

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



**“DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO PARA  
OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR  
ZIGZAG CARGABLE EN LA SUBESTACIÓN LA PLANICIE,  
LIMA-2024”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**AUTOR: Bach. VILLANUEVA TEXSI, JHONATTAN CRISTHIAN**

**ASESOR: Mg. Ing. RAMOS TORRES, ERNESTO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2024  
PERÚ**



# TESIS DE VILLANUEVA TEXSI

**9%**  
Textos sospechosos



**6% Similitudes**  
< 1% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
**2% Idiomas no reconocidos**

**Nombre del documento:** TESIS DE VILLANUEVA TEXSI.pdf  
**ID del documento:** 136e004d4fe378e9e356b33504dcb791fbcdbae  
**Tamaño del documento original:** 11,98 MB  
**Autores:** []

**Depositante:** FIEE PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  
**Fecha de depósito:** 27/8/2024  
**Tipo de carga:** interface  
**fecha de fin de análisis:** 27/8/2024

**Número de palabras:** 22.165  
**Número de caracteres:** 162.861

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3529/Lujan_Sanchez.pdf?sequence=1">repositorio.uncp.edu.pe</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (137 palabras)
2	<a href="https://upcommons.upc.edu/bitstream/2117/401118/5/Memoria_TFG_Moles_Angrill_Marc.pdf">upcommons.upc.edu</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (101 palabras)
3	<a href="https://view.genial.ly/60beac5d24485f0d28efd71/presentation-presentacion-academica#:~:text=A...">view.genial.ly</a>   PRESENTACIÓN ACADÉMICA 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (128 palabras)
4	<a href="https://electroteksa.com/product/rd-2-24vdc/">electroteksa.com</a>   RD-2-24VDC - ElectroTek S.A. 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (128 palabras)
5	<a href="http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/13145/2/04_MEL_168_TRABAJO_DE_GRADO.pdf">repositorio.utm.edu.ec</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (114 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8171/TESIS_DOCTORADO_LEVA_APA...">repositorio.unac.edu.pe</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
2	<a href="https://todosloshechos.es/que-son-tecnicas-e-instrumentos-de-investigacion-segun-autores">todosloshechos.es</a>   ¿Qué son técnicas e instrumentos de investigación según aut... https://todosloshechos.es/que-son-tecnicas-e-instrumentos-de-investigacion-segun-autores	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
3	<a href="https://todosloshechos.es/como-se-valida-un-cuestionario-por-expertos">todosloshechos.es</a>   ¿Cómo se Válida un cuestionario por expertos? https://todosloshechos.es/como-se-valida-un-cuestionario-por-expertos	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	<a href="#">Archivo 1. 1A,Vasquez Nassi, Christian Alberto-Maestria-2024.docx</a>   Arch... #8fe2c8 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5637">repositorio.continental.edu.pe</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)

### Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	<a href="https://bibdigital.epn.edu.ec">https://bibdigital.epn.edu.ec</a>
2	<a href="https://fips.unsa.edu.pe/">https://fips.unsa.edu.pe/</a>
3	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">http://bibdigital.epn.edu.ec</a>
4	<a href="https://es.scribd.com/document/395552151/Lujan-Sanchez">https://es.scribd.com/document/395552151/Lujan-Sanchez</a>
5	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">https://repositorio.continental.edu.pe</a>



# ACTA DE SUSTENTACIÓN



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

**ACTA N° 005-2024-I-CTT-EI-FIEE**

Siendo las 12:00 horas del día 07 de setiembre del año 2024, encontrándose reunidos en Sala de Sustentaciones la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** (designado por resolución 093-2024-DFIEE) de la Facultad Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, para la evaluación de las Tesis que con llevan a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO ELECTRICISTA**, el que se encuentra conformado por los siguientes docentes ordinarios:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Dr. Ing. César Augusto Rodríguez Aburto</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Dr. Ing. César Augusto Santos Mejía</b>
<b>VOCAL</b>	<b>Mg. Ricardo Augusto Gutiérrez Tirado</b>
<b>ASESOR</b>	<b>Mg. Ing. Ernesto Ramos Torres</b>

Con el quórum reglamentario de ley y de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente se dio inicio al Acto de Sustentación de la Tesis del Bachiller: **VILLANUEVA TEXSI, JHONATTAN CRISTHIAN** quien, habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO ELECTRICISTA**, sustenta la tesis titulada "**DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE EN LA SUBESTACIÓN LA PLANICIE, LIMA-2024**", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial.

Luego de la exposición, y de la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado de Sustentación y efectuadas las deliberaciones pertinentes, **SE ACORDÓ**: Dar por **APROBADO**; con la escala de calificación cuantitativa (**18**) y calificación cualitativa (**EXCELENTE**) a la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio del 2023.

Se dio por concluida la Sesión a las 13:00 horas del día 07 de setiembre del 2024.

.....  
Dr. Ing. CÉSAR AUGUSTO RODRÍGUEZ ABURTO  
Presidente

.....  
Dr. Ing. CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA  
Secretario

.....  
Mg. RICARDO AUGUSTO GUTIÉRREZ TIRADO  
Vocal

.....  
Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES  
Asesor

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

**PRESIDENTE : Dr. Ing. César Augusto Rodríguez Aburto**  
**SECRETARIO : Dr. Ing. César Augusto Santos Mejía**  
**VOCAL : Mg. Lic. Ricardo Augusto Gutierrez Tirado**  
  
**ASESOR : Mg. Ing. Ernesto Ramos Torres**

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD:**

INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN** DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### **TÍTULO:**

“DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE EN LA SUBESTACIÓN LA PLANICIE, LIMA-2024”

### **AUTOR:**

VILLANUEVA TEXSI, JHONATTAN CRISTHIAN/ORCID:0009-0004-4504-547X/  
DNI 70157850

### **ASESOR:**

Mg.Ing. ERNESTO RAMOS TORRES/ (ORCID: 0000-0003-2262-612X)/DNI 25663420

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** LIMA

### **UNIDAD DE ANÁLISIS:**

TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

APLICADA / CUANTITATIVO / NO EXPERIMENTAL

### **TEMA OCDE:**

2.00.00 – INGENIERÍA, TECNOLOGÍA

2.02.00 – INGENIERÍA ELÉCTRICA, INGENIERÍA ELECTRÓNICA

2.02.01 – INGENIERÍA ELÉCTRICA, INGENIERIA ELECTRÓNICA



## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mi madre Kati por su apoyo incondicional en toda esta etapa, por sus esfuerzos y sacrificios he podido cumplir una de mis metas y sueños planteados. A mi hija Miranda y esposa Sandra que me apoyaron y acompañaron con su comprensión durante toda esta etapa.

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante. A cada uno de los integrantes de mi familia por su comprensión y estímulo a lo largo de mis estudios. A la empresa que actualmente laboro, que gracias a ella me permitió adquirir conocimientos técnicos y experiencias fundamentales en mi formación profesional. Agradezco a la Universidad Nacional del Callao que me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables.

# INDICE

<b>INDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Descripción de la realidad problemática</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	<b>14</b>
1.2.1 Problema general.....	14
1.2.2 Problemas específicos .....	14
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
<b>1.4 Justificación</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 Justificación Teórica.....	16
1.4.2 Justificación Práctica.....	16
1.4.3 Justificación Metodológica .....	16
1.4.4 Justificación Social.....	16
<b>1.5 Delimitantes de la investigación</b> .....	<b>16</b>
1.5.1 Delimitante teórica .....	17
1.5.2 Delimitante temporal .....	17
1.5.3 Delimitante espacial.....	17
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 Internacionales.....	18
2.1.2 Nacionales .....	20
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3 Marco conceptual</b> .....	<b>42</b>

2.4 Definición de términos básicos.....	44
<b>III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Hipótesis .....</b>	<b>49</b>
3.1.1 Hipótesis General.....	49
3.1.2 Hipótesis específica .....	49
<b>3.2 Operacionalización de variables .....</b>	<b>50</b>
<b>IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. Diseño metodológico .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Método de investigación.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Población y muestra.....</b>	<b>54</b>
4.3.1 Población .....	54
4.3.2 Muestra .....	55
<b>4.4 Lugar del estudio y periodo desarrollado. ....</b>	<b>55</b>
<b>4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....</b>	<b>56</b>
<b>4.6 Análisis y procedimientos de datos.....</b>	<b>57</b>
<b>4.7 Aspectos Éticos en investigación.....</b>	<b>57</b>
<b>V. RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Resultados descriptivos .....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 Resultados Inferenciales .....</b>	<b>111</b>
<b>VI. DISCUSION DE RESULTADOS .....</b>	<b>114</b>
<b>6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados</b>	<b>114</b>
<b>6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....</b>	<b>115</b>
<b>6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigente .....</b>	<b>115</b>
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>VIII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>122</b>
Anexo N°1: Matriz de Consistencia.....	123
Anexo N°2. Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medida de las pérdidas a la carga y tensión de corto circuito .....	125
Anexo N°3.Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medida de las pérdidas y corriente en vacío. ....	126

Anexo N°4. Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medición de la impedancia a la corriente de secuencia cero .....	127
Anexo N°5. Propuesta de instrumentos de recolección de datos.check list de un transformador de potencia antes de su energización.....	128
Anexo N°6. Simulación de falla trifásica en bornes del transformador zigzag cargable .....	129
Anexo N°7. Simulación de falla bifásica a tierra en bornes del transformador zigzag cargable .....	130
Anexo N°8. Simulación de falla monofásica a tierra en bornes del transformador zigzag cargable .....	131
Anexo N°9. Plano para fabricación del transformador zigzag cargable OT 149402 .....	132
Anexo N°10. Protocolo de pruebas del transformador zigzag cargable OT149402 .....	133
Anexo N°11. Certificado de calibración Vatímetro .....	134
Anexo N°12. Certificado de calibración Espinterómetro.....	135
Anexo N°13. Certificado de calibración Tettex.....	136
Anexo N°14. Certificado de calibración CT ANALYZER .....	137
Anexo N°15. Certificado de calibración Megohmetro.....	138
Anexo N°16. Control de procesos transformadores de distribución especiales .....	139
Anexo N°17. Aseguramiento de la calidad en el proceso de producción de transformadores de potencia.....	140
Anexo N°18. Control de proceso de fabricación-Bobinado .....	144
Anexo N°19. Control de proceso de fabricación-Montaje y conexionado,núcleo,prueba de parteactiva, secado, encubado, pintura.....	145
Anexo N°20. Certificado de calidad de las platinas TD para conexionado del transformador.....	146
Anexo N°21. Certificado de calidad de la platina del bobinado de BT .....	147
Anexo N°22. Certificado de calidad de la platina del bobinado de AT .....	148
Anexo N°23. Ficha técnica del aislador de AT .....	149
Anexo N°24. Ficha técnica del aislador de BT .....	150

Anexo N°25. Ficha técnica del conmutador .....	151
Anexo N°26. Ficha técnica del indicador de nivel .....	152
Anexo N°27. Ficha técnica del termómetro de aceite .....	153
Anexo N°28. Ficha técnica del relé buchholz.....	154
Anexo N°29. Ficha técnica de la válvula de seguridad .....	155
Anexo N°30. Ficha técnica del deshumecedor .....	156
Anexo N°31. Ficha técnica del pararrayo.....	157
Anexo N°32. Ficha técnica del interruptor BT .....	158
Anexo N°33. Ficha técnica del aceite ERGON HYVOLT I .....	159
Anexo N°34. Hoja de cálculo transformador de corriente NEUTRO .....	160
Anexo N°35. Hoja de cálculo transformador de corriente FASES.....	161
Anexo N°36. Diagrama de bobinado-transformador zigzag cargable .....	162
Anexo N°37. Placa característica.....	163
Anexo N°38. Transformador zigzag cargable en campo(SUBESTACION LA PLANICIE).....	164
Anexo N°39. Transformador zigzag cargable en campo(SUBESTACION LA PLANICIE) I.....	165
Anexo N°40. Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) II.....	166
Anexo N°41. Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) III.....	167
Anexo N°42. Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) IV .....	168

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Niveles de voltaje de prueba .....	33
Tabla 2	Matriz de operacionalización de la variable. Transformador zigzag cargable .....	50
Tabla 3	Matriz de operacionalización de la variable. Equipamiento eléctrico.	51
Tabla 4	Servicio continuo en porcentaje de la clasificación de corriente térmica para transformadores de puesta a tierra .....	59
Tabla 5	Niveles de voltaje de pruebas .....	61
Tabla 6	Espacios libres mínimos en aire.....	62
Tabla 7	Distancia de fuga específica mínima especificada en función al nivel de polución del ambiente .....	63
Tabla 8	Significado de los códigos de letras identificativas en la designación de pedido de aceite mineral según IEC 60296.....	67
Tabla 9	Cuadro de ambiente corrosivos según norma ISO12944-2 .....	74
Tabla 10	Cuadro de selección de modelo de rele buchholz según norma EN50216 .....	80
Tabla 11	Cuadro de selección de modelo de deshumecedor según fabricante.....	83
Tabla 12	Cuadro de Límites de error para transformadores de corriente de protección clase P y PR según la IEC 61869-2.....	85
Tabla 13	Muestra de 20 transformadores zigzag calculados teóricamente las pérdidas en el fierro y cobre vs los valores medidas en el laboratorio de pruebas .....	102
Tabla 14	Servicio continuo en porcentaje de la clasificación de corriente térmica para transformadores de puesta a tierra .....	104
Tabla 15	Tabla de pérdidas en el fierro y cobre según IEC 60076-1 .....	106
Tabla 16	Muestra de 20 transformadores zigzag calculados teóricamente la impedancia de secuencia cero vs valores medidos en fábrica.....	109
Tabla 17	Cuadro de tolerancia de impedancia de secuencia cero.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Transformador de distribución.....	22
Figura 2:	Base matemática para el análisis de componentes simétricas .....	23
Figura 3:	Circuito de las tres redes de secuencia .....	24
Figura 4:	Conjunto 'E', antes de agregar las bobinas e insertar el yugo superior. ....	25
Figura 5:	Bobinado de AT de transformador .....	25
Figura 6:	Conmutador en vacío .....	26
Figura 7:	Distribución de corriente en las bobinas para una línea a tierra ...	27
Figura 8:	Voltajes de operación normales en las bobinas. ....	27
Figura 9:	Diagrama vectorial de un transformador delta-zigzag.....	27
Figura 10:	Una conexión en zigzag.....	28
Figura 11:	Un transformador de puesta a tierra en zigzag. ....	29
Figura 12:	Cálculo de la reactancia de un transformador con devanado en zigzag.....	30
Figura 13:	Medida de impedancia de secuencia cero. ....	32
Figura 14:	Corte transversal de los devanados de un transformador zig zag.	35
Figura 15:	Curva VA/kg del núcleo usado en el diseño de la máquina .....	36
Figura 16:	Curva w/kg del núcleo usado en el diseño de la máquina .....	36
Figura 17:	Cinta Kraft para forrado de la pletina de BT.....	39
Figura 18:	Datos técnicos de la cinta Kraft basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados. ....	39
Figura 19:	Datos técnicos del papel diamantado entre capa basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados.....	40
Figura 20:	Aislador AT.....	58
Figura 21:	Plano de distancia entre fases en AT.....	62
Figura 22:	Aislador BT.....	64
Figura 23:	Plano de distancia entre fases en BT.....	65
Figura 24:	Conmutador de tensión.....	66
Figura 25:	Medida de la rigidez dieléctrica del aceite realizada en las pruebas de laboratorio . ....	67

Figura 26: Instrumento de medición:Espinterometro GlobeCore TOR-80, N° 0144 .....	67
Figura 27: Relación de transformación medida en la prueba de rutina en el laboratorio de pruebas eléctricas. ....	69
Figura 28: Instrumento de medición: Analizador Tettex 2293, N° 180847 .....	69
Figura 29: Hoja de cálculo para transformadores zigzag cargables.....	70
Figura 30: Distancias eléctricas de seguridad de conmutador .....	70
Figura 31: Pruebas dieléctricas de tensión aplicada e inducida realizadas en el laboratorio de pruebas .....	70
Figura 32: Indicador de nivel magnético.....	71
Figura 33: Tamaño del indicador de nivel magnético.....	71
Figura 34: Tipos de contactos .....	72
Figura 35: Contactos estándar del indicador de nivel .....	72
Figura 36: Contactos auxiliares (relé arteche,modelo RF4R).....	73
Figura 37: Dial tipo 02 .....	73
Figura 38: Empaquetadura NBR del indicador de nivel .....	74
Figura 39: Clase de protección ambiental del indicador de nivel .....	74
Figura 40: Termómetro de aceite. ....	75
Figura 41: Tipos de contactos .....	75
Figura 42: Contactos estándar del termómetro de aceite.....	76
Figura 43: Contactos auxiliares (relé arteche,modelo RF4R).....	76
Figura 44: Relé buchholz. ....	77
Figura 45: Tipos de contactos .....	77
Figura 46: Contactos estándar del relé buchholz .....	78
Figura 47: Contactos auxiliares (relé arteche,modelo RF4R).....	79
Figura 48: Válvula de seguridad.....	80
Figura 49: Tipos de contactos .....	80
Figura 50: Contacto estándar de la válvula de seguridad .....	81
Figura 51: Contactos auxiliares (relé arteche,modelo RF4R).....	82
Figura 52: Deshumecedor VE010 .....	82
Figura 53: Transformadores de corriente tipo bushing.....	83
Figura 54: Esquema eléctrico de ubicación de transformadores de corriente	84

Figura 55: Errores calculados en la hoja de cálculo de transformadores de corriente de las fases .....	84
Figura 56: Errores calculados en la hoja de cálculo de transformadores de corriente del neutro .....	85
Figura 57: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC1-1(Fases).....	86
Figura 58: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC1-1(Fases) .....	86
Figura 59: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC1-2(Fases).....	87
Figura 60: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC1-2(Fases) .....	87
Figura 61: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC2-1(Fases).....	88
Figura 62: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC2-1(Fases) .....	88
Figura 63: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC2-2(Fases).....	89
Figura 64: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC2-2(Fases) .....	89
Figura 65: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC3-1(Fases).....	90
Figura 66: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC3-1(Fases) .....	90
Figura 67: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC3-2(Fases).....	91
Figura 68: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC3-2(Fases) .....	91
Figura 69: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC4-1(Neutro).....	92
Figura 70: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC4-1(Neutro) .....	92
Figura 71: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC4-2(Neutro).....	93
Figura 72: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC4-2(Neutro) .....	93
Figura 73: Instrumento de medición:CT ANALYZER .....	94
Figura 74: Pararrayos en AT .....	94
Figura 75: Cálculo teórico del Pararrayo en AT .....	95
Figura 76: Protocolo de prueba Pararrayo AT,1/4.....	96
Figura 77: Protocolo de prueba Pararrayo AT,2/4.....	97
Figura 78: Protocolo de prueba Pararrayo AT,3/4.....	98
Figura 79: Protocolo de prueba Pararrayo AT,4/4.....	99
Figura 80: Interruptor de AT .....	100
Figura 81: Esquema eléctrico interruptor BT.....	101
Figura 82: Instrumento de medición: Vatímetro WT230 Yokogawa, N° 91MB6815 mide la potencia, pérdidas en el hierro y cobre .....	103
Figura 83: Laboratorio de pruebas de la empresa DELCROSA S.A .....	103

Figura 84: Pérdidas en el fierro tomadas del analizador de redes YOKOWAGA.....	105
Figura 85: Pérdidas en el fierro mostradas en el protocolo de pruebas .....	105
Figura 86: Cálculo de Pérdidas en el cobre teóricas .....	107
Figura 87: Pérdidas en el cobre obtenidos de las pruebas eléctricas y mostradas en el protocolo de pruebas .....	107
Figura 88: Valor de impedancia de secuencia cero obtenida en las pruebas eléctricas.....	110

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Pfe: Pérdidas en el hierro

Pcu: Pérdidas en el cobre

Ur: Tensión nominal

Umáx: Tensión máxima de funcionamiento

Kva: Kilovoltamperio

W: Vatio

Vcc: Tensión de cortocircuito

Pcc: Perdidas de cortocircuito

Po: pérdidas de vacío

In: Corriente nominal

Ip: Corriente primaria

Is: Corriente secundaria

Zo: Impedancia de secuencia cero

MT: Media tensión

BT: Baja tensión

DETC: Cambiador de tomas desenergizado.

## RESUMEN

**Objetivo:** Demostrar la influencia del diseño del equipamiento eléctrico en la Operación óptima del transformador zigzag cargable de la subestación La Planicie, Lima-2024.

**Metodología:** La investigación según su finalidad es de tipo aplicada, con un nivel explicativo, con un diseño no experimental y enfoque cuantitativo. La población es igual a la muestra y están conformados por 20 transformadores trifásicos tipo zigzag de distribución sumergidos en aceite con potencias menores a 1250kVA y tensiones hasta 36kV, fabricados y probados en el laboratorio de pruebas de la empresa DELCROSA S.A. Los datos recolectados fueron procesados y analizados por Excel 2016.

**Resultado:** Basado en los resultados obtenidos en donde se demuestra la correcta formulación del cálculo eléctrico de la impedancia de secuencia cero para limitar las corrientes de fallas del sistema eléctrico en el laboratorio de pruebas eléctricas en transformadores trifásicos de distribución sumergidos en aceite tipo zigzag eléctrico genera resultados correctos de acuerdo a las normatividades IEC 60076-1 y IEC 60076 – 06, así podemos verificar el diseño, fabricación y funcionamiento óptimo del transformador Zigzag cargable cuando entre en servicio en la subestación La Planicie, Lima-2024.

**Conclusión:** En base a los resultados obtenidos del correcto cálculo de la impedancia de secuencia cero validándolo en las pruebas eléctricas de laboratorio podemos afirmar que los procedimientos y valores obtenidos son los correctos de acuerdo con las normatividades vigentes IEC 60076-1 y IEC 60076 – 06 garantizando la operatividad óptima del transformador zigzag cargable.

**Palabras claves:** Dispositivos de protección interna, Dispositivos de protección externa, impedancia de secuencia cero, Pérdidas totales, Transformadores zig zag, parte activa.

## ABSTRACT

**Objective:**The study aims to demonstrate how the design of the electrical equipment influences the optimal operation of the loadable zigzag transformer at the La Planicie substation, Lima-2024.

**Methodology:** The research, according to its purpose, is of an applied type, with an explanatory level, with a non-experimental design and a quantitative approach. The population is the same as the sample and is made up of 20 three-phase zigzag type oil-immersed distribution transformers with powers less than 1250 kVA and voltages up to 36 kV, manufactured and tested in the testing laboratory of the company DELCROSA S.A. The data collected were processed and analyzed by Excel 2016.

**Results:**The results obtained demonstrate that the formulation of the electrical calculation of the zero sequence impedance is correct for limiting the fault currents of the electrical system in the electrical testing laboratory. This applies to oil-immersed three-phase distribution zigzag transformers. The results comply with the IEC 60076-1 and IEC 60076 – 06 standards. This allows for verification of the design, manufacture, and optimal operation of the loadable Zigzag transformer when it enters service at the La Planicie substation, Lima-2024.

**Conclusion:**The results of the zero sequence impedance calculation and laboratory electrical tests confirm that the procedures and values obtained are correct according to the applicable IEC 60076-1 and IEC 60076 – 06 standards. This guarantees the optimal operability of the loadable zigzag transformer.

**Keywords:** Internal protection devices, External protection devices, Zero sequence impedance, Total losses, Zigzag transformers, Active part

## INTRODUCCIÓN

El Consorcio Transmantaro S.A, responsable de unir el Sistema Interconectado Centro-Norte con el sistema Interconectado Sur planteó la realización del proyecto “Refuerzo 2”: Ampliación de la Subestación La Planicie mediante ISA REP con objetivo de repotenciar y preservar la disponibilidad continua de electricidad acorde a la demanda generada en la región de Lima.

El proyecto dispone de un autotransformador de potencia en 500/220/33kV, es así que, en su devanado terciario en delta, nivel de tensión 33 kV se alimentará el transformador zigzag cargable mencionado en el presente informe final de investigación.

El propósito de la presente investigación es evidenciar el diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.

La finalidad del transformador zigzag cargable es la de operar óptimamente en el sistema eléctrico de acuerdo a un equipamiento eléctrico seleccionado técnicamente para su funcionamiento y protección bajo las normativas de fabricación IEC 60076-1, IEC 60076-6 y ANSI C57.32 además de alimentar las cargas auxiliares en la subestación La Planicie con su devanado cargable en 380V.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción de la realidad problemática**

Comúnmente los sistemas eléctricos de distribución en delta (sin neutro físico accesible) ofrecen la máxima continuidad de servicio; pese a lo cual las sobretensiones debidas a fallas monofásicas (de acuerdo a Osinergmin es la falla más frecuente en un 70%) limitan su aplicación.

Este estudio está enfocado en el diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie.

Este transformador tiene muchas bondades y características técnicas respetando las normativas internacionales como la de proteger contra fallas monofásicas a tierra, el diseño de su impedancia de secuencia cero mitiga dichas fallas. Posee un conmutador en vacío en el lado primario de tensión 33kV con 7 taps de posiciones con la finalidad de contrarrestar la subida o bajada de tensión de la red y ser flexible para uso en cualquier subestación con características similares.

También maneja protecciones propias mecánica-eléctricas como los transformadores de corriente seleccionados técnicamente para su operación óptima, además de ser usado para alimentar los servicios auxiliares esenciales de la subestación La Planicie.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿De qué manera influye el diseño del equipamiento eléctrico en la operación óptima del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?

### **1.2.2 Problemas específicos**

**PE1:** ¿De qué manera influye los parámetros eléctricos del sistema en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?

**PE2:** ¿De qué manera influye la selección técnica de los equipamientos de protección propios del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?

**PE3:** ¿De qué manera influye el correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Demostrar la influencia del diseño del equipamiento eléctrico en la operación óptima del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima 2024.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

**OE 1:** Demostrar la influencia de los parámetros eléctricos del sistema en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.

**OE 2:** Demostrar la influencia en la selección técnica de los equipamientos de protección propios del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.

**OE 3:** Demostrar la influencia del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.

### **1.4 Justificación**

Según Hernández, Sampieri et al (2014), en su libro Metodología de la investigación, indica 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**

El presente proyecto de investigación se justifica ya que se desea realizar un diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie permitiendo la eficiencia del sistema eléctrico.

#### **1.4.2 Justificación Práctica**

El presente proyecto de investigación se justifica de forma práctica dado que tiene la finalidad de preservar la disponibilidad continua de electricidad en la región de Lima.

#### **1.4.3 Justificación Metodológica**

El presente proyecto de investigación es desarrollado de manera que cumpla la metodología de la investigación científica, es decir respeta el procedimiento metódico para la obtención de un resultado, desarrollado de manera directa, ya que se toman medidas de datos de los parámetros eléctricos del transformador zigzag cargable como voltaje, corrientes, resistencias de arrollamiento, impedancias al momento de ejecutar las pruebas eléctricas de rutina del transformador y validar el diseño acorde a las normas internacionales.

#### **1.4.4 Justificación Social**

El presente proyecto de investigación se justifica socialmente dado que las pruebas eléctricas se realizan 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 desarrollar tecnología y brindar productos y servicios de alta calidad lo que conlleva a una mejora en el bienestar de la sociedad dentro del sector energía con eficiencia y seguridad.

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

Según la RAE, (2023): delimitar significa determinar o fijar con precisión los límites de algo. Por lo tanto, los delimitantes de la investigación son los límites que tendrá en los aspectos teórico, temporal y espacial, tal como establece el

Anexo 2: Estructura del Proyecto de Investigación (enfoque cuantitativo), de la Directiva N° 004-2022-R). [1]

### **1.5.1 Delimitante teórica**

El presente proyecto de 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 Delimitante temporal**

El presente proyecto de investigación se desarrollará entre los meses de Abril 2024 hasta Agosto del 2024 considerando únicamente el área de sala de pruebas de la empresa Delcrosa.S. A.

### **1.5.3 Delimitante espacial**

El presente proyecto de investigación abarcara exclusivamente el área de sala de pruebas y fabricación de transformadores de distribución de la empresa DELCROSA S.A.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes: Internacional y Nacional**

Según (Álvarez Risco, 2020, p. 1). Las investigaciones cualitativas, cuantitativas o mixtas necesitan incluir antecedentes. La redacción de los antecedentes se emplea para mostrar los distintos hallazgos que se han tenido en estudios previos, tomando en cuenta a las variables de estudio. Es importante considerar principalmente los estudios que han tenido objetivos o metodologías similares. Es posible que se encuentran estudios que han usado diversas metodologías e inclusive diversos tipos de análisis estadísticos siendo importante considerar a todos ellos dentro de la recopilación de los antecedentes. [2]

#### **2.1.1 Internacionales**

Muñoz (2022), en su trabajo de titulación de ingeniero eléctrico de la Escuela politécnica Nacional de Quito titulado “Diseño e implementación de un transformador zig zag para mitigación de armónicos de corriente”. Los objetivos establecidos permitieron verificar que dicho transformador mitiga corrientes armónicas triples de corriente. Arriba las siguientes conclusiones.1)El transformador en conexión zigzag es considerado una gran alternativa para mitigar corrientes armónicas que afectan al sistema eléctrico de potencia, haciendo hincapié en la eliminación de las terceras armónicas, esto de cierta manera se debe al conexionado de sus devanados, los cuales proporcionan una baja impedancia a las corrientes armónicas de orden tres.2) Se aprecia la mitigación de armónicos triples debido al uso del transformador zigzag para el sistema, es interesante recalcar que para la tercera fase que se observaba la inyección de armónicos triples por parte de las luminarias es eliminado en su totalidad, logrando así mitigar completamente los armónicos triples, de igual manera el rango de reducción para las fases restantes es de aproximadamente 20% al 80%.Para la primera fase el porcentaje se redujo de 32% a 26% aproximadamente, para la segunda fase se redujo del 100% al 45% y para la fase restante se reduce de 94% a 0%,la mitigación del tercer armónico se realiza de una manera adecuada. [3]

Erazo (2020), en su trabajo de titulación de ingeniero eléctrico de la Escuela politécnica Nacional de Quito titulado “Estudio técnico económico para el diseño y dimensionamiento de un transformador tipo zigzag para puesta a tierra en la central de generación Illuchi 1 de Elepco”. Los objetivos establecidos permitieron verificar la necesidad de implementar un transformador Zig-Zag para mejorar el sistema de puesta a tierra. Se analizan los beneficios potenciales del transformador Zig-Zag, como la reducción de las corrientes de falla a tierra, las sobretensiones y las perturbaciones electromagnéticas. Se realiza el diseño y dimensionamiento del transformador Zig-Zag, incluyendo la selección de la potencia nominal, la tensión nominal, la impedancia de secuencia cero y las características constructivas. Se analiza el comportamiento del sistema eléctrico con el transformador Zig-Zag conectado. Se verifica que el sistema cumpla con los requisitos de seguridad y protección. Se realiza una evaluación económica del proyecto, incluyendo los costos de inversión, operación y mantenimiento del transformador Zig-Zag. Arriba las siguientes conclusiones: 1) El transformador Zig-Zag ayuda a reducir las corrientes de falla a tierra, las sobretensiones y las perturbaciones electromagnéticas. 2) Reduce el riesgo de descargas eléctricas, daños a los equipos y mal funcionamiento del sistema eléctrico. 3) El transformador tiene la potencia nominal, la tensión nominal y la impedancia de secuencia cero adecuadas para la central eléctrica Illuchi 1. 4) La inversión en el transformador Zig-Zag es económicamente viable a largo plazo, considerando los beneficios en seguridad, protección y calidad de la energía. 5) Las simulaciones realizadas demuestran que el sistema eléctrico con el transformador Zig-Zag cumple con las normas y estándares de seguridad para sistemas de puesta a tierra. [4]

Acosta (2022), En su trabajo de titulación de ingeniero eléctrico de la Universidad técnica del Norte de Ecuador titulado “Propuesta técnica para la reducción de los armónicos homopolares en el conductor neutro de las instalaciones eléctricas de la facultad de ingeniería en Ciencias Aplicadas “ menciona que Los armónicos homopolares inyectados por cargas no lineales contaminan la calidad de los sistemas de suministro, creando un mayor porcentaje de distorsión en el conductor neutro de la fuente de alimentación. Si el primario se conecta en delta

de un transformador de distribución solo puede eliminar los armónicos homopolares inyectados a la red, pero la corriente de neutro causada por el flujo de cargas de armónicos homopolares no se eliminará, además los filtros pasivos basados en LC pueden crear resonancia en los sistemas de alimentación, por esa razón el uso de un transformador en zigzag reduce la corriente en el conductor neutro haciendo más llamativo por las siguientes razones: 1) Relativamente más económico que un sistema basado en LC. 2) Simplicidad. 3) Facilidad de instalación en los sistemas de distribución existentes. 4) Capacidad de mantener las corrientes neutras locales. 5) Elimina la necesidad de instalar un cable neutro de mayor tamaño. [5]

### **2.1.2 Nacionales**

Melgar (2019), en su tesis de grado para obtener el título profesional de ingeniero electricista de la Universidad Continental de Huancayo titulado “Confiabilidad en sistemas con transformadores de potencia con devanado de compensación interna o aterramiento ficticio externo mediante transformador zigzag” se trazó como objetivo analizar la alternativa óptima en aspectos técnicos y económicos para implementar un nuevo transformador de potencia en los sistemas eléctricos, comparando la implementación un nuevo transformador de potencia en estrella aterrado para todos los niveles de tensión y devanado de compensación en comparación y la implementación del mismo transformador de potencia con un devanado en delta y en este sistema la implementación de un transformador Zig-Zag (aterramiento ficticio). Arriba las siguientes conclusiones: La alternativa Ynd11 más transformador zig-zag, cumple con aspectos técnicos óptimos, sin embargo, requiere de mayor equipamiento para garantizar su correcta operación por lo que no cumple las condiciones planteadas. [6]

Lujan (2008), en su tesis de grado para obtener el título profesional de ingeniero electricista de la Universidad Nacional del Centro del Perú de Huancayo titulado “Optimización de la selectividad mediante aterramiento de sistemas con neutro aislado en la set Ingenio” se trazó como objetivos: Demostrar que es factible aterrizar un sistema de distribución con neutro aislado y como consecuencia la

optimización de la selectividad en las protecciones eléctricas, demostrando que dentro del alimentador con falla es capaz de incluso fusionar fusibles aguas debajo de la protección principal. Diagnosticar, evaluar y simular las diferentes alternativas de solución empleadas actualmente para la detección de fallas monofásicas a tierra en un sistema de distribución con neutro aislado. Arriba las siguientes conclusiones: El aterramiento de un sistema aislado mediante un transformador de aterramiento (neutro artificial), es una de las medidas técnicas más ventajosas pues permite obtener corrientes de grandes magnitudes que ayudan en la coordinación de protecciones en clara ventaja a Transformadores Zigzag ó con el empleo de relés direccionales incluso con función sensitiva. Dotar de alto grado de confiabilidad, selectividad, seguridad y economía las protecciones contra fallas a tierra en las SET's. Garantizar la seguridad pública y de instalaciones eléctricas. [7]

Charagua (2018), en su tesis de grado para obtener el título profesional de ingeniero electricista de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa titulado "Diseño e implementación de rectificador de 18 pulsos mediante un transformador de aislamiento en conexión delta/delta zigzag para mejoramiento del factor de potencia de la red eléctrica" se trazó como objetivos: Mejorar el factor de potencia a través del diseño e implementación de un prototipo rectificador no controlado de 18 pulsos mediante un transformador de aislamiento en conexión Delta/Delta-Zigzag-Zigzag. Calcular los parámetros principales de entrada del rectificador no controlado de 18 pulsos con la finalidad de mejorar el factor de potencia y cancelación de armónicos de corriente. [8]

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Definición de transformador**

**ANSI/IEEE** Define un transformador como un dispositivo eléctrico estático, que no incluye partes en movimiento continuo, Se utiliza en sistemas de energía eléctrica para transferir energía entre circuitos mediante el uso de energía electromagnética. Inducción. El término transformador de potencia se utiliza para referirse a aquellos transformadores utilizados entre el generador y los circuitos

de distribución, que suelen tener una potencia nominal de 500 kVA y más. Los sistemas de energía típicamente constan de un gran número de lugares de generación, puntos de distribución e interconexiones dentro del sistema o con sistemas cercanos, como una empresa de servicios públicos vecina. La complejidad del sistema conduce a una variedad de voltajes de transmisión y distribución. Se deben utilizar transformadores de potencia en cada uno de estos Puntos donde hay una transición entre niveles de voltaje.



Figura 1: Transformador de distribución

Fuente: Delcrosa

### **2.2.2 Transformador Zig-Zag de puesta a tierra**

Según Anderson (1995): En sistemas en los cuales no existe un neutro, por ejemplo, el secundario de un transformador en configuración delta, se requiere el uso de un transformador de puesta a tierra que permita una conexión del neutro a tierra. En concreto, en tal caso se puede instalar un transformador ZigZag de puesta a tierra. El funcionamiento de un transformador ZigZag se basa en sus impedancias de secuencia cero, cuando el sistema está sano la impedancia balanceada del transformador es muy alta y no permite el flujo de corrientes por los devanados hacia el neutro, solo se presenta una pequeña corriente de magnetización en los devanados del transformador. Sin embargo, al momento de presentarse una falla las impedancias de secuencia cero del

transformador son muy bajas, lo que permite el flujo de corriente durante la falla, evitando que se presente una alta corriente capacitiva, típica en sistemas no aterrizados. [9]

### 2.2.3 Análisis de Componentes Simétricas

Según Anderson (1995): El análisis mediante componentes simétricas es una herramienta que permite el análisis de circuitos desbalanceados de una forma más sencilla y eficaz. La base matemática para el análisis de componentes simétricas es la transformada de Fortescue. Esta permite obtener un set de tres (3) corrientes y tres (3) voltajes de las cantidades de fase originales. La transformada se define de la siguiente manera. [9]

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{pmatrix}$$

Figura 2: Base matemática para el análisis de componentes simétricas

Fuente: [9]

Estas nuevas variables ( $V_1, I_1$ ); ( $V_2, I_2$ ); ( $I_0, V_0$ ) son llamadas valores de secuencia positiva, negativa y cero, respectivamente. Cabe aclarar que la transformación de voltaje es análoga a la de corriente. La primera ecuación muestra la transformación de cantidades de fase del sistema, en este caso voltajes, siendo transformados a cantidades de secuencia. Por el otro lado en la segunda ecuación se puede observar que se pasa de las corrientes de secuencia a las corrientes de cantidad de fase.

## 2.2.4 Impedancias de Secuencia

Así mismo, se puede hacer una representación circuital de un sistema trifásico desbalanceado debido a una falla, como la conexión de tres (3) redes de secuencia: positiva, negativa y cero. Este circuito puede solucionarse posteriormente y aplicar la transformada de Fortescue para así obtener las cantidades de fase del sistema durante la falla.

