

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y**  
**ELÉCTRICA**



**“ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS  
DE ALUMINIO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE 50KVA  
10/0.23KV EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN MASIVA DE LUZ  
DEL SUR, 2018 - 2019”**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

ROBLEDO BENITEZ, GERSON OMAR

**ASESOR**

MURILLO MANRIQUE, MARGARITA FREDESVINDA

**Villa El Salvador**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres que con gran esfuerzo lograron inculcarme el valor del estudio para el desarrollo mi carrera profesional y las responsabilidades que conlleva. Para mi hija Luhana Scarlet y mi esposa Mariela Ruiz que son los motivos que me permiten superarme cada día. Para mis amigos que conocen del esfuerzo de este trabajo.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Margarita Murillo, quien con sus conocimientos y experiencia contribuyó al desarrollo de este trabajo de investigación. Al apoyo incondicional de mi tía Maruja, quien desde la etapa universitaria me apoyó para lograr mi objetivo académico. A estas grandes personas les estoy eternamente agradecido.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad describir los procedimientos, determinar los parámetros y calcular los valores que se necesitan para el diseño de transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV utilizando conductores eléctricos de aluminio, los cuales serán una alternativa de innovación en proyectos de electrificación masiva de la distribuidora eléctrica Luz del Sur.

Para la investigación se consideró la fundamentación teórica de diseño de transformadores; cuyos resultados obtenidos, en base a la metodología planteada, se compararon con los valores de la muestra de siete transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV con conductores eléctricos de cobre instalados en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur comprendidos en los años 2018 y 2019 encontrándose gran similitud.

Los resultados obtenidos responden a objetivos planteados, los cuales hacen mención a la descripción y análisis de la implementación de conductores eléctricos de aluminio; también a los cálculos de los valores que presentan sus resistencias, pérdidas que se presentan en la parte activa del transformador y el cálculo de su eficiencia. Estos valores han sido calculados teóricamente para un transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV  $\pm 5\%$  conexión Dyn5 con conductores eléctricos de aluminio de refrigeración ONAN.

Finalmente, se determinó que el estudio realizado permite implementar satisfactoriamente conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

**Palabras Clave:** Transformador de distribución, conductor eléctrico de aluminio, proyectos de electrificación masiva, conductor eléctrico de cobre.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to describe the procedures, determine the parameters and calculate the values that are needed for the design of 50KVA 10 / 0.23kV distribution transformers using aluminum electrical conductors, which will be an innovative alternative in projects of massive electrification of the electricity distribution company Luz del Sur.

For the research, the theoretical foundation of transformer design was considered; The results obtained, based on the proposed methodology, were compared with the values of the sample of seven distribution transformers of 50KVA 10 / 0.23kV with copper electrical conductors installed in massive electrification projects of Luz del Sur comprised in the years 2018 and 2019 finding great similarity.

The results obtained respond to the objectives set, which refer to the description and analysis of the implementation of aluminum electrical conductors; also to the calculations of the values that present their resistances, losses that occur in the active part of the transformer and the calculation of its efficiency. These values have been theoretically calculated for a 50KVA 10 / 0.23kV  $\pm$  5% distribution transformer with Dyn5 connection with ONAN cooling aluminum electrical conductors.

Finally, it was determined that the study carried out allows the successful implementation of aluminum electrical conductors in 50KVA 10 / 0.23kV distribution transformers in Luz del Sur's massive electrification projects.

**Keywords:** Distribution transformer, aluminum electrical conductor, massive electrification projects, copper electrical conductor.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	IV
<b>ABSTRACT</b> .....	V
<b>ÍNDICE</b> .....	VI
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	IX
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 Motivación .....	3
1.2 Estado del arte.....	3
1.3 Descripción del problema .....	4
1.4 Formulación del problema .....	5
1.4.1 Problema general .....	5
1.4.2 Problemas específicos.....	5
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos .....	6
1.6 Justificación .....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1 Antecedentes .....	8
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Transformador de distribución.....	9
2.2.1.1 Teorema de Ampere.....	10
2.2.1.2 Flujo de Campo Magnético.....	11
2.2.1.3 Ley de Faraday.....	11
2.2.1.4 Efecto Joule.....	13
2.2.1.5 Principio de funcionamiento del transformador .....	13
2.2.1.6 Parámetros del transformador de distribución .....	14
2.2.1.7 Tipos de conexiones en transformadores trifásicos .....	16
2.2.1.8 Partes del transformador .....	23

