	
Frecuencia	Normas	Peso Total	Kg	
CURVA DE ENFRIAMIENTO BT				
Medición de la resistencia en caliente BT Fases ( v - n )				Datos de los arrollamientos en BT
N°	Tiempo 10 seg	Resistencia R2	Temperatura Ø2	Material de los arrollamientos: Aluminio Constante del material: 225
1	40			Temperatura Ø1
2	50			Resistencias de devanados AT
3	60			u - n      v - n      w - n
4	70			Resistencia resultante
5	80			R1 (Ω)
6	90			Temperatura media de los arrollamientos:
7	100			COBRE: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235$
8	110			ALUMINIO: $\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225$
9	120			<b>CURVA DE ENFRIAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO</b>
10	130			1.20
11	140			1.00
12	150			0.80
13	160			0.60
14	170			0.40
15	180			0.20
16	190			0.00
17	200			0
18	210			50
19	220			100
20	230			150
21	240			200
22	250			250
23	260			300
24	270			350
25	280			400
26	290			450
27	300			500
28	310			
29	320			
30	330			
31	340			
32	350			
33	360			
34	370			
35	380			
36	390			
37	400			
38	410			
39	420			
40	430			
CALCULO DE CALENTAMIENTO DEL ARROLLAMIENTO:				
Temperatura del devanado en el punto cero:				°C
Resistencia del devanado en el punto cero:				Ω
Temperatura ambiente:				°C
Calentamiento medio del devanado:				°C
Calentamiento medio (cobre medio-aceite medio):				°C
OBSERVACIONES:				
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS	DPTO TECNICO DE INGENIERIA	NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA		

Fuente: Elaboración propia

<b>PRUEBA DE CALENTAMIENTO</b>																																																																																																																																																															
Cliente:			<b>Tipo de enfriamiento</b>																																																																																																																																																												
ORDEN DE TRABAJO:			Aceite °C																																																																																																																																																												
CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR																																																																																																																																																															
Marca	POTENCIA	Nivel Aislam. Int. MT	KV																																																																																																																																																												
Fecha	Volt-MT	Nivel Aislam. Int. BT.	KV																																																																																																																																																												
Nro de serie	Volt-BT	Numero terminales MT	KV																																																																																																																																																												
TIPO	Amp-MT	Numero terminales BT	KV																																																																																																																																																												
Nro de fases	Amp-BT	Montaje																																																																																																																																																													
Enfriamiento	Nro. de taps.	Altura de operación	msnm																																																																																																																																																												
Clase de aislam.	% de reg	Peso del aceite	Kg																																																																																																																																																												
Grupo de conexión	Vcc (%)	Peso parte activa	Kg																																																																																																																																																												
Frecuencia	Normas	Peso Total	Kg																																																																																																																																																												
RESULTADOS FINALES DE LA PRUEBA DE CALENTAMIENTO																																																																																																																																																															
RESULTADOS DE LA PRUEBA:																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left; padding: 2px;">TEMPERATURA DEL ACEITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{amb1}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{asup}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. PARTE SUPERIOR</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{ainf}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. PARTE INFERIOR</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{am}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{amd}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{amb2}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>H_1</math> =</td> <td style="padding: 2px;">HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>H_2</math> =</td> <td style="padding: 2px;">HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left; padding: 2px;">CALCULOS CALENTAMIENTO DEL ACEITE</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta T_{2s}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta T_{2i}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta T_{am}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">TEMP. MAX DEL ACEITE A 1000 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 60 °C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">TEMP. MAX DEL ACEITE A 4500 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ °C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Gradiente (g)</td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\theta_2 - \Delta T_{am}</math></td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Hot Spot</td> <td style="padding: 2px;">TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 78 °C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta T_u + gH</math></td> <td style="padding: 2px;">TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left; padding: 2px;">CALCULOS DEVANADO DE MT</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>R_1</math> =</td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN FRIO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Ω</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>R_2</math> =</td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Ω</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\theta_1</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\theta_2</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>K_{cobre}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{amb}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. AMBIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta \theta</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 67.5 °C</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left; padding: 2px;">CALCULOS DEVANADO DE BT</th> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>R_1</math> =</td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN FRIO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Ω</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>R_2</math> =</td> <td style="padding: 2px;">RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">Ω</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\theta_1</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\theta_2</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>K_{Al}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>T_{amb}</math> =</td> <td style="padding: 2px;">TEMP. AMBIENTE</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\Delta \theta</math> =</td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">°C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 65 °C</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">≤ 67.5 °C</td> </tr> </tbody> </table>				TEMPERATURA DEL ACEITE				$T_{amb1}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES		°C	$T_{asup}$ =	TEMP. PARTE SUPERIOR		°C	$T_{ainf}$ =	TEMP. PARTE INFERIOR		°C	$T_{am}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES		°C	$T_{amd}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN		°C	$T_{amb2}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL		°C	$H_1$ =	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)		°C	$H_2$ =	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)		°C	CALCULOS CALENTAMIENTO DEL ACEITE				$\Delta T_{2s}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR		°C	$\Delta T_{2i}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR		°C	$\Delta T_{am}$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE		°C		TEMP. MAX DEL ACEITE A 1000 msnm		≤ 60 °C		TEMP. MAX DEL ACEITE A 4500 msnm		≤ °C	Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE			$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE			Hot Spot	TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT		≤ 78 °C	$\Delta T_u + gH$	TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT			CALCULOS DEVANADO DE MT				$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO		Ω	$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE		Ω	$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO		°C	$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE		°C	$K_{cobre}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE			$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE		°C	$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO		°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm		≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm		≤ 67.5 °C	CALCULOS DEVANADO DE BT				$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO		Ω	$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE		Ω	$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO		°C	$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE		°C	$K_{Al}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO			$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE		°C	$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO		°C		CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm		≤ 65 °C		CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm		≤ 67.5 °C