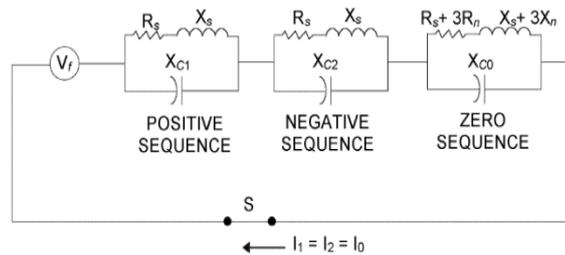


Figura 3: Circuito de las tres redes de secuencia

Fuente: [9]

## 2.2.5 Núcleo

Según Harlow (2006): El núcleo, que proporciona la ruta magnética para canalizar el flujo, consta de finas tiras de acero de alta calidad, llamadas laminaciones, que están separadas eléctricamente por una fina capa de material aislante. [10]

Las tiras pueden apilarse o enrollarse, con los devanados construidos integralmente alrededor del núcleo o construidos por separado y ensamblados alrededor de las secciones del núcleo. El núcleo de acero puede ser laminado en caliente o en frío, con grano orientado o sin grano, e incluso grabado con láser para un rendimiento adicional. El espesor oscila entre 0,23 mm y más de 0,36 mm. La sección transversal del núcleo puede ser circular o rectangular, y los núcleos circulares se denominan comúnmente construcción cruciforme. Los núcleos rectangulares se utilizan para clasificaciones más pequeñas y como transformadores auxiliares utilizados dentro de un transformador de potencia. Los núcleos rectangulares utilizan un único ancho de tira de acero, mientras que los núcleos circulares utilizan una combinación de diferentes anchos de tira para aproximarse a una circular, sección transversal, como en la Figura 2.2. El tipo de

acero y la disposición dependen de la clasificación del transformador en relación con factores de costo como la mano de obra y el rendimiento.

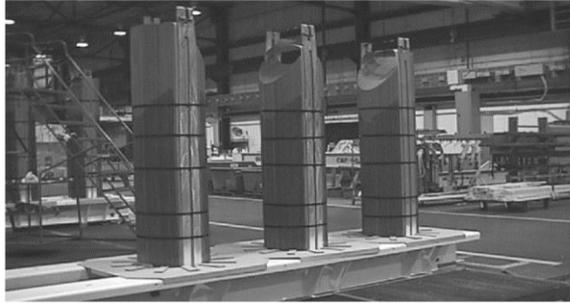


Figura 4: Conjunto 'E', antes de agregar las bobinas e insertar el yugo superior.

Fuente: [10]

### 2.2.6 Devanados

Según Harlow (2006): Los devanados consisten en conductores que transportan corriente enrollados alrededor de las secciones del núcleo, y estos deben estar adecuadamente aislados, soportados y enfriados para soportar las condiciones operativas y de prueba. Los términos devanado y bobina se usan indistintamente en esta discusión. Cobre y aluminio son los materiales primarios utilizados como conductores en los devanados de los transformadores de potencia.

Si bien el aluminio es más liviano y generalmente menos costoso que el cobre, se debe usar una sección transversal más grande de conductor de aluminio para transportar una corriente con un rendimiento similar al del cobre.



Figura 5: Bobinado de AT de transformador

Fuente: Propia

### 2.2.7 Ajuste de la relación espiras-vueltas

La capacidad de ajustar la relación de vueltas de un transformador a menudo es deseable para compensar las variaciones de voltaje que ocurren debido a la regulación del transformador y los ciclos de carga. Esta tarea se puede realizar por varios medios. Existe una diferencia significativa entre un transformador que es capaz de cambiar la relación mientras la unidad está en línea (un transformador de cambio de tomas de carga [LTC]) y uno que debe desconectarse o desenergizarse para realizar una operación. cambio de grifo.

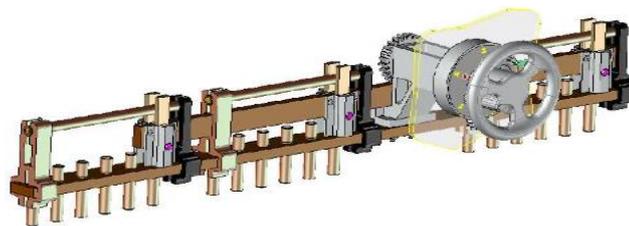


Figura 6: Conmutador en vacío

Fuente: Propia

### 2.2.8 Transformadores interconectados en estrella y de puesta a tierra

Las conexiones interconectadas estrella-estrella tienen las ventajas de las conexiones estrella-triángulo con la ventaja adicional del neutro. La conexión interconectada en estrella o en zigzag permite corrientes de carga de fase desequilibradas sin crear voltajes neutrales severos. Esta conexión también proporciona un camino para las corrientes del tercer armónico creadas por la no linealidad del material del núcleo magnético. Como resultado, los voltajes neutros en estrella interconectados se eliminan esencialmente. Sin embargo, la impedancia de secuencia cero de los devanados en estrella interconectados es a menudo tan baja que se producirán altas corrientes de tercer armónico y de secuencia cero cuando el neutro está directamente conectado a tierra.

El neutro estable inherente a la conexión interconectada en estrella o en zigzag ha hecho posible su uso como transformador de conexión a tierra para sistemas que de otro modo estarían aislados.

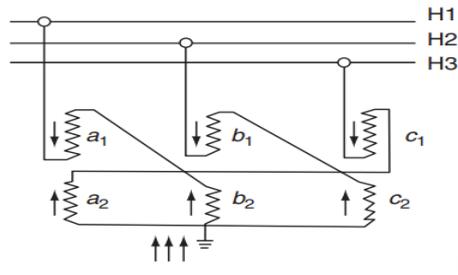


Figura 7: Distribución de corriente en las bobinas para una línea a tierra

Fuente: [10]

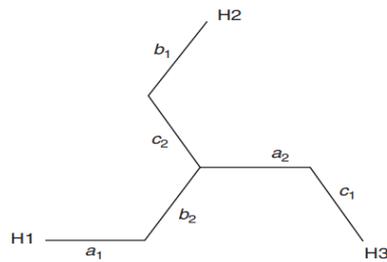


Figura 8: Voltajes de operación normales en las bobinas.

Fuente: [10]

Según Kulkarni (2013): Se utilizan para proporcionar un punto neutro que facilita la conexión a tierra y la detección de fallas a tierra en una parte no conectada a tierra de la red (por ejemplo, sistemas conectados en triángulo). Sus devanados suelen estar conectados en forma de zigzag, lo que ayuda a eliminar tensiones de tercer armónico en las líneas. Este tipo de transformadores tienen una ventaja adicional ya que no se ven afectados por los problemas de magnetización de CC normalmente asociados con los convertidores electrónicos de potencia.

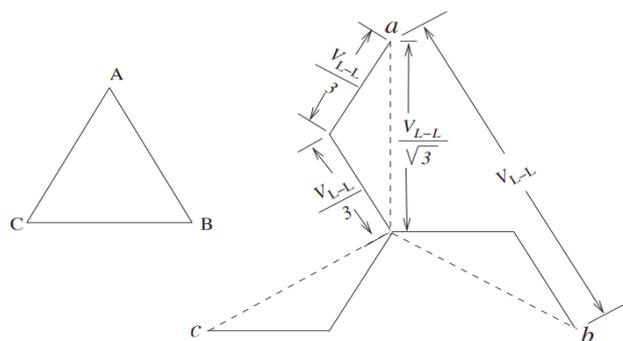


Figura 9: Diagrama vectorial de un transformador delta-zigzag.

Fuente: [11]

En la figura N.º 10 se muestra una conexión en zigzag, en la que los devanados de diferentes ramas están conectados en forma cruzada. Se denomina devanado en zigzag o en estrella interconectada porque el devanado en zigzag de una fase está conectado en serie con el devanado en zag de una de las otras dos fases. El diagrama vectorial de un transformador delta-zigzag se muestra en la Figura y La interconexión de los devanados de diferentes fases introduce un desfase de  $30^\circ$  (o  $150^\circ$ ) entre el devanado en zig (o zag) y la tensión línea a neutro correspondiente ( $V_{L-N} = V_{L-L} / \text{raíz}(3)$ ).

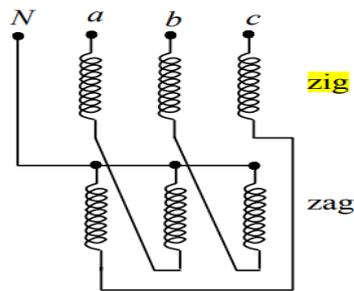


Figura 10: Una conexión en zigzag.

Fuente: [11]

### 2.2.9 Principales características y ventajas son las siguientes:

a) Se pueden utilizar como transformador de puesta a tierra en un sistema conectado en triángulo o en un sistema conectado en estrella sin conexión a tierra, en el que no hay un punto neutro disponible para la conexión a tierra. Considere un transformador en zigzag conectado a una fuente conectada en triángulo como se muestra en la Figura N.º 11. Para una sola falla de línea a tierra, una corriente de secuencia cero fluye en el circuito de tierra permitiendo que actúe un sistema de protección. Los voltajes de los dos terminales de línea sanos se mantienen en sus respectivos niveles de voltaje de línea a neutro. En ausencia de la conexión del neutro a tierra, las tensiones de las fases sanas aumentan hasta el nivel de tensión línea a línea, estresando los sistemas de aislamiento de los equipos conectados.

Los transformadores de puesta a tierra no sólo ayudan al sistema de protección, sino que también reducen las tensiones de tensión en condiciones de falla asimétricas.

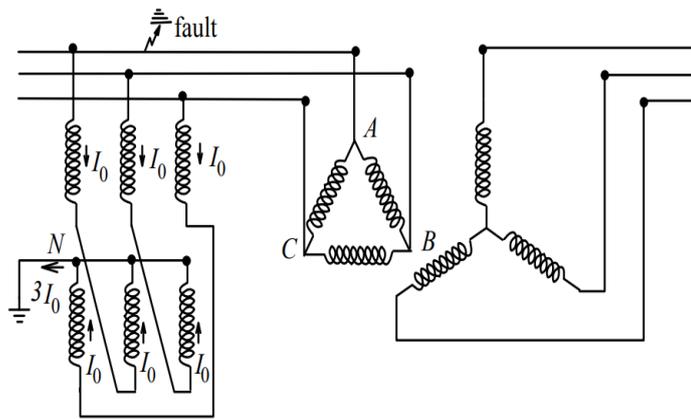


Figura 11: Un transformador de puesta a tierra en zigzag.

Fuente: [11]

**b)** Los transformadores en zigzag ofrecen una ventaja específica cuando se utilizan en aplicaciones que consisten en convertidores electrónicos de potencia. La magnetización de CC debido a la asimetría en los ángulos de disparo se cancela en cada extremidad debido a las direcciones opuestas de las corrientes de CC que fluyen en sus devanados en zig y zag. De manera similar, la magnetización de CC inherente a una conexión de rectificador de punto medio de tres pulsos se elimina si el devanado secundario es de tipo zigzag.

**c)** Los transformadores de puesta a tierra ofrecen un camino de baja impedancia para las corrientes de secuencia cero en condiciones de falla asimétrica porque el único flujo magnético producido por las corrientes es el flujo de fuga; El flujo magnetizante en cada rama es cero debido a las corrientes iguales y opuestas que fluyen en sus devanados en zig y zag, como se muestra en la Figura N.º 11: Debido a la muy baja impedancia del transformador de puesta a tierra, puede ser necesario limitar las corrientes en condiciones de falla conectando una resistencia entre el neutro y la tierra. En condiciones normales de funcionamiento, sólo fluye una pequeña corriente excitante por los devanados del transformador de puesta a tierra.

**d)** Los componentes de voltaje del tercer armónico presentes en los devanados en zig y zag se cancelan en las líneas.

La reactancia de un transformador que consta de devanados en zigzag y en estrella (o delta) se puede calcular a partir de voltamperios reactivos. Considere el transformador en estrella-zigzag que se muestra en la Figura N.º 12: Se supone

que las corrientes  $I_a$ ,  $I_b$  y  $I_c$  fluyen desde los terminales de línea al neutro por conveniencia. El diagrama vectorial correspondiente también se muestra en la figura.

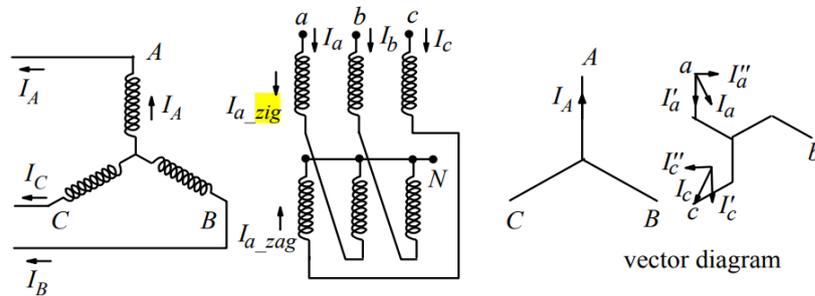


Figura 12: Cálculo de la reactancia de un transformador con devanado en zigzag

Fuente: [11]

Todas las corrientes se resuelven en dos conjuntos de componentes mutuamente perpendiculares. Dado que la suma vectorial de todos los amperios-vueltas es cero en cada miembro, la suma de todos los componentes indicados por prima es cero y la suma de todos los componentes indicados por doble prima también es cero. La corriente de la fase A del devanado conectado en estrella ( $I_A$ ) se toma como vector de referencia, y todas las demás corrientes se resuelven en direcciones a lo largo y perpendiculares a este vector. Como  $I_A$  es el vector de referencia,  $I'_A$  y  $I''_A$  tienen los valores 1 p.u. y 0 p.u., respectivamente, en notaciones por unidad.

Una  $I_{a\_zig}$  está en fase con  $I_a$ , mientras que un  $I_{a\_zag}$  está en fase con  $I_c$ . Los devanados en zig y zag tienen 0.577 p.u. amperios vueltas ( $1,1547 \times 0,5$ ). Además, las corrientes  $I_a$  y  $I_c$  forman un ángulo de  $30^\circ$  con respecto al vector de referencia. La dirección de  $I_c$  ( $I_{a\_zag}$ ) se ha invertido en el diagrama vectorial de modo que en cualquier instante los correspondientes amperios-vueltas del devanado en zag se opone al del devanado en estrella. Así, podemos escribir:

$$IA' = 1$$

$$IA'' = 0$$

$$Ia_{zig'} = Ia_{zag'} = -0.577 \cos 30^\circ = -0.5$$

$$Ia_{zig''} = -Ia_{zag''} = 0.577 \sin 30^\circ = 0.289$$

$IA' = 1$  y  $IA'' = 0$  satisfacen las dos ecuaciones siguientes según lo exige la condición de que la suma vectorial de todos los amperios-vueltas en el extremo de la fase A sea cero:

$$IA' + Ia_{zig'} + Ia_{zag'} = 0 \text{ y}$$

$$IA'' + Ia_{zig''} + Ia_{zag''} = 0$$

### **2.2.10 Reactancia de secuencia cero**

La teoría de componentes simétricas se utiliza comúnmente en los análisis de sistemas de potencia. A diferencia de las máquinas rotativas, las reactancias de secuencia positiva y negativa son iguales en dispositivos estáticos como los transformadores. En condiciones de carga simétricas, sólo es necesario considerar las reactancias de secuencia positiva. Durante cargas/perturbaciones asimétricas o fallas monofásicas, la respuesta del sistema se decide principalmente por las reactancias de secuencia cero en la red resultante. Es relativamente fácil comprender y calcular las reactancias de secuencia positiva en comparación con las reactancias de secuencia cero en los transformadores.

La reactancia de secuencia cero de un transformador puede diferir considerablemente de su reactancia de secuencia positiva dependiendo del tipo de su circuito magnético y conexiones de bobinado.

La reactancia de secuencia cero vistas desde los terminales de un devanado conectado en triángulo es infinita, ya que las corrientes de secuencia cero no pueden fluir porque no hay un camino de retorno; de hecho, la prueba de secuencia cero medirá una alta reactancia capacitiva entre las tres fases y la tierra (es decir, las capacitancias parásitas del devanado a tierra de las tres fases están en paralelo bajo la condición de prueba).

Para medir la reactancia de secuencia cero de un transformador que tiene un devanado conectado en estrella, se aplica un voltaje adecuado entre los terminales de línea en cortocircuito del devanado y el neutro como se muestra en la Figura N.º 13. La reactancia de secuencia cero ( $\approx$ impedancia) del devanado conectado en estrella con el neutro puesto a tierra se calcula como:

$$X_0 = \frac{V}{1/3} = 3 * \frac{V}{I}$$

Se pueden medir dos tipos de reactancias de secuencia cero para un devanado:

1. El circuito abierto o la reactancia magnetizante con terminales de todos los demás devanados se mantienen en circuito abierto.
2. La reactancia de cortocircuito o fuga con terminales de otro solo devanado en cortocircuito.

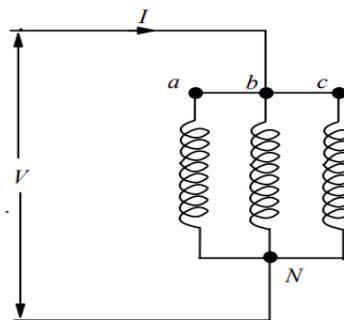


Figura 13: Medida de impedancia de secuencia cero.

Fuente: [11]

### 2.2.11 Clases de aislamiento

La clase de aislamiento de un transformador se determina en función de los niveles de prueba que es capaz de soportar. El aislamiento del transformador se clasifica según el BIL, o nivel de aislamiento de impulso básico, junto con la clasificación de voltaje. Internamente, se considera que un transformador es un sistema de aislamiento no autorregenerable, que consiste principalmente en material de celulosa poroso impregnado por el medio aislante líquido.

Externamente, los aisladores del transformador y, lo que es más importante, el equipo de protección contra sobretensiones debe coordinarse con la clasificación del transformador para protegerlo de sobretensiones y sobretensiones transitorias.

Tabla 1 Niveles de voltaje de prueba

Highest Voltage for equipment winding $U_m$ kV	Full Wave Lightning Impulse (LI) kV	Chopped Wave Lightning Impulse (LIC) kV	Switching impulse (SI) kV	Applied voltage or line terminal AC withstand (AV) (LTAC) kV
<1,1	–	–	–	3
3,6	20	22	–	10
	40	44	–	10
7,2	60	66	–	20
	75 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	–	20
12	75	83	–	28
	95	105	–	28
	110 <sup>a</sup>	121 <sup>a</sup>	–	34 <sup>a</sup>
17,5	95	105	–	38
	125 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	–	38
24	125	138	–	50
	145	160	–	50
	150 <sup>a</sup>	165 <sup>a</sup>	–	50
36	170	187	–	70
	200 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	–	70
52	250	275	–	95

Fuente: IEC 60076-3,2013

### 2.2.12 Requisitos y consideraciones técnicas en un transformador zigzag con bobinado auxiliar

Además del requisito de entrada del transformador de puesta a tierra sin devanado auxiliar, los detalles de entrada adicionales esenciales son los siguientes:

- Clasificación continua del devanado auxiliar
- Tensión nominal y conexión del devanado auxiliar.
- Si se requieren taps o no
- Aumento de temperatura del devanado y del aceite.
- Tensión de prueba del devanado auxiliar
- Material de bobinado

Las consideraciones de diseño importantes incluyen las siguientes:

- Capacidad de resistencia térmica y dinámica a cortocircuitos del devanado cuando ocurre una falla en el devanado auxiliar
- Sobretensiones transferidas al devanado auxiliar
- Ubicación relativa de los devanados auxiliares, en zig y zag.
- Si se especifica variación de voltaje para el devanado auxiliar proporcionando tomas en el devanado en zigzag, se debe proporcionar lo mismo en los devanados en zigzag y en zag de modo que se aumente o disminuya un número igual de vueltas para cada cambio de toma de ambas bobinas para garantizar 120°, cambio de fase en todas las posiciones de toma.

### 2.2.13 Fórmula para calcular la reactancia para un transformador zigzag

Se muestra la formulación matemática para calcular la reactancia de un transformador del tipo zigzag.

$$L_{zig \ o \ zag}(H) = 4 * \pi * 10^{-7} * N^2 * \frac{\pi * D}{(long)} * \left(\frac{e}{3} + \frac{\partial}{2}\right) * \frac{1}{1000}$$

$$*K = 1 - \left(\frac{ezag+ezig+\partial}{\pi * H_{zig \ o \ zag}}\right)$$

$$*long \ zig \ o \ zag = \left(\frac{H_{zig \ o \ zag}}{K}\right)$$

$$*D_{zig} = D_n + \delta * 2 + e_{zig}$$

$$*D_{zag} = D_{núcleo} + \delta * 2 + e_{zig} * 2 + \partial * 2 + e_{zag}$$

Donde:

N: Número de espiras del devanado zig o zag

D(mm): Diámetro medio del devanado zig o zag

Dn(mm): Diámetro del núcleo

Long(mm): Longitud media del devanado zig o zag

e(mm): Espesor del devanado zig o zag

$\partial(mm)$ : Distancia entre zig-zag

$\delta(mm)$ : Distancia de núcleo-devan.zig

H(mm): Altura neta del devanado zig o zag

K: coeficiente de Rogosky del devanado zig o zag

f: frecuencia a 60Hz

\* $L_{total} = L_{zig} + L_{zag}$

$$X_{zigzag} \left( \frac{ohm}{fase} \right) = 2 * \pi * f * L_{total}$$

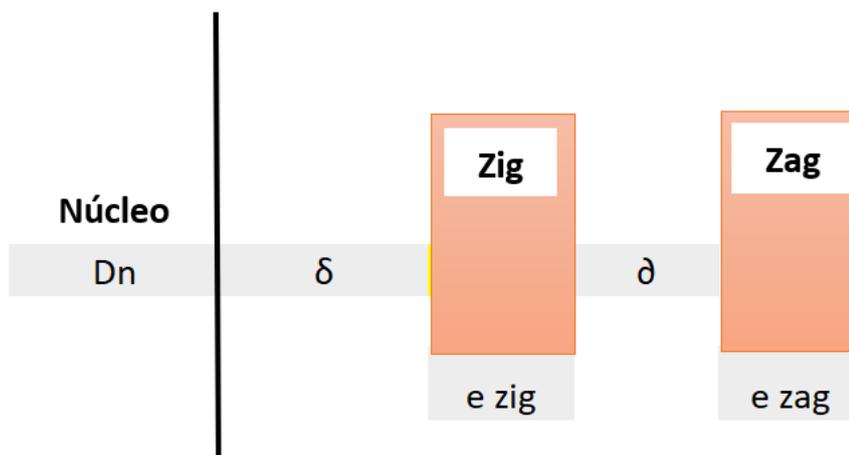


Figura 14: Corte transversal de los devanados de un transformador zig zag.

Fuente: Propia

#### 2.2.14 Especificación técnica del circuito magnético y fórmula del cálculo de pérdidas en el hierro.

Para el diseño del Núcleo del Transformador recurrimos a las Curvas de magnetización (W/kg, VA/kg) proporcionadas por los Fabricantes de las Láminas de Hierro Silicio, mediante las cuales podemos determinar los límites permisibles de la Densidad de Flujo Magnético de las mismas y por lo tanto este será el límite de Flujo Magnético Magnético para la operación del Transformador.

Se hace necesario, conocer el Valor de las Pérdidas de Potencia Activa (pérdidas en el hierro) (W ) por cada kilogramo de Peso de Fierro Silicoso laminado, utilizado en la Fabricación del Núcleo del Transformador para lo cual necesitaremos de la Tablas mostradas a continuación:

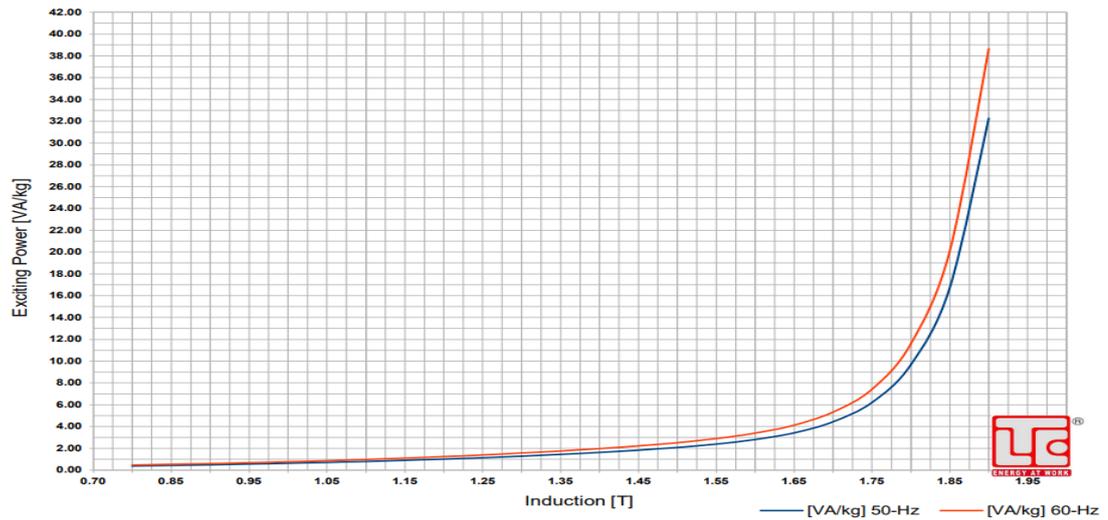


Figura 15: Curva VA/kg del núcleo usado en el diseño de la máquina

Fuente: Catálogo, fabricante Legnano

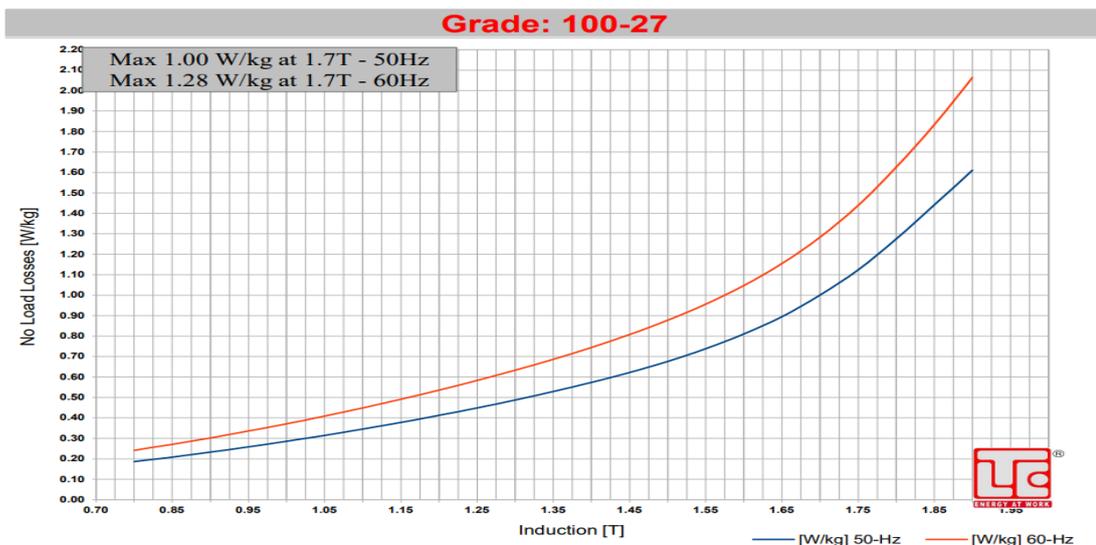


Figura 16: Curva w/kg del núcleo usado en el diseño de la máquina

Fuente: Catálogo, fabricante Legnano

**Espesor de plancha 0.27 mm**

**Pérdidas específicas máx:1W/kg a 1.7T,50Hz**

**Fabricante: Legnano, Italia**

**Normativa: IEC 60404-8-7** “Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state”

En el cual cumplimos los requerimientos exigidos: espesor nominal normado, grano orientado, laminado en frío, así como la denominación:

-M: Para acero eléctrico

-100:1W/kg a 1.7T a 50Hz

-27: Espesor nominal de la plancha

-S: Para grados convencionales

5: Frecuencia en Hz

Por lo tanto, la denominación correcta de acuerdo a la normativa del fleje magnético usado sería de la siguiente manera:**M100-27S5**

Entonces para el cálculo de las pérdidas en el fierro se utilizó la siguiente fórmula:

$$Pfe(W) = \frac{W}{kg} * \text{Peso de núcleo}$$

Los w/kg lo sacamos de la curva mostrada en la Figura 14 a la inducción de diseño de la máquina y el peso del núcleo del cálculo del diseño de la máquina.

Actualmente, se utiliza el Fierro Silicio de Grano Orientado Laminado en Frío habiéndose logrado que los Modernos Transformadores sean de un tamaño más reducido que aquellos que fueron construidos con Fierro Silicio Laminado en Caliente. Los Fabricantes de Fierro Silicio proporcionan las Curvas de Magnetización de su Producto, información mediante la cual es posible seleccionar los valores de Diseño adecuado para la Construcción del Núcleo de determinado Transformador allí podemos encontrar los Parámetros que nos permiten Construir adecuadamente este Núcleo.

### **2.2.15 Especificación técnica del circuito eléctrico y fórmula del cálculo de pérdidas en el cobre.**

Este Circuito está conformado por lo que conocemos como las Bobinas, Arrollamientos o Devanados, Primario y Secundario del Transformador, siendo la función de este circuito la de Conducir la Corriente Eléctrica a través de los Conductores de Cobre.

Las Bobinas, no solo están fabricadas con Alambre Esmaltado ó Pletina de Cobre forrada con material aislante sino que también interviene el Papel Aislante ( Presspan ) con el cuál se permite el Aislamiento entre las Capas de las Bobinas, entre las Bobinas y el Yugo y entre las Bobinas entre sí. De acuerdo al Diseño que habremos definido para la Construcción de las Bobinas habremos de ir habilitando el material respectivo para que este pueda usarse progresivamente durante el proceso referido. Así, para cada Tensión de Bobina usaremos determinado espesor de Papel Presspan entre las Capas, y este debe ser suficientemente grueso para poder soportar no solo el Doble de la Tensión de Capa Calculada tal como lo exigen las Normas Técnica IEC 60076 de Fabricación sino para soportar la Tensión Mecánica al que está sometido el mencionado papel durante el proceso de Bobinado por efecto de ajuste del Conductor de Cobre originado desde la Máquina de Bobinar.

#### **a) Cinta para forrar pletina de cobre, Flin-Paper Kraft TUP:**

Es un papel aislante, construido a base de fibras de 100% pulpa de celulosa.

**Propiedades:** Calandrado, térmicamente estabilizado, y, con contenido de Nitrógeno garantizando valores térmicamente superiores a cualquier otro tipo de papel. Definido como térmicamente mejorado (Thermally up-Grade). Flin-Paper Kraft TUP, propone buenas propiedades dieléctricas y mecánicas para encintado a buena velocidad. Alta pureza química, hacen que, sea un papel compatible con la mayoría de resinas y barnices comunes de aislamiento, así como, líquidos y aceites definidos como refrigerantes para transformadores. Permite ser laminado e impregnado. En nuestro transformador se usó la medida de 0.05mm.

**Normas: Material Aislante Clase B (130 °C). -IEC 60085**



Figura 17: Cinta Kraft para forrado de la pletina de BT

Fuente: Catálogo, fabricante sertek

<b>Datos Técnicos* - Technical Values*</b>			
<b>Flin-Paper Kraft TUP Thermally UPGRADE KRAFT PAPER</b>		<b>TUP 50</b>	<b>TUP 75</b>
<i>Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Values</i>	<i>Values</i>
Nominal Thickness	µm /mm mils	50 / 0.050 0.002"	75 / 0.075 0.003"
Tolerance	%	< 10%	< 10%
Density (specific weight)	g/cm <sup>3</sup>	≤ 0.90	
Dielectric strength in air	KV/mm	≥ 9.0	
Dielectric strength in oil. (1 layer 50 Hz Ø50mm)	KV/mm	>55	
Conductivity of aqueous extract	mS/m	≤ 8.0	
Moisture Content	%	6.0 to 9.0	
Ash Content	%	≤ 0.70	
pH		6.0 to 8.0	
Air Permeability	Um/(Pa.s)	≤ 0.20	
Tearing Index (CD)	Mn.m2/g	≥ 7.0	
Nitrogen content	%	1.1 to 2.3	
Degree of polymerization	-	>1500	
Aging remaining rate of tensile strength (150°C – 168 h.)	%	>75	
Tensile strength	MD	≥ 5.00	≥ 5.75
	CMD	≥ 2.00	≥ 2.20
Elongation rate to break	MD	≥ 2.00	
	CMD	≥ 4.00	

Figura 18: Datos técnicos de la cinta Kraft basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados.

Fuente: Catálogo, fabricante sertek

**b) Papel entre capas del bobinado, Flin-Paper Kraft Thermally Upgrade DDP:**

Es un papel aislante altamente calandrado Tipo P2.1 según IEC 641-1 construido a base de fibras de 100% pulpa de celulosa, impregnado en ambas caras por una resina de tipo epóxica, en estado B, en forma de diamantes con una distribución homogénea y de tamaño de 1 cm. (Aprox.)

**Propiedades:** Sus excelentes propiedades mecánicas, pureza química junto al contenido de Nitrógeno, hacen que sea un papel excelente para temperaturas de 120°C. (Clase E). La distribución homogénea de la resina epóxica en forma de diamantes, facilita el pegado a laminación o conductor de cobre y/o aluminio, y entre capas del mismo papel, facilitando siempre la circulación e impregnación de fluidos. Compatible con todas las resinas y barnices comunes de aislamiento, así como, líquidos y aceites definidos como refrigerantes para transformadores.

La alta calidad del papel Flin-Paper Kraft TU DDP, es utilizado comúnmente, en la gama de Transformadores sumergidos en fluidos (Aceite Mineral). Transformadores de distribución a Potencia. Utilizado, también, como aislamiento en Cables y Conductores, como barrera de protección térmica y/o Dieléctrica. En el diseño de la máquina utilizamos papel diamantado entre capas de 0.25mm (Formando espesor de 1mm) para AT y 0.38mm para BT.

**Almacenaje:** El papel Kraft, así como, todos aquellos productos fabricados a partir de pulpa de celulosa, son productos susceptibles a absorción de humedad. Mantener en lugares con humedad controlada, a poder ser ambiente seco, y fuera de cambios bruscos (frio-calor-humedad).

Datos Técnicos* - Technical Values*						
Flin-Paper Kraft TU DDP						
Standard Thickness	0.130 mm 0.005"	0.180 mm 0.007"	0.250 mm 0.010"	0.380 mm 0.015"	0.500 mm 0.020"	Other special thickness Call for details 0.002" – 0.003"
Properties	IEC – Test Method / Standard Norm			Unit	Values	
Nominal Thickness				mm	0.125 to 0.500 (Other Thickness)	
Tolerance	IEC 641 - IEC 626-2			%	± 10%	
Density (specific weight)	IEC 641 - IEC 626-2			g/cm <sup>3</sup>	0.95 – 1.05	
Dielectric strength	IEC 641			KV/mm	>7.5	
Conductivity of aqueous extract	IEC 641			ms/m	<= 8.0	
Moisture Content	IEC 641			%	4.0 a 8.0	
pH	-				6.5 to 8.5	
Nitrogen content % Minimum	-			%	>= 1.1	
Oil Absorption	-			%	10.0	
Ash Content Maximum	IEC 641			%	<= 0.7	
Bond Streght:	IEC 641			KPA	>= 450	
Tensile strength	IEC 641 - IEC 626-2			N/mm <sup>2</sup>	Long	>70
					Tran	>35
Elongation rate to break	IEC 641 - IEC 626-2			%	Long	2.50
					Tran	5.00
Shrinkage until constant weight	IEC 641			Max. %	Long	1.00
					Tran	1.50
					Thick	7.0

Figura 19: Datos técnicos del papel diamantado entre capa basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados.

Fuente: Catálogo, fabricante sertek

El procedimiento de Construcción de las bobinas, nos señala que se monta tubos de Papel Presspan, aislando completamente esta del núcleo del Transformador, sobre este tubo se arrolla la primera capa de conductor eléctrico que de acuerdo al cálculo habrá de usarse, al finalizar la primera capa se aísla esta, con una envoltura de Papel Presspan de espesor precalculado en el diseño; se continúa de esta manera hasta completar el número de capas calculadas. Después de esta última, en la Bobina de Baja Tensión; dejamos un espacio radial vacío a lo largo de toda la bobina conocido como Canal de Dispersión, el cuál debe cumplir con el distanciamiento mínimo entre esta bobina y la de Alta Tensión; y permitiéndose el flujo del aceite que por un fenómeno conocido como Convección circulará por este Canal extrayendo el calor originado por el funcionamiento del Transformador, y desplazando las moléculas más calientes hacia la parte superior del mismo y las más frías hacia la parte inferior. Procedemos a colocar capas de Papel Presspan contra el canal de dispersión, que servirán de base para la primera capa de la Bobina de Alta Tensión, cuando se termine de construir esta primera capa, se procederá a forrar esta con Papel Presspan, luego de esto se procede de la misma manera con las otras capas; hasta completar el número establecido por el Cálculo del devanado. Finalmente forramos la última capa con cinta de algodón para darle solidez mecánica a esta, culminando de esta manera la Construcción de la Bobina del Transformador. La descripción del proceso de Bobinado nos detalla la construcción de una Bobina de Tipo Tubular ó Capas que es el tipo de bobina que vamos a utilizar para el Diseño y Construcción del Transformador en referencia. Las condiciones mínimas que deben cumplir las Bobinas construidas no deben alejarse mucho de lo siguiente.

- 1.- Deberán ser Económicas, tanto en su fabricación como durante el Servicio de Operación.
- 2.-Su Régimen Térmico debe cumplir con las exigencias establecidas por las Normas de Fabricación **IEC 60076-2**.
- 3-Deberán tener suficiente Resistencia Mecánica para soportar posibles cortocircuitos instantáneos cumpliendo la normativa **IEC 60076-5**.

4.-Deberán tener suficiente Rigidez Dieléctrica., contra posibles sobretensiones cumpliendo la IEC 60076-3 e IEC 60076-4.

### **Fórmula para el cálculo de las Pérdidas en el cobre**

Las pérdidas en el cobre dependen del peso de cobre y la densidad de corriente que trabaja el devanado a analizar.

$$**Pcu totales(W) = PcuBT + Pcuzig + Pcuzag**$$

$$.Pcu BT = 1.05 * 2.42 * Pcubt * Jbt^2 * f$$

$$.Pcu zig = 1.05 * 2.42 * Pcuzig * Jzig^2 * f$$

$$.Pcu zag = 1.05 * 2.42 * Pcuzag * Jzag^2 * f$$

Donde f es el factor por pérdidas suplementarias y adicionales

J: Densidad de corriente en A/mm<sup>2</sup>

Pcu: Peso de cobre en kg

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1. Variable Dependiente: Transformador zigzag cargable**

Según IEEE.C57.32 (2015), Un transformador de puesta a tierra es un transformador destinado principalmente a proporcionar un punto neutro para fines de puesta a tierra en sistemas trifásicos sin conexión a tierra para proporcionar una ruta de retorno para corrientes de falla y soportar una fase con falla sobre el suelo. Un transformador de puesta a tierra generalmente está clasificado para soportar una corriente de cortocircuito específica durante un período de tiempo específico sin exceder límites de temperatura específicos.