2.2.2 Conductor eléctrico de aluminio.....	26
2.2.2.1 Conductor eléctrico del transformador de distribución .....	26
2.2.2.2 Definición del aluminio .....	26
2.2.2.3 Densidad de corriente del aluminio (A/mm <sup>2</sup> ).....	27
2.2.2.4 Conductividad eléctrica del aluminio (S/m) .....	27
2.2.2.5 Resistividad eléctrica del aluminio ( $\Omega$ .mm <sup>2</sup> /m) .....	27
2.2.3 Proyecto de electrificación masiva .....	27
<b>III. VARIABLES E HIPÓTESIS .....</b>	<b>30</b>
3.1 Operacionalización de las variables.....	30
3.2 Hipótesis de la investigación .....	31
3.2.1 Hipótesis general.....	31
3.2.2 Hipótesis específicas.....	31
<b>IV. METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
4.1 Descripción de la metodología .....	32
Tipo de investigación.....	32
Diseño de investigación .....	32
Método de investigación .....	32
4.2 Implementación de la investigación .....	33
4.2.1 Pruebas realizadas.....	98
4.3 Población y muestra.....	101
Población .....	101
Muestra .....	101
Tipo de muestreo .....	103
4.4 Técnicas de recolección de datos.....	103
4.5 Instrumentos de recolección de datos .....	105
4.5.1 Validez .....	107
4.5.2 Confiabilidad .....	107
4.6 Resultados .....	108
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>113</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>115</b>

<b>ANEXOS</b> .....	117
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	117
Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos .....	118
Anexo 3. Formato de Validación de Expertos .....	120
Anexo 4. Pruebas de Validez y Confiabilidad .....	121
Anexo 5. Protocolos de pruebas de transformadores de distribución.....	123
Anexo 6. Gráficos de resultados .....	130
Anexo 7. Documentación para validación de experto .....	135
Anexo 8. Glosario de términos .....	137



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución de acuerdo a la R.D. N°015-2004-EM/DGE .....	28
Tabla 2: Especificaciones técnicas para transformadores trifásicos de distribución 10/0,23kV. ....	29
Tabla 3: Parámetros eléctricos para el diseño de un transformador. ....	34
Tabla 4: Niveles de aislamiento normalizados (BIL). ....	35
Tabla 5: Impedancias normalizadas para transformadores de distribución. ....	38
Tabla 6: Conductividad eléctrica del cobre y aluminio. ....	41
Tabla 7: Densidad de corriente según tipo de enfriamiento. ....	42
Tabla 8: Densidad de flujo según tipo de núcleo. ....	45
Tabla 9: Factor de apilamiento del acero según tipo de núcleo. ....	46
Tabla 10: Consideraciones para el dimensionamiento de los devanados. ....	51
Tabla 11: Tensiones nominales preferentes. ....	56
Tabla 12: Distancias mínimas para aislamientos mayores. ....	57
Tabla 13: Pesos y espesores de láminas de acero según calibre. ....	72
Tabla 14: Tensiones máximas para aisladores pasa tapas. ....	75
Tabla 15: Pérdidas en acero al silicio a 60 y 50 Hz. ....	81
Tabla 16: Propiedades del aceite de aislante mineral para transformadores. ....	93
Tabla 17: Características del aceite mineral no inhibido Repsol Electra 3. ....	93
Tabla 18: Cotización de cilindro de 208 litros de aceite mineral Repsol Electra 3 .....	94
Tabla 19: Valores típicos del aceite mineral. ....	94
Tabla 20: Resumen de los valores calculados del diseño del transformador de distribución de 50KVA con conductores eléctricos de aluminio. ....	95
Tabla 21: Resumen de los valores de las pruebas realizadas. ....	100
Tabla 22: Características eléctricas, de diseño e información de 7 transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur. ....	102
Tabla 23: Formato de protocolo de pruebas de transformadores de distribución. ....	104
Tabla 24: Cuestionario. ....	106
Tabla 25: Validación del instrumento por juicio de expertos. ....	107
Tabla 26: Análisis del Coeficiente de Confiabilidad de Kuder Richardson KR20. ....	108
Tabla 27: Estadística de Fiabilidad. ....	108
Tabla 28: Resultados obtenidos según los objetivos de la investigación. ....	109