TEMPERATURA DEL ACEITE																																																																																																																																																															
$T_{amb1}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO PERDIDAS TOTALES		°C																																																																																																																																																												
$T_{asup}$ =	TEMP. PARTE SUPERIOR		°C																																																																																																																																																												
$T_{ainf}$ =	TEMP. PARTE INFERIOR		°C																																																																																																																																																												
$T_{am}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE PERDIDAS TOTALES		°C																																																																																																																																																												
$T_{amd}$ =	TEMP. MEDIA DEL ACEITE DESPUES DE LA DESCONEXIÓN		°C																																																																																																																																																												
$T_{amb2}$ =	TEMP. AMBIENTE PROMEDIO CORRIENTE NOMINAL		°C																																																																																																																																																												
$H_1$ =	HUMEDAD % (PERDIDAS TOTALES)		°C																																																																																																																																																												
$H_2$ =	HUMEDAD % (CORRIENTE NOMINAL)		°C																																																																																																																																																												
CALCULOS CALENTAMIENTO DEL ACEITE																																																																																																																																																															
$\Delta T_{2s}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE SUPERIOR		°C																																																																																																																																																												
$\Delta T_{2i}$ =	CALENTAMIENTO DE LA PARTE INFERIOR		°C																																																																																																																																																												
$\Delta T_{am}$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL ACEITE		°C																																																																																																																																																												
	TEMP. MAX DEL ACEITE A 1000 msnm		≤ 60 °C																																																																																																																																																												
	TEMP. MAX DEL ACEITE A 4500 msnm		≤ °C																																																																																																																																																												
Gradiente (g)	RESISTENCIA EN CALIENTE MT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE																																																																																																																																																														
$\theta_2 - \Delta T_{am}$	RESISTENCIA EN CALIENTE BT - TEMP. MEDIA DEL ACEITE																																																																																																																																																														
Hot Spot	TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - MT		≤ 78 °C																																																																																																																																																												
$\Delta T_u + gH$	TEMPERATURA DEL PUNTO MAS CALIENTE - BT																																																																																																																																																														
CALCULOS DEVANADO DE MT																																																																																																																																																															
$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO		Ω																																																																																																																																																												
$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE		Ω																																																																																																																																																												
$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO		°C																																																																																																																																																												
$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE		°C																																																																																																																																																												
$K_{cobre}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL COBRE																																																																																																																																																														
$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE		°C																																																																																																																																																												
$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO		°C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm		≤ 65 °C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm		≤ 67.5 °C																																																																																																																																																												
CALCULOS DEVANADO DE BT																																																																																																																																																															
$R_1$ =	RESISTENCIA EN FRIO		Ω																																																																																																																																																												
$R_2$ =	RESISTENCIA EN CALIENTE		Ω																																																																																																																																																												
$\theta_1$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN FRIO		°C																																																																																																																																																												
$\theta_2$ =	TEMP. DE LA RESISTENCIA EN CALIENTE		°C																																																																																																																																																												
$K_{Al}$ =	CONSTANTE DEL MATERIAL ALUMINIO																																																																																																																																																														
$T_{amb}$ =	TEMP. AMBIENTE		°C																																																																																																																																																												
$\Delta \theta$ =	CALENTAMIENTO MEDIO DEL DEVANADO		°C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 1000 msnm		≤ 65 °C																																																																																																																																																												
	CALENTAMIENTO. MAX DEL DEVANADO A 4500 msnm		≤ 67.5 °C																																																																																																																																																												
EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:																																																																																																																																																															
EQUIPOS	MARCA	N° SERIE	CALIBRACIÓN																																																																																																																																																												
OBSERVACIONES:																																																																																																																																																															
DPTO. VALIDACIÓN Y PRUEBAS	DPTO TECNICO DE INGENIERIA	NORMAS UTILIZADAS PARA LA PRUEBA																																																																																																																																																													