**Dimensiones:****D1: Diseño de parte activa**

El bobinado y núcleo del transformador forman la parte activa fundamental para el funcionamiento óptimo del transformador validado técnicamente según la normativa internacional en el laboratorio de pruebas.

I1: Potencia

I2: Pérdidas en el hierro

I3: Pérdidas en el cobre

I4: Suministros

**D2: Prueba especial de Impedancia de secuencia cero**

La prueba de impedancia de secuencia cero es una prueba eléctrica realizada en sistemas trifásicos para determinar la impedancia entre las fases durante una secuencia de corriente cero. En un sistema trifásico. Validado técnicamente según la normativa internacional en el laboratorio de pruebas.

I1: Corriente eléctrica

I2: Tensión eléctrica

I3: Normativas internacionales

**2.3.2 Variable Independiente: Equipamiento eléctrico**

El equipamiento eléctrico se refiere a todos los dispositivos, aparatos y sistemas utilizados en la generación, transmisión, distribución y uso de energía eléctrica fundamentales para el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos.

**Dimensiones:****D1: Dispositivos de protección internos**

Los dispositivos de protección internos del transformador son un conjunto de equipos diseñados para proteger a los transformadores de diversas fallas y

condiciones anormales que puedan dañarlos o afectar su funcionamiento normal disparándose automáticamente en caso de detectar una condición de peligro.

I1: Aisladores

I2: Conmutador

I3: Indicador de nivel

I4: Termómetro de aceite

I5: Relé buchholz

I6: Válvula de seguridad

I7: Deshumecedor

## **D2: Dispositivos de protección externos**

Los dispositivos de protección externos del transformador son un conjunto de equipos diseñados para proteger a los transformadores de diversas fallas y condiciones anormales externas que puedan dañarlos o afectar su funcionamiento normal disparándose automáticamente en caso de detectar una condición de peligro.

I1: Transformadores de corriente

I2: Pararrayos

I3: Interruptor de BT.

## **2.4 Definición de términos básicos**

### **Transformador de puesta a tierra (acoplador de neutro):**

Transformador o reactor trifásico conectado en un sistema de energía para proporcionar una conexión neutra para la conexión a tierra, ya sea directamente o mediante una impedancia.

### **Transformador zigzag cargable:**

Los transformadores de puesta a tierra suelen estar provistos de un devanado secundario (bajo voltaje) para alimentar una carga auxiliar local dentro de la subestación.

**Conexión en zigzag:**

Es una conexión de devanado que consta de dos secciones de devanado, la primera sección conectada en estrella, la segunda conectada en serie entre la primera sección y los terminales de línea.

**Punto neutro:**

El punto de un sistema simétrico de voltajes que normalmente está a potencial cero.

**Tensión nominal ( $U_r$ ):**

Tensión nominal línea a línea a la frecuencia nominal asignada para ser aplicada entre los terminales de línea del devanado principal.

**Tensión máxima de funcionamiento ( $U_{max}$ ):**

Voltaje línea a línea más alto especificado a la frecuencia nominal a la cual el transformador de puesta a tierra será capaz de operar continuamente.

**Devanado:**

El conjunto de espiras que forman un circuito eléctrico asociado a uno de los voltajes asignados al transformador.

**Bobinado de alto voltaje:**

Devanado que tiene el voltaje nominal más alto.

**Bobinado de bajo voltaje:**

Devanado que tiene el voltaje nominal más bajo.

**Devanado secundario:**

Devanado provisto en un transformador de puesta a tierra destinado a ser conectado a una carga auxiliar.

**Núcleo magnético:**

Es una parte fundamental de los transformadores. Consiste en un material ferromagnético, como hierro o acero al silicio, que se utiliza para concentrar y dirigir el flujo magnético.

**Frecuencia nominal:**

La frecuencia a la cual el transformador está diseñado para operar. En este caso a 60 Hz.

**Potencia nominal:**

Valor convencional de la potencia aparente asignada a un devanado que junto con la tensión nominal del devanado determina su corriente nominal.

**Corriente nominal:**

La corriente que fluye a través de un terminal de línea de un devanado que se deriva de la potencia nominal y la tensión nominal para el devanado.

**Toma principal:**

La toma a la que están relacionadas las cantidades nominales de espiras o tensión.

**Cambiador de tomas desenergizado (DETC):**

Es un dispositivo para cambiar las conexiones de toma de un devanado, adecuado para funcionar sólo mientras el transformador está desenergizado (aislado del sistema).

**Pérdida sin carga:**

La potencia activa absorbida cuando se aplica una tensión nominal (tensión de toma) a una frecuencia nominal a los terminales de uno de los devanados, estando el otro o los otros devanados en circuito abierto.

**Pérdida de carga:**

La potencia activa absorbida a una frecuencia nominal y temperatura de referencia, asociada con un par de devanados cuando la corriente nominal (corriente de toma) fluye a través de los terminales de línea de uno de los devanados, y los terminales del otro devanado están en cortocircuito. Otros devanados, si los hay, están en circuito abierto.

**Impedancia de secuencia cero (en un devanado trifásico):**

Impedancia especificada en ohmios por fase a una frecuencia nominal igual a tres veces el valor de la impedancia entre los terminales de línea conectados entre sí y el terminal neutro, con cualquier devanado secundario en circuito abierto y cualquier devanado estabilizador en condiciones de servicio.

**Prueba de rutina:**

Es una prueba a la que se somete cada transformador individual.

**Prueba especial:**

Prueba distinta de una prueba de tipo o una prueba de rutina, acordada por el fabricante y el comprador.

**Temperatura de referencia:**

Para los reactores o transformadores zigzags sumergidos en líquido, la temperatura de referencia es 75 °C.

**Relación de transformación de un transformador:** Es la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el devanado secundario.

**Aisladores:**

Componente eléctrico diseñado para proporcionar un aislamiento eléctrico seguro entre diferentes partes del transformador y entre el transformador y su entorno.

**Válvula de seguridad:**

Dispositivo de protección diseñado para liberar el exceso de presión que pueda acumularse dentro del transformador debido a condiciones anormales de funcionamiento, como sobrecargas, cortocircuitos internos u otros eventos que puedan causar un aumento repentino de la temperatura y la presión en su interior.

**Indicador de nivel:**

Dispositivo que monitorea y visualiza la cantidad de aceite aislante presente en el tanque del transformador.

**Relé buchholz:**

Es un dispositivo de protección utilizado en transformadores de potencia que funciona detectando y respondiendo a condiciones anormales dentro del transformador, como la presencia de gases o la formación de arco eléctrico. Esto indicado en la norma.

**Deshumecedor:**

Dispositivo diseñado para controlar y reducir el contenido de humedad en el aceite aislante del transformador.

**Termómetro de aceite**

Dispositivo utilizado para medir la temperatura del aceite dieléctrico contenido dentro del tanque del transformador. Este tipo de termómetro es esencial en la monitorización y control de la temperatura en transformadores, ya que el aceite dieléctrico es fundamental para la disipación del calor generado durante el funcionamiento del transformador.

**Pararrayos:**

Dispositivo de protección diseñado para proteger el transformador y sus equipos asociados contra daños causados por sobretensiones transitorias, como las generadas por descargas atmosféricas.

**Transformador de corriente:**

Dispositivo eléctrico utilizado en sistemas de energía eléctrica para reducir la corriente que circula por un circuito de protección a un valor seguro y manejable para los instrumentos de medida y relés de protección.

**Interruptor Termomagnético:**

Dispositivo electromecánico diseñado para proteger un circuito eléctrico contra sobrecargas y cortocircuitos.

## III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis General

La aplicación de diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024 permite la eficiencia del sistema eléctrico.

#### 3.1.2 Hipótesis específica

**HE1:** La aplicación de los parámetros eléctricos del sistema influyen significativamente en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable de la subestación La Planicie, Lima 2024.

**HE2:** La aplicación en la selección técnica de los equipamientos de protección propios influye significativamente en el transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.

**HE3:** La aplicación del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable influye significativamente en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.

### 3.2 Operacionalización de variables

**Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable. Transformador zigzag cargable**

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Método y técnica
<b>Transformador zigzag cargable</b>	De acuerdo a IEEE.C57.32 (2015) Un transformador de puesta a tierra generalmente está clasificado para soportar una corriente de cortocircuito específica durante un período de tiempo específico sin exceder límites de temperatura específicos.	La variable transformador zigzag cargable será medida a través de sus dimensiones diseño de parte activa y prueba especial de impedancia de secuencia cero.	Diseño de parte activa  Prueba especial de Impedancia de secuencia cero	Potencia consumida Perdidas en el fierro Perdidas en el cobre Suministros  Corriente eléctrica Tensión eléctrica Normativas internacionales	Normativa de fabricación IEC 60076	Método: Hipotético deductivo  Técnica: Análisis documental

**Tabla 3 Matriz de operacionalización de la variable. Equipamiento eléctrico**

<b>Variable Independiente</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Método y técnica</b>
<b>Equipamiento Eléctrico</b>	El equipamiento eléctrico se refiere a todos los dispositivos, aparatos y sistemas utilizados en la generación, transmisión, distribución y uso de energía eléctrica fundamentales para el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos.	La variable equipamiento eléctrico será medida a través de sus dimensiones dispositivos de protección internos y dispositivos de protección externas.	Dispositivos de protección internos	Aisladores Conmutador Indicador de nivel Termómetro de aceite Relé buchholz Válvula de seguridad Deshumecedor	Normativa de fabricación IEC 60076	Método: Hipotético deductivo
			Dispositivos de protección externos	Transformadores de corriente Pararrayos Interruptor de BT		

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño metodológico**

#### **ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: CUANTITATIVO**

Según Sampieri (2018), Actualmente, el término cuantitativo representa un conjunto de procesos organizado de manera secuencial para comprobar ciertas suposiciones. Cada fase precede a la siguiente y no podemos eludir pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna etapa. Parte de una idea que se delimita y, una vez acotada, se generan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o perspectiva teórica. De las preguntas se derivan hipótesis y determinan y definen variables; se traza un plan para probar las primeras (diseño, que es como “el mapa de la ruta”); se seleccionan casos o unidades para medir en estas las variables en un contexto específico (lugar y tiempo); se analizan y vinculan las mediciones obtenidas (utilizando métodos estadísticos), y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. [12]

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación de enfoque cuantitativa-descriptiva, ya que se desarrolla en base a los hechos que se observan, efectuando una serie de resultados que se emplearan en las pruebas de laboratorio.

#### **TIPO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA**

Según Caballero Romero 2014, en su libro Metodología integral innovadora para planes y tesis, la resolución practica 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. [13]

De lo expuesto por los autores, el presente trabajo de investigación es del tipo aplicada, pues se validará técnicamente el diseño del equipamiento eléctrico mediante las pruebas eléctricas de laboratorio, en la sala de pruebas de la empresa DELCROSA S.A, cumpliendo con las normativas vigentes que apliquen.

### **NIVEL DE INVESTIGACIÓN: EXPLICATIVA**

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. [14]

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. [15]

El nivel de investigación es explicativo, pues trata de identificar las causas y los efectos que pueden influir en la realización del diseño del equipamiento eléctrico en el transformador eléctrico zigzag cargable generando la eficiencia en el sistema eléctrico y preservando la disponibilidad continua de electricidad en la subestación La Planicie.

### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: NO EXPERIMENTAL DE CORTE TRANSVERSAL**

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014, en su libro Metodología de la investigación, un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. [15]

Además de ser un diseño de investigación transversal dado que recopila datos en un solo momento en el tiempo, sin manipulación de variables o la observación a lo largo del tiempo. Es útil para obtener una instantánea de las características o relaciones entre variables en un momento específico, pero proporciona información sobre el cambio o desarrollo de las variables a lo largo del tiempo.

Este diseño se ajusta a la presente investigación dado que se elaboró en un tiempo limitado y toda la información fue recolectada de los protocolos de pruebas de los transformadores zig zag en la misma empresa DELCROSA S.A y en un solo momento.

## **4.2 Método de investigación**

Según Caballero (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. [14]

El método es hipotético - deductivo ya que utiliza la recolección de datos y el análisis de los parámetros que serán necesarios para la operación óptima del transformador zigzag cargable, además de un conocimiento técnico que son las pruebas de rutina ejecutadas de acuerdo a las normas internacionales, hacia algo específico que me permita validar el diseño de la máquina para poder analizar los parámetros eléctricos y comprobar el resultado de mi hipótesis.

## **4.3 Población y muestra**

Según Hernández Sampieri et al (2014), la población es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. La muestra es el subgrupo de la población en el que todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser elegidos. [16]

### **4.3.1 Población**

Según Supo (2014) Es el conjunto de todas las unidades de estudio (sujetos u objetos) cuya característica observable o reacción que pueden expresar nos interesa estudiar. Las poblaciones deben situarse claramente en torno a sus

características de contenido, lugar y tiempo a lo cual se le denomina marco muestral. [17]

En el presente proyecto de investigación, la población finita estará constituida por 20 transformadores trifásicos tipo zigzag de distribución sumergidos en aceite con potencias menores a 1250kVA y tensiones hasta 36kV fabricados y probados en el laboratorio de pruebas de la empresa DELCROSA S.A

#### **4.3.2 Muestra**

Según Supo (2014) La muestra es una estrategia metodológica y estadística que utilizamos cuando luego de realizar nuestro análisis de factibilidad encontramos que no podemos acceder a la población [...]. [17]

Bernal, C. (2013) en su libro “Metodología de la Investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales”, la muestra: “Es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información para el desarrollo del estudio y sobre la cual se efectuaran la medición y la observación de las variables objeto de estudio” (p. 161). [18]. Por la tanto la muestra está formada por los transformadores trifásicos de distribución tipo zigzag fabricados en la empresa DELCROSA S.A, que se deduce mediante la siguiente fórmula:

En el presente proyecto de investigación, la población es igual a la muestra, esta refleja adecuadamente las características de la población. por el cual está constituida por los 20 transformadores zigzag de distribución sumergidos en aceite elegidos bajo una misma normativa de fabricación IEC 60076 que se encuentran fabricados en la empresa DELCROSA S.A.

#### **4.4 Lugar del estudio y periodo desarrollado.**

La presente investigación se realiza en base de datos recopilados Perteneiente a la empresa “DELCROSA S.A”, ubicada en Lima-2024.

#### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

Según Hernández Sampieri et al (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. [16]

**Análisis documental:** Son los protocolos de rutina de transformadores fabricados de similares características y revisión de las normas internacionales.

**Observación experimental:** inspección del equipamiento eléctrico y el transformador zigzag cargable bajo prueba eléctrica, verificando mediante los equipos de medición vinculantes los parámetros eléctricos que se necesitan para la prueba respectiva, esto realizado en la sala de pruebas la empresa DELCROSA S.A.

#### **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. [13]

Según el autor, un instrumento válido para nuestra investigación debe reflejar las variables de la matriz de Operacionalización, esto se cumple mediante los protocolos de prueba ejecutados en la empresa DELCROSA S.A con los instrumentos o equipos utilizados en las pruebas que están debidamente calibrados con sus respectivos certificados.

#### **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. [16]

#### **4.6 Análisis y procedimientos de datos**

Según Sampieri (2014); Define el análisis de datos como el proceso de examinar, limpiar, transformar e interpretar los datos recolectados durante la investigación. El análisis de datos implica la aplicación de técnicas estadísticas y herramientas de software para identificar patrones, tendencias y relaciones en los datos. [12]

Los datos serán procesados en un protocolo de pruebas eléctricas mediante el software Excel 2016, con ayuda de protocolos de rutina se podrá facilitar y agilizar la labor de cálculo. Luego se utilizará las normas técnicas internacionales para validar si los valores obtenidos están de acuerdo a lo exigido.

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

Koepsell y Ruiz en su libro “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. La responsabilidad por el bien de la ciencia significa que otros científicos pueden confiar en que los autores saben tanto como sea posible acerca de su propio trabajo, que comprobaron que sus palabras lo representan adecuadamente y que todos asumen la responsabilidad personal tanto por sus contribuciones como por la obra en su conjunto. Cuando la verdadera fuente de las palabras o los datos no se da a conocer correctamente, entonces el autor falta a la confianza y el deber hacia la comunidad de científicos y viola el principio ético de la comunidad, al no tomar en cuenta la necesidad de que otros investigadores pueda probar y verificar el estudio, así como conocer en la veracidad de lo que leen. (p.61)

El autor involucrado en el estudio es responsable de la veracidad de la información presentada en la tesis titulada “DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE EN LA SUBESTACIÓN LA PLANICIE, LIMA-2024”, que se realizó siguiendo las normas de la Universidad Nacional del Callao.

## V. RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

En el presente capítulo se procede con el análisis de los datos **de la variable equipamiento eléctrico y sus dimensiones con la variable dependiente transformador zigzag cargable**, mediante el cálculo justificativos a través del Excel 2016 y las normativas de fabricación vigentes.

#### 5.1.1 Análisis descriptivo de la variable independiente equipamiento eléctrico

Se procede analizar los dispositivos de protección interna y externa de nuestro transformador zigzag cargable con la finalidad de validar técnicamente su selección técnica cumpliendo las normativas vigentes.

##### 5.1.1.1 Análisis descriptivo de los dispositivos de protección internos

###### AISLADOR AT:



Figura 20: Aislador AT.

Fuente: Delcrosa S.A

###### \*Selección de la corriente Nominal en estado permanente:

Sabemos que la potencia del transformador zigzag en estado transitorio se calcula de la siguiente manera:

$$Pot\ zigzag - estado\ permanente(kVA) = \sqrt{3} * VL - L * \frac{310}{3} * \phi$$

**VL-L:** Tensión nominal de placa en kV (**A solicitud del cliente 33kV**)

**3Io:** Corriente de falla monofásica por el neutro (**A solicitud del cliente 800A**)

$\emptyset$ (%): Se obtiene de la tabla 14 de la norma **C57.32.2015**. Se selecciona en función del tiempo de duración de la falla (**A solicitud del cliente t:10 segundos**) que quiere decir normativamente **3%**.

**Tabla 4** Servicio continuo en porcentaje de la clasificación de corriente térmica para transformadores de puesta a tierra

Rated time	Continuous duty in percent of thermal current rating (%)
10 s	3
1 min	7
10 min	30
Extended time	30

Fuente: IEEE Std C57.32™-2015

Ahora:

*\*Pot zigzag – estado perm. = 457.26kVA*

*\*Pot serv. auxil. = 300kVA(A pedido del cliente)*

Entonces tenemos:

***Pot total zig zag cargable = Pot zigzag – estado perm. + Pot serv. auxil.***  
***=757.26kVA***

Para el cálculo de la corriente nominal total en estado permanente AT del transformador zigzag cargable necesitamos la corriente nominal permanente del zigzag y la corriente de aporte de la BT al zig zag:

Sabemos:

$$IN \text{ permanente } z - z(A) = \left( \frac{\text{Pot zigzag – estado perm.}}{2} \right) \frac{1}{VL - L}$$

*IN permanente z – z = 6.92A*

$$IN (Z - Z/BT)(A) = \left( \frac{Pot\ serv.\ auxil.}{\sqrt{3} * VL - L} \right) * 1000$$

$$IN (Z - Z/BT) = 5.24A$$

Entonces:

$$I\ total\ zig\ zag\ cargable(A) = IN\ permanente\ z - z(A) + IN (Z - Z/BT)(A) \\ = 12.17A$$

**\*Selección de la Corriente Nominal en estado transitorio:**

El aislador seleccionado debe soportar la corriente de falla del transformador de **800A(A pedido del cliente)**. De acuerdo a la normativa IEC 60137, indica que **I<sub>th</sub>** debe ser 25 veces la I<sub>r</sub> a 2 segundos y esta determinada por la siguiente relación:

$$I_{th}^2 * t_{th} = constante$$

Tenemos I<sub>r</sub>:250A(Corriente asignada del aislador AT),soporta una corriente de falla a 2 segundos y una corriente transitoria de 800A que persiste hasta 10 segundos.**Entonces dada la relación anterior se demuestra que el aislador seleccionado soporta a 10 segundos una corriente de falla de 2.79kA lo cual cumple la corriente de falla a limitar de 800A por lo tanto es conforme técnicamente su selección.**

**\*Tensión Max y niveles de voltaje de prueba:**

En la **tabla 2** de la norma **IEC 60076-3** muestra los valores de tensión y pruebas normalizadas.De acuerdo a lo solicitado por el cliente la tensión nominal del transformador zigzag cargable en AT es de **33kV por ello la tensión máx es 36kV con una prueba de tensión aplicada(AC) reforzada 95kV y BIL:200kvp lo cual cumple técnicamente,asi mismo validado en las pruebas dieléctricas de rutina en el laboratorio.**

**Tabla 5 Niveles de voltaje de pruebas**

Highest Voltage for equipment winding $U_m$ kV	Full Wave Lightning Impulse (LI) kV	Chopped Wave Lightning Impulse (LIC) kV	Switching impulse (SI) kV	Applied voltage or line terminal AC withstand (AV) (LTAC) kV
<1,1	–	–	–	3
3,6	20	22	–	10
	40	44	–	10
7,2	60	66	–	20
	75 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	–	20
12	75	83	–	28
	95	105	–	28
	110 <sup>a</sup>	121 <sup>a</sup>	–	34 <sup>a</sup>
17,5	95	105	–	38
	125 <sup>a</sup>	138 <sup>a</sup>	–	38
24	125	138	–	50
	145	160	–	50
	150 <sup>a</sup>	165 <sup>a</sup>	–	50
36	170	187	–	70
	200 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	–	70
52	250	275	–	95
72,5	325	358	–	140
	350 <sup>a</sup>	385 <sup>a</sup>	–	140
100	450	495	375 <sup>a</sup>	185
123	550	605	460 <sup>a</sup>	230
145	550	605	460 <sup>a</sup>	230
	650	715	540 <sup>a</sup>	275

Fuente: IEC 60076-3,2013

Además revisando la **tabla4: espacios libres mínimos en aire de la IEC 60076-3** validamos técnicamente la separacion escogida entre fases(valor en mm) de los aisladores de AT del transformador zigzag cargable.El transformador trabajará a una altura de trabajo menor a 1000 m.s.n.m (**Ubicación subestación La Planicie**),en el cual a una clase de 36kV y un BIL 200kvp (solicitado por el cliente) le corresponde una distancia entre fases y fase a tierra (línea de arco) de 380mm como mín.El plano constructivo del transformador indica 440 mm lo cual cumple la normativa.

**Tabla 6** Espacios libres mínimos en aire

Highest Voltage for equipment $U_m$ kV	Full Wave Lightning Impulse (LI) kV	Switching impulse (SI) kV	Minimum air clearance	
			Line to earth mm	Phase to phase mm
<1,1	-	-		
3,6	20	-	60	60
	40	-	60	60
7,2	60	-	90	90
	75 <sup>a</sup>	-	120	120
12	75	-	120	120
	95	-	160	160
	110 <sup>a</sup>	-	200 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>
17,5	95	-	160	160
	125 <sup>a</sup>	-	220	220
24	125	-	220	220
	145	-	270	270
	150 <sup>a</sup>	-	280 <sup>a</sup>	280 <sup>a</sup>
36	170	-	320	320
	200 <sup>a</sup>	-	380	380
52	250	-	480	480
72,5	325	-	630	630
	350 <sup>a</sup>	-	630	630

Fuente: IEC 60076-3,2013

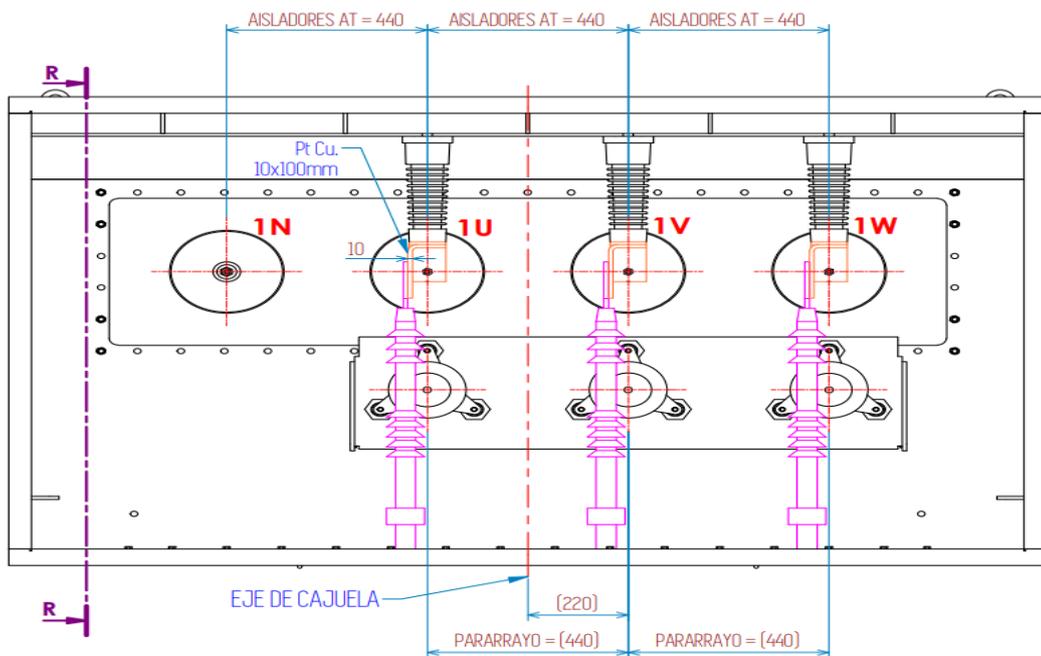


Figura 21: Plano de distancia entre fases en AT.

Fuente: Delcrosa S.A

**\*Selección de la Línea de fuga del aislador AT:**

De acuerdo a lo indicado por el cliente el transformador operará es un ambiente agresivo de alta polución es por ello que **según indica la normativa IEC 60815 para este tipo de ambiente la línea de fuga específica es de 31mm/kV y es valor que debe cumplir el aislador de AT:**

$$Lfuga(mm) = Lfuga\ específica * Vmáx$$

$$Lfuga = 1074.15\ mm$$

Por lo tanto el aislador cumple técnicamente **la línea de fuga** dado que dispone de un valor de 1116mm(ver catálogo) cumpliendo la normativa de fabricación.

**Tabla 7** Distancia de fuga específica mínima especificada en función al nivel de polución del ambiente

Pollution level	Minimum nominal specific creepage distance <sup>1)</sup> (mm/kV <sup>2)</sup> )
I - Light	16
II - Medium	20
III - Heavy	25
IV - Very heavy	31

<sup>1)</sup> For the actual creepage distance, the specified manufacturing tolerances are applicable (see I E C Publication 273 : Dimensions of Indoor and Outdoor Post Insulators and Post Insulator Units for Systems with Nominal Voltages Greater than 1 000 V, I E C Publication 305 : Characteristics of String Insulator Units of the Cap and Pin Type, I E C Publication 433 : Characteristics of String Insulator Units of the Long Rod Type, and I E C Publication 720 : Characteristics of Line Post Insulators).  
<sup>2)</sup> Ratio of the leakage distance measured between phase and earth over the r.m.s. phase to phase value of the highest voltage for the equipment (see I E C Publication 71-1).

Fuente: IEC 60815

**Interpretación:**

El aislador AT:52kV,250A,AC:95KV,BIL:250kV,Línea de fuga 1116 mm seleccionado para el transformador zigzag cargable cumple técnicamente las normativas internacionales **IEC60076-3,IEC60137 e IEC 60815.**

## AISLADOR BT:

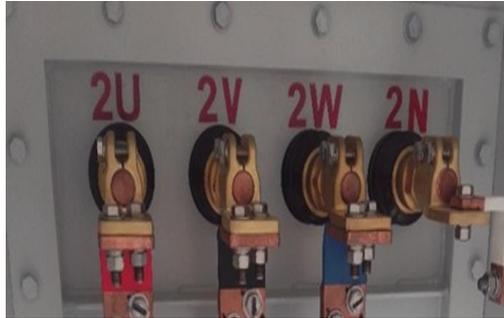


Figura 22: Aislador BT.

Fuente: Delcrosa S.A

### \*Selección de la corriente Nominal en estado permanente:

Sabemos que la potencia de servicios auxiliares es de **300kVA (A solicitud del cliente)** que viene hacer la potencia BT, además dispone de una tensión en vacío de **380V(A solicitud del cliente)** con ellos se calculó la corriente nominal en BT de la siguiente manera:

$$IN_{BT}(A) = \frac{Pot. serv aux.}{\sqrt{3} * VL - L}$$

$$IN_{BT} = 455.8A$$

### \*Selección de la tensión máx. y niveles de voltaje de prueba:

En la **tabla 2** mostrada anteriormente de la norma **IEC 60076-3** muestra los valores de tension y pruebas normalizadas. De acuerdo a lo solicitado por el cliente la tension nominal del transformador zigzag cargable en **BT** es **0.38kV** por ello la tensión máx de **1.1 kV** con una prueba de tensión aplicada(AC) **10kV** y **BIL:20kvp** lo cual cumple técnicamente, esto validado en las pruebas dieléctricas de rutina en el laboratorio.

También revisando la **tabla4:espacios libres mínimos en aire de la IEC 60076-3**, validamos técnicamente la separación escogida entre fases (valor en mm) de los aisladores de BT del transformador zigzag cargable. El transformador trabajará a una altura de trabajo menor a 1000 m.s.n.m (**Ubicación subestación La Planicie**), en el cual a una clase de 1.1kV y un BIL 20kvp (solicitado por el cliente) le corresponde una distancia entre fases y fase a tierra (línea de arco) de 60mm como mín. El plano constructivo del transformador indica 140 mm lo cual cumple la normativa.

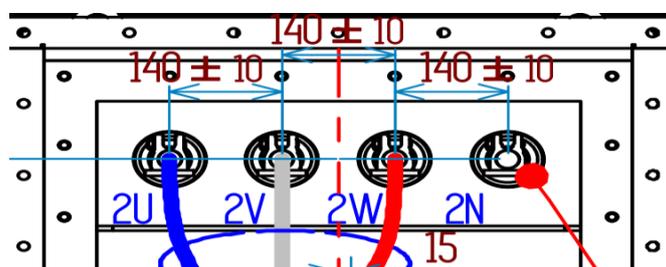


Figura 23: Plano de distancia entre fases en BT.

Fuente: Delcrosa S.A

**\*Selección de la línea de fuga del aislador BT:**

De acuerdo a lo indicado por el cliente el transformador operará en un ambiente agresivo de alta contaminación, es por ello que **según la normativa IEC 60815**, indicada anteriormente para este tipo de ambiente la línea de fuga específica es de 31mm/kV y es la que debe cumplir el aislador de AT:

$$L_{fuga}(mm) = L_{fuga\ específica} * V_{m\acute{a}x}$$

$$L_{fuga} = 34.1mm$$

Por lo tanto el aislador cumple técnicamente la línea de fuga dado que dispone de un valor de 80mm cumpliendo la normativa.

### Interpretación:

El aislador BT:1.1kV,1000A,AC:10KV,BIL:20Kv,Linea de fuga 80 mm seleccionado para el transformador zigzag cargable cumple técnicamente las normativas internaciones **IEC60076-3,IEC60137 e IEC 60815.**

### CONMUTADOR DE TAPS EN VACIO:



Figura 24: Conmutador de tensión.

Fuente: Delcrosa S.A

Dado el tipo, diseño y condiciones de trabajo del transformador zigzag cargable el conmutador cumple lo siguiente:

**\*Por el tipo y el medio de trabajo:** De acuerdo a la **IEC 60076-1** el conmutador se nombra técnicamente como **DETC** (cambiador de tomas desenergizado), dispositivo para cambiar las conexiones de toma de un devanado, adecuado para funcionar solo mientras el transformador está desenergizado (aislado del sistema). **El modelo elegido cumple.**

De acuerdo a la **IEC 60076-2**, **Cumplimos el método de enfriamiento del transformador solicitado por el cliente, ONAN:**

**O:** Medio de enfriamiento interno es **aceite mineral** con punto de inflamación menor o igual a 300 °C.El transformador zig zag dispone de aceite **ERGON HYVOLT I** que de acuerdo a la **IEC 60296** el aceite es del **tipo mineral, no inhibido, tipo U** (aceite aislante mineral que no contiene inhibidores de

oxidación ni otros aditivos antioxidantes, según su pedido es **TVBU** (ver tabla 1 de la norma IEC 60296), método de prueba según **IEC 60156** (utilizado para determinar la rigidez dieléctrica o voltaje de ruptura del aceite aislante mediante el equipo **Espinterómetro GlobeCore TOR-80, N° 0144 (fiabilidad de los resultados de las mediciones demostrado mediante su certificado de calibración) y nafténico**(aceite mineral derivado del petróleo crudo).

**Tabla 8** Significado de los códigos de letras identificativas en la designación de pedido de aceite mineral según IEC 60296

<b>First Letter = Equipment</b>	<b>T</b> – Transformer	<b>S</b> – Switchgear	
<b>Second Letter = Declaration</b>	<b>V</b> – Unused (Virgin)	<b>R</b> – Recycled	
<b>Third Letter = Type</b>	<b>A</b> – Specification Type A	<b>B</b> – Specification Type B	
<b>Fourth Letter = Antioxidant</b>	<b>I</b> – inhibited	<b>U</b> – uninhibited	<b>T</b> – trace inhibited

Fuente: IEC 60296

<b>Medida de la rigidez dieléctrica del aceite (3*)</b>	
Temperatura ambiente (Tamb):	25°C
Clase	Aceite mineral
Referencia	HYVOLT I
Tensión de ruptura (kV)	58.6
Método	IEC 60156

Figura 25: Medida de la rigidez dieléctrica del aceite realizada en las pruebas de laboratorio.

Fuente: Delcrosa S.A



Figura 26: Instrumento de medición: Espinterómetro GlobeCore TOR-80, N° 0144

Fuente: Delcrosa S.A

**N:** Mecanismo de circulación para el medio de refrigeración interno por flujo natural de termosifón a través de equipos de refrigeración y en devanados.

**A:** Medio de refrigeración externo es el aire.

**N:** Mecanismo de circulación para medio de refrigeración externo de convección natural.

**El conmutador es compatible con el aceite mineral y exigencias mencionadas por lo tanto cumple el requerimiento del cliente y normativas vigentes de fabricación.**

**\*Por el diseño:**

El conmutador elegido debe cumplir las pruebas dieléctricas de laboratorio, así como las condiciones eléctricas de trabajo, es así que según las **IEC 60214-1** exige las siguientes características nominales para su selección:

**-Corriente nominal máxima:** El transformador dispone de una corriente nominal de **12.17A**, el conmutador dispone de una corriente de **300A**, cumpliendo eléctricamente y mecánicamente ya que se necesita de un transformador robusto que soporte las sobretensiones del sistema eléctrico en condiciones de estado permanente y transitorio.

**-Tensión de paso nominal máxima:** De acuerdo a lo solicitado por el cliente el transformador zigzag cargable dispone de **7 taps de regulación de tensión (+2x2.5%, -4x2.5%)**, con ello permite utilizar el transformador en cualquier subestación según tensión (sobretensión o subtensión) de la red eléctrica. Para nuestro transformador que trabajará en la subestación La Planicie, la tensión nominal es 33kV (TAP 3), el tap superior es 34.65kV(TAP 1) y el tap inferior es 29.7kV(tap7), dada la premisa se selecciona un conmutador de 7 posiciones de **52kV(Tensión máx. del conmutador) este con doble piso debido a la configuración del diseño por tema de esfuerzos eléctricos que sufrirá el bobinado al momento de las pruebas dieléctricas en laboratorio.** La regulación de tensión de los taps del transformador lo validamos con la **prueba**

**de relación de transformación** (Permite confirmar que la relación de voltaje entre las bobinas primarias y secundarias del transformador coincide con la especificada por el fabricante comparando con las espiras de diseño del transformador). Esto es crucial para asegurar que el transformador entregue el voltaje correcto a la carga. Se ejecuta en la prueba de rutina con el equipo **Analizador Tettex 2293, N° 180847 (fiabilidad de los resultados de las mediciones demostrado mediante su certificado de calibración)** comparando los valores teóricos y los valores garantizados.

Medida de la Relación de Transformación (2*) Tol. ±0.5%					
Tap	Teorico	Fase U	Fase V	Fase W	Resultado
1	52.645	52.698	52.684	52.655	Conforme
2	51.392	51.411	51.367	51.366	Conforme
3	50.138	50.205	50.153	50.153	Conforme
4	48.885	48.917	48.863	48.869	Conforme
5	47.631	47.707	47.657	47.668	Conforme
6	46.378	46.414	46.378	46.384	Conforme
7	45.124	45.200	45.166	45.167	Conforme



Elaborado por:  
Ing. Víctor Callupe Granados  
CIP. 101681  
Fecha 25/01/2023

Figura 27: Relación de transformación medida en la prueba de rutina en el laboratorio de pruebas eléctricas.

Fuente: Delcrosa S.A



Figura 28: Instrumento de medición: Analizador Tettex 2293, N° 180847

Fuente: Delcrosa S.A

**-Frecuencia nominal:** De acuerdo al requerimiento del cliente el transformador debe operar a una frecuencia de **60Hz** lo cual cumple en el diseño del transformador.

**HOJA DE CALCULO E S P E C I F I C A C I O N E S TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE**

POTENCIA TOTAL (KVA)	757	POTENCIA ZIG ZAG FALLA (KVA)	15242.0			DEVANADO AUXILIAR	SI		
		POTENCIA ZIG ZAG ESTACIONARIO (KVA)	457.3			POTENCIA AUX. (KVA)	300		
		VOLTAJE NOMINAL ZIG-ZAG (V)	33,000			VOLTAJE AUX. (V)	380		
		CORRIENTE DE FALLA NEUTRO (A)	800			CORRIENTE DEVANADO AUX. (A)	455.8		
		CORRIENTE CONTINUO NEUTRO (A)	24			CONEXION	Y		
		TIEMPO (SEG)	10			TIEMPO (SEG)	2		
		TAP SUPERIOR	2	X	2.5				
TAP INFERIOR	5	X	2.5						
FRECUE N. NOM.	60	BIL/AT	250	BIL/AT	60	BIL BT(KVp)	20	CANTIDAD	1
		VOLTAJE ZIG	11550	VOLTAJE ZAG	11550	VOLTAJE BT.	380	N°H.CALC	EXP
		CONEXION	Y	CONEXION	Y	CONEXION	Y	TECE	XX
						SECC.N	446.8	SECC.C	446.8
IN	ESCALON	DIAMETRO	INDUCC.	LONG.B.	ENTREEJE	v/e	SECC.N	SECC.C	
13.15	5	265	13.15	360	645	15.6716	446.8	446.8	

Figura 29: Hoja de cálculo para transformadores zigzag cargables

Fuente: Propia

**-Nivel de aislamiento nominal:** El nivel de aislamiento solicitado por el cliente es de AC:95kV y BIL 250kvp.El conmutador se seleccionó de acuerdo al requerimiento cumpliendo los valores de tensiones requeridas, **estas se validan en las pruebas dieléctricas de tensión aplicada y tensión inducidas según la IEC 60076-3 reflejadas en el protocolo de pruebas realizadas en el laboratorio de pruebas.**

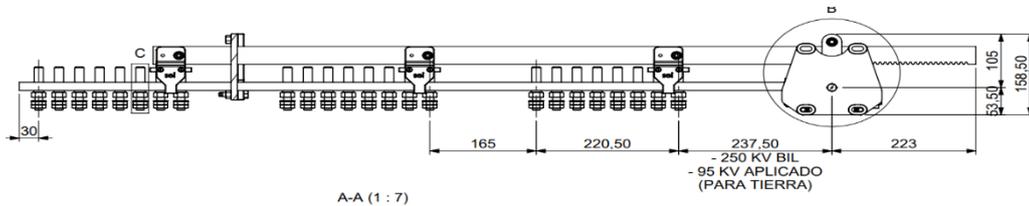


Figura 30: Distancias eléctricas de seguridad de conmutador

Fuente: Fabricante SEI, plano DTC.2022.PP.258

Ensayo de tensión inducida (1*)				Ensayo de tensión aplicada (1*)			
Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Resultado	Aplicación	Voltaje (kV)	Tiempo (s)	Resultado
800	400	18	Conforme	AT / Masa	95	60	Conforme
				BT / Masa	2.2	60	Conforme

Figura 31: Pruebas dieléctricas de tensión aplicada e inducida realizadas en el laboratorio de pruebas

Fuente: Fabricante SEI, plano DTC.2022.PP.258

### Interpretación:

El conmutador DETC TAP CHANGER DOUBLE V3N(G) 300A 52kV 07P VA110, plano DTC.2022. PP.258 seleccionado para el transformador zigzag cargable cumple técnicamente las exigencias indicadas en las normativas **IEC 60214-1, IEC60076-1, IEC 60076-2, IEC60076-3, IEC 60296 e IEC 60156** y fue validado en las pruebas de rutina en el laboratorio de pruebas eléctricas.

### INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE:



Figura 32: Indicador de nivel magnético.

Fuente: Delcrosa S.A

El cliente solicitó la siguiente especificación técnica a cumplir del indicador de nivel: Indicador de nivel de aceite montado en el tanque conservador, con manecilla indicadora de máxima temperatura y contactos (dos contactos auxiliares para indicación) de alarma y disparo y Categoría de corrosión ambiental: **C5-M**. Alimentación del tablero de SS.AA. del cliente 220VCC y 220 VAC para circuito de iluminación y calefacción.

Dada la premisa se seleccionó el indicador de nivel de aceite del tipo magnético de **modelo 408-100-02-2-1-2 de la marca VIAT:**

SIZE :-							
ID	TYPE	A	B	C	D	D1	E
100	M 100	Ø65	Ø103	45°	Ø85	Ø7.5	22
140	M 140	Ø100	Ø140	30°	Ø125	Ø7.5	22

Figura 33: Tamaño del indicador de nivel magnético.

Fuente: Fabricante VIAT

SWITCH TYPES:-

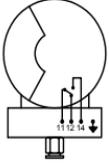
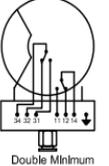
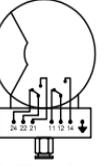
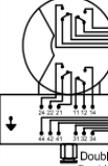
ID	01	02	03	04	05
Model No.	408.XXX.01	408.XXX.02	408.XXX.03	408.XXX.04	408.XXX.05
DETAILS	 (Min cont.)	 (Min & Max cont.)	 Double Minimum cont. (alarm & trip)	 Double MIN cont. (Simultaneously)	 Double MIN cont. + Double MAX cont.

Figura 34: Tipos de contactos

Fuente: Fabricante VIAT

Para este caso el cliente solicitó que se disponga de dos contactos auxiliares para indicación de alarma y disparo entonces al modelo elegido **se le complementa relés replicadores de señal Marca Artech** (relés auxiliares instantáneos monoestables, cuyos contactos de salida pasan instantáneamente de la posición de reposo a la de trabajo cuando se alimenta su bobina, volviendo esos contactos a la posición inicial de reposo cuando la bobina deja de alimentarse) esto para cumplir la especificación técnica.

Quedando los contactos del indicador de nivel de la siguiente manera:

**Contactos inherentes al equipo:**

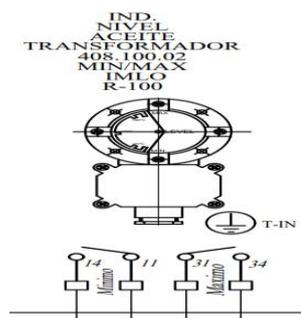


Figura 35: Contactos estándar del indicador de nivel

Fuente: Fabricante VIAT

**Contactos inherentes al equipo adicionando los replicadores de señal auxiliar rápido tipo RF4R (con 2 contactos conmutables, 220 VCC):**

Con ellos cumplimos la condición solicitada por el cliente de **dos contactos auxiliares para indicación) de alarma y disparo.**

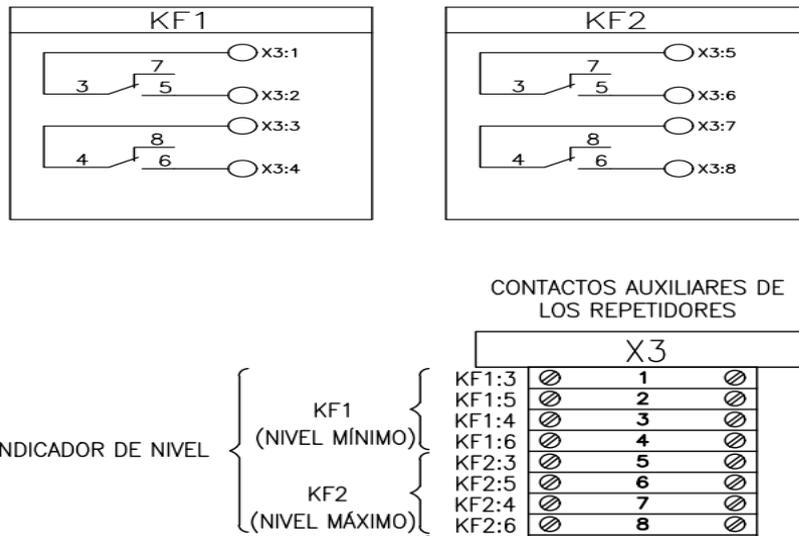


Figura 36: Contactos auxiliares (relé arteche, modelo RF4R)

Fuente: Propia

Tipo de dial seleccionado para la conexión min y Max del indicador de nivel:

DIAL TYPES:-

ID	1	2	3	4
Dial No.	40822	40822A	40822B	40822C
DETAILS				

Figura 37: Dial tipo 02

Fuente: Fabricante VIAT

\*Tipo de empaquetadura seleccionado es **tipo NBR** dado que soporte hasta **110°** y esta cumple la normativa **IEC60076-2** en el cual la clase térmica del transformador zigzag cargable es **Ao:105°C**.

GASKET TYPES:-

ID	GASKET
0	CORK
1	NBR
2	FVMQ

Figura 38: Empaquetadura NBR del indicador de nivel

Fuente: Fabricante VIAT

Dado el lugar de trabajo del transformador zigzag cargable la clase de protección ambiental solicitada por el cliente es **C5M lo cual cumple técnicamente el indicador de nivel seleccionado según la normativa ISO 12944-2.**

**Tabla 9** Cuadro de ambiente corrosivos según norma ISO12944-2

Ambiente	Sistema de Pintura		Espesor total	
	Código	Durabilidad	micras	mils
C3	C3.05	Media	120	4.7
	C3.06	Alta	180	7.1
	C3.07	Muy Alta	240	9.4
C4	C4.05	Media	180	7.1
	C4.06	Alta	240	9.4
	C4.07	Muy Alta	300	11.8
C5	C5.05	Media	240	9.4
	C5.06	Alta	300	11.8
	C5.07	Muy Alta	360	14.2

Fuente: norma ISO12944-2

ENVIRONMENT

ID	PROTECTION CLASS
1	C4
2	C5M

Figura 39: Clase de protección ambiental del indicador de nivel

Fuente: Fabricante VIAT

## TERMÓMETRO DE ACEITE:



Figura 40: Termómetro de aceite.

Fuente: Delcrosa S.A

El cliente solicitó la siguiente especificación técnica a cumplir del termómetro de aceite: Indicador de temperatura de aceite, con dos contactos auxiliares para indicación de alarma y disparo y Categoría de corrosión ambiental: C5-M. Alimentación del tablero de SS.AA. del cliente 220VCC y 220 VAC para circuito de iluminación y calefacción.

Dada la premisa se seleccionó el termómetro de aceite de **modelo TESS-R-100-F de la marca CEDASPE:**

TIPO / <i>Type</i>	Dn	d1	d2	H	bulbo	Cod.
TESS-R-100-F	100	114	95	80	F	TE10SS0R0F
TESS-R-100-PK	100	114	95	80	PK	TE10SS0R0PK

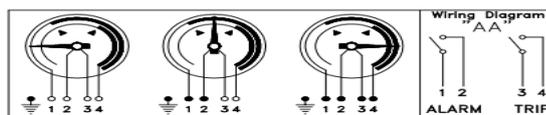


Figura 41: Tipos de contactos

Fuente: Fabricante CEDASPE

Para este caso el cliente solicitó que se disponga de dos contactos auxiliares para indicación de alarma y disparo entonces al modelo elegido **se le complementa relés replicadores de señal Marca Arteché** (relés auxiliares instantáneos monoestables, cuyos contactos de salida pasan instantáneamente de la posición de reposo a la de trabajo cuando se alimenta su bobina, volviendo

esos contactos a la posición inicial de reposo cuando la bobina deja de alimentarse) esto para cumplir la especificación técnica.

Quedando los contactos del termómetro de aceite de la siguiente manera:

**Contactos inherentes al equipo:**

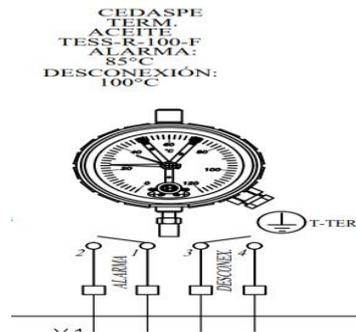


Figura 42: Contactos estándar del termómetro de aceite

Fuente: Fabricante CEDASPE

**Contactos inherentes al equipo adicionando los replicadores de señal auxiliar rápido tipo RF4R (con 2 contactos conmutables,220 VCC):**

Con ellos cumplimos la condición solicitada por el cliente de **dos contactos auxiliares para indicación) de alarma y disparo.**

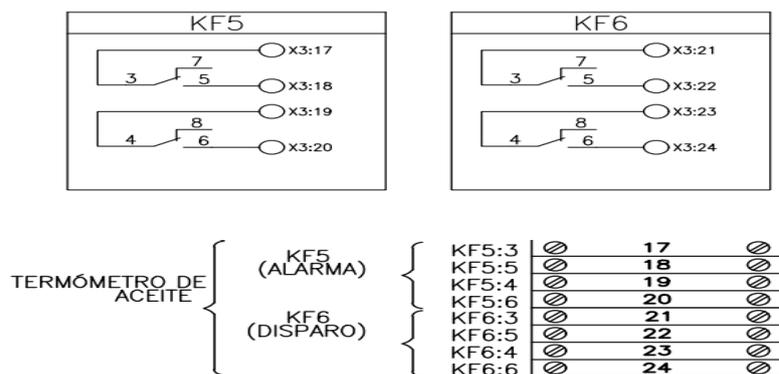


Figura 43: Contactos auxiliares (relé Arteche, modelo RF4R)

Fuente: Propia

\*Tipo de empaquetadura seleccionado es el **tipo NBR** dado que soporte hasta **110°** y esta cumple la normativa IEC60076-2 en el cual la clase térmica del

transformador zigzag cargable es  $A_o:105^{\circ}C$ , Siendo los valores de seteo: alarma  $85^{\circ}C$  y disparo  $100^{\circ}C$ .

\*Dado el lugar de trabajo del transformador zigzag cargable la clase de protección ambiental solicitada por el cliente es **C5M** lo cual cumple técnicamente el termómetro de aceite seleccionado según la normativa ISO 12944-2.

### RELÉ BUCHHOLZ:

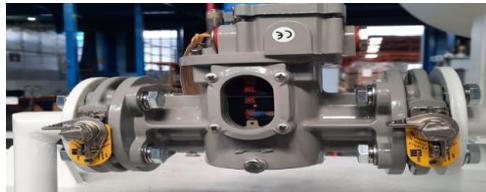


Figura 44: Relé buchholz.

Fuente: Delcrosa S.A

El cliente solicitó la siguiente especificación técnica del rele buchholz: Dispone de válvulas de aislamiento a lado y lado, con dos contactos auxiliares para indicación Categoría de corrosión ambiental: C5-M. Alimentación del tablero de SS.AA. del cliente 220VCC y 220 VAC para circuito de iluminación y calefacción.

Dada la premisa se seleccionó el termómetro de aceite de **modelo EB025 de la marca CEDASPE:**

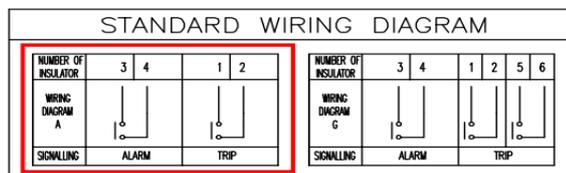


Figura 45: Tipos de contactos

Fuente: Fabricante CEDASPE

Para este caso el cliente solicitó que se disponga de dos contactos auxiliares para indicación de alarma y disparo entonces al modelo elegido **se le complementa relés replicadores de señal Marca Artech** (relés auxiliares instantáneos monoestables, cuyos contactos de salida pasan instantáneamente de la posición de reposo a la de trabajo cuando se alimenta su bobina, volviendo esos contactos a la posición inicial de reposo cuando la bobina deja de alimentarse) esto para cumplir la especificación técnica.

Quedando los contactos del relé buchholz de la siguiente manera:

**Contactos inherentes al equipo:**

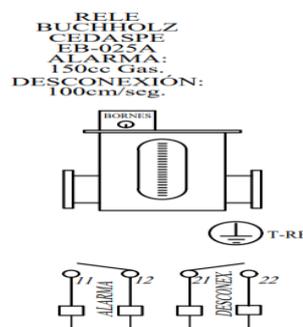


Figura 46: Contactos estándar del relé buchholz

Fuente: Fabricante CEDASPE

**Contactos inherentes al equipo adicionando los replicadores de señal auxiliar rápido tipo RF4R (con 2 contactos conmutables, 220 VCC):**

Con ellos cumplimos la condición solicitada por el cliente de **dos contactos auxiliares para indicación) de alarma y disparo**

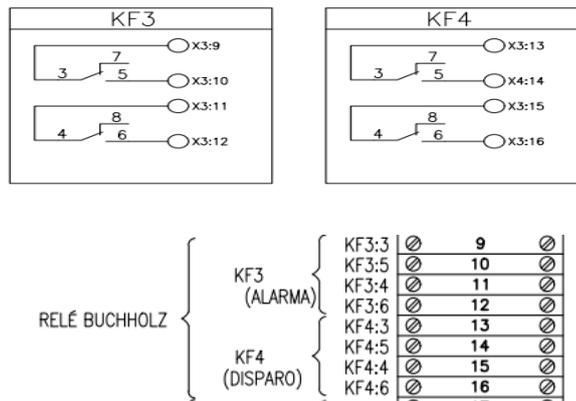


Figura 47: Contactos auxiliares (relé arteche, modelo RF4R)

Fuente: Propia

\*Tipo de empaquetadura seleccionado es el **tipo NBR** dado que **soporte hasta 110°** y **esta cumple la normativa IEC60076-2** en el cual la **clase térmica del transformador zigzag cargable es Ao:105°C**, Siendo los valores de **seteo:alarma 150 cc gas y disparo 100cm/seg.**

\*Dado el lugar de trabajo del transformador zigzag cargable la clase de protección ambiental solicitada por el cliente es **C5M** lo cual **cumple técnicamente el relé buchholz seleccionado y la normativa ISO 12944-2.**

\*El tamaño escogido del rele buchholz esta basada en la tabla del fabricante CEDASPE (**Normativa EN50216**) en donde se tiene la relación modelo vs cantidad de aceite del transformador.

**La cantidad disponible de aceite en el tanque del transformador según diseño es 1580kg, entonces le corresponde el modelo EB025, por lo tanto es conforme técnicamente la selección del rele buchholz.**

**Tabla 10** cuadro de selección de modelo de rele buchholz según norma EN50216

<i>Tube size/Diametro nominale</i>		<i>Oil weight / Massa olio</i>	
DN		<i>from / da</i>	<i>upto / fino a</i>
mm		kg	kg
<i>small transf / piccoli trasf</i>		<i>800 (size/mod. "0C - 0CF - T0")</i>	
25		800	1600
50		2500	10000
80		10000	35000
100		oltre	35000

Fuente: EN50216

### VALVULA DE SEGURIDAD:



Figura 48: Válvula de seguridad.

Fuente: Delcrosa S.A

El cliente solicitó la siguiente especificación técnica de la valvula de seguridad: Dispositivo de alivio de sobrepresión, con dos contactos auxiliares para indicación de disparo y Categoría de corrosión ambiental: C5-M. Alimentación del tablero de SS.AA. del cliente 220VCC y 220 VAC para circuito de iluminación y calefacción.

Dada la premisa se seleccionó la válvula de seguridad de **modelo 50T** de la **marca VIAT**:

<b>Switch Operation</b>	<b>Specification</b>
<p>BEFORE OPERATION</p>	AC 15; A 300 (Ue=240V, Ie=3A)/
<p>AFTER OPERATION</p>	DC 13; Q 300 (Ue=250V, Ie=0.27A)

Figura 49: Tipos de contactos

Fuente: Fabricante VIAT

Para este caso el cliente solicitó que se disponga de dos contactos auxiliares para indicación de disparo entonces al modelo elegido **se le complementa relés replicadores de señal Marca Artech** (relés auxiliares instantáneos monoestables, cuyos contactos de salida pasan instantáneamente de la posición de reposo a la de trabajo cuando se alimenta su bobina, volviendo esos contactos a la posición inicial de reposo cuando la bobina deja de alimentarse) esto para cumplir la especificación técnica.

Quedando los contactos de la válvula de seguridad de la siguiente manera:

**Contactos inherentes al equipo:**

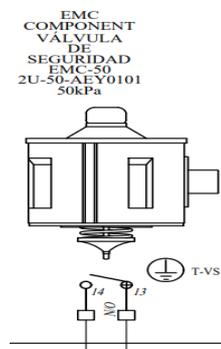


Figura 50: Contacto estándar de la válvula de seguridad

Fuente: Fabricante VIAT

**Contactos inherentes al equipo adicionando los replicadores de señal auxiliar rápido tipo RF4R (con 2 contactos conmutables, 220 VCC):**

Con ellos cumplimos la condición solicitada por el cliente de **dos contactos auxiliares para indicación) de disparo.**

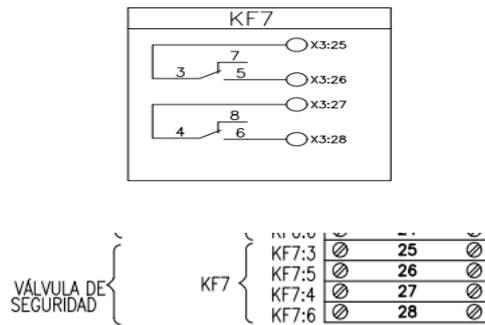


Figura 51: Contactos auxiliares (relé arteche, modelo RF4R)

Fuente: Propia

\*Tipo de empaquetadura seleccionado es el **tipo NBR** dado que soporte hasta **110°** y esta cumple la normativa **IEC60076-2** en el cual la clase térmica del transformador zigzag cargable es **Ao:105°C**, Siendo el valor seteado de fábrica de **50kPA**.

\*Dado el lugar de trabajo del transformador zigzag cargable la clase de protección ambiental solicitada por el cliente es **C5M** lo cual cumple técnicamente la válvula de seguridad seleccionada según la normativa **ISO 12944-2**.

#### DESHUMEDECEDOR:



Figura 52: Deshumecedor VE010

Fuente: Delcrosa S.A

Para la selección técnica del **deshumecedor VE010** utilizamos la tabla del fabricante **CEDASPE** que se basa en la relación de cantidad de aceite del transformador vs el

modelo de deshumecedor,1580kg (según diseño:cantidad de aceite en el transformador).

**Tabla 11** cuadro de selección de modelo de deshumecedor según fabricante

Type <i>drq 3482</i>	Silicagel contain in kg	Tube	Fixing Flange	Transformer oil	
				in kg	in dm3
VEP 01	1,00	PMMA	DN25/PN10	3500	4000
VEP 07		Glass			
VEP 29	3,00	PMMA	or	10000	12000
VEP 27		Glass	DIN 42562	18000	20000
VEP 49	5,00	PMMA	(3 holes)		
VEP 47		Glass			

Fuente: Fabricante Cedaspe

### 5.1.1.2 Análisis descriptivo de los dispositivos de protección Externos

#### TRANSFORMADORES DE CORRIENTE:



Figura 53: Transformadores de corriente tipo bushing

Fuente: Delcrosa S.A

De acuerdo a la solicitud del cliente el transformador lleva 8 transformadores de corriente de protección de las siguientes especificaciones técnicas:

**\*6 transformadores de corriente** inmersos en aceite tipo bushing de protección **267/1A,15VA, CL 5P20** ubicados en las fases del transformador.

**\*2 transformadores de corriente** inmersos en aceite tipo bushing de protección **800/1A,15VA, CL 5P20** ubicados en el neutro del transformador.



**ERRORES CALCULADOS**

Relación	Burden (VA)	Cos(theta)	I/In	Error relación (%)		Desfase (min)	
				límite	valor teórico	límite	valor teórico
800 / 1 A S1 - S2	15.00	0.80	1.20	1	-0.305	60	-0.31
			1.00	1	-0.315	60	-0.31
Valores especificados				Valores calculados			
Terminales	ALF	Isn [A]	% Máx. EC	Rct (75°C) [ohm]	Volt ind [Vrms]	% EC	
S1 - S2	20	1	5	1.60	321.79	0.6037	

Figura 56: Errores calculados en la hoja de cálculo de transformadores de corriente del neutro

Fuente: Propia

**Tabla 12** cuadro de Límites de error para transformadores de corriente de protección clase P y PR según la IEC 61869-2

Accuracy class	Ratio error at rated primary current  ± %	Phase displacement at rated primary current		Composite error at rated accuracy limit primary current  %
		± Minutes	± Centiradians	
5P and 5PR	1	60	1,8	5
10P and 10PR	3	–	–	10

Fuente: Normativa IEC 61869-2

Transformadores probados con el equipo analizador de transformadores de corriente Marca Omicron, Modelo CT ANALYZER (**fiabilidad de los resultados de las mediciones demostrado mediante su certificado de calibración**) en el cual validamos técnicamente los cálculos realizados cumpliendo la normativa IEC 61869-2.

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora						
Dispositivo de prueba CT-Analyzer		26/11/2022 08:23						
Evaluación general OK		N° de serie del dispositivo LFS39J						
<b>Activo</b>								
Ipn	267.0 A	Equipo	Ubicación					
I <sub>sn</sub>	1.0 A	Fabricante Delcrosa	Compañía DELCROSA					
Carga nominal	15.0 VA /0.80	OT 149402	País PERU					
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Número de serie TC1-1	Estación Alimentador					
Norma	IEC 61869-2	Núcleo	Fase					
Aplicación	Protección	Toma	Opcional IEC-ID					
Clase	5P	Comentario						
Frecuencia	60.0 Hz							
Rct máx.	1.177 Ω							
ALF	20.0							
Ts								
<b>Resistencia del devanado secundario</b>		<b>Resistencia del devanado primario</b>						
R-meas (18.0 °C)	0.960 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.960 Ω					
R-ref (75.0 °C)	1.177 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.177 Ω					
<b>Excitación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>						
Ls	8.481886 H	ALF	39.83					
Kr	36.48 %	ALFI	34.64					
Norma	IEC 61869-2	eci (@ ALF=20)						
V-kn	641.867 V	Ts	0.644 s					
I-kn	2.848 A							
<b>Relación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>						
Relación de transformación	266.9796	Relación	267.0 : 0.9932					
et	-0.0076 %	ε	-0.6818 % Δφ 12.74 min					
Polaridad	OK	εc	0.7829 %					
<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>						
ALF	39.83	ALFI	34.64					
eci (@ ALF=20)		eci (@ ALF=20)						
Ts	0.644 s	Ts	0.644 s					
<b>Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	-2.2208	-1.1340	-0.9549	-0.8320	-0.7291	-0.6818	-0.6715	-0.6279
7.50/0.80	-1.6566	-0.7253	-0.5710	-0.4826	-0.4062	-0.3699	-0.3623	-0.3477
3.75/1.00	-0.2589	-0.1961	-0.1594	-0.1321	-0.1110	-0.1003	-0.0983	-0.0940
1.88/1.00	-0.0769	-0.1348	-0.1080	-0.0878	-0.0699	-0.0618	-0.0601	-0.0560
<b>Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	64.2684	27.2528	22.2663	18.7372	15.8177	12.7421	11.6952	8.4257
7.50/0.80	58.6735	19.7879	14.7850	12.1467	9.8345	8.6918	8.3611	6.9676
3.75/1.00	73.2496	22.8862	16.3877	12.6805	10.1199	8.8927	8.6466	8.0112
1.88/1.00	56.1196	18.6825	12.4802	9.1510	6.8903	5.8661	5.6782	5.2042

Figura 57: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC1-1(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

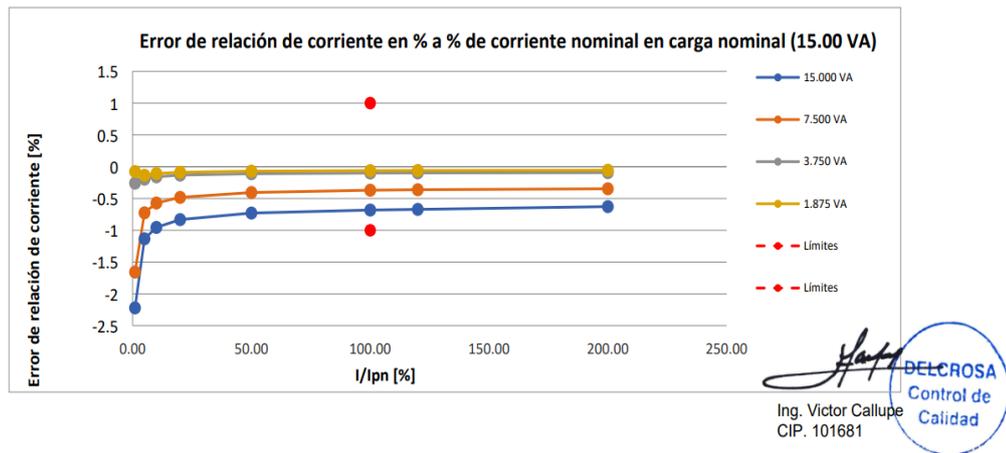


Figura 58: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC1-1(Fases)

Fuente:CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora	26/11/2022 08:30
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	LF539J
Evaluación general OK			

<b>Activo</b>		<b>Equipo</b>		<b>Ubicación</b>	
Ipn	267.0 A	Fabricante	DELACROSA	Compañía	DELACROSA
Ism	1.0 A	OT	149402	País	PERU
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC1-2	Estación	
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Núcleo		Alimentador	
Norma	IEC 61869-2	Toma		Fase	
Aplicación	Protección	Opcional		IEC-ID	
Clase	5P	Comentario			
Frecuencia	60.0 Hz				
Rct máx.	1.153 Ω				
ALF	20.0				
Ts					

<b>Resistencia del devanado secundario</b>		<b>Resistencia del devanado primario</b>	
R-meas (18.0 °C)	0.940 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.940 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.153 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.153 Ω

<b>Excitación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
Ls	8.455159 H	ALF	39.86	ALFi	34.68
Kr	36.07 %	ALF (@ ALF=20)		ALF (@ ALF=20)	
Norma	IEC 61869-2	Ts	0.643 s	Ts	0.643 s
V-kn	641.661 V	I-kn	2.854 A		

<b>Relación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
Relación de transformación	266.9837	Relación	267.0 : 0.9932	Relación	267.0 : 0.9932
et	-0.0061 %	ε	-0.6767 % Δφ	ε	-0.6767 % Δφ
Polaridad	OK	ec	0.7775 %	ec	0.7775 %

<b>Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	-2.2484	-1.1480	-0.9588	-0.8301	-0.7238	-0.6767	-0.6665	-0.6233	
7.50/0.80	-1.6751	-0.7324	-0.5783	-0.4850	-0.4049	-0.3676	-0.3599	-0.3455	
3.75/1.00	-0.2453	-0.1970	-0.1616	-0.1353	-0.1118	-0.0999	-0.0978	-0.0935	
1.88/1.00	-0.0729	-0.1360	-0.1087	-0.0903	-0.0716	-0.0625	-0.0606	-0.0562	

<b>Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	65.3617	27.2320	22.2209	18.7212	15.7876	12.6914	11.6438	8.4274	
7.50/0.80	59.6258	20.0010	14.7574	12.1058	9.8083	8.6557	8.3218	6.9252	
3.75/1.00	74.0170	23.1571	16.5129	12.6985	10.0833	8.8359	8.5853	7.9398	
1.88/1.00	55.7436	18.9249	12.5962	9.1933	6.8661	5.8265	5.6356	5.1548	

Figura 59: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC1-2(Fases)

Fuente:CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

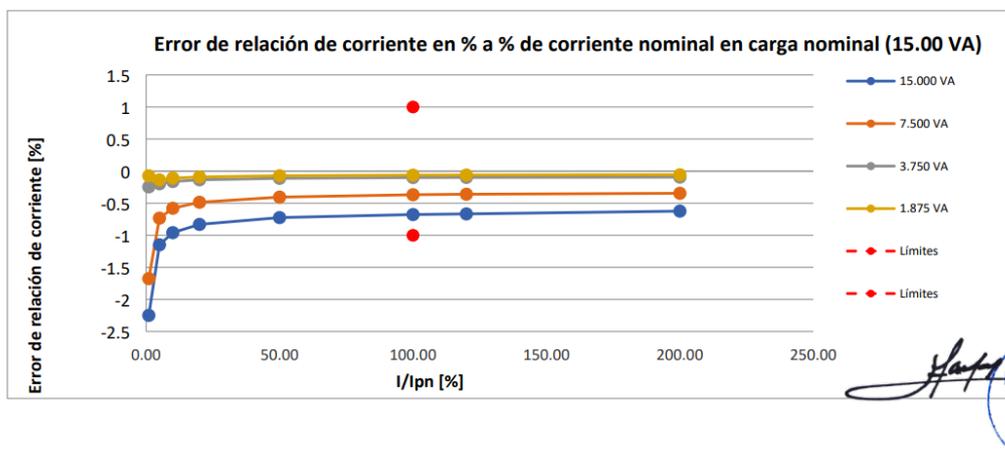


Figura 60: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC1-2(Fases)

Fuente:CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora	
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	26/11/2022 08:17 LF539J
Evaluación general	OK		

<b>Activo</b>	267.0 A	Equipo		Ubicación	
I <sub>pn</sub>	1.0 A	Fabricante	DELCROSA	Compañía	DELCROSA
Carga nominal	15.0 VA /0.80	OT	149402	País	PERU
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC2-1	Estación	
Norma	IEC 61869-2	Núcleo		Alimentador	
Aplicación	Protección	Toma		Fase	
Clase	5P	Opcional		IEC-ID	
Frecuencia	60.0 Hz	Comentario			
R <sub>ct</sub> máx.	1.158 Ω				
ALF	20.0				
T <sub>s</sub>					

<b>Resistencia del devanado secundario</b>		<b>Resistencia del devanado primario</b>	
R-meas (18.0 °C)	0.944 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.944 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.158 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.158 Ω

<b>Excitación</b>			
Ls		Lm	9.255589 H
Kr	36.1 %	Resultados en carga nominal (15.00 VA)	Resultados en carga funcional (15.00 VA)
		ALF	39.85
		ALFi	34.67
Norma	IEC 61869-2	εci (@ ALF=20)	εci (@ ALF=20)
V-kn	641.664 V	I-kn	2.854 A
		Ts	0.703 s

<b>Relación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
Relación de transformación	266.9828	Relación	267.0 - 0.9932	Relación	267.0 - 0.9932
et	-0.0064 %	ε	-0.6797 %	Δφ	12.73 min
Polaridad	OK	εc	0.7807 %		

<b>Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	-2.2296	-1.1436	-0.9610	-0.8342	-0.7283	-0.6797	-0.6691	-0.6261	
7.50/0.80	-1.6582	-0.7314	-0.5763	-0.4861	-0.4070	-0.3699	-0.3621	-0.3469	
3.75/1.00	-0.2462	-0.1972	-0.1604	-0.1342	-0.1121	-0.1007	-0.0987	-0.0945	
1.88/1.00	-0.0752	-0.1344	-0.1088	-0.0888	-0.0713	-0.0627	-0.0609	-0.0566	

<b>Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	64.7207	27.4485	22.3309	18.7879	15.7906	12.7278	11.6953	8.4228	
7.50/0.80	59.3568	20.0191	14.8634	12.1683	9.8356	8.6618	8.3256	6.9516	
3.75/1.00	73.9167	23.0189	16.5231	12.7359	10.1345	8.8741	8.6216	7.9715	
1.88/1.00	55.7732	18.7644	12.5577	9.2077	6.8963	5.8589	5.6656	5.1791	

Figura 61: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC2-1(Fases)

Fuente:CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

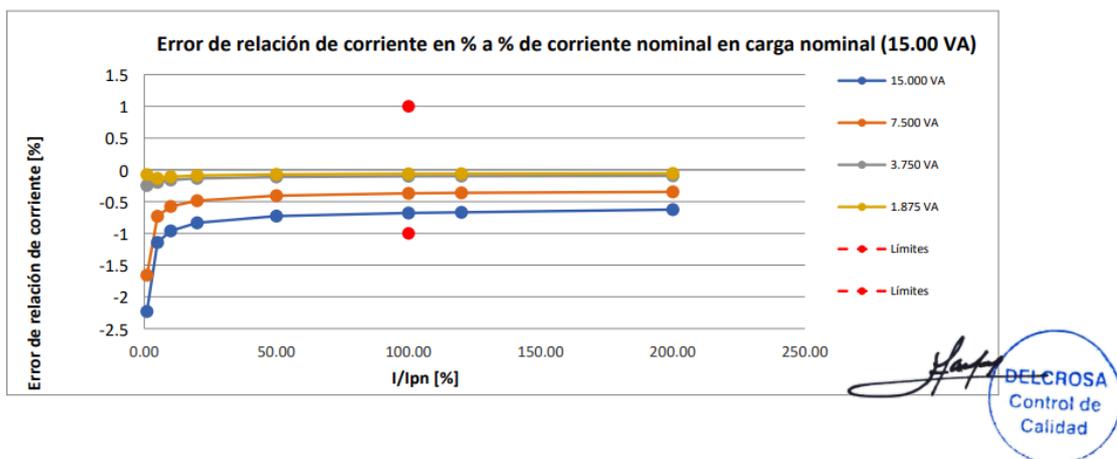


Figura 62: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC2-1(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora	25/11/2022 17:49
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	LF539J
Evaluación general		OK	

<b>Activo</b>	267.0 A	<b>Equipo</b>	DELCROSA	<b>Ubicación</b>	DELCROSA
l <sub>pn</sub>	1.0 A	Fabricante	DELCROSA	Compañía	DELCROSA
l <sub>sn</sub>	15.0 VA /0.80	OT	149402	País	PERU
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC2-2	Estación	
Norma	IEC 61869-2	Núcleo		Alimentador	
Aplicación	Protección	Toma		Fase	
Clase	5P	Opcional		IEC-ID	
Frecuencia	60.0 Hz	Comentario			
R <sub>ct</sub> máx.	1.206 Ω				
ALF	20.0				
T <sub>s</sub>					

<b>Resistencia del devanado secundario</b>		<b>Resistencia del devanado primario</b>	
R-meas (18.0 °C)	0.984 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.984 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.206 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.206 Ω
		R-meas	
		R-ref	

<b>Excitación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
L <sub>s</sub>	8.917085 H	ALF	39.40	ALF	39.40
K <sub>r</sub>	36.39 %	ALFI	34.27	ALFI	34.27
Norma	IEC 61869-2	eci (@ ALF=20)		eci (@ ALF=20)	
V-kn	637.993 V	T <sub>s</sub>	0.675 s	T <sub>s</sub>	0.675 s
I-kn	2.853 A				

<b>Relación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
Relación de transformación	266.9794	Relación	267.0 : 0.9932	Relación	267.0 : 0.9932
et	-0.0077 %	ε	-0.6809 % Δφ	ε	-0.6809 % Δφ
Polaridad	OK	ec	0.7832 %	ec	0.7832 %
			12.80 min		12.80 min

Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	-2.3046	-1.1521	-0.9554	-0.8307	-0.7263	-0.6809	-0.6713	-0.6279
7.50/0.80	-1.7335	-0.7400	-0.5787	-0.4831	-0.4050	-0.3685	-0.3610	-0.3475
3.75/1.00	-0.3041	-0.2070	-0.1639	-0.1340	-0.1112	-0.0993	-0.0973	-0.0930
1.88/1.00	-0.0842	-0.1456	-0.1133	-0.0901	-0.0713	-0.0618	-0.0599	-0.0556

Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	65.4694	27.8673	22.0828	18.8638	15.9733	12.8048	11.7203	8.4541
7.50/0.80	60.0520	20.1146	15.0682	12.0893	9.9255	8.7894	8.4554	7.0063
3.75/1.00	74.8076	23.3870	16.7491	12.7897	10.1630	8.9370	8.6913	8.0570
1.88/1.00	58.8851	19.2588	12.7394	9.4084	6.8912	5.9130	5.7225	5.2456

Figura 63: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC2-2(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

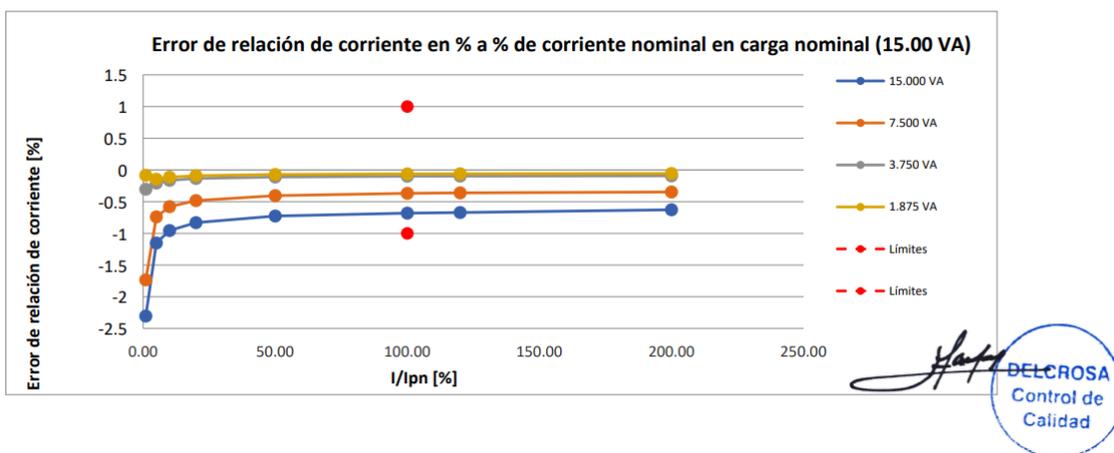


Figura 64: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC2-2(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	Fecha/hora	25/11/2022 17:35
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	LF539J
Evaluación general	OK		