Tabla 29: Especificaciones técnicas requeridas por Luz del Sur comparadas con los valores de la muestra y el diseño de investigación.....	111
---	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campo magnético en un conductor.....	10
Figura 2: Campo magnético en un solenoide.....	10
Figura 3: Flujo magnético en un punto.....	11
Figura 4: Ley de Faraday.....	12
Figura 5: Ley de Faraday en un solenoide.....	12
Figura 6: Funcionamiento de un transformador elemental.....	14
Figura 7: Ciclo de histéresis.....	15
Figura 8: Corriente de Foucault.....	16
Figura 9: Conexión Estrella.....	17
Figura 10: Conexión Delta.....	18
Figura 11: Conexión Estrella- Estrella.....	19
Figura 12: Conexión Estrella - Delta.....	20
Figura 13: Conexión Delta – Delta.....	21
Figura 14: Conexión Delta – Estrella.....	22
Figura 15: Núcleo trifásico.....	24
Figura 16: Devanados de un transformador trifásico.....	24
Figura 17: Devanado concentrico y alternado.....	25
Figura 18: Tanque del transformador.....	25
Figura 19: Tipos de conductores eléctricos para transformadores de distribución.....	26
Figura 20: Sección de conductor eléctrico de aluminio de alta tensión.....	43
Figura 21: Sección de conductor eléctrico de aluminio de baja tensión.....	44
Figura 22: Dimensiones geométricas del área física del núcleo.....	47
Figura 23: Valores calculados de las dimensiones geométricas del área física del núcleo. .....	48
Figura 24: Dimensiones geométricas del núcleo del transformador.....	48
Figura 25: Valores calculados de las dimensiones geométricas del núcleo del transformador.....	50
Figura 26: Modelamiento de los devanados y núcleo.....	51
Figura 27: Dimensionamiento del devanado de alta tensión.....	52
Figura 28: Dimensiones calculadas del devanado de alta tensión.....	54
Figura 29: Dimensionamiento del devanado de baja tensión.....	54
Figura 30: Dimensiones calculadas del devanado de baja tensión.....	56

Figura 31: Vista superior del conjunto núcleo-devanados.....	57
Figura 32: Vista frontal del conjunto núcleo-devanados.....	58
Figura 33: Vista lateral del conjunto núcleo-devanados.....	58
Figura 34: Dimensiones calculadas de los anchos de ventana del núcleo trifásico.....	59
Figura 35: Dimensiones finales del núcleo trifásico de tipo acorazado. ....	60
Figura 36: Dimensiones geométricas de la vista superior del conjunto núcleo-devanados. .....	60
Figura 37: Perímetro de la posición inicial del conductor de baja tensión. ....	61
Figura 38: Perímetro de la posición final del conductor de baja tensión.....	62
Figura 39: Dimensiones geométricas del conductor de baja tensión.....	63
Figura 40: Perímetro de la posición inicial del conductor de alta tensión.....	64
Figura 41: Perímetro de la posición final del conductor de alta tensión.....	65
Figura 42: Dimensiones geométricas del conductor de alta tensión.....	66
Figura 43: Contenido del tanque del transformador de distribución. ....	67
Figura 44: Vista superior del tanque.....	68
Figura 45: Vista frontal del tanque. ....	68
Figura 46: Vista lateral del tanque.....	69
Figura 47: Dimensiones geométricas del tanque del transformador.....	70
Figura 48: Dimensiones geométricas de las paredes del tanque.....	71
Figura 49: Bastidor para transformadores. ....	73
Figura 50: Conmutador o Tap de derivación. ....	73
Figura 51: Válvula de sobre presión y de vaciado.....	74
Figura 52: Pasa tapas o Bushings. ....	74
Figura 53: Color gris RAL 7035 para pintado de transformadores. ....	75
Figura 54: Dimensiones geométricas finales del núcleo trifásico tipo acorazado.....	77
Figura 55: Dimensiones geométricas finales del núcleo trifásico tipo acorazado en sólido. .....	78
Figura 56: Vista superior del conjunto núcleo-devanados.....	78
Figura 57: Vista frontal del conjunto núcleo-devanados.....	79
Figura 58: Vista superior del transformador de distribución.....	79
Figura 59: Vista frontal del transformador de distribución. ....	80
Figura 60: Vista lateral del transformador de distribución.....	80
Figura 61: Curva de pérdidas del acero al silicio.....	82
Figura 62: Dimensiones geométricas de la arcada chica. ....	83

Figura 63: Dimensiones geométricas de la arcada grande..... 84

## INTRODUCCIÓN

El uso de transformadores de distribución se encuentra presente en la mayor parte del sector eléctrico a nivel mundial y es pieza fundamental para la distribución de la energía eléctrica en los diferentes niveles de tensión para el abastecimiento de la energía eléctrica en los diferentes mercados. Este propósito no es alcanzado sin el buen funcionamiento eficiente que se necesita en el sector eléctrico continuo, para ello es fundamental que su fabricación y diseño cumplan los requerimientos que proporcionan las normas nacionales e internacionales.

La empresa Luz del Sur no es ajena a las normas establecidas para el diseño de transformadores de distribución que por años han sido instalados en los diversos proyectos de electrificación masiva en poblaciones nuevas de Lima llevando consigo bienestar social para su uso doméstico y servicio de alumbrado público; es por tal motivo que su selección está relacionado a los requerimientos técnicos que las normas establecen. Es así que la empresa Luz del Sur maneja un estándar en el uso de transformadores de distribución con respecto a los tipos, capacidad, niveles de tensión y en los materiales que se utilizan para la fabricación de sus partes.

La investigación se realizó por el interés de dar a conocer la descripción del estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV para brindar una alternativa innovadora y aceptable en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur teniendo como objetivos al cálculo