Activo		Equipo	Ubicación
I <sub>pn</sub>	267.0 A	Fabricante	DELACROSA
I <sub>sn</sub>	1.0 A	OT	149402
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC3-1
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Núcleo	Alimentador
Norma	IEC 61869-2	Toma	Fase
Aplicación	Protección	Opcional	IEC-ID
Clase	5P	Comentario	
Frecuencia	60.0 Hz		
R <sub>ct</sub> máx.	1.174 Ω		
ALF	20.0		
Ts			

Resistencia del devanado secundario		Resistencia del devanado primario	
R-meas (18.0 °C)	0.958 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.958 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.174 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.174 Ω

Excitación			
Ls		Lm	9.22426 H
Kr	36.11 %	ALF	39.72
Norma	IEC 61869-2	ALFI	34.55
V-kn	641.397 V	eci (@ ALF=20)	
	i-kn	2.865 A	
		Ts	0.700 s

Relación		Resultados en carga nominal (15.00 VA)		Resultados en carga funcional (15.00 VA)	
Relación de transformación	266.9694	Relación	267.0 : 0.9932	Relación	267.0 : 0.9932
et	-0.0115 %	e	-0.6765 %	Δφ	12.77 min
Polaridad	OK	ec	0.7786 %		

Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	-2.3362	-1.1435	-0.9563	-0.8283	-0.7233	-0.6765	-0.6665	-0.6236	
7.50/0.80	-1.7506	-0.7374	-0.5736	-0.4812	-0.4017	-0.3649	-0.3573	-0.3431	
3.75/1.00	-0.2915	-0.2023	-0.1584	-0.1295	-0.1069	-0.0953	-0.0933	-0.0892	
1.88/1.00	-0.0798	-0.1415	-0.1084	-0.0852	-0.0664	-0.0577	-0.0558	-0.0515	

Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	66.9122	27.5977	22.4253	18.8651	15.9216	12.7696	11.6988	8.3838	
7.50/0.80	61.0279	20.2682	14.9569	12.2285	9.9026	8.7411	8.4017	6.9760	
3.75/1.00	75.1861	23.7341	16.7252	12.8007	10.1587	8.9154	8.6653	8.0178	
1.88/1.00	57.8550	19.5789	12.8754	9.3062	6.9338	5.8835	5.6933	5.2139	

Figura 65: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC3-1(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

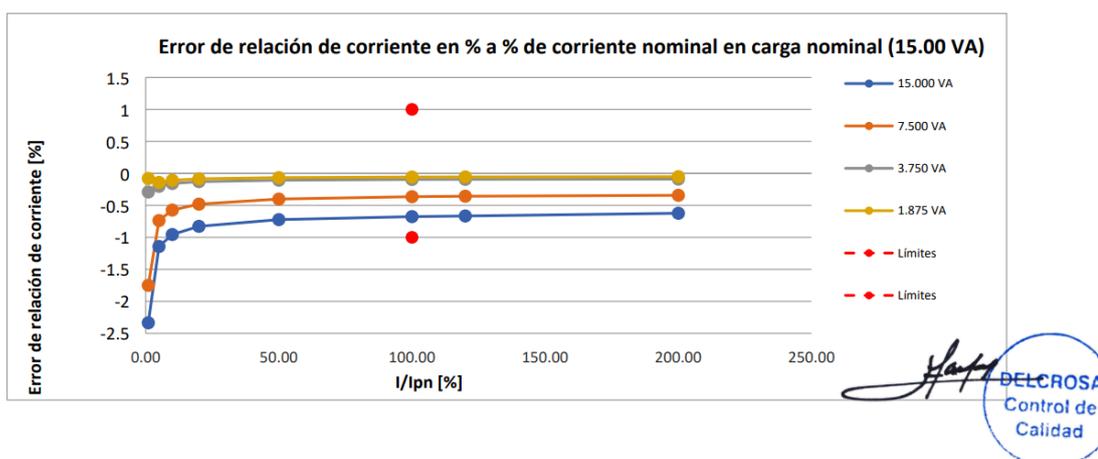


Figura 66: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC3-1(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora	
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	25/11/2022 18:02
Evaluación general		OK	

<b>Activo</b>	267.0 A	<b>Equipo</b>		<b>Ubicación</b>	
l <sub>pn</sub>	1.0 A	Fabricante	DELCROSA	Compañía	DELCROSA
l <sub>sn</sub>	15.0 VA /0.80	OT	149402	País	PERU
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC3-2	Estación	
Carga funcional	IEC 61869-2	Núcleo		Alimentador	
Norma	Protección	Toma		Fase	
Aplicación	5P	Opcional		IEC-ID	
Clase	60.0 Hz	Comentario	?		
Frecuencia	1.17 Ω				
R <sub>ct</sub> máx.	20.0				
ALF					
T <sub>s</sub>					

<b>Resistencia del devanado secundario</b>		<b>Resistencia del devanado primario</b>	
R-meas (18.0 °C)	0.955 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	0.955 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.170 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.170 Ω
R-meas		R-ref	

<b>Excitación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
L <sub>s</sub>	35.89 %	L <sub>m</sub>	8.861074 H	ALF	39.72
K <sub>r</sub>				ALFI	34.54
Norma	IEC 61869-2	eci (@ ALF=20)		eci (@ ALF=20)	
V-kn	640.890 V	I-kn	2.863 A	T <sub>s</sub>	0.673 s

<b>Relación</b>		<b>Resultados en carga nominal (15.00 VA)</b>		<b>Resultados en carga funcional (15.00 VA)</b>	
Relación de transformación	266.9623	Relación	267.0 : 0.9932	Relación	267.0 : 0.9932
et	-0.0141 %	ε	-0.6752 % Δφ	ε	-0.6752 % Δφ
Polaridad	OK	εc	0.7771 %	εc	0.7771 %

Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	-2.3587	-1.1474	-0.9590	-0.8313	-0.7241	-0.6752	-0.6645	-0.6204
7.50/0.80	-1.7545	-0.7408	-0.5741	-0.4813	-0.4016	-0.3640	-0.3562	-0.3410
3.75/1.00	-0.2883	-0.2035	-0.1574	-0.1273	-0.1056	-0.0939	-0.0918	-0.0876
1.88/1.00	-0.0701	-0.1410	-0.1074	-0.0834	-0.0641	-0.0558	-0.0539	-0.0495

Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)								
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %
15.00/0.80	67.2700	27.7027	22.5179	18.8492	15.8537	12.7458	11.6984	8.4479
7.50/0.80	61.2054	20.3687	15.0184	12.2731	9.8800	8.7046	8.3657	6.9658
3.75/1.00	76.0169	23.9401	16.8202	12.8627	10.1972	8.9235	8.6698	8.0162
1.88/1.00	58.7335	19.7043	12.9730	9.3497	6.9634	5.8997	5.7045	5.2145

Figura 67: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC3-2(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

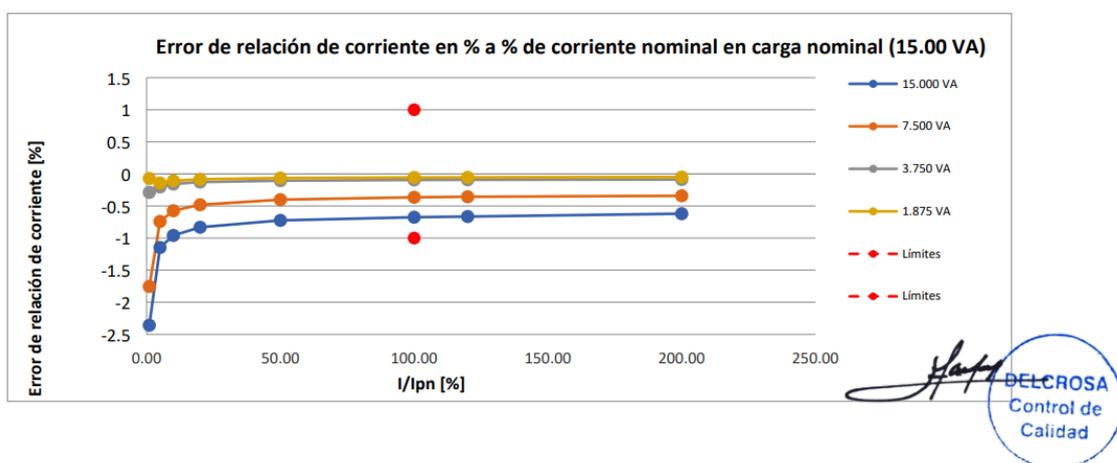


Figura 68: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC3-2(Fases)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

Dispositivo de prueba		Fecha/hora	
Dispositivo de prueba	CT-Analyzer	N° de serie del dispositivo	LF539J
Evaluación general		OK	

Activo		Equipo	Ubicación
Ipn	800.0 A	Fabricante	DELCROSA
Isn	1.0 A	OT	149402
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC4-1
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Núcleo	Alimentador
Norma	IEC 61869-2	Toma	Fase
Aplicación	Protección	Opcional	IEC-ID
Clase	5P	Comentario	
Frecuencia	60.0 Hz		
Rct máx.	1.979 Ω		
ALF	20.0		
Ts			

Resistencia del devanado secundario		Resistencia del devanado primario	
R-meas (18.0 °C)	1.614 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	1.614 Ω
R-ref (75.0 °C)	1.979 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.979 Ω
		R-meas	
		R-ref	

Excitación			
Ls	0.003882 H	Lm	22.730005 H
Kr	28.28 %	Resultados en carga nominal (15.00 VA)	
		ALF	43.73
		ALFI	42.04
		ALF	43.73
		ALFI	42.04
Norma	IEC 61869-2	Resultados en carga funcional (15.00 VA)	
		ecf (@ ALF=20)	
		ecf (@ ALF=20)	
V-kn	621.654 V	I-kn	1.045 A
		Ts	1.626 s
		Ts	1.626 s

Relación			
Relación de transformación	799.9492	Resultados en carga nominal (15.00 VA)	
et	-0.0063 %	Relación	800.0 : 0.998
Polaridad	OK	ε	-0.1973 % Δφ
		εc	0.2420 %
		Relación	800.0 : 0.998
		ε	-0.1973 % Δφ
		εc	0.2420 %

Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	-0.6782	-0.3212	-0.2696	-0.2380	-0.2103	-0.1973	-0.1947	-0.1849	
7.50/0.80	-0.5329	-0.2020	-0.1594	-0.1351	-0.1153	-0.1057	-0.1038	-0.0998	
3.75/1.00	-0.0975	-0.0549	-0.0406	-0.0328	-0.0278	-0.0248	-0.0244	-0.0241	
1.88/1.00	-0.0219	-0.0428	-0.0291	-0.0220	-0.0172	-0.0150	-0.0145	-0.0136	

Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	20.7351	9.1244	7.4278	6.4206	5.4928	4.5880	4.2927	3.2599	
7.50/0.80	19.9317	6.5886	5.0923	4.2095	3.5263	3.1326	3.0185	2.6065	
3.75/1.00	24.3430	7.2646	5.2809	4.1559	3.3987	3.0381	2.9599	2.7401	
1.88/1.00	20.4980	6.1732	4.1117	3.1289	2.4141	2.1163	2.0558	1.9031	

Figura 69: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC4-1(Neutro)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

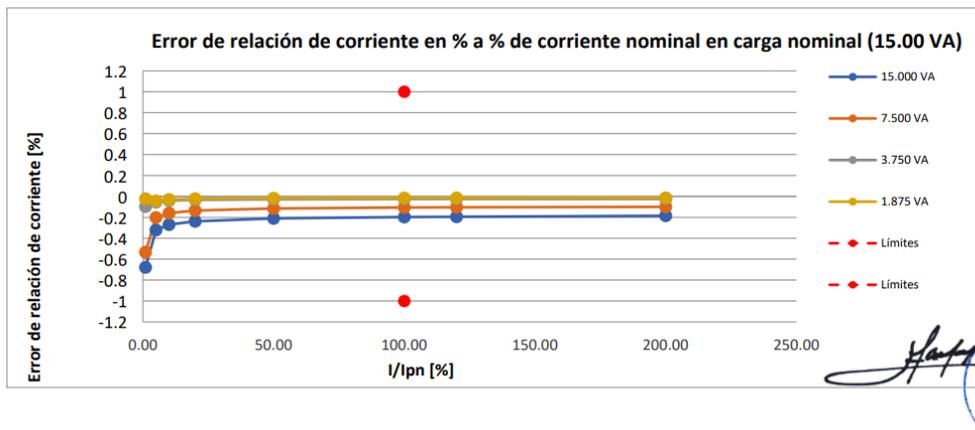


Figura 70: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC4-1(Neutro)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

**DELACROSA**  **ENERGÍA PARA EL PERU**

**OMICRON** 

<b>Dispositivo de prueba</b>		Fecha/hora		25/11/2022 17:07	
Dispositivo de prueba		CT-Analyzer		N° de serie del dispositivo	
				LF539J	
Evaluación general		OK			

<b>Activo</b>		<b>Equipo</b>		<b>Ubicación</b>	
I <sub>pn</sub>	800.0 A	Fabricante	DELACROSA	Compañía	DELACROSA
I <sub>sn</sub>	1.0 A	OT	149402	País	PERU
Carga nominal	15.0 VA /0.80	Número de serie	TC4-2	Estación	
Carga funcional	15.0 VA /0.80	Núcleo		Alimentador	
Norma	IEC 61869-2	Toma		Fase	
Aplicación	Protección	Opcional		IEC-ID	
Clase	SP	Comentario			
Frecuencia	60.0 Hz				
R <sub>ct</sub> máx.	1.975 Ω				
ALF	20.0				
T <sub>s</sub>					

<b>Resistencia del devanado secundario</b>			<b>Resistencia del devanado primario</b>		
R-meas (18.0 °C)	1.612 Ω	R-meas (18.0 °C)+Rcabl	1.612 Ω	R-meas	
R-ref (75.0 °C)	1.975 Ω	R-ref (75.0 °C)+Rcabl	1.975 Ω	R-ref	

<b>Excitación</b>					
Ls	0.003867 H	Lm	22.543628 H	Resultados en carga nominal (15.00 VA)	
Kr	27.58 %			ALF	43.21 ALFI
				ALF	41.55 ALFI
Norma	IEC 61869-2			eci (@ ALF=20)	eci (@ ALF=20)
V-kn	614.244 V	I-kn	1.043 A	Ts	1.613 s
				Ts	1.613 s

<b>Relación</b>					
Relación de transformación	799.8663	Resultados en carga nominal (15.00 VA)		Resultados en carga funcional (15.00 VA)	
et	-0.0167 %	Relación	800.0 : 0.9981	Relación	800.0 : 0.9981
Polaridad	OK	e	-0.1884 % Δφ	e	-0.1884 % Δφ
		ec	0.2351 %	ec	0.2351 %

<b>Error de relación de corriente en % a % de corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	-0.6426	-0.3133	-0.2603	-0.2287	-0.2015	-0.1884	-0.1860	-0.1758	
7.50/0.80	-0.5010	-0.1945	-0.1502	-0.1253	-0.1059	-0.0961	-0.0940	-0.0903	
3.75/1.00	-0.0721	-0.0441	-0.0311	-0.0228	-0.0172	-0.0151	-0.0146	-0.0138	
1.88/1.00	-0.0123	-0.0306	-0.0190	-0.0120	-0.0068	-0.0047	-0.0044	-0.0035	

<b>Fase en min a % de la corriente nominal en carga nominal (15.00 VA)</b>									
VA/cos φ	1.00 %	5.00 %	10.00 %	20.00 %	50.00 %	100.00 %	120.00 %	200.00 %	
15.00/0.80	20.0555	9.1430	7.4691	6.4685	5.5195	4.6070	4.2971	3.2514	
7.50/0.80	19.7984	6.6463	5.0990	4.2336	3.5343	3.1529	3.0457	2.6141	
3.75/1.00	25.0007	7.2036	5.3262	4.1663	3.4182	3.0497	2.9735	2.7597	
1.88/1.00	20.1673	5.9839	4.1277	3.1468	2.4250	2.1273	2.0653	1.9122	

Figura 71: Errores obtenidos con el CT ANALYZER, TC4-2(Neutro)

Fuente:CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

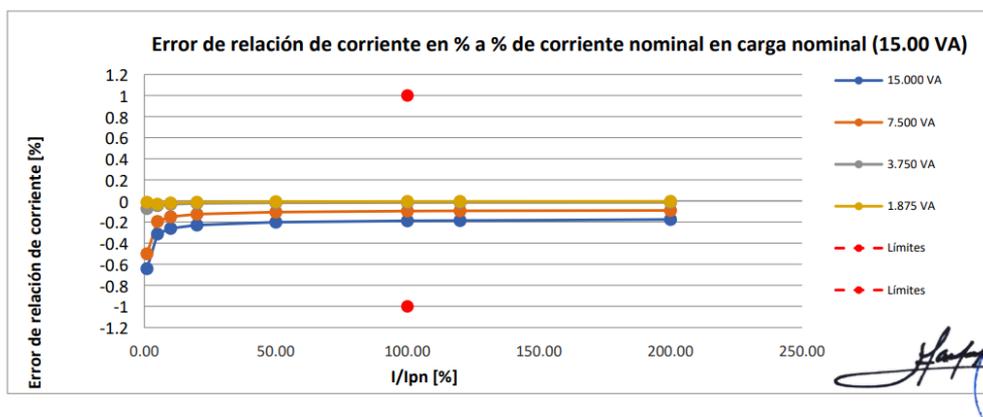


Figura 72: Errores de relación de corriente en % a 15VA, TC4-2(Neutro)

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J



Figura 73: Instrumento de medición:CT ANALYZER

Fuente: CT ANALYZER, N° de serie del dispositivo LF539J

**Por lo tanto, dado los resultados obtenidos en el ct analyzer los transformadores de corriente diseñados cumplen la normativa IEC 61869-2.**

#### **PARARRAYOS:**



Figura 74: Pararrayos en AT

Fuente: Delcrosa S.A

De acuerdo a la solicitud del cliente el transformador cuenta con pararrayos en AT de las siguientes especificaciones técnicas:

**\*Pararrayo polimérico 48/10/3, Uc:39kV,60Hz, BIL:250kvp, LF:1700mm y Línea de arco:650 mm.**

Dada la premisa se calculó los pararrayos en una hoja de cálculo en Excel cumpliendo la normativa IEC 60099-4 así mismo validándolos en las pruebas eléctricas de laboratorio en fábrica del proveedor BALESTRO.

**Cálculo teórico del pararrayo cumpliendo la normativa IEC 60099-4, IEC 60076-3:**

<b>CALCULO DE PARARRAYO AT 33KV</b>		
POTENCIA DE AT		MVA (ONAN)
TENSION DE AT		kV
CONEXION DEL SISTEMA ELÉCTRICO (Neuro At)		
<b>BIL INTERNO (ARROLLAMIENTOS)</b>		
TENSION MÁXIMA	36	kV
TENSION APLICADA	95	kVef
TENSION DE IMPULSO	200	kVp
<b>BIL EXTERNO (BUSHING)</b>		
TENSION MÁXIMA		kV
TENSION APLICADA		kVef
TENSION DE IMPULSO	200	kVp

<b>2. - CÁLCULO DEL SISTEMA ELÉCTRICO AT</b>		
Tensión Nominal (Un)	33	kV
Rango de Operación	5%	
Tensiones máx. de operación (Um)	34.65	kVp
Tensión Oper. Continua (Uc) - MCOV	34.65	
<b>SOBRETENSIONES TEMPORALES POR FALLA A TIERRA (1 s)</b>		
Tipo del sistema eléctrico f (K1)	B	1.4
TOV (10 s)	48.51	kV
Tensión nominal (Ur1), m=0.02, Tt=1	46.33	kV
<b>SOBRETENSIONES TEMPORALES POR PÉRDIDA DE CARGA (10 s)</b>		
Factor de sobrepresión (K2)	1.2	IEC 60099-5
TOV (10 s)	41.58	kV
Tensión nominal (Ur2), m=0.02, Tt=60	43.10	kV

<b>3. - SELECCIÓN DE PARARRAYOS AT</b>		
Tensión Nominal del sistema (Un)	33	kV
Tensión Oper. Continua (Uc) - MCOV	36.38	kV (F.S.+5%)
Tensión Nominal (Ur)	48.64	kV (F.S.+5%)
TOV (10 s), Pérdida de carga (Corregido)	46.93	kV
TOV (10 s), Pérdida de carga (Corregido)	50.94	kV
<b>Clase de descarga</b>		
Clase de descarga	3	
Corriente nominal de descarga (Id)	10	kA
<b>Línea de fuga</b>		
Nivel de contam.	4	
Lfuga especif.	31	mm/kV
Línea de fuga teórica (Lfuga)	1116.00	mm
<b>Línea de arco</b>		
Tensión Máxima	36	kV
Tensión de Impulso	200	kV
Distancia mínima según IEC 60076-3 (Darc)	380	mm (Ver Tabla)
Altura de operación (H)	4000	m.s.n.m.
Distancia de arco Corregida (Darco*)	494.0	mm

Figura 75: Cálculo teórico del Pararrayo en AT

Fuente: Propia

Ahora mostramos el protocolo de pruebas del fabricante Balestro en donde se aprecia que cumple técnicamente la normativa 60099-4



**BALESTRO**

Informe de Inspección  
Test Report

---

**Ensayos de Aceptación**  
Acceptance Tests

Pág / Page	1 / 4
Fecha / Date	20/12/2022
Nº Informe / Report Number	2083-22

---

**Cliente**   
Customer

**Material**   
Material

**Cantidad**   
Amount

**Proceso**   
Order Number

**Observación**   
Comments

**Código**   
Code

**Muestreo**   
Sampling

**Lote**   
Serial Number

---

**Ensayos** Performed Tests

1 <b>Control visual y dimensional ;</b> Visual, dimensional			Resultados Results	Aprobado OK
2 <b>Prueba de Tensión de Referencia, corriente de fuga e disipación de energía</b> Tests: Reference Voltage ; Leakage Current and Power losses	Página Page	2	Resultados Results	Aprobado OK
3 <b>Prueba de Tensión residual</b> Lightning Impulse Residual Voltage Test	Página Page	3	Resultados Results	Aprobado OK
4 <b>Ensayo de descargas parciales</b> Internal Partial Discharge test	Página Page	4	Resultados Results	Aprobado OK

---

**Normas Técnicas Aplicadas**  
In accordance with

**Inspector(es)**   
Overseer Purchaser

**Responsable de las pruebas**   
Responsible for testing

**Matricula**   
ID Number



---

Indústria Eletromecânica Balestro Ltda.

Figura 76: Protocolo de prueba Pararrayo AT,1/4

Fuente: Fabricante Balestro







## **INTERRUPTOR PARA BT:**

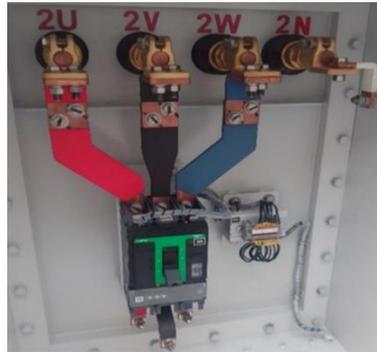


Figura 80: Interruptor de AT

Fuente: Delcrosa S.A

De acuerdo a la solicitud del cliente el transformador cuenta con un interruptor en el lado de BT de las siguientes especificaciones técnicas:

El transformador deberá incluir una caja de cables en el secundario con grado de protección IP-55, con un interruptor termomagnético por cada nivel de tensión secundaria, instalado en la caja y calculado de acuerdo a la corriente nominal del transformador en cada caso. Cada uno de los bornes de baja tensión del interruptor debe estar en capacidad de conectar hasta tres (3) cables apropiados para la corriente secundaria

**Tensión nominal:380V**

**Fabricante: SCHNEIDER**

**País: Francia**

**Referencia: LV432895**

**Normativa: IEC60947**

**Número de polos:3**

**Corriente asignada en servicio continuo para 380V(In):252-630A**

**Poder de corte asignado en corto circuito (Ith):70(Icu)**

## Contactos auxiliares: De posición – OF 2 y De disparo – SD 1

Dada la premisa se seleccionó el interruptor de BT **INTERRUPTOR NSX630H, MICROLOGIC 2.3,630A,3P, Reg.(250-630A),50kA(380VAC)** cumpliendo la **normativa IEC 60947** así mismo validándolos en las pruebas eléctricas de laboratorio en fábrica mediante inspección visual por un especialista de la materia. Así mismo cumpliendo el grado de protección de **IP55** de acuerdo a la **IEC 60529**

Tener en cuenta que el valor de poder de corte asignado de 50kA: Fue aprobado por el cliente en el plano eléctrico del tablero de BT dado que indicaron que cubre la corriente de corto en bornes del transformador.

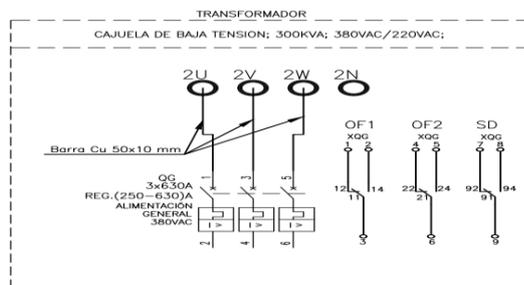


Figura 81: Esquema eléctrico interruptor BT

Fuente: Propia

### 5.1.2 Análisis descriptivo de la variable dependiente Transformador zig zag cargable

Se procede a analizar las dimensiones diseño de parte activa y prueba especial de impedancia de secuencia cero con la finalidad de validar técnicamente su selección técnica cumpliendo las normativas vigentes.

#### 5.1.2.1 Análisis descriptivo del diseño de parte activa

##### POTENCIA CONSUMIDA, PÉRDIDAS EN EL FIERRO Y COBRE:

De acuerdo a la solicitud del cliente el transformador dispone de valores a cumplir según la tabla de datos técnicos, se solicitó una potencia, pérdidas en el cobre y

fierro en el cual deben cumplir las tolerancias de las normativas IEC 60076-6 e IEC 60076-1 respectivamente por el cual se tiene la siguiente información para el análisis de resultados:

Se muestra a continuación la tabla de la muestra de 20 transformadores zig zag calculados teóricamente (Valores garantizados) y medidos (Valores obtenidos) en el laboratorio de pruebas de la empresa Delcrosa a través del Vatimetro WT230 Yokogawa, N° 91MB6815 (fiabilidad de los resultados de las mediciones demostrado mediante su certificado de calibración):

La potencia, pérdidas en el fierro y cobre en el cual cumplen las tolerancias de la normativa IEC 60076-1 y la normativa IEC 60076-6.

**Tabla 13** Muestra de 20 transformadores zigzag calculados teóricamente las pérdidas en el fierro y cobre vs los valores medidas en el laboratorio de pruebas

NORMATIVA IEC 60076-1/6	OT	POTENCIA(KVA)	POTENCIA AUXILIAR(KVA)	TENSION(KV)	TENSION SECUNDARIA(KV)	GRUPO DE CONEXIÓN	CORRIENTE DE FALLA 3I(A)	DURACION DE LA FALLA(S)	Pérdidas en el Fierro(W) Obtenidas	Pérdidas en el Fierro(W) Garantizadas	TOLERANCIE IEC 60076-1(15%)	CUMPLE SI/NO	Pérdidas en el Cobre(W) 75°C Obtenidas	Pérdidas en el Cobre(W) 75°C Garantizadas	TOLERAN OIE IEC 60076-1 (15%)	CUMPLE SI/NO
IEC 148426	1000	-	30	-	ZNO	300	30	690	650	747.50	SI	9760	9780	11247.00	SI	
IEC 148463-T1	60	-	10	-	ZNO	300	10	283	260	299.00	SI	187	250	287.50	SI	
IEC 148463-T2	60	-	10	-	ZNO	300	10	278	260	299.00	SI	189	250	287.50	SI	
IEC 148463-T3	60	-	10	-	ZNO	300	10	293	260	299.00	SI	191	250	287.50	SI	
IEC 148463-T4	60	-	10	-	ZNO	300	10	285	260	299.00	SI	190	250	287.50	SI	
IEC 148463-T5	60	-	10	-	ZNO	300	10	285	260	299.00	SI	188	250	287.50	SI	
IEC 148463-T6	60	-	10	-	ZNO	300	10	285	260	299.00	SI	189	250	287.50	SI	
IEC 148463-T7	60	-	10	-	ZNO	300	10	293	260	299.00	SI	192	250	287.50	SI	
IEC 148463-T8	60	-	10	-	ZNO	300	10	278	260	299.00	SI	186	250	287.50	SI	
IEC 148463-T9	60	-	10	-	ZNO	300	10	293	260	299.00	SI	190	250	287.50	SI	
IEC 148466	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	1030	1254	1442.10	SI	1092	1150	1322.50	SI	
IEC 148467	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	1040	1254	1442.10	SI	1114	1150	1322.50	SI	
IEC 148468	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	1080	1254	1442.10	SI	1101	1150	1322.50	SI	
IEC 148758	60	-	10	-	ZNO	300	10	398	410	471.50	SI	192	250	287.50	SI	
IEC 149278	321	-	22.9	-	ZNO	700	10	990	960	1104.00	SI	1281	1290	1483.50	SI	
IEC 149455	298.8	-	34.5	-	ZNO	500	10	963	900	1035.00	SI	1101	1100	1265.00	SI	
IEC 149202-T1	342.94	0.25	33	0.4	ZNyn11	600	10	1131	1400	1610.00	SI	2510	4000	4600.00	SI	
IEC 149202-T2	342.94	0.25	33	0.4	ZNyn11	600	10	1129	1400	1610.00	SI	2530	4000	4600.00	SI	
IEC 149403	342.94	0.35	33	0.38	ZNyn11	600	10	934	1500	1725.00	SI	3324	5950	6842.50	SI	
IEC 149659	183.2	0.25	22.9	0.38	ZNyn5	400	10	602	590	678.50	SI	4004	8500	9775.00	SI	

Fuente: Propia



Figura 82: Instrumento de medición: Vatímetro WT230 Yokogawa, N° 91MB6815 mide la potencia, pérdidas en el hierro y cobre

Fuente: Delcrosa S.A



Figura 83: Laboratorio de pruebas de la empresa DELCROSA S.A

Fuente: Delcrosa S.A

Tomando como demostración de los resultados teóricos obtenidos al transformador zigzag de la presente tesis:

### **Potencia del transformador zigzag**

Sabemos que la potencia del transformador zigzag en estado transitorio se calcula de la siguiente manera:

$$Pot\ zigzag - estado\ permanente(kVA) = \sqrt{3} * VL - L * \frac{3I_0}{3} * \phi$$

VL-L: Tensión nominal de placa en kV (**A solicitud del cliente 33kV**)

3I<sub>0</sub>: Corriente de falla monofásica por el neutro (**A solicitud del cliente 800A**)

$\emptyset$ (%): Se obtiene de la tabla 14 de la norma **C57.32.2015**. Se selecciona en función del tiempo de duración de la falla (**A solicitud del cliente t:10 segundos**) que quiere decir normativamente **3%**.

**Tabla 14** Servicio continuo en porcentaje de la clasificación de corriente térmica para transformadores de puesta a tierra

Rated time	Continuous duty in percent of thermal current rating (%)
10 s	3
1 min	7
10 min	30
Extended time	30

Fuente: IEEE Std C57.32™-2015

Ahora:

*\*Pot zigzag – estado perm. = 457.26kVA*

## PÉRDIDAS EN EL FIERRO

Dada la curva de w/kg vs B(T) del fleje magnético:**M100-27S5**

**A la inducción de diseño del transformador (B=1.31T), vamos a la curva indicada obteniendo 0.645 w/kg a 60Hz y el peso total del núcleo magnético:1443kg (de acuerdo a la hoja de cálculo)** Entonces para el cálculo de las pérdidas en el hierro se utilizó la siguiente fórmula:

$$Pfe(W) = \frac{W}{kg} * \text{Peso de núcleo} * 1.27 = 0.645 * 1443 * 1.27 = 1182W$$

F: factor de error de fabricación por armado de núcleo 1.27

Comparado con el valor medido en el laboratorio de pruebas:1185W cumple la tolerancia (table I de la normativa IEC 60076-1) es por ello que este cálculo teórico se replica a los 20 transformadores de la muestra.

TEST	U1	U2	U3	Up	I1	I2	I3	Ip	W1	W3	Wt	Hz	Fecha	Hora	REF.
Measurement of no-load loss and current															
O1	380.12	379.69	378.4	379.403	2.39	1.342	2.468	2.06667	328	857	1185	60.004	25/01/23	15:37:15	+ register
O2															
O3															
Measurement of short-circuit impedance and load loss															
C1	1504	1500.5	1496.8	1500.43	3.877	3.883	3.865	3.87	-2426	3351	925	59.968	25/01/23	14:58:14	+ register
C2															
C3	60.14	60.41	60.48	60.3433	2.553	2.553	0	1.70	14.6	0.1	14.7	60.011	25/01/23	15:10:51	
C4															
Dielectric routine tests - Separate source AC withstand voltage test															
A1	95240	30620	65760	95240	0.0586	0.0587	0	0.0588	30	0	30	59.948	25/01/23	14:37:18	+ register
A2															
A3															
Dielectric routine tests - Induced AC voltage test															
I1	753.4	753.1	756.2	754.233	1.837	2.104	2.259	2.07	-376	440	64	403.93	25/01/23	15:25:51	+ register
	5.333	5.333	5.333		20	20	20								

Figura 84: Pérdidas en el fierro tomadas del analizador de redes YOKOWAGA

Fuente: Delcrosa S.A

Voltaje nominal			Medida de las pérdidas y corriente en vacío (1*)						Pérdidas en vacío	
Vu-v (V)	Vv-w (V)	Vw-u (V)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)	Io (A)	Io (%)	Medido (W)	1185	
380.1	379.7	378.4	2.39	2.47	2.47	2.44	35.24%	Garantizado (W)	1500	

Figura 85: Pérdidas en el fierro mostradas en el protocolo de pruebas

Fuente:Delcrosa S.A

**Tabla 15** Tabla de pérdidas en el hierro y cobre según IEC 60076-1

Item	Tolerance
1. a) Total losses See Note 1 b) Measured component losses See Note 1	+10 % of the total losses +15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
2. Measured voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings or the extreme tappings, if specified	The lower of the following values: a) $\pm 0,5$ % of the specified ratio b) $\pm 1/10$ of the actual percentage impedance on the principal tapping
Measured voltage ratio on other tappings, same pair Measured voltage ratio for further pairs	$\pm 0,5$ % of the design value of turns ratio $\pm 0,5$ % of the design value of turns ratio
3. Measured short-circuit impedance for: – a separate-winding transformer with two windings, or – a specified first pair of separate windings in a multi-winding transformer a) principal tapping  b) any other tapping of the pair	When the impedance value is $\geq 10$ % $\pm 7,5$ % of the specified value When the impedance value is $< 10$ % $\pm 10$ % of the specified value When the impedance value is $\geq 10$ % $\pm 10$ % of the specified value When the impedance value is $< 10$ % $\pm 15$ % of the specified value
4. Measured short-circuit impedance for: – an auto-connected pair of winding, or – a specified second pair of separate windings in a multi-winding transformer a) principal tapping b) any other tapping of the pair – further pairs of windings	$\pm 10$ % of the specified value $\pm 10$ % of the design value for that tapping To be agreed, but $\geq \pm 15$ %
5. Measured no-load current	$\pm 30$ % of the design value
NOTE 1 The loss tolerances of multi-winding transformers apply to every pair of windings unless the guarantee states that they apply to a given load condition.	
NOTE 2 For certain auto-transformers and series transformers the low value of their impedance may justify a more liberal tolerance. Transformers having large tapping ranges, particularly if the range is asymmetrical, may also require special consideration. On the other hand, for example, when a transformer is to be combined with previously existing units, it may be justified to specify and agree on narrower impedance tolerances. Any special tolerances should be indicated in the enquiry, and any revised tolerances agreed upon between manufacturer and purchaser.	

Fuente: Normativa IEC 60076-1

## PÉRDIDAS EN EL COBRE

Sabemos que las pérdidas en el cobre dependen del peso de cobre y la densidad de corriente que trabaja el devanado a analizar.

$$P_{cu\ totales}(W) = P_{cuBT} + P_{cuzig} + P_{cuzag}$$

$$.P_{cu\ BT} = 1.05 * 2.42 * P_{cubt} * J_{bt}^2 * f_1$$

$$.P_{cu\ zig} = 1.05 * 2.42 * P_{cuzig} * J_{zig}^2 * f_1$$

$$.P_{cu\ zag} = 1.05 * 2.42 * P_{cuzag} * J_{zag}^2 * f_1$$

Donde  $f_1$  es el factor por pérdidas suplementarias y adicionales y con ellos calculamos las pérdidas totales en el cobre.

J: Densidad de corriente en A/mm<sup>2</sup>

P<sub>cu</sub>: Peso de cobre en kg

Se muestran los resultados:

PERDIDAS OHMICAS EN BT(W)			
Frecuencia(Hz)	60	Factor perd. Suplementarias BT	1.0017585
Peso de cobre BT(kg)	70	espesor de pletina desnuda BT	3.5
J BT(A/mm2)	2.8	Ancho de pletina desnuda BT	14
<b>Perdidas Ohm BT(W)</b>	<b>1397.0</b>	ancho de pletina forrada BT	14.9
		Número de capas	1
		cantidad de platinas	4
		cantidad de platinas horizontales	4

PERDIDAS OHMICAS EN AT1(W)-RAMAL ZIG			
Frecuencia(Hz)	60	Factor perd. Suplementarias	1
Peso de cobre AT1(kg)	173	espesor de pletina desnuda BT	0
J BT(A/mm2)	0.9	Ancho de pletina desnuda BT	0
<b>Perdidas Ohm AT1(W)</b>	<b>356.1</b>	ancho de pletina forrada BT	12.4
		Número de capas	0
		cantidad de platinas	0
		cantidad de platinas horizontales	3

PERDIDAS OHMICAS EN AT2(W)-RAMAL ZAG			
Frecuencia(Hz)	60	Factor perd. Suplementarias	1
Peso de cobre AT2(kg)	239	espesor de pletina desnuda BT	0
J BT(A/mm2)	0.9	Ancho de pletina desnuda BT	0
<b>Perdidas Ohm AT2(W)</b>	<b>491.9</b>	ancho de pletina forrada BT	12.4
		Número de capas	0
		cantidad de platinas	0
		cantidad de platinas horizontales	3

<b>PCU totales</b>	<b>2244.9</b>
--------------------	---------------

Figura 86: Cálculo de Pérdidas en el cobre teóricas

Fuente: Propia

Medida de las pérdidas con carga y tensión de cortocircuito (1*)									
Temperatura ambiente (Tamb):			25°C		Temperatura de referencia (Tref):		75°C		
Voltaje			Corrientes			Calc. T=20°C	Calc. (Tref)	Garantizado	
VU-V (V)	Vv-w (V)	Vw-u (V)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)	PCU (W)	1683	1890	5800
1504.0	1500.5	1496.8	3.88	3.86	3.87	Vcc (%)	6.17	6.17	

Figura 87: Pérdidas en el cobre obtenidos de las pruebas eléctricas y mostradas en el protocolo de pruebas

Fuente: Delcrosa S.A

Por lo tanto, se afirma que los valores de pérdidas en el cobre teóricas están dentro de las tolerancias exigidas por la normativa IEC 60076-1 puesto que Comparado con el valor medido en el laboratorio de pruebas: 1890W cumple la tolerancia (table I de la normativa IEC 60076-1) es por ello que este cálculo teórico se replica a los 20 transformadores de la muestra.

## **SUMINISTROS:**

Los suministros deben cumplir las normativas de fabricación y tener sus certificados de calidad correspondiente a cada materia prima que se utiliza en la fabricación del transformador zigzag cargable dado que con ello garantizamos **un transformador fabricado técnicamente robusto para la operación óptima en el sistema eléctrico, en este caso en la subestación La Planicie.**

**\*Alambres esmaltados para AT,** Según el diseño es alambre doble esmalte clase 200°C de medida AWG N°9: **Cumple la Normativa IEC ASTM B 1; NEMA MW 73-C:**” Polyester(Amide)(imide)overcoated with polyamide for hermetic applications(heavy, triple and quad)”.

**\*Pletina de cobre para BT,** Según el diseño la platina doble es la medida 3.5x14: **Cumple la Normativa ASTM B-187**” (Standard Specification for Copper, Bus Bar, Rod, and Shapes and General Purpose Rod, Bar, and Shapes)”

**\*Núcleo magnético:Cumple la Normativa IEC 60404-8-7** “Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state”.

**\*Cinta para forrar pletina de cobre,** Flin-Paper Kraft TUP:**Cumple la Normativa IEC 60085:**”Electrical insulation - Thermal evaluation and designation”.

**\*Papel entre capas del bobinado,** Flin-Paper Kraft Thermally Upgrade DDP: **Cumple la Normativa IEC 641-1:**”Specification for pressboard and presspaper for electrical purposes - Part 1: Definitions and general requirements”.

**\*Aceite dieléctrico Mineral, ERGON HYVOLT I: Cumple la Normativa IEC 60296:**”Fluids for electrotechnical applications – Mineral insulating oils for electrical equipment”.

### 5.1.2.2 Prueba especial de impedancia de secuencia cero

#### Corriente eléctrica, tensión eléctrica y normativas internacionales:

De acuerdo a la solicitud del cliente el transformador **debe limitar la corriente de falla por el neutro de 800A a 10 segundos con ello podemos calcular la impedancia de secuencia cero y esta debe estar dentro de las tolerancias de la IEC 60076-6** el cual dada la premisa se tiene la siguiente información para el análisis de resultados:

Se muestra a continuación **la tabla de la muestra de 20 transformadores zig zag calculados teóricamente (Valores garantizados) y medidos (Valores obtenidos tensión y corriente) en el laboratorio de pruebas de la empresa Delcrosa a través del Vatmetro WT230 Yokogawa, N° 91MB6815 (fiabilidad de los resultados de las mediciones demostrado mediante su certificado de calibración): La impedancia de secuencia cero cumple las tolerancias de la tabla 2 de la normativa IEC 60076-6. es por ello que este cálculo teórico se replica a los 20 transformadores de la muestra.**

**Tabla 16** Muestra de 20 transformadores zigzag calculados teóricamente la impedancia de secuencia cero vs valores medidos en fábrica

NORMATIVA IEC 60076-1/6	OT	POTENCIA(kVA)	POTENCIA AUXILIAR(kVA)	TENSION(kV)	TENSION SECUNDARIA(kV)	GRUPO DE CONEXIÓN	CORRIENTE DE FALLA 3I0(A)	DURACION DE LA FALLA(S)	I(A)	Impedancia Homopolar Z(0)75°C Obtenidas	Impedancia Homopolar Z(0)75°C Garantizaas	TOLERAN CIE IEC 60076-6 (20%)	CUMPLE SI/NO
IEC	148426	1000	-	30	-	ZNO	300	30	50	181.1	173.2	207.84	SI
IEC	148463-T1	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.79	28	33.60	SI
IEC	148463-T2	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.89	28	33.60	SI
IEC	148463-T3	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.36	28	33.60	SI
IEC	148463-T4	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.79	28	33.60	SI
IEC	148463-T5	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.34	28	33.60	SI
IEC	148463-T6	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.47	28	33.60	SI
IEC	148463-T7	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.5	28	33.60	SI
IEC	148463-T8	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.14	28	33.60	SI
IEC	148463-T9	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	28.27	28	33.60	SI
IEC	148466	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	22.4	53.77	52.88	63.46	SI
IEC	148467	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	22.4	53.76	52.88	63.46	SI
IEC	148468	343.5	-	22.9	-	ZNO	750	10	22.4	53.79	52.88	63.46	SI
IEC	148758	60	-	10	-	ZNO	300	10	9	21.81	20	24.00	SI
IEC	149278	321	-	22.9	-	ZNO	700	10	21	57.55	56.66	67.99	SI
IEC	149455	298.8	-	34.5	-	ZNO	500	10	12.9	120.48	119.51	143.41	SI
IEC	149202-T1	342.94	0.25	33	0.4	ZNyn11	600	10	15.6	96.34	95.26	114.31	SI
IEC	149202-T2	342.94	0.25	33	0.4	ZNyn11	600	10	15.6	96.39	95.26	114.31	SI
IEC	149403	342.94	0.35	33	0.38	ZNyn11	600	10	15.6	103.7	95	114.00	SI
IEC	149659	183.2	0.25	22.9	0.38	ZNyn5	400	10	12	117.6	99.16	118.99	SI

Fuente: Propia

Tomando como demostración de los resultados teóricos obtenidos al transformador zigzag de la presente tesis:

### Cálculo de la impedancia de secuencia cero

Sabemos que para calcular la impedancia de secuencia cero se necesita la corriente de falla por el neutro y la tensión en bornes del transformador:

$$Z_0 \left( \frac{\text{Ohm}}{\text{fase}} \right) = \frac{\frac{VL - L}{\sqrt{3}}}{\frac{3I_0}{3}}$$

VL-L: Tensión nominal de placa en kV (**A solicitud del cliente 33kV**)

3I<sub>0</sub>: Corriente de falla monofásica por el neutro (**A solicitud del cliente 800A**)

$$Z_0 \left( \frac{\text{Ohm}}{\text{fase}} \right) = 70.5$$

Impedancia Homopolar (1*)			
Corriente del neutro			20.8 A
Impedancia Z <sub>0</sub> a	20 °C	70.7	84.6 Ω
Impedancia Z <sub>0</sub> a	75 °C	<b>70.8</b>	<b>83.8</b> Ω
Garantizado Z <sub>0</sub>		71.0	Ω

Figura 88: Valor de impedancia de secuencia cero obtenida en las pruebas eléctricas

Fuente: Delcrosa S.A

**Tabla 17** Cuadro de tolerancia de impedancia de secuencia cero

Quantities		Tolerances
1a)	Zero-sequence impedance	+20 -0 % of the rated value
1b)	Zero-sequence impedance in case of the combination of an earthing transformer and an arc-suppression reactor	±5 % of the rated value at minimum setting ±10 % of the rated value on all other settings
2)	Voltage ratio of auxiliary and secondary windings to the main winding	±0,5 % of specified values

Fuente: Normativa IEC 60076-6

## 5.2 Resultados Inferenciales

**HG:** La aplicación de diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024 permite la eficiencia del sistema eléctrico.

De lo expuesto anteriormente se observó que el diseño del equipamiento eléctrico para la optimización de la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie se ejecutaron de acuerdo a lo exigido en las normatividades vigentes y de los cuales se obtuvieron valores de acuerdo a estas.

Por lo que se comprueba la aplicación de diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024 lo cual permite la eficiencia del sistema eléctrico.

**HE1:** La aplicación de los parámetros eléctricos del sistema influyen significativamente en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable de la subestación La Planicie, Lima 2024

De lo expuesto anteriormente se observó que para calcular la impedancia de secuencia cero se necesita la corriente de falla por el neutro y la tensión nominal

siendo estos parámetros del sistema, también se ha respetado la tolerancia de +20% de la IEC 60076-6 validando el cálculo en el transformador y muestra de 20 transformadores del mismo tipo además de la prueba especial de impedancia homopolar ejecutada en el laboratorio de la empresa Delcrosa S.A, **con ello se afirma que el transformador puede limitar la corriente de falla monofásica 3I0 de 800A.**

**Por lo que se comprueba la aplicación de los parámetros eléctricos del sistema influyen significativamente en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable de la subestación La Planicie, Lima 2024.**

**HE2:** La aplicación en la selección técnica de los equipamientos de protección propios influye significativamente en el transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie Lima-2024.

De lo expuesto anteriormente se demostró que los equipos de protección interna y externa han sido seleccionados técnicamente de acuerdo a las normativas vigentes y solicitud del cliente siendo elementos esenciales para garantizar la seguridad, confiabilidad y vida útil del transformador zigzag cargable en sistemas eléctricos dado que su función principal es detectar y aislar fallas o anomalías que puedan poner en riesgo el transformador y las personas que operan o se encuentran cerca de él.

**Por lo que se comprueba que la aplicación en la selección técnica de los equipamientos de protección propios influye significativamente en el transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie Lima-2024.**

**HE3:** La aplicación del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable influye significativamente en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.

De lo expuesto anteriormente se observó y registro mediciones del proceso de fabricación, de las materias primas principales como alambre, pletina, núcleo y

materiales aislantes, todas validadas técnicamente según normativa de fabricación y los certificados de calidad, influyendo técnicamente en las pruebas de laboratorio como: **tensión inducida resultó conforme**: Que quiere decir; correcta selección del espesor de papel entre capa del bobinado, correcto forrado de pletina de cobre y alambre para el bobinado según la IEC 60076-3, **tensión aplicada conforme**: Que quiere decir; se respetó las distancias de seguridad eléctricas internas (parte activa) y externas (Distancia entre fases de aisladores AT y BT) según la IEC 60076-3, **Prueba de cortocircuito y pérdidas en el hierro**: Que quiere decir; correcta selección técnica de conductores y núcleo magnético lo cual se reflejó en los valores de pérdidas obtenidas dentro de las tolerancias de la **normativa IEC 60076-1**

Además de un control de calidad continuo en los procesos de fabricación del transformador zigzag cargable.

**Por lo que se comprueba que la aplicación del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable influye significativamente en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.**

## VI. DISCUSION DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

#### Hipótesis General

**HG:** La aplicación de diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024 permite la eficiencia del sistema eléctrico. **Es comprobada mediante los resultados obtenidos en las pruebas eléctricas de laboratorio donde se demuestra que la aplicación de diseño del equipamiento eléctrico optimiza la operación del transformador zigzag cargable, genera resultados correctos de acuerdo a las normativas vigentes IEC 60076 – 01 e IEC 60076 – 06 permitiendo la eficiencia del sistema eléctrico.**

**HE1:** La aplicación de los parámetros eléctricos del sistema influyen significativamente en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable de la subestación La Planicie, Lima 2024. **Es comprobada mediante los resultados obtenidos en las pruebas eléctricas en el laboratorio de la impedancia homopolar generando resultados correctos de acuerdo a la normatividad IEC 60076-6.**

**HE2:** La aplicación en la selección técnica de los equipamientos de protección propios influye significativamente en el transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie Lima-2024. **Es comprobada mediante las normativas de fabricación exigentes de cada equipo además del protocolo del fabricante especialista.**

**HE3:** La aplicación del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable influye significativamente en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio. **Es comprobada mediante los certificados de calidad de la materia prima además de validarlo en las pruebas dieléctricas en el laboratorio cumpliendo las normativas IEC 60076-1.IEC 60076-6.**

## **6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Los resultados encontrados guardan relación con lo que sostienen Erazo(2020) y Lujan(2008), ya que ellos analizaron colocar en el sistema eléctrico un transformador zigzag lo cual otorga beneficios potenciales como la sensibilidad de detección de la corriente de falla a tierra además de permitir obtener corrientes de grandes magnitudes que ayudan en la coordinación de protecciones con el empleo de relés direccionales dotando de alto grado de confiabilidad, selectividad, seguridad y economía las protecciones contra fallas a tierra .En ambos casos toman énfasis a la corriente de falla a tierra lo cual en nuestra investigación lo hemos calculado y validado en el laboratorio de pruebas demostrando que al diseñar un transformador podemos tener la certeza de que pueda limitar la corriente de falla en el neutro según requerimiento técnicos del cliente. Teniendo en cuenta que todo el análisis sustentado obedece a las hipótesis planteadas.

## **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigente**

El autor involucrado en el estudio es responsable de la veracidad de la información presentada en la tesis titulada “DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DEL TRANSFORMADOR ZIGZAG CARGABLE EN LA SUBESTACIÓN LA PLANICIE, LIMA-2024”, que se realizó siguiendo las normas de la Universidad Nacional del Callao.

## VII. CONCLUSIONES

1) En base a la demostración de los cálculos justificativos de la selección de los dispositivos de protección internos del transformador zigzag cargable, se concluye que la selección del equipamiento eléctrico obtenidos es correcta, de acuerdo a las normatividades vigentes de cada dispositivo de protección del transformador.

2) En base a la demostración de los cálculos justificativos de la selección de los dispositivos de protección externos del transformador zigzag cargable, se concluye que la selección del equipamiento eléctrico obtenidos es correcta, de acuerdo a las normatividades vigentes de cada dispositivo de protección del transformador.

3) En base a los resultados obtenidos en el laboratorio de pruebas eléctricas reflejadas en los protocolos de pruebas de la fábrica en la parte activa del transformador zigzag cargable, se concluye que los valores de potencia, pérdidas en el hierro y pérdidas en el cobre son correctos de acuerdo a lo exigido por la normativa vigente IEC 60076.

4) En base a los resultados obtenidos en el laboratorio de pruebas eléctricas reflejadas en los protocolos de pruebas de la fábrica de la prueba especial de impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable, se concluye que los valores obtenidos son correctos de acuerdo a lo exigido por la normativa vigente IEC 60076-6.

## VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda seleccionar los dispositivos de protección internos para el transformador de fabricantes que utilicen materiales eléctricos de alta calidad, disponga de certificaciones, garantía de sus productos y amplia experiencia en el rubro eléctrico como son: CEDASPE, ELKOM.
- 2) Se recomienda seleccionar los dispositivos de protección externos para el transformador de fabricantes que utilicen materiales eléctricos de alta calidad, disponga de certificaciones, garantía de sus productos y amplia experiencia en el rubro eléctrico como son: STE, BALESTRO, SCHNEIDER.
- 3) Se recomienda validar técnicamente el protocolo de pruebas eléctricas de un transformador zigzag cargable los siguientes parámetros: Potencia del transformador zigzag cargable, estará acorde a la IEC 60076-6 y ANSI C57.32, pérdidas en el fierro y cobre obtenidos deben estar dentro de la tolerancia según IEC 60076-1 en el rango de  $\pm 15\%$  respecto a lo garantizado en la tabla de datos técnicos solicitados por el cliente.
- 4) Se recomienda validar técnicamente la impedancia de secuencia cero del protocolo de pruebas eléctricas de un transformador zigzag cargable estando este valor obtenido dentro de la tolerancia indicada en la IEC 60076-6 en el rango de  $+ 20\%$  respecto a lo garantizado en la tabla de datos técnicos solicitados por el cliente.
- 5) Se recomienda la calibración de los instrumentos de medición que forman parte de las pruebas eléctricas del transformador zigzag cargable, hacerla de manera anual.
- 6) Se recomienda para el desarrollo de nuevos diseños de transformadores zigzag cargable solicitados por el cliente deben ser analizados de acuerdo al lugar de instalación como tensión máx. de la red, corriente de falla del sistema, tiempo de falla en el sistema, nivel de corrosividad ambiental, altura de trabajo y tensión de alimentación de servicios auxiliares. Esto servirá para hacer un diseño correcto y obtener valores de acuerdo a las normatividades vigentes IEC 60076.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAE, «Diccionario de la lengua española (24.<sup>a</sup> ed.). [En línea].Madrid: Espasa Calpe.,» 2023. [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/>..
- [2] Álvarez Risco, «Las investigaciones cualitativas, cuantitativas o mixtas necesitan incluir antecedentes. p. 1,» 2020.
- [3] MUÑOZ, A. , «Diseño e implementación de un transformador zig zag para mitigación de armónicos de corriente. Tesis de Maestría,Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.,» 2020. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec..>
- [4] ERAZO, J., « Estudio técnico económico para el diseño y dimensionamiento de un transformador tipo zigzag para puesta a tierra en la central de generación Illuchi 1 de Elepco.Tesis de Maestría, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2020.,» 2020. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec>.
- [5] ACOSTA, B., « Propuesta técnica para la reducción de los armónicos homopolares en el conductor neutro de las instalaciones eléctricas de la facultad de ingeniería en ciencias aplicadas. Tesis de pregado,Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador,» 2022. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec..>
- [6] MELGAR, D., «Confiability en sistemas con transformadores de potencia con devanado de compensación interna o aterramiento ficticio externo mediante transformadorzigzag.Tesis.depregado,UniversidadContinental,Huancayo,Perú,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.continental.edu.pe>.
- [7] LUJAN, M., « Optimización de la selectividad mediante aterramiento de sistemas con neutro aislado en la set Ingenio.Tesis de pregado,Universidad del Centro del Perú,Huancayo,Perú.,» 2008. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/395552151/Lujan-Sanchez>.
- [8] CHARAGUA, E. , «Diseño e implementación de rectificador de 18 pulsos mediante un transformador de aislamiento en conexión delta/delta zigzag para

- mejoramiento del factor de potencia de la red eléctrica. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín,,» 2018. [En línea].
- [9] P. Anderson, «Analysis of faulted power system. En power Math Associates, Inc, New York. 1995. ISBN:0-7803-1145-0.,» 1995.
- [10] Harlow, J., «Electric power transformer engineering. En Taylor & Francis Group, London,,» 2006. [En línea].
- [11] Kulkarni, R., « Electric power transformer engineering Design, Technology, and Diagnostics. En Taylor & Francis Group, London.,» 2013.
- [12] SAMPIERI, R., « Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. En Interamericana Editores, México, pp.5.,» 2018.
- [13] H. ÑAUPAS PAITÁN, «Metodología de la investigación Cuantitativa Cualitativa y Redacción de la Tesis. Quinta Edición ed. Bogotá. Colombia: Ediciones de la U, 2014.,» 2014.
- [14] CABALLERO ROMERO, A., «Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos. En Cengage Learning Editores, pp.224.,» México, 2014.
- [15] R. Hernández , C. Fernández y P. Baptista, «Metodología de la Investigación, s.l.: Mc Graw Hill Education, México, edición: 6ª, editor: Punta Santa Fe, ISBN: 978-607-15-0291-9.,» 2020.
- [16] HERNANDEZ, R., et al., « Metodología de la investigación. 6ªed.,» McGraw-Hill Interamericana, México , 2014.
- [17] SUPO, J., «Seminarios de investigación científica. En Bioestadístico, EIRL, Perú.,» 2014.
- [18] C. BERNAL, «Metodología de la Investigación. Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales. Tercera ed. Colombia.: PEARSON EDUCACIÓN, Colombia, 2013.,» 2013.

- [19] RISCO, D., «Metodología de la Investigación Científica en Ciencias Sociales y Humanidades. En UNMSM Ediciones.,» Lima , 2020.
- [20] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Guía para la preparación de documentos de normalización (3ª edición). Publicación IEC 60076-3.,» 2023.
- [21] M. TAMAYO , «Metodologia formal de la investigacion cientifica / formal methodology of scientific investigation. Editorial Limusa S.A. De C.V., 2005. ISBN 9789681811860.,» 2005.
- [22] F. ARIAS, «El proyecto de investigación - Introducción a la metodología científica. 6a ed. Venezuela: Epísteme, 2016.,» 2016.
- [23] C. Hernández y N. Carpio , «Introducción a los tipos de muestreo. 2019. s.l.: Revista Científica del Instituto Nacional de Salud Vol. 2, num. 1, ISSN-e: 2617-5274,» 2019.
- [24] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Power transformers,part 1 General (3ª edición). Publicación IEC 60076-1.,» 2011.
- [25] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Power transformers,part 2 Temperature rise for liqued-immersed transformers, (3ª edición). Publicación IEC 60076-2 .,» 2011.
- [26] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Power transformers,part 5 Ability to withstand short circuit, (3ª edición). Publicación IEC 60076-5,» 2006.
- [27] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Power transformers,part 6 Reactors, (1ª edición). Publicación IEC 60076-6,» 2007.
- [28] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Power transformers,part 7 Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers, (2ª edición). Publicación IEC 60076-7,» 2018.

- [29] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), «(part 1:Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions General (1ª edición). Publicación IEC 60815-1.,» 2008.
- [30] Internacional Estándar (ISO)., «(Paint and varnish-corrosion protection of steel structures by protective paint systems,part 5 protective paint system (2ª edición). Publicación ISO 12944-5.,» 2007.
- [31] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Instrument transformers transformers,part 2 Additional requeriments for current transformers (1ª edición). Publicación IEC 61869-2.,» 2012.
- [32] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Degrees of protection provided by enclosures(IP code) (2ª edición). Publicación IEC 60529.,» 2001.
- [33] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Surge arresters-part 5:Selection and application recommendations (3ª edición). Publicación IEC 60099-5.,» 2018.
- [34] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)., «(Tap changers-part 1:Perfomance requirements and test methods(2ª edición). Publicación IEC 60214-1.,» 2014.
- [35] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), «(Insulated bushings for alternating voltages above 1000V(7ª edición). Publicación IEC 60137.,» 2017.
- [36] Power and Energy Society (IEEE), «(Standard for requeriments,terminology,and test procedures for neutral grounding devices(3ª edición). Publicación IEEE C57.32.,» 2015.
- [37] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), «(Fluids for electrotechnical applications-Mineral insulating oil for electrical equipment (5ª edición). Publicación IEC 60296.,» 2020.

## **ANEXOS**

## Anexo N°1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿De qué manera influye el diseño del equipamiento eléctrico en la operación óptima del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?	Demostrar la influencia del diseño del equipamiento eléctrico en la operación óptima del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.	La aplicación de diseño del equipamiento eléctrico para optimizar la operación del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024 permite la eficiencia del sistema eléctrico.	Equipamiento eléctrico	El equipamiento eléctrico se refiere a todos los dispositivos, aparatos y sistemas utilizados en la generación, transmisión, distribución y uso de energía eléctrica fundamentales para el funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos.	La variable equipamiento eléctrico será medida a través de sus dimensiones dispositivos de protección internos y dispositivos de protección externas.	Dispositivos de protección internos	Aisladores Conmutador Indicador de nivel Termómetro de aceite Relé buchholz Válvula de seguridad Deshumecedor	
						Dispositivos de protección externas	Transformadores de corriente Pararrayos Interruptor de BT	
<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ENFOQUE:</b> Cuantitativo
<b>PE1:</b> ¿De qué manera influye los parámetros eléctricos del sistema en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag	<b>OE1:</b> Demostrar la influencia de los parámetros eléctricos del sistema en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag	<b>HE1:</b> La aplicación de los parámetros eléctricos del sistema influyen significativamente en el diseño de la impedancia de secuencia cero del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima 2024.		Es un transformador destinado principalmente a proporcionar un punto neutro para fines de puesta a tierra en sistemas trifásicos sin conexión a tierra para proporcionar una ruta de retorno para corrientes		Diseño de parte activa	Potencia consumida Perdidas en el fierro Perdidas en el cobre Suministros	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada

<p>cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?</p> <p><b>PE2:</b> ¿De qué manera influye la selección técnica de los equipamientos de protección propios del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024?</p> <p><b>PE3:</b> ¿De qué manera influye el correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio?</p>	<p>cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024.</p> <p><b>OE2:</b> Demostrar la influencia en la selección técnica de los equipamientos de protección propios del transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie, Lima-2024</p> <p><b>OE3:</b> Demostrar la influencia del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.</p>	<p><b>HE2:</b> La aplicación en la selección técnica de los equipamientos de protección propios influye significativamente en el transformador zigzag cargable en la subestación La Planicie,Lima-2024.</p> <p><b>HE3:</b> La aplicación del correcto proceso de fabricación del transformador zigzag cargable influye significativamente en la validación de las pruebas eléctricas de laboratorio.</p>	<p>Transformador zigzag cargable</p>	<p>de falla y soportar una fase con falla sobre el suelo.</p> <p>IEEE.C57.32 (2015)</p>	<p>La variable transformador zigzag cargable será medida a través de sus dimensiones diseño de parte activa y prueba especial de impedancia de secuencia cero.</p>	<p>Prueba especial de Impedancia de secuencia cero</p>	<p>Corriente eléctrica</p> <p>Tensión eléctrica</p> <p>Normativas internacionales</p>	<p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b></p> <p>Explicativa</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b></p> <p>No experimental</p>
---	--	--	--------------------------------------	---	--	--	---	--

**Anexo N°2.** Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medida de las pérdidas a la carga y tensión de corto circuito

MEDIDA DE LAS PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA Y TENSION DE CORTO CIRCUITO															
Alimentación lado : _____ ; corto circuito lado : _____ ; Vn : _____ KV ; In : _____ A (a _____ MVA)															
Frec. : _____ Hz ; T1 : _____ °C															
Posición del conmutador : _____ Ip/Is = _____															
	Kv	Ka	Kw	V10	V20	V30	V12	V23	V31	A1	A2	A3	W1	W2	W3φ
1															
2	Valor medido														
3	Promedio														
4	Referido a In a _____ °C														
5	Valores porcentuales														
Posición del conmutador : _____ Ip/Is = _____															
1															
2	Valor medido														
3	Promedio														
4	Referido a In a _____ °C														
5	Valores porcentuales														
Posición del conmutador : _____ Ip/Is = _____															
1															
2	Valor medido														
3	Promedio														
4	Referido a In a _____ °C														
5	Valores porcentuales														
	Relación	Numerb de serie			Observaciones :										
		Fase 1	Fase 2	Fase 3											
TA															
TV															

**Anexo N°3. Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medida de las pérdidas y corriente en vacío.**

MEDIDA DE LAS PERDIDAS Y CORRIENTE EN VACIO																
Alimentación lado : .....; posición del conmutador : .....; Vn : ..... V; In : ..... A (a ..... MVA); Frec.: ..... Hz																
I	Kv	Kvm	Ka	Kw	V12	V23	V31	V12m	V23m	V31m	A1	A2	A3	W1	W2	W3φ
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
II	U (V)	Um (V)	I (A)	Pm (KW)	0,5 + 0,5K	P (KW)	Nota :									
1							Relación	Número de serie								
2								Fase 1	Fase 2	Fase 3						
3							TV									
4							TV									
5							TA									
6							TA									
7							Observaciones :									
8																
9																

**Anexo N°4.** Propuesta de instrumentos de recolección de datos. Medición de la impedancia a la corriente de secuencia cero

**MEDICION DE LA IMPEDANCIA A LA CORRIENTE DE SECUENCIA CERO**

Grupo de conexión : ..... Temp. ambiente : .....

**a) CIRCUITO DE MEDIDA**

**b) VALORES OBTENIDOS**

Pos. Conmut.	$I_L \times K_A$	I	$V_L \times K_V$	V ·	$W_L \times K_W$	W	$\bar{Z}_0$

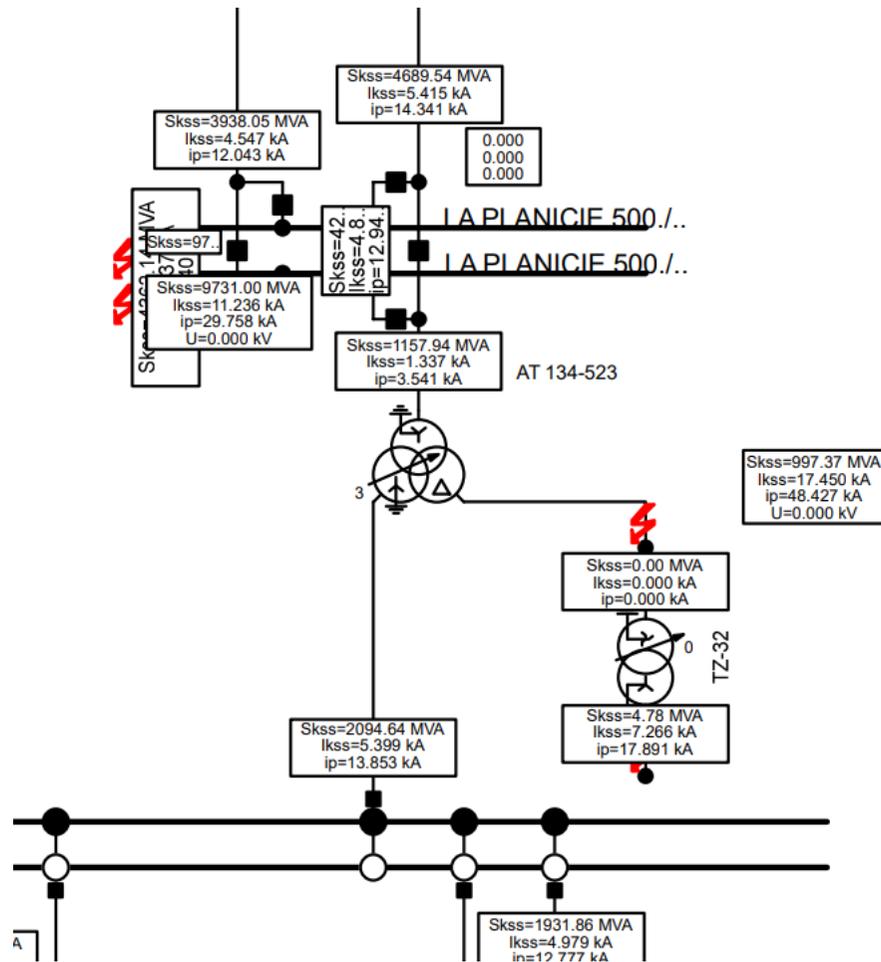
**c) OBSERVACIONES :**

$\bar{Z}_0 = 3 \bar{V} / \bar{I} \text{ (}\Omega\text{)}$

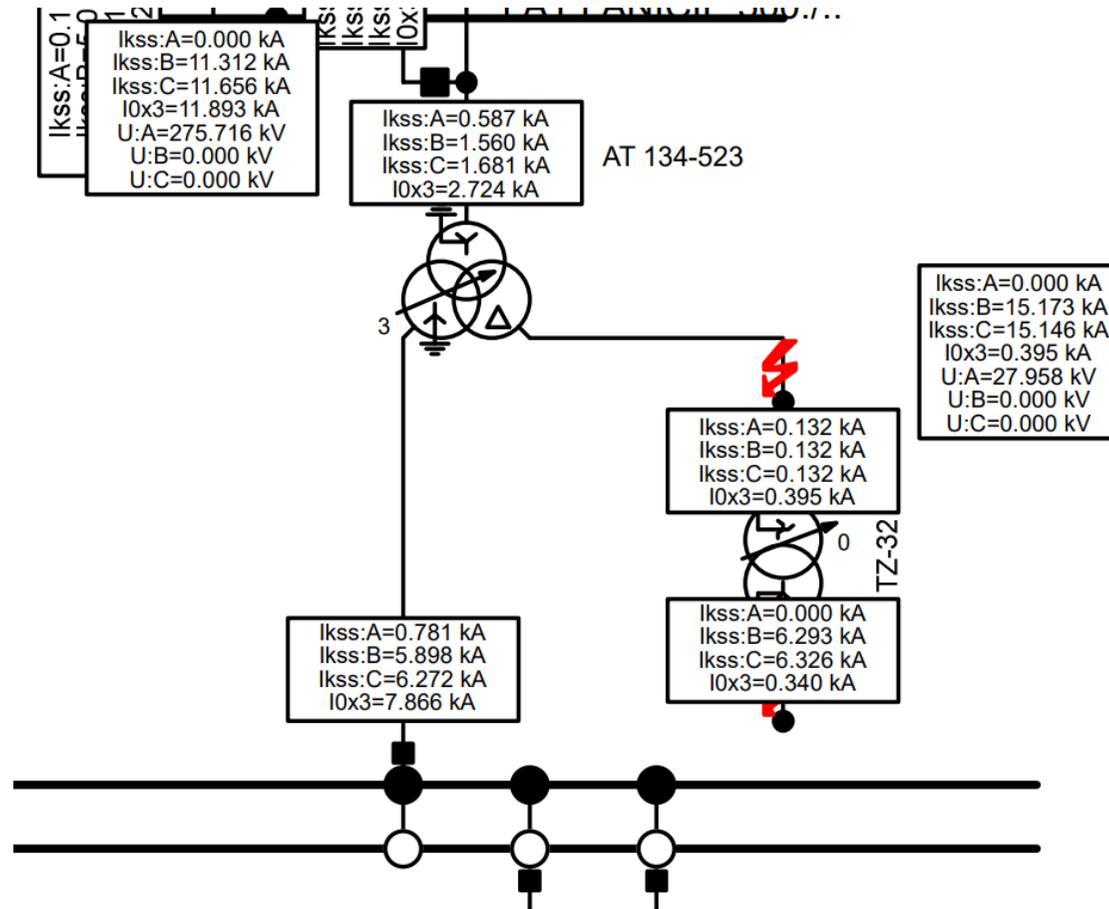
**Anexo N°5.** Propuesta de instrumentos de recolección de datos.check list de un transformador de potencia antes de su energización.

REGISTRO 011-2023	CHECK LIST DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA ANTES DE SU ENERGIZACIÓN		
La inspección se debe realizar antes de la energización del Transformador. Luego de la energización también debe monitorear su comportamiento.			
Datos de Transformador:		Serie: KVA:	Año de Fabricación: Marca:
Ubicación:		Peso de Aceite: Tipo de Aceite:	
INSPECCION ANTES DE LA ENERGIZACION ELEMENTOS	ESTADO		COMENTARIO
	OK	OBS.	
Válvula de Descarga (parte inferior del tanque)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Válvula de Regerado (parte superior tapa)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Termómetro de Aceite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Termómetro de Bobinado AT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Termómetro de Bobinado BT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Válvula de Seguridad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Aisladores de Alta Tensión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Aisladores de Baja Tensión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Bornes de salida de transformador de Corriente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Válvulas de Relé Buchholz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Relé Buchholz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Visor de Gases	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tapon de Llenado (Parte superior de conservador)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Niple para Deshumecedor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Deshumecedor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Silicagel en el interior del deshumecedor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Indicador de Nivel de Aceite TANQUE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Indicador de Nivel de Aceite Conmutador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Conmutador Bajo Carga N°	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Conmutador en Vacío	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Monitor de Gases	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Radiadores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Válvulas de Radiadores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pararrayos de AT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pararrayos de BT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ruedas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tablero Asdosado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Placa de Características	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
VERIFICACION Y LECTURAS DE ACCESORIOS LUEGO DE LA ENERGIZACION			
VERIFICAR:	NORMAL	OBS.	ANOTACIONES
Nivel de ruido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Temperatura del aceite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Temperatura del Bobinado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Acumulación de gases en el Buchholz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nivel de Aceite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ANÁLISIS DE ACEITE:			
*Transformadores nuevos: cada 12 meses, y Transformadores con antigüedad mayor a 2 años: cada 6 meses*			
Toma de muestra de aceite:	Análisis Cromatográfico	<input type="checkbox"/>	
	Análisis Físico Químico	<input type="checkbox"/>	
	Análisis de Puranos	<input type="checkbox"/>	
Elaborado:	Aprobación:	Fecha:	
Construcciones Electromecánicas DELCROSA S.A. Av Argentina 1515, Lima 01 -Perú Telf. : 3355614 -Fax: 3358190 e-mail: postmas@delcrosa.com.pe			

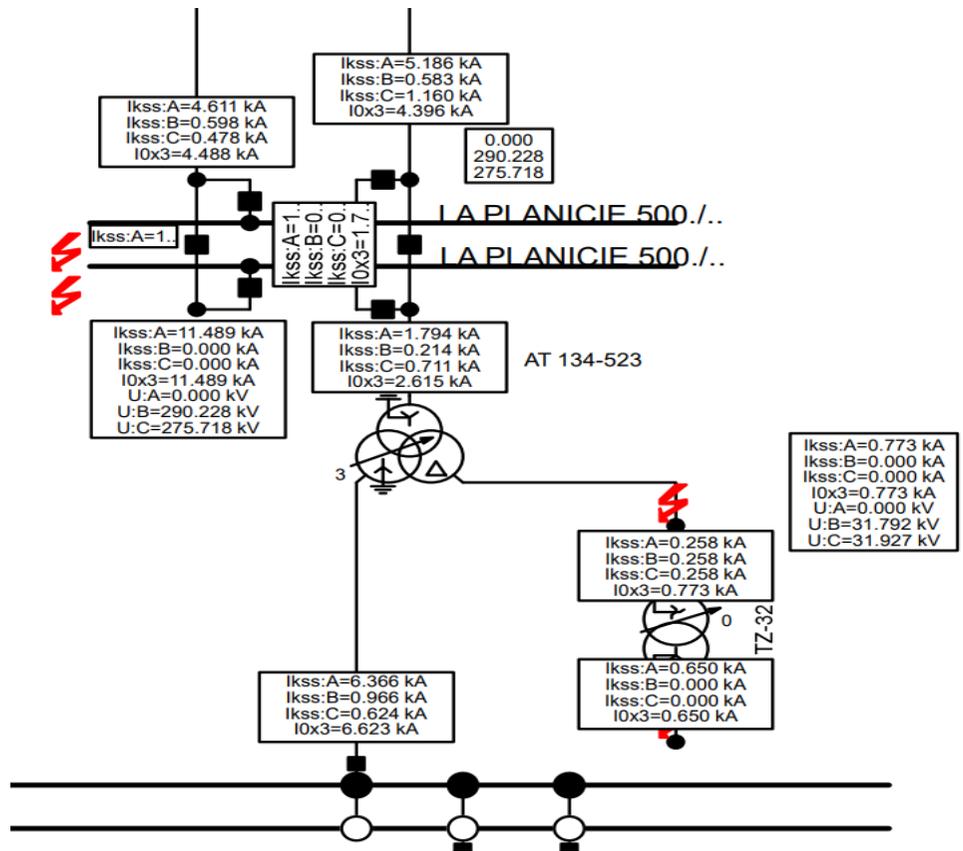
**Anexo N°6.** Simulación de falla trifásica en bornes del transformador zigzag cargable



**Anexo N°7.** Simulación de falla bifásica a tierra en bornes del transformador zigzag cargable



**Anexo N°8.** Simulación de falla monofásica a tierra en bornes del transformador zigzag cargable





# Anexo N°10. Protocolo de pruebas del transformador zigzag cargable OT149402

PROTOCOLO DE ENSAYOS DE RUTINA				DEL CROSA	
RGM042 - Revisión: 02				N° T 17374	
ENERGÍA PARA EL PERÚ					
Cliente: SIEMENS S.A.C.			Número de serie: 149402 T1		
<b>Datos Técnicos:</b>					
Tipo:	RNAZ	Voltaje nominal (V):	33,000	Corriente de línea (A):	6.93
Potencia (kVA <sub>d</sub> ):	457.26	Corriente neutro falla (A):	800	Tiempo (seg.):	10
Número de fases:	3	Grupo de Conexión:	ZNyn11	Peso total (kg):	6570
Frecuencia (Hz):	60	Refrigeración:	ONAN	Norma:	IEC 60076
Altura (msnm):	1000	Aceite mineral:		Voltaje secundario (V):	390
Potencia (kVA <sub>s</sub> ):	300	Voltaje primario (V):	33,000	Corriente secundario (A):	455.8
SERV. AUX.		Corriente primario (A):	5.25		
<b>Medida de las pérdidas y corriente en vacío (1*)</b>					
Voltaje nominal		Corrientes		Pérdidas en vacío	
Vu-v (V)	Vv-w (V)	Vw-u (V)	Iu (A)	Iv (A)	Iw (A)
380.1	379.7	378.4	2.39	2.47	2.47
			Corriente en vacío		Medido (W)
			Io (A)		1185
			Io (%)		Garantizado (W)
			2.44		1500
<b>Medida de las pérdidas con carga y tensión de cortocircuito (1*)</b>					
Temperatura ambiente (Tamb): 25°C			Temperatura de referencia (Tref): 75°C		
Voltaje		Corrientes		Calc. T=25°C	
VU-V (V)	VV-W (V)	VW-U (V)	IU (A)	IV (A)	IW (A)
1504.0	1500.5	1496.8	3.88	3.86	3.87
			Calc. Tref		Garantizado
			Pcu (W)		1890
			Vcc (%)		6.17
<b>Impedancia Homopolar (1*)</b>					
Corriente del neutro		20.8 A			
Impedancia Z <sub>0a</sub>	20 °C	70.7	84.6 Ω		
Impedancia Z <sub>0a</sub>	75 °C	70.8	83.8 Ω		
Garantizado Z <sub>0</sub>		71.0 Ω			
<b>Medida de resistencia de arrollamientos (2*)</b>					
Temperatura ambiente (Tamb): 25°C					
Terminales	Res. (Ω)	Terminales	Res. (mΩ)		
U1 - V1	11.368	U2 - V2	2.660		
V1 - W1	11.368	V2 - W2	2.648		
W1 - U1	11.365	W2 - U2	2.782		
<b>Medida de la rigidez dieléctrica del aceite (3*)</b>					
Temperatura ambiente (Tamb): 25°C					
Clase	Aceite mineral				
Referencia	HYVOLT I				
Tensión de ruptura (kV)	58.8				
Método	IEC 60156				
<b>Medida de la resistencia de aislamiento (4*)</b>					
Temperatura ambiente (Tamb): 25°C 56%H.R.					
Aplicación	MG	VDC	Resultado		
AT - BT	287000	5 kV	Conforme		
AT - Masa	45100	5 kV	Conforme		
BT - Masa	16000	2.5 kV	Conforme		
<b>Ensayo de tensión inducida (1*)</b>					
Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)	Resultado		
800	400	18	Conforme		
<b>Ensayo de tensión aplicada (1*)</b>					
Aplicación	Voltaje (kV)	Tiempo (s)	Resultado		
AT / Masa	95	60	Conforme		
BT / Masa	2.2	60	Conforme		
<b>Prueba de estanqueidad (5*)</b>					
Presión (PSI)	3				
Duración (min)	15				
Temperatura (Tamb) 25°C					
Inspección	Resultado				
Válvulas	Conforme				
Juntas	Conforme				
Accesorios	Conforme				
<b>Medida de la Relación de Transformación (2*) Tol. ±0.5%</b>					
Tap	Teórico	Fase U	Fase V	Fase W	Resultado
1	52.845	52.808	52.684	52.855	Conforme
2	51.382	51.411	51.367	51.386	Conforme
3	50.138	50.205	50.153	50.153	Conforme
4	48.885	48.917	48.883	48.880	Conforme
5	47.631	47.707	47.657	47.668	Conforme
6	46.378	46.414	46.378	46.384	Conforme
7	45.124	45.200	45.166	45.167	Conforme
					
Elaborado por: Ing. Victor Callupe Granados					
CIP: 101681					
Fecha: 25/01/2023					

Equipos utilizados: (1\*) Vatimetro WT230 Yokogawa, N° 91M86815 (4\*) Megóhmetro Megabross MD5060, N° 1712902  
 (2\*) Analizador Tettex 2293, N° 180847 (5\*) Manómetro Nuova Fima 0-15psi, N° 25031  
 (3\*) Espinterometro GlobeCore TOR-80, N° 0144

# Anexo N°11. Certificado de calibración Vatímetro



**INMETRO**  
Instrumentación y Gestión en Metrología S.A.C.

ISO/IEC 17025

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número : **LEI-00111-2024**  
Página 1 de 8

**Laboratorio de Electricidad**

Expediente N° : 00147-IM-2024

Fecha de recepción : 2024-01-24

Instrumento de medición : VATIMETRO DIGITAL

Marca : YOKOGAWA

Modelo : WT230

Número de Serie : 91MB16815

Código : No indica

Alcance : 600V AC/DC; 20A AC/DC; 12kW AC/DC

Fecha de Calibración : 2024-01-29

Lugar de Calibración : Laboratorio de Electricidad de INMETRO S.A.C.

---

Solicitante : **CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS DELCROSA S.A. O DELCROSA S.A.**

Dirección : **AV. ARGENTINA NRO. 1515 Z.I. -- LIMA - LIMA - LIMA**

---

Procedimiento : Método Directo tomando como referencia la PC-021  
Procedimiento para la calibración de Multimetros Digitales (INACAL-DA). Segunda Edición Marzo 2016

Condiciones ambientales:

Temperatura : 23,8 °C ± 0,2 °C

Humedad Relativa : 69,3 %HR ± 1,3 %HR

Patrones Utilizados :

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales (INACAL) o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo al sistema internacional de unidades (SI).

Este laboratorio cumple con los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP-ISO/IEC 17025:2017.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre combinada por el factor de cobertura  $k = 2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la Incertidumbre en la Medición".

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que realizaron las mediciones.

Se recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos en intervalos apropiados a fin de asegurar la calidad de sus mediciones.

Los resultados son válidos únicamente para el equipo bajo prueba declarado en este certificado y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Este documento no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con la autorización por escrito de INMETRO S.A.C.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Modelo	N° de Certificado	Trazabilidad
Calibrador Multifunción	5622A	LE-228-2023	INACAL-DM

Sello del laboratorio



Fecha de Emisión

2024-01-29

Sello y firma de aprobación



Ing. Americo Paucar Curasma.  
Gerente General

FG-092/Feb. 2023/Rev.00

ESTE DOCUMENTO SOLO PUEDE SER DIFUNDIR COMPLETAMENTE Y SIN MODIFICACIONES. LOS EXTRACTOS O MODIFICACIONES REQUEREN LA AUTORIZACION DE INMETRO

Jr. Antisuyo Nro. 280 - ZARATE - S.J.L. - Lima 36, Teléfono: (511) - 4596856, 4585121, 969997005, 995363358, 947157735  
Web: www.inmetrosac.com | E. Mail: ventas@inmetrosac.com / calibraciones@inmetrosac.com / inmetro.sac@gmail.com

## Anexo N°12. Certificado de calibración Espinterómetro

		ISO/IEC 17025	
Instrumentación y Gestión en Metrología S.A.C.		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b>	
Área de Metrología Laboratorio de Electricidad		NÚMERO LEI-00223-2024 Expediente: N° 00350-IM-2024 Página 1 de 2	
Fecha de recepción:	2024-02-19	Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el sistema internacional de Unidades (SI).  Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.  El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.  INMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.  Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.  El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.	
Objeto de Calibración:	ESPINTEROMETRO DIGITAL (OIL TESTER)		
Marca / Fabricante:	GLOBECORE		
Modelo:	TOR-80		
Serie / Código:	0144 / No indica		
Procedencia:	No indica		
Alcance:	80kV AC		
División de Escala:	0,1kV		
Parámetros:	Tension AC		
Solicitante:	CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS DELCROSA S.A. O DELCROSA S.A.		
Dirección:	AV. ARGENTINA NRO. 1515 Z.I. - LIMA		
Fecha de calibración:	2024-02-20		
Lugar de calibración:	Laboratorio de Electricidad - Área de Metrología Jr. Antisuyo 280, Urb. Zarate, San Juan de Lurigancho, Lima.		
Método de calibración:	La calibración se realizó por inducción directa con señal alterna a una frecuencia de 60,00Hz. Tensión aplicada sobre un Medio aislante (AIRE). Bajos las Normas IEC, ASTM.		
<b>Condiciones ambientales:</b>			
Temperatura inicial:	24,1 °C	Humedad relativa inicial:	67,1 %
Temperatura final:	23,4 °C	Humedad relativa final:	66,9 %
<b>Observaciones</b> Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".			
Sello	Fecha de emisión	Firma/s autorizada/s	
	2024-02-20	 Ing. Americo Pauzer Curasma Gerencia del Servicio de Metrología	

# Anexo N°13. Certificado de calibración Tettex



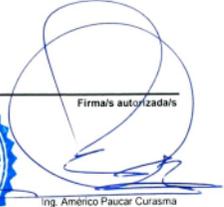
**INMETRO**  
Instrumentación y Gestión en Metrología S.A.C.

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Electricidad*

ISO/IEC 17025

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
NÚMERO LEI-00285-2024  
Expediente: N° 00418-IM-2024  
Página 1 de 2

---

<p>Fecha de recepción: 2024-02-27</p> <p>Objeto de Calibración: ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE DEVANADOS DE TRANSFORMADOR</p> <p>Marca / Fabricante: TETTEX</p> <p>Modelo: 2293</p> <p>N° de Serie / Código: 00180847 / No indica</p> <p>Precedencia: No indica</p> <p>Ubicación: No indica</p> <p>Parámetros: Resistencia (Ω), Relación de transformación</p>	<p><i>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</i></p> <p><i>Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</i></p> <p><i>El usuario está en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.</i></p>						
<p>Solicitante: <b>CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS DELCROSA S.A. O DELCROSA S.A.</b></p> <p>Dirección: <b>AV. ARGENTINA NRO. 1515 Z.I. -.- LIMA - LIMA - LIMA</b></p>							
<p>Fecha de calibración: <b>2024-02-29</b></p> <p>Lugar de calibración: Laboratorio de Electricidad - Área de Metrología Jr. Antisuyo 280, Urb. Zarate, San Juan de Lurigancho, Lima.</p> <p>Método de calibración: La calibración se realizó por medición directa bajo la norma ANS/IEEE C57.12.90, con el uso patrones calibrados con trazabilidad nacional e internacional trazable al NIST-USA, INACAL-PERÚ.</p>							
<p><b>Condiciones ambientales:</b></p> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Temperatura inicial: 23,9 °C</td> <td style="width: 30%;">Humedad relativa inicial: 61,1 %</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Temperatura final: 23,4 °C</td> <td>Humedad relativa final: 64,3 %</td> <td></td> </tr> </table>		Temperatura inicial: 23,9 °C	Humedad relativa inicial: 61,1 %		Temperatura final: 23,4 °C	Humedad relativa final: 64,3 %	
Temperatura inicial: 23,9 °C	Humedad relativa inicial: 61,1 %						
Temperatura final: 23,4 °C	Humedad relativa final: 64,3 %						
<p><b>Observaciones</b></p> <p>Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".</p>							
<p>Sello</p> 	<p>Fecha de emisión</p> <p style="text-align: center;">2024-02-29</p>	<p>Firma/s autorizada/s</p>  <p style="text-align: center;">Ing. Américo Paucar Curasima Gerencia del Servicio de Metrología</p>					

# Anexo N°14. Certificado de calibración CT ANALYZER



**INMETRO**  
Instrumentación y Gestión en Metrología S.A.C.

ISO/IEC 17025

**Área de Metrología**  
*Laboratorio de Electricidad*

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
NÚMERO LEI-00431-2024  
Expediente: N° 00698-IM-2024

Página 1 de 2

---

Fecha de recepción:	2024-04-02	<i>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</i>
Objeto de Calibración:	EQUIPO ANALIZADOR TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	
Marca / Fabricante:	OMICRON	
Modelo:	CT ANALYZER	<i>Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</i>
N° de Serie / Código:	LF539J / No indica	
Procedencia:	AUSTRIA	
Ubicación:	No indica	<i>El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.</i>
División de Escala:	0.0001	
Parámetros:	Tension, Corriente, Frecuencia.	

---

Solicitante:	CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS DELCROSA S.A. O DELCROSA S.A.	<i>INMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</i>
Dirección:	AV. ARGENTINA NRO. 1515 Z.I. -- LIMA - LIMA - LIMA	

---

Fecha de calibración:	2024-04-03	<i>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrita del laboratorio que lo emite.</i>
Lugar de calibración:	Laboratorio de Electricidad - Área de Metrología Jr. Antisuyo 280, Urb. Zarate, San Juan de Lurigancho, Lima.	
Método de calibración:	La calibración se realizó por medición directa y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad nacional e internacional trazable al DM-INACAL NIST- USA.	<i>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</i>

**Condiciones ambientales:**

Temperatura inicial:	23,7 °C	Humedad relativa inicial:	70,2 %
Temperatura final:	23,3 °C	Humedad relativa final:	70,9 %

**Observaciones**

Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

---

Sello	Fecha de emisión	Firma/s autorizada/s
	2024-04-03	



Ing. Américo Paucar Curasma  
Gerencia del Servicio de Metrología

ESTE DOCUMENTO SOLO PUEDE SER REPRODUCIDO COMPLETAMENTE Y SIN MODIFICACIONES. LOS EXTRAÑOS O MODIFICACIONES REQUERIRAN LA AUTORIZACION DE INMETRO.  
Jr. Antisuyo Nro. 280 - ZARATE - S.J.L. - Lima 36, Teléfono: (511) - 4596856, 4585121, 969997005, 995363358, 947157735  
Web: www.inmetrosac.com | E. Mail: ventas@inmetrosac.com / calibraciones@inmetrosac.com / inmetro.sac@gmail.com

# Anexo N°15. Certificado de calibración Megohmetro



**INMETRO**  
Instrumentación y Gestión en Metrología S.A.C.

ISO/IEC 17025

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO LEI-01217-2023  
Expediente: N° 02245-IM-2023  
Página 1 de 2

**Área de Metrología**  
*Laboratorio de Electricidad*

<b>Fecha de recepción:</b>	11 de Octubre de 2023	<p><i>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</i></p> <p><i>Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</i></p> <p><i>El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.</i></p> <p><i>INMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.</i></p> <p><i>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</i></p>
<b>Objeto de Calibración:</b>	MEGÓHMETRO DIGITAL (Medidor de Aislamiento)	
<b>Marca / Fabricante:</b>	MEGABRAS	
<b>Modelo:</b>	MD5060x	
<b>Serie / Código:</b>	17 I2902 / No indica	
<b>Procedencia:</b>	U.S.A	
<b>Ubicación:</b>	No indica	
<b>División de Escala</b>	0,01 ; 0,1 ; 1	
<b>Parámetros</b>	Resistencias (Ω)	

---

<b>Solicitante:</b>	CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS DELCROSA S.A.
<b>Dirección:</b>	AV. ARGENTINA NRO. 1515 Z.I. -- LIMA - LIMA - LIMA

---

<b>Fecha de calibración:</b>	11 de Octubre de 2023
<b>Lugar de calibración:</b>	Laboratorio de Electricidad - Área de Metrología Jr. Antisuyo 280, Urb. Zarate, San Juan de Lurigancho, Lima.
<b>Método de calibración:</b>	La calibración se realizó por medición directa y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad nacional e internacional trazable al INACAL-DM.

**Condiciones ambientales:**

Temperatura inicial:	23,3 °C	Humedad relativa inicial:	70,2 %
Temperatura final:	23,8 °C	Humedad relativa final:	72,5 %

**Observaciones:**

Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

Sello

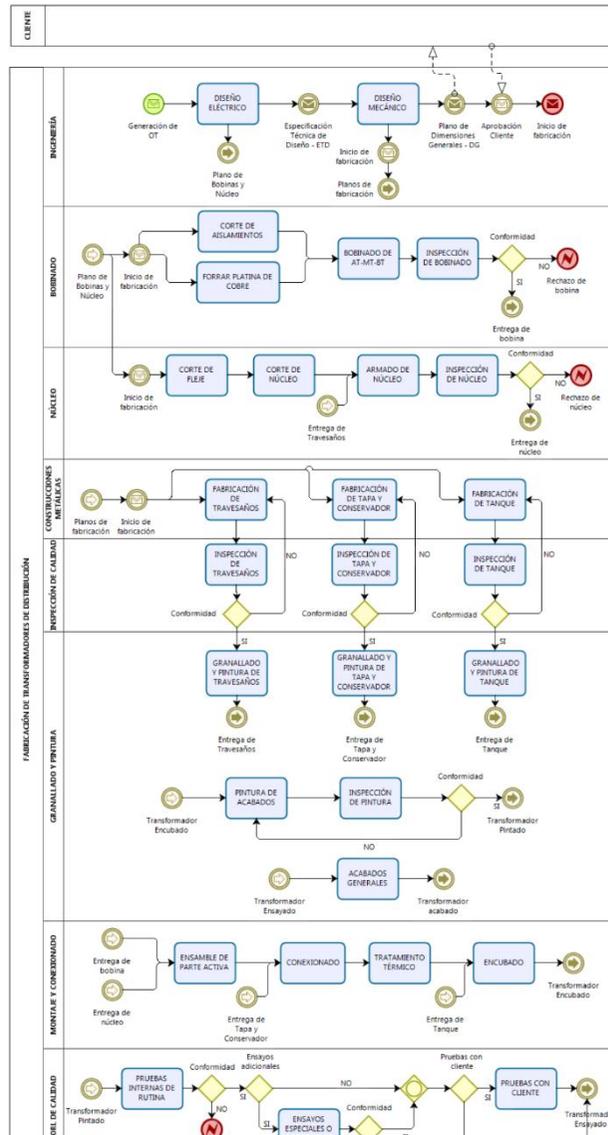


Fecha de emisión

Firma/s autorizada/s



# Anexo N°16. Control de procesos transformadores de distribución especiales



## Anexo N°17. Aseguramiento de la calidad en el proceso de producción de transformadores de potencia

NOMBRE DEL PROCESO	RESPONSABLE	MÉTODO DE CONTROL DE PROCESO						
		Control	Instrucción	Registro	Equipo de medición	Método de inspección (ensayo/prueba)	Criterio de aceptación	
1	Bobinado	Supervisor/Operario de Bobinado	Dimensional  Continuidad de platinas de cobre forradas en paralelo	ITM016 ITM017	RGM019	Calibrador Compás exterior Cinta métrica  Multitéster	Medición  Prueba de continuidad	Tolerancia de acuerdo a la Esp. Técnica  Cuando existe señal audible o visual de continuidad, se rechaza.
2	Fabricación de tanque, tapa y conservador	Supervisor de Construcciones Metálicas  Inspector de Hermeticidad	Control de las dimensiones  Hermeticidad	ITM059 ITM075 ITM081 ITM109	RGM078 RGM079 RGM002	inta métrica Calibrador  Manómetro  Equipo de luz negra	Medición  Prueba de Hermeticidad  Prueba de líquido penetrante	Tolerancias según planos  Se rechaza cuando hay variación de presión  Se rechaza cuando el líquido penetrante traspasa zona de soldadura o el material

Elaborado por: Jefe de Operaciones

Aprobado por: Gerente de T&R

Emitido por SIG:

NOMBRE DEL PROCESO	RESPONSABLE	MÉTODO DE CONTROL DE PROCESO						
		Control	Instrucción	Registro	Equipo de medición	Método de inspección (ensayo/prueba)	Criterio de aceptación	
3	Ensamble de Núcleo de Potencia	Supervisor de Núcleos	Dimensional	ITM024	RGM056	Calibrador Cinta métrica	Medición	Tolerancias de acuerdo al plano
			Aislamiento			Megómetro	Prueba de aislamiento entre travesaños	Según especificaciones técnicas
			Medida de pérdidas óhmicas			Vatímetro	Prueba de pérdidas de fierro	Según especificaciones técnicas
4	Tratamiento de bobinas y Montaje en bloque	Supervisor de Montaje y Conexionado	Medida de fuerzas de prensado	ITM104	RGM069	Manómetro Torquímetro	Medición	Según especificaciones técnicas
			Altura de la bobina			Cinta métrica	Medición	Según especificaciones técnicas
5	Montaje y Conexionado	Supervisor de Montaje y Conexionado	Relación de Transformación	ITM110 ITM111	RGM080	Medidor de Relación de Transformación	Ensayo de Relación	Según especificación técnica
			Continuidad			Multitéster	Prueba de continuidad	Cuando existe señal audible o visual de continuidad se rechaza
			Conexionado del grupo			-	Inspección visual	Según esquema de conexión

NOMBRE DEL PROCESO	RESPONSABLE	MÉTODO DE CONTROL DE PROCESO						
		Control	Instrucción	Registro	Equipo de medición	Método de inspección (ensayo/prueba)	Criterio de aceptación	
	Montaje y Conexionado	Supervisor de Montaje y Conexionado	Distancia mínima a masa	ITM112	RGM080	Cinta métrica	Medición	Según especificaciones técnicas
6	Pre secado	Supervisor de Montaje y Conexionado	Temperatura de la parte activa	ITM105	RGM005 RGM080	Termómetro	Medición	Según especificación técnica
7	Preparación de Parte Activa, Encubado, Secado al vacío y Llenado de aceite	Supervisor de Montaje y Conexionado	Distancia mínima al tanque			Cinta métrica	Medición	Según distancias de aislamiento mínimas en aceite
			Lista de accesorios	ITM113 ITM114	RGM080 RGM081	-	Inspección visual	Según lista de planos y accesorios
			Filtración de aceite			-	Inspección visual	Se rechaza cuando evidencia fuga

NOMBRE DEL PROCESO	RESPONSABLE	MÉTODO DE CONTROL DE PROCESO					
		Control	Instrucción	Registro	Equipo de medición	Método de inspección (ensayo/prueba)	Criterio de aceptación
Preparación de Parte Activa, Encubado, Secado al vacío y Llenado de aceite	Supervisor de Montaje y Conexionado	Tangente Delta	ITM113 ITM114	RGM080 RGM081	Puente Shering	Medición	Estabilización de lecturas
		Horas de secado y temperatura promedio			Termómetro	Medición	Según lo especificado en RGM081
		Volumen de agua extraída			-	Prueba de medición de volumen	Según especificación técnica
		Punto de Rocío			Equipo de punto de rocío	Prueba de punto de rocío	Según especificación técnica
8 Pintura y Acabados	Supervisor de Control de Procesos	Espesor de pintura	ITM115 ITM098	RGM015	Medidor de espesor de pintura	Medición	Según especificación técnica
		Color			-	Comparación	Según carta RAL
		Adherencia			Cinta	Prueba de adherencia	Nivel de adherencia 5A y 4A



**Anexo N°19.** Control de proceso de fabricación-Montaje y conexionado,núcleo,prueba de parteactiva, secado, encubado, pintura.

OT 149402

Serie 1

TIPO: 2B 200-2A02

DELACROSA		HOJA DE CONTROL DE PROCESO TRANSFORMADORES DISTRIBUCIÓN				ROM004 Rev. 1		
PRODUCCIÓN / REGISTRO	CIENTE: SIEMENS	OT: 149402	SERIE: 1	CONTROLES		REVISADO	OBSERVACIONES	
1 NÚCLEO							OK	
2 MADERAS	TIRANTE DE CONEXIÓN % HUMEDAD =							
3 BOBINAS	DISTANCIADORES DE BOBINAS % HUMEDAD =						OK	
	FASE		BT U AT	BT V AT	BT W AT			
	IP	1	2	3				
4 CONEXIONES	CENTRALIDAD						OK	
	ESTRELLA		TRIANGULO					
	FECHA DE INICIO	LADO BT	LADO MT	LADO AT	BT (DMS)	A.T. (DMS)		DISEÑ. FASES (DMS)
	FECHA DE TÉRMINO	22.12.22	22.12.22					
REALIZADO POR	Huanon							
5 PRUEBA DE RELACIÓN	DISEÑ. MÍNIMA MEDIDA						OK	
	CENTRADO DE BOBINA							
	Ps	MIN	TEÓRICO	MAX	U	V		W
	FECHA	22.12.22	53.545	62.69	52.65	52.671		
	REALIZADA POR	W M						
6 SECADO	GRUPO DE CONEXIÓN						OK	
	Ps	MIN	TEÓRICO	MAX	U	V		W
	FECHA	22.12.22	47.377	46.390	46.391	46.381		
	REALIZADA POR	45.724						
	REALIZADA POR	45.176						
7 TANQUE	GRUPO DE CONEXIÓN						OK	
	Ps	MIN	TEÓRICO	MAX	U	V		W
	FECHA	22.12.22	45.724	45.176	45.756	45.177		
	REALIZADA POR							
	REALIZADA POR							
8 ENCUBADO	INGRESO FECHA HORA		6/09/23		5:00pm.		OK	
	SALIDA FECHA HORA		11/09/23		8:00pm.			
	N° HORAS DE SECADO		144		144 hms.			
	TEMPERATURA PROMEDIO		110		110 °C			
	OT: 149402		SERIE: 1					
	DISTANCIA MÍNIMA MEDIDA (mm)		BT / TANQUE	50	AT / TANQUE	25		
	FECHA DE INICIO		12/09/23		12/09/23			
	FECHA DE TÉRMINO		12/09/23		12/09/23			
	REALIZADO POR		Hilton Silva		Hilton Silva			
	FUGAS DE ACEITE		REVISIÓN LUGRO DE ENCUBADO		REVISIÓN DESPUÉS DE 24 HORAS (MM)			BIEB
ACEITE (MARCA Y TIPO)		LIBRA						
VERIFICACIÓN DE ACCESORIOS								
NIVEL DE ACEITE		DESHUM	TRANS CORRIENTE					
VÁLV. SEG.		VAL VAC	CAJUELA					
WEL BUCHOLZ		RELE	VAL. LLEN.					
TERMOMETRO		FUSIBIL	ASLAD					
CENTRADO DE BOBINA		TANQUE	RUEDAS	CAJA CD				
DISEÑ. ENTRE EJE DE AISLAD.		CONSER	PLACA	BAJA TENSIÓN	145			
TENSION DE RUPTURA DEL ACEITE		145						
10 PINTURA		Especial		Tapa		Conservador		
FECHA DE INICIO		10/10/23						
FECHA DE TÉRMINO		10/10/23						
REALIZADO POR		Hilton Silva						
REALIZADO POR		Hilton Silva						
REVISADO POR SUPERVISOR DE MONTAJE Y CONEXIONADO		10/10/23						
FECHA		10/10/23						

Ruperto Castilla Baylon  
SUPERVISOR DE MONTAJE Y CONEXIONADO  
DELACROSA

# Anexo N°20. Certificado de calidad de las platinas TD para conexionado del transformador

**Tecnofil**  Isidro Bonifaz 471  
Independencia  
Lima Perú  
T(511) 613 9200  
F(511) 613 9201

logistica@tecnofil.com.pe  
sales@tecnofil.com.pe  
ventas@tecnofil.com.pe  
www.tecnofil.com.pe

**PEDIDO** 50001323

N° 2312072

## CERTIFICADO DE ANÁLISIS

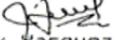
<b>ORDEN DE COMPRA</b>	<b>FECHA</b>	<b>CLIENTE N°</b>
24001545	Abril 22, 2024	1003039

<b>CLIENTE</b>	CONSTRUC. ELECTROM. DELCROSA S.A.
<b>DIRECCIÓN</b>	AV. ARGENTINA 1515, LIMA, LIMA, 150101/Perú

DESCRIPCION DE RESULTADOS							QUIMICO		FISICO					Peso neto	UDM	Comentarios
Producto	Aleacion	Tamaño	Forma	Unidad de medida	Especificacion	Temple	Elem.	Pureza	Dureza	UDM	conductividad	UDM	Prueba de Doble 120°			
TIRAS DE COBRE ELECTROLITICO	C11000	3 X 30 X 6.00 SE	SE	MM X MM X M	ASTM B187-20	H02	% Cu	99.99	84.7	HRF	100.7	% IACS	GOOD	1,124.00	KG	
BARRAS DE COBRE ELECTROLITICO	C11000	5 X 40 X 6.00 SE	SE	MM X MM X M	ASTM B187-20	H02	% Cu	99.997	84.9	HRF	100.6	% IACS	GOOD	1,807.00	KG	
TIRAS DE COBRE ELECTROLITICO	C11000	5 X 60 X 6.00 SE	SE	MMXMMXM	ASTM B187-20	H02	% Cu	99.99	84.7	HRF	100.3	% IACS	GOOD	641.00	KG	
TIRAS DE COBRE ELECTROLITICO	C11000	8 X 80 X 6.00 SE	SE	MMXMMXM	ASTM B187-20	H02	% Cu	99.99	80.7	HRF	100.0	% IACS	GOOD	68.00	KG	

1. Este certificado se emite a fin de garantizar que este material se ajusta a su orden de compra en todos los sentidos. Los puntos marcados con asterisco (\*) son solo referenciales.

Responsable de Aseguramiento de la calidad

  
  
Eloy Vasquez P.  
Jefe de control de calidad

Fecha Abril 22, 2024

# Anexo N°21. Certificado de calidad de la platina del bobinado de BT



Calle Isidro Bonifaz 471 - Independencia - Lima 31 Perú  
 Telefonos: (51-1)6139200 Fax:(51-1) 6139201  
 Web Page: http://www.tecnofil.com.pe  
 Email: sales@tecnofil.com.pe/ventas@tecnofil.com.pe

PEDIDO 101878

N° 0000568524

## CERTIFICADO DE ANÁLISIS

PEDIDO DE CLIENTE N°		FECHA		PESO NETO		NUMERO PARTE		LINEA					
24001329		Abril 08, 2024		632.000 KG		20100019940/024		10					
PRODUCTO: ALAMBRE DE COBRE													
ALEACIÓN		MEDIDAS		ESPECIFICACIÓN		TEMPLE		FORMA		NÚMERO DE PIEZAS			
C10200		3.50 X 14.00M		ABB BR 1529 0002CPR1		SOFT		SE		4			
CERTIFICADO PARA: CONSTRUC. ELECTROM. DELCROSA S.A.													
DIRECCIÓN: AV. ARGENTINA 1515, LIMA, LIMA, 150101/Perú													
PRUEBAS													
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS:													
COMPOSICIÓN QUÍMICA						FÍSICA							
CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN			VALOR			CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN			VALOR		
	UDM	Min.	Max.	Min.	Max.	Promedio		UDM	Min.	Max.	Min.	Max.	Promedio
Cu	%	99.950				99.995	Conductividad	% IACS	100.0				100.2
							Dureza	HRF	28.0	54.0	44.6	44.6	44.6
							Bend Test	120/90°					GOOD
HEAT NUMBERS		101878/10200/3.50 X 14.00M											
BULTO		1 al 4											
COMENTARIO													
1. Este certificado se emite a fin de garantizar que este material se ajusta a su orden de compra en todos los sentidos. Los puntos marcados con asterisco (*) son solo referenciales.													
Responsable de control de calidad:		 Eloy Vasquez P. Jefe de control de calidad				Fecha		Abril 08, 2024					

# Anexo N°22. Certificado de calidad de la platina del bobinado de AT



Certificado de Qualidade N° 40175926

Página: 1 de 1

CERQUILHO, 15 de Junho de 2022

<b>Fornecedor</b>		<b>Cliente</b>	
PPE FIOS ESMALTADOS S.A. AV. PRIMEIRO DE MAIO 1835 CERQUILHO - SÃO PAULO - BRASIL		LUVSA COMPANY S.A.C. JR. CUTERVO 1781 RUC20607027341 - - PERU	
Ordem de Compra 2022/013	Código do Produto do Cliente	Ordem de Venda/Item 424135-06	
Análise 54060042	Descrição do Produto INVEMID 220-R 08 AWG	Classe Térmica 220°	Especificação do Cliente MW-37C/Rev-2014
Acondicionamento P355	Ordem de Produção 23719152	Ordem de Fabricação 224155-22	Nota Fiscal 318978
		Quantidade Faturada 3.009,950 KG	

**Certificamos que o produto acima foi aprovado conforme a norma citada, e durante os testes apresentou os seguintes resultados :  
Este certificado está em conformidade com a norma EN 10204-3.1.**

Legenda : OK - Aceito      NOK - Recusado      N/A - Não Aplicado

Ensaio	Unidade	Especificado			Resultado Obtido	
		Nominal	Mínimo	Máximo	Menor	Maior
ACRÉSCIMO BASE	mm	0,121	0,089	0,152	0,115	0,115
FLEXIBILIDADE FORÇADA		OK/NOK	OK/NOK	OK/NOK	OK	OK
ADERÊNCIA		OK/NOK	OK/NOK	OK/NOK	OK	OK
ADERÊNCIA/FLEXIBILIDADE		OK/NOK	OK/NOK	OK/NOK	OK	OK
ALONGAMENTO	%	36	36	---	40	40
ÂNGULO DE RECUCO	Grau	5,0	---	5,0	-2,0	2,0
CHOQUE TÉRMICO		OK/NOK	OK/NOK	OK/NOK	OK	OK
DIÂMETRO CONDUTOR	mm	3,264	3,231	3,280	3,245	3,245
DIÂMETRO EXTERNO	mm	3,352	3,320	3,383	3,360	3,360
INSPEÇÃO VISUAL		OK/NOK	OK/NOK	OK/NOK	OK	OK
RIGI DIELÉTRICA	Volt	3500	3500	---	7100	7700

Documentação adicional comprobatória e resultados de ensaios periódicos ou de tipo previstos na especificação são mantidos em arquivo a disposição do cliente.

Este produto está em conformidade com a Diretiva Europeia RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances).

Nota: Este certificado dispensa a assinatura quando emitido eletronicamente.

Eduardo Rebeque

Tel: (0xx15) 3384-9074/Fax: (0xx15) 3384-9086  
e-Mail: eduardo.rebeque@ppefios.com.br  
Gerente de Qualidade

# Anexo N°23. Ficha técnica del aislador de AT

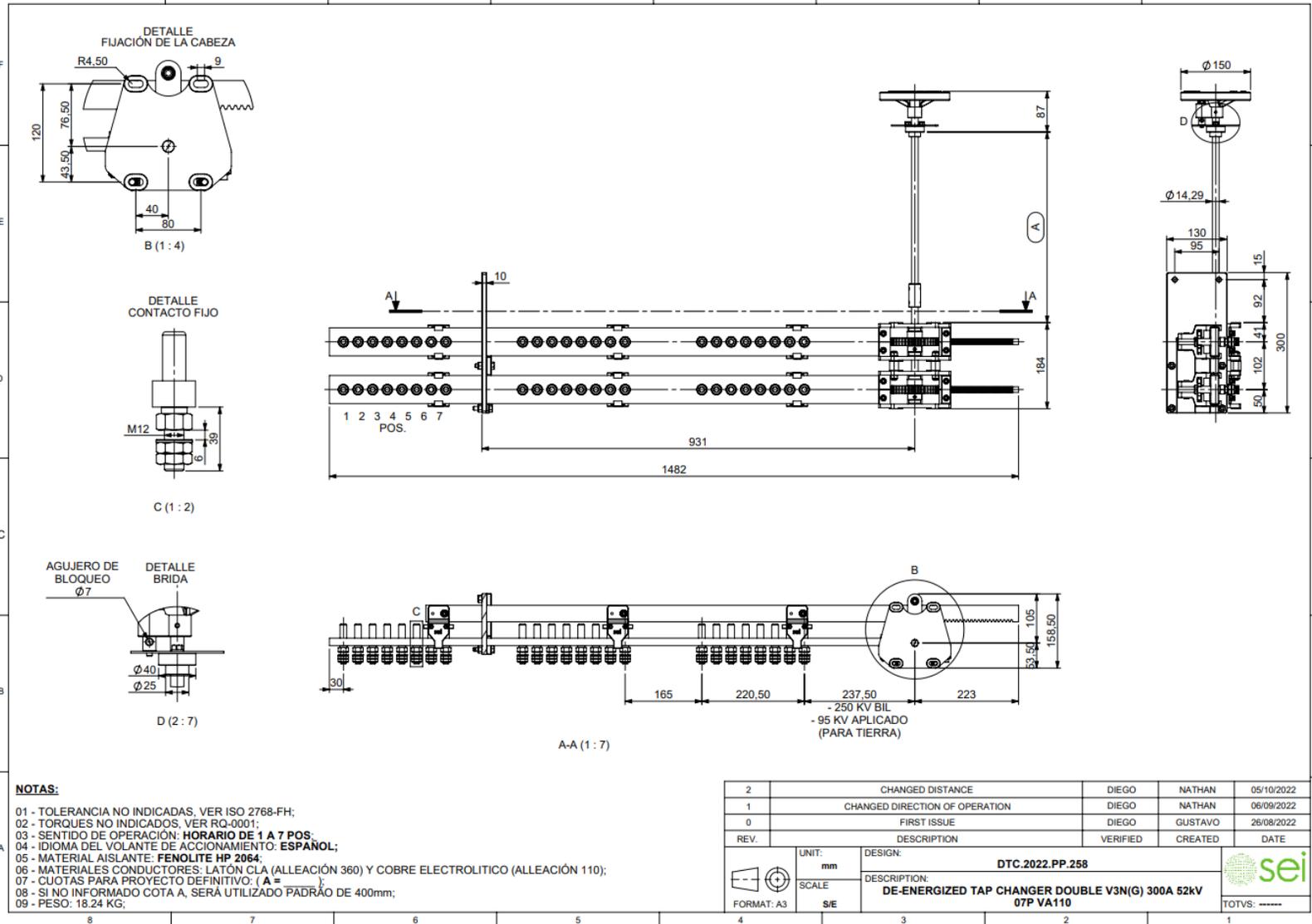
Standard  
DIN42534/IEC60137

Rated Current	250A
Rated Voltage	52kV
Dry Lighting Impulse Voltage	250kV
Wet Power Frequency Voltage	95kV
Minimum Creepage Distance	1116mm
Number of Sheds	6

19	瓷绝缘子	1	PA6尼龙				
18	M20螺栓DIN934	1	Brass				
17	M12螺栓DIN934	3	SUS304				
16	下裙板/裙板	1	Aluminum				
15	M12*135下裙板	1	SUS304				
14	上裙板	1	SUS304				
13	12平垫圈DIN125	6	SUS304				
12	M12螺栓DIN934	6	SUS304				
11	12平垫圈DIN127	1	SUS304				
10	12平垫圈DIN125	2	Brass				
9	M12螺栓DIN934	6	Brass				
8	压脚 DIN42538F	6	ADC12				
7	法兰 DIN42538D	1	Aluminum				
6	180*135*6平垫圈	1	cork TD1120				
5	38*24*2垫圈	1	Fiber				
4	38*20*18垫圈	1	NBR				
3	E-630压盖 DIN42532	1	Brass				
2	M12*875导电销	1	Brass				
1	52NF250 瓷套	1	Ceramics				爬距100
序号	代号	名称	数量	材料	单件质量	总计质量	备注
				----			
标记	数量	分区	更改文件号	签名	年月日	名称: 52NF250-1100瓷套	
设计	转换版		标准化			数量标记	质量 比例
校核						S	
审核							
工艺			批准			头 数 算 数	NJREC



# Anexo N°25. Ficha técnica del conmutador



# Anexo N°26. Ficha técnica del indicador de nivel

**ORDERING DATA**

MODEL NO: 4 0 8 | X | X | X | X | X | X | X | X

SIZE SWITCH TYPE DIAL TYPE GASKET PROTECTION CLASS

**SWITCH TYPES:-**

ID	01	02	03	04	05
Model No.	408,XXX,01	408,XXX,02	408,XXX,03	408,XXX,04	408,XXX,05
DETAILS					

CABLE GLAND PG 16.

MODEL NO ON THE NAME PLATE WILL HAVE ONLY FIRST 8 DIGITS

ENVIRONMENT	
ID	PROTECTION CLASS
1	C4
2	C5M

**DIAL TYPES:-**

ID	1	2	3	4
Dial No.	40822	40822A	40822B	40822C
DETAILS				

**GASKET TYPES:-**

ID	GASKET
0	CORK
1	NBR
2	FVMQ

**SIZE :-**

ID	TYPE	A	B	C	D	D1	E
100	M 100	Ø65	Ø103	45°	Ø85	Ø7.5	22
140	M 140	Ø100	Ø140	30°	Ø125	Ø7.5	22

NOTE :- \* N \* FOR NUMBER OF MOUNTING HOLES;  
PAINT COLOUR SHADE RAL-7001

CE Certified

**VIAT INSTRUMENTS PVT LTD. INDIA**

CLIENT :		FOR TEST SPECIFICATIONS CALL FOR TEST STANDARD OF THIS PRODUCT	
DRN. P.K.B	APPD. A. GUPTA	TITLE : OIL LEVEL GAUGE	
DATE 18.12.19		MODEL: 408	
SCALE N.T.S.		ALL PREVIOUS DRAWINGS OF 408 SERIES HAVE BEEN REPLACED BY RELEASE 2	
		DRG. NO. : 408	REVISION LEVEL 0 SH. 1
			RELEASE 2 OF 1

Form No. : VIAT-QR-04-03-01 Rev. 0 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER(IN) AND FOR REFERENCE ONLY

NO.	DATE	DESCRIPTION	APPD.
REVISIONS			



# Anexo N°28. Ficha técnica del relé buchholz

FILE = 3517 .DWG  
 REV. 03 010/16  
 M (1/2007)

**STANDARD WIRING DIAGRAM**

NUMBER OF ISOLATOR	3	4	1	2	NUMBER OF ISOLATOR	3	4	1	2	5	6
WIRING DIAGRAM A	[Circuit diagram A]				WIRING DIAGRAM B	[Circuit diagram B]					
SCHEMATIC	ALARM	TRIP									

**Normally open contacts**

Voltage	Max current	Breaking capacity
24V d.c. to 240V d.c.	2A	250W L/R<40ms
up to 230V a.c.	2A	400VA cosφ=0.5

**Change over contacts**

Voltage	Max current	Breaking capacity
24V d.c. to 240V d.c.	1A	130W L/R<40ms
up to 230V a.c.	1A	250VA cosφ=0.5

**Option**

Pos.	Description
18	Option
17	Entry adaptor M25x1.5 to M20x1.5 (supplied with the relay)
16	Cock for air injection test
15	Earth screw
13	Window sunshield cover
12	Plug M25x1.5
10	Alarm terminals
9	Trip terminals
8	Pneumatic test device
7	M8 Oil drain plug
6	Oil flow direction (from tank to conservator)
5	Cable gland entry M25 - M20
4	Terminal box
3	Push button for checking electric circuits
2	1/4" Gas release cock
1	Inspection window

Average weight : ~3 Kg

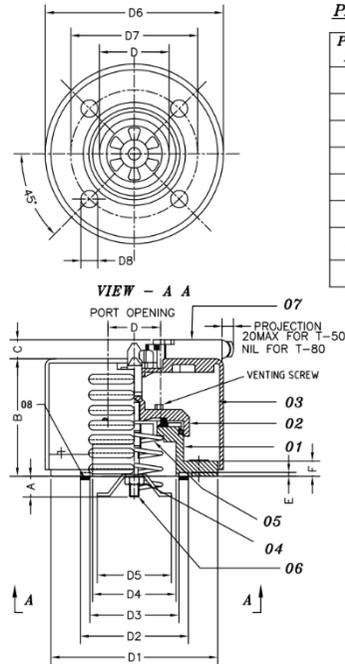
**CEIDASPE**

Titolo  
 New relay  
 EB25 (M.Y. 2016)

Data 26/07/11  
 Scala 1:4  
 Dis. Nr 3517

Visto 1 2 3

# Anexo N°29. Ficha técnica de la válvula de seguridad



### PARTS LIST :

PART NO.	DESCRIPTION	MATL.
01.	BODY	ALUMINIUM ALLOY
02.	SHUTTER	ALUMINIUM ALLOY
03.	PROTECTIVE COVER	SPRING STEEL / STAINLESS STEEL
04.	NUT	BRASS
05.	SPRING	SPRING STEEL
06.	TIE ROD	BRASS
07.	SWITCH	CONNECTOR THREAD PC 13.5
08.	MOUNTING RUBBER RING&ALL RUBBER COMP.	NITRILE NBR

Switch Operation	Specification
<p>AC 15; A 300 (Ue=240V, Ie=3A)/</p>	
<p>DC 13; Q 300 (Ue=250V, Ie=0.27A)</p>	

Type	Size	Model No	Switch	Cover
T50	50	306XX06	YES	YES
T80	80	307XX06	YES	YES

XX-Replace by operating pressure in KPA  
Example Type T50 PRD with switch & SS cover and operating pressure 50 KPA will be model no. 3065006

**GENERAL INFORMATION:**  
FINISH : RAL 7001 POWDER COATED

TYPE	DIMENSIONS													
	D(max)	D1	D2	D3	D4 MAX	D5 MAX	D6	D7	D8	AMAX*	B	C	E	F
T50	50	165	99	85	81	61	172	125	18	25	127	30	4	14
T80	80	200	131	117	112	102	205	160	18	25	160	30	4	16

\* THE DIMENSIONS VARIES WITH SET PRESSURE

VIAT INSTRUMENTS PVT LTD. INDIA			
CLIENT :		FOR TEST SPECIFICATIONS CALL FOR TEST STANDARD OF THIS PRODUCT	
DRN. A. DAS	APPD. A. GUPTA	TITLE : PRESSURE RELIEF DEVICE	
DATE 21.12.05		TYPE T50 & T80	
SCALE N.T.S.		WITH SWITCH & WITH COVER	
14.04.10 DRAWING AMENDED A.G		DRG. NO. : 306_7.7	REVISION LEVEL 7 SH. 1
22.07.09 MAX ADDED IN D4 V.G			OF 1
25.07.08 DIMENSION CHANGED V.G			
DATE DESCRIPTION APPD.			
REVISIONS			
Form No. : VIATPR0401 Rev. 2			
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETER(IN) AND FOR REFERENCE ONLY			

# Anexo N°30. Ficha técnica del deshumedecedor

FILE = 3535.DWG

REV 02 DIM 19/06/14

LMF (00) (14c398)

M (100207)

**Fig. A1**  
- Tipo TV  
- Type TV

PROTEZIONE SOLO SU TV76NE  
S/S HOUSING AVAILABLE ONLY ON TV76NE

▽ Livello olio  
Oil level

**Fig. A2**  
- Tipo VE  
- Type VE

Pos	Descrizione
1	Coperchio
2	Protezione acciaio inox
3	Contenitore trasparente di sali
4	Pescante
5	Coppa olio (trasparente)
6	Spia olio e presa d'aria
7	Coperchio inferiore
8	Targhetta d'identificazione
9	Scarico condensa
11	Presa d'aria

Pos	Description
1	Top cap
2	Stainless steel housing
3	Cel container (transparent)
4	Fishig out cylider
5	Oil cup (transparent)
6	Oil window and air intake
7	Bottom cap
8	Data plate
9	Drain hole
11	Air intake

Tipo	Olio nel trasf.	Silicagel		H	D	F	NOTE:
Type	Transf. oil kg	Q. ty Kg	Vol. dm <sup>3</sup>	mm	mm		
TV75NE	700	0.25	0.35	155	105	1/2*GF	Pos. 2 Fig. A1 w/out stainless steel housing
TV76NE							Pos. 2 Fig. A1 with stainless steel housing
VE05	1500	0.50	0.65	250			Pos. 2 Fig. A2 with stainless steel housing
VE10 *	3500	1.00	1.35	245	140	1*G	Pos. 2 Fig. A2 with stainless steel housing

\* Replace by new VE10/F6 & VE10/R1 see Drg. 3968

**CEDASPE**

Titolo

*Dehydrating breathers for  
distribution transformers*

Data 27/09/11

Scala 1:2

Dis. Nr  
**3535**

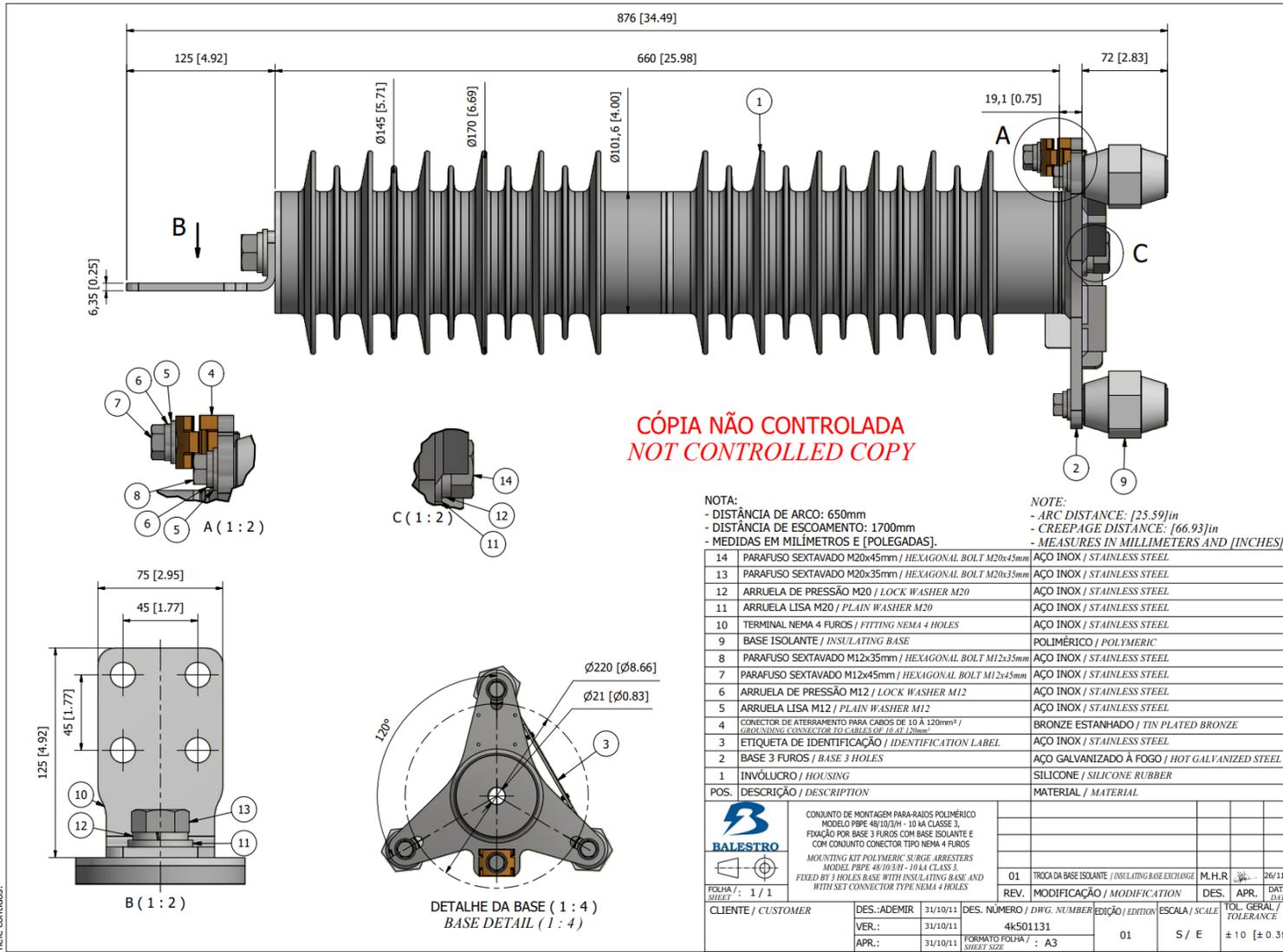
Visto

Dim. in mm; Scala 1:2;

# Anexo N°31. Ficha técnica del pararrayo

ORIGINAL EM VERMELHO / ORIGINAL IN RED

Direitos autorizados reservados. Esse desenho, propriedade intelectual da BALESTRO, não pode ser reproduzido, total ou parcialmente, sem a comunicação ou cessão a terceiros de quaisquer dados nele contidos.



## Anexo N°32. Ficha técnica del interruptor BT

### Ficha técnica del producto

Especificaciones



#### Interruptor Automático Compact NSX630H MicroLogic 2.3 630 A 3P3D

LV432895

Discontinuado el: 14 julio 2022

Fuera de servicio próximamente el: 14 julio 2023

Discontinuado

#### Principal

Gama	Compact
Nombre del producto	Compact NSX
Gama de producto	ComPact NSX400...630 DC
Nombre corto del dispositivo	NSX630H
Tipo de producto o componente	Interruptor automático
Aplicación del dispositivo	Distribución Eléctrica Residencial y Comercial
Number of poles	3P
Descripción de polos protegidos	3t
Corriente nominal (In)	630 A en 40 °C
[Ue] tensión asignada de empleo	690 V AC 50/60 Hz
Tipo de red	AC
Frecuencia de red	50/60 Hz
Apto para seccionamiento	Si acorde a Icu
Categoría de empleo	Categoría A
[Icu] rated ultimate short-circuit breaking capacity	85 kA en 240 V AC 50/60 Hz acorde a UL 508 65 kA en 480 V AC 50/60 Hz acorde a UL 508 100 kA Icu en 220/240 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 35 kA Icu en 525 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 50 kA Icu en 500 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 65 kA Icu en 440 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 70 kA Icu en 380/415 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A 20 kA en 600 V AC 50/60 Hz acorde a UL 508 20 kA Icu en 660/690 V AC 50/60 Hz acorde a En> 50 A
Performance level	H 70 kA 415 V AC
Unidad de control	Micrologic 2.3
Tecnología de unidad de disparo	Electrónico
Funciones de protección de unidad de control	LSol
Tipo de control	Maneta
Circuit breaker mounting mode	Fijo

## Anexo N°33. Ficha técnica del aceite ERGON HYVOLT I

**HyVolt**  
Insulating Oils

**ERGON**  
a company that works™

### HyVolt I

#### Electrical Insulating Oil Marketing Specification

This uninhibited, electrical insulating oil is produced from a severely hydrotreated naphthenic oil to meet the specification requirements defined in IEC 60296, ed. 4, 2012, general specifications.

TEST DESCRIPTION	TEST METHOD	SPECIFICATIONS		TYPICAL VALUES
		MIN	MAX	
<b>Function</b>				
Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at 40°C	ISO 3104		12.0	9.9
Viscosity, mm <sup>2</sup> /s at -30°C	ISO 3104		1800	1162
Pour Point, °C	ASTM D5950		-40	-49
Water Content, mg/kg	IEC 60814		30	7
Breakdown Voltage, kV, Before treatment, 2.5 mm	IEC 60156	30		55
Breakdown Voltage, kV, After treatment, 2.5 mm	IEC 60156	70		75
Density at 20°C, g/ml	ISO 12185		0.895	0.882
DDF at 90°C	IEC 60247		0.005	0.001
<b>Refining/Stability</b>				
Appearance	IEC 60296	PASS		PASS
Acidity, mg KOH/g	IEC 62021-1		0.01	<0.01
Interfacial Tension, mN/m	ASTM D971	40		45
Corrosive Sulfur	DIN 51353		Noncorrosive	Noncorrosive
Corrosive Sulfur	ASTM D1275		Noncorrosive	Noncorrosive
Corrosive Sulfur	IEC 62535		Noncorrosive	Noncorrosive
DBDS, mg/kg	IEC 62697-1		Not detected (<5)	Not detected
Inhibitors, %	IEC 60666		Not detected (<0.01)	Not detected
Metal Passivator Additives, mg/kg	IEC 60666		Not detected (<5)	Not detected
Other Additives	IEC 60296		See *	
Furfural Content, mg/kg	IEC 61198		Not detected (<0.05)	Not detected
Carbon Type Analysis, %				
Ca				11
Cn				40
Cp				49
<b>Performance</b>				
Oxidation Stability at 120°C, 164 hours IEC 61125, C				
Total Acidity, mg KOH/g			1.2	0.6
Sludge, %			0.8	0.2
DDF at 90°C			0.500	0.044
<b>Health, Safety and Environment</b>				
Flash Point, PMCC, °C	ISO 2719	135		146
PCA Content, %	IP 346		3	<3
PCB Content, mg/kg	IEC 61619		Not detected (<2)	Not detected

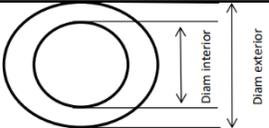
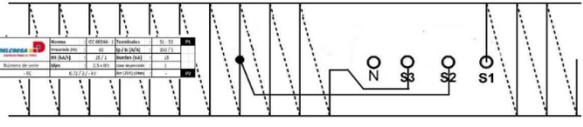
HyVolt I is a product of Ergon Refining, Inc.  
\* As per IEC 60296, ed. 4, 2012, this product contains no undeclared additives.

Dated: 10-30-2015

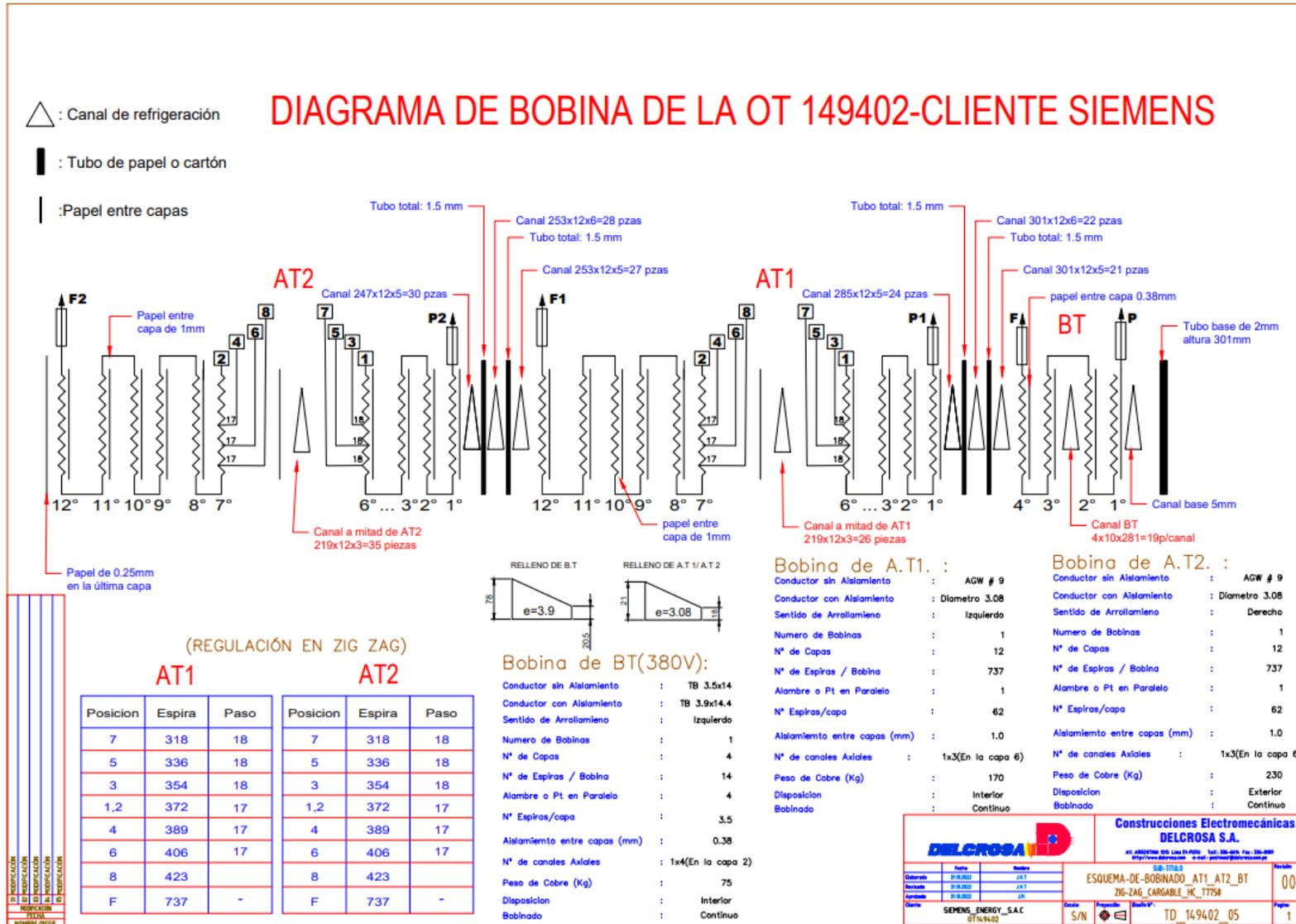
# Anexo N°34. Hoja de cálculo transformador de corriente NEUTRO

HOJA DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE																																																																																																															
REVISIÓN 18:		25/01/2018		1																																																																																																											
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>TIPO</th><th>TCP</th></tr> <tr><td>Ip 1 (A)</td><td>800</td></tr> <tr><td>Ip 2 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 3 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 4 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 5 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Is (A)</td><td>1</td></tr> </table>		TIPO	TCP	Ip 1 (A)	800	Ip 2 (A)		Ip 3 (A)		Ip 4 (A)		Ip 5 (A)		Is (A)	1	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Tipo</th><th>TCP</th></tr> <tr><td>BURDEN</td><td>15 VA</td></tr> <tr><td>Frecuencia</td><td>60 Hz</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>5P 20</td></tr> <tr><td>Altura</td><td>0 msnm</td></tr> </table>		Tipo	TCP	BURDEN	15 VA	Frecuencia	60 Hz	Clase	5P 20	Altura	0 msnm	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">ORDEN DE TRABAJO</th></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>149402</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>2 UNIDADES</b></td></tr> </table>			ORDEN DE TRABAJO		<b>149402</b>		<b>2 UNIDADES</b>																																																																												
TIPO	TCP																																																																																																														
Ip 1 (A)	800																																																																																																														
Ip 2 (A)																																																																																																															
Ip 3 (A)																																																																																																															
Ip 4 (A)																																																																																																															
Ip 5 (A)																																																																																																															
Is (A)	1																																																																																																														
Tipo	TCP																																																																																																														
BURDEN	15 VA																																																																																																														
Frecuencia	60 Hz																																																																																																														
Clase	5P 20																																																																																																														
Altura	0 msnm																																																																																																														
ORDEN DE TRABAJO																																																																																																															
<b>149402</b>																																																																																																															
<b>2 UNIDADES</b>																																																																																																															
<b>NEUTRO</b>																																																																																																															
DESCRIPCIÓN																																																																																																															
<b>NÚCLEO</b>	Tipo plancha	M4T27																																																																																																													
	Diam interior	170	mm																																																																																																												
	Diam exterior	215	mm																																																																																																												
	Ancho fleje	75	mm																																																																																																												
	Sección	16.30	cm <sup>2</sup>																																																																																																												
	Peso núcleo	7.77	Kg																																																																																																												
				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">PRIMARIO</th> <th colspan="4">SECUNDARIO</th> </tr> <tr> <th>Terminales</th> <th>S6</th> <th>S5</th> <th>S4</th> <th>S3</th> <th>S2</th> <th>S1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td># Espiras</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>800</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Platina / AWG #</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">14</td> </tr> <tr> <td>Platina forrada</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td># Capas bobinado</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>Espiras en paralelo</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Espiras x capa</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">2x309(-7) + 1x196</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones finales secundario</td> <td colspan="2">Diam int (mm)</td> <td colspan="2">Diam ext (mm)</td> <td colspan="2">Altura (mm)</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">150</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">235</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">95</td> </tr> <tr> <td>Distancia de seguridad (mm)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Espesor papel (mm)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones para bobinar primario</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Longitud cobre (m)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">164</td> </tr> <tr> <td>Peso de cobre</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">3.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Kg</td> </tr> </tbody> </table>				PRIMARIO		SECUNDARIO				Terminales	S6	S5	S4	S3	S2	S1	# Espiras	0	0	0	0	800	0	Platina / AWG #	14						Platina forrada	-						# Capas bobinado	3						Espiras en paralelo	1						Espiras x capa	2x309(-7) + 1x196						Dimensiones finales secundario	Diam int (mm)		Diam ext (mm)		Altura (mm)			150		235		95		Distancia de seguridad (mm)	-						Espesor papel (mm)	-						Dimensiones para bobinar primario	-						Longitud cobre (m)	164						Peso de cobre			3.0		Kg	
	PRIMARIO		SECUNDARIO																																																																																																												
Terminales	S6	S5	S4	S3	S2	S1																																																																																																									
# Espiras	0	0	0	0	800	0																																																																																																									
Platina / AWG #	14																																																																																																														
Platina forrada	-																																																																																																														
# Capas bobinado	3																																																																																																														
Espiras en paralelo	1																																																																																																														
Espiras x capa	2x309(-7) + 1x196																																																																																																														
Dimensiones finales secundario	Diam int (mm)		Diam ext (mm)		Altura (mm)																																																																																																										
	150		235		95																																																																																																										
Distancia de seguridad (mm)	-																																																																																																														
Espesor papel (mm)	-																																																																																																														
Dimensiones para bobinar primario	-																																																																																																														
Longitud cobre (m)	164																																																																																																														
Peso de cobre			3.0		Kg																																																																																																										
<b>BOBINADO</b>	<b>Bobinado Secundario</b>																																																																																																														
	1. Soldar cable a tierra en superficie del núcleo.																																																																																																														
	2. Revestir el núcleo con CARTON PRESPLAN 1 mm. (Cortar 2 coronas circulares y superficies laterales)																																																																																																														
	3. Recubrir con 2 capas de Cinta papel Crepe 0.2 mm.																																																																																																														
	4. Bobinar el número de espiras del secundario. El inicio será marcado como S1.																																																																																																														
	5. Cada capa de espiras deberá ser cubierta por una (1) capa de Cinta Papel Crepe 0.2 mm.																																																																																																														
	6. Recubrir secundario con 2 capas de Cinta Papel Crepe 0.2 mm. y luego con 2 capas de Cinta Polyester.																																																																																																														
	7. Colocar placa de características y terminales.																																																																																																														
	8. Recubrir con cinta MYLAR.																																																																																																														
	<p><b>BOBINADO HACIA LA DERECHA</b> </p>																																																																																																														
Distancia entre terminales = 20 mm																																																																																																															
DPTO INGENIERÍA		Elaborado por: Fecha:		Jhonattan Villanueva 27/10/2022																																																																																																											

# Anexo N°35. Hoja de cálculo transformador de corriente FASES

HOJA DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE																																																																																																																					
REVISIÓN 18:		25/01/2018		1																																																																																																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TIPO</td><td>TCP</td></tr> <tr><td>Ip 1 (A)</td><td>267</td></tr> <tr><td>Ip 2 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 3 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 4 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Ip 5 (A)</td><td></td></tr> <tr><td>Is (A)</td><td>1</td></tr> </table>		TIPO	TCP	Ip 1 (A)	267	Ip 2 (A)		Ip 3 (A)		Ip 4 (A)		Ip 5 (A)		Is (A)	1	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Tipo</td><td>TCP</td></tr> <tr><td>BURDEN</td><td>15</td><td>VA</td></tr> <tr><td>Frecuencia</td><td>60</td><td>Hz</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>5P</td><td>20</td></tr> <tr><td>Altura</td><td>0</td><td>msnm</td></tr> </table>		Tipo	TCP	BURDEN	15	VA	Frecuencia	60	Hz	Clase	5P	20	Altura	0	msnm	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">ORDEN DE TRABAJO</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>149402</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>6 UNIDADES</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>FASES</b></td></tr> </table>			ORDEN DE TRABAJO		<b>149402</b>		<b>6 UNIDADES</b>		<b>FASES</b>																																																																												
TIPO	TCP																																																																																																																				
Ip 1 (A)	267																																																																																																																				
Ip 2 (A)																																																																																																																					
Ip 3 (A)																																																																																																																					
Ip 4 (A)																																																																																																																					
Ip 5 (A)																																																																																																																					
Is (A)	1																																																																																																																				
Tipo	TCP																																																																																																																				
BURDEN	15	VA																																																																																																																			
Frecuencia	60	Hz																																																																																																																			
Clase	5P	20																																																																																																																			
Altura	0	msnm																																																																																																																			
ORDEN DE TRABAJO																																																																																																																					
<b>149402</b>																																																																																																																					
<b>6 UNIDADES</b>																																																																																																																					
<b>FASES</b>																																																																																																																					
<b>DESCRIPCIÓN</b>																																																																																																																					
<b>NÚCLEO</b>	Tipo plancha	<b>M4T27</b>																																																																																																																			
	Diam interior	160	mm																																																																																																																		
	Diam exterior	270	mm																																																																																																																		
	Ancho fleje	95	mm																																																																																																																		
	Sección	50.76	cm2																																																																																																																		
	Peso núcleo	27.05	Kg																																																																																																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">PRIMARIO</th> <th colspan="3">SECUNDARIO</th> </tr> <tr> <th>S6</th> <th>S5</th> <th>S4</th> <th>S3</th> <th>S2</th> <th>S1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Terminales</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td># Espiras</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>267</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Platina / AWG #</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td>Platina forrada</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td># Capas bobinado</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Espiras en paralelo</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Espiras x capa</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">1x267</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones finales secundario</td> <td colspan="2">Diam int (mm)</td> <td colspan="2">Diam ext (mm)</td> <td colspan="2">Altura (mm)</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">150</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">280</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">105</td> </tr> <tr> <td>Distancia de seguridad (mm)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Espesor papel (mm)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">0.2</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones para bobinar primario</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Longitud cobre (m)</td> <td colspan="6" style="text-align: center;">84</td> </tr> <tr> <td>Peso de cobre</td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1.2</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> </tbody> </table>								PRIMARIO			SECUNDARIO			S6	S5	S4	S3	S2	S1	Terminales							# Espiras	0	0	0	0	267	0	Platina / AWG #	15						Platina forrada	-						# Capas bobinado	1						Espiras en paralelo	1						Espiras x capa	1x267						Dimensiones finales secundario	Diam int (mm)		Diam ext (mm)		Altura (mm)			150		280		105		Distancia de seguridad (mm)	-						Espesor papel (mm)	0.2						Dimensiones para bobinar primario	-						Longitud cobre (m)	84						Peso de cobre				1.2		Kg
	PRIMARIO			SECUNDARIO																																																																																																																	
	S6	S5	S4	S3	S2	S1																																																																																																															
Terminales																																																																																																																					
# Espiras	0	0	0	0	267	0																																																																																																															
Platina / AWG #	15																																																																																																																				
Platina forrada	-																																																																																																																				
# Capas bobinado	1																																																																																																																				
Espiras en paralelo	1																																																																																																																				
Espiras x capa	1x267																																																																																																																				
Dimensiones finales secundario	Diam int (mm)		Diam ext (mm)		Altura (mm)																																																																																																																
	150		280		105																																																																																																																
Distancia de seguridad (mm)	-																																																																																																																				
Espesor papel (mm)	0.2																																																																																																																				
Dimensiones para bobinar primario	-																																																																																																																				
Longitud cobre (m)	84																																																																																																																				
Peso de cobre				1.2		Kg																																																																																																															
<b>BOBINADO</b>	<b>Bobinado Secundario</b>																																																																																																																				
	1. Soldar cable a tierra en superficie del núcleo.																																																																																																																				
	2. Revestir el núcleo con CARTON PRESSPAN 1 mm. (Cortar 2 coronas circulares y superficies laterales)																																																																																																																				
	3. Recubrir con 2 capas de Cinta papel Crepe 0.2 mm.																																																																																																																				
	4. Bobinar el número de espiras del secundario. El inicio será marcado como S1.																																																																																																																				
	5. Cada capa de espiras deberá ser cubierta por una (1) capa de Cinta Papel Crepe 0.2 mm.																																																																																																																				
	6. Recubrir secundario con 2 capas de Cinta Papel Crepe 0.2 mm. y luego con 2 capas de Cinta Polyester.																																																																																																																				
	7. Colocar placa de características y terminales.																																																																																																																				
	8. Recubrir con cinta MYLAR.																																																																																																																				
	<p><b>BOBINADO HACIA LA DERECHA</b> </p>  <p>Distancia entre terminales = 20 mm</p>																																																																																																																				
DPTO INGENIERÍA		Elaborado por: Fecha:		Jhonattan Villanueva 28/10/2022																																																																																																																	

# Anexo N°36. Diagrama de bobinado-transformador zigzag cargable



Anexo N°37. Placa característica



**DEL CROSA S.A.**  
ENERGÍA PARA EL PERÚ

AV. ARGENTINA 1515 TELEF. 330-0014 LIMA - PERU



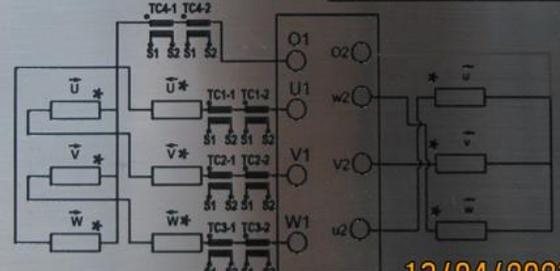
**REACTANCIA TRIFASICA DE PUESTA A TIERRA CARGABLE**

N° DE SERIE	149402 - T1	CONEXIÓN	ZNyn11
TIPO	RNAZ	FRECUENCIA (Hz)	60
VOLTAJE NOMINAL Z-Z	33 000V	IMPEDANCIA/FASE	70.8 Ω
REGULACIÓN	+2x2.5% -4x2.5%	KVA / Cargable	757.26
VOLTAGE NOMINAL SERV.AUX.	380V	KVA / Serv.Aux.	300
N° DE FASES	3 ∅	I nom / Serv.Aux(A)	455.80
ENFRIAMIENTO	ONAN	Th/fase 10 Seg. (A)	800 / 3
MONTAJE	Int./Ext.	Th/neutro 10 Seg. (A)	800
Δ Tmáx. aceite	50°C	BIL Exterior (kV)	250
Temp.Amb. Máx.	40°C	ALTURA (m.s.n.m.)	1000
PESO ACEITE	2060 Kg.	NIVEL DE AISL.Z-Z	36 / 95 / 200 kV
PESO PARTE ACTIVA	2130 Kg.	NIVEL DE AISL.BT	0.6 / 2.2 / 6 kV
PESO TOTAL	6570 Kg.	ACEITE marca	ERGON
AÑO DE FABRIC.	2022	ACEITE tipo	HYVOLT I
NORMA DE FABRIC.	IEC 60076-6		

**DIAGRAMA DE CONEXIONES INTERIORES**

TC-P	RELAC.	CLASE	POT.	CANT.
4	1,2	800/1A	CL5P20	15VA 2

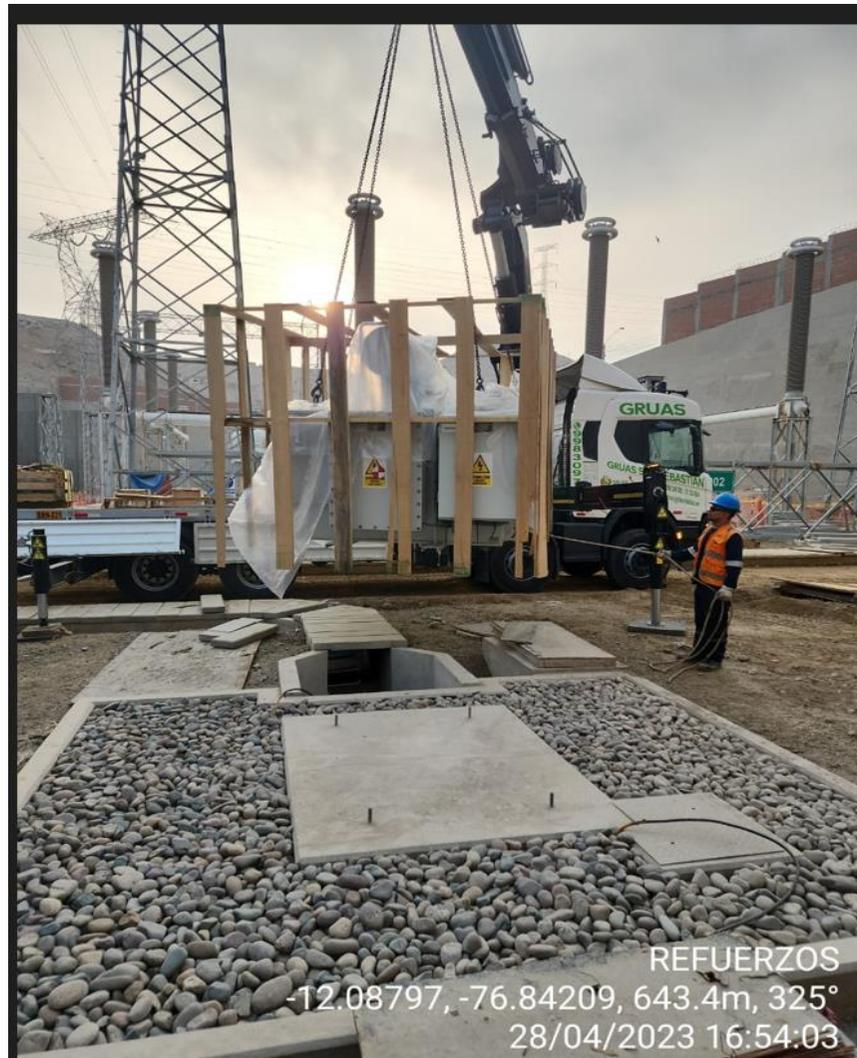
TC-P	RELAC.	CLASE	POT.	CANT.
1	1,2	267/1A	CL5P20	15VA 2
2	1,2	267/1A	CL5P20	15VA 2
3	1,2	267/1A	CL5P20	15VA 2



13/04/2023

INDUSTRIA PERUANA - R.I. 15-03173C - R.N.M. 37.06.10.

**Anexo N°38. Transformador zigzag cargable en campo(SUBESTACION LA PLANICIE)**



**Anexo N°39.** Transformador zigzag cargable en campo(SUBESTACION LA PLANICIE) I



**Anexo N°40.** Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) II



**Anexo N°41. Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) III**



**Anexo N°42. Transformador zigzag cargable en campo (SUBESTACION LA PLANICIE) IV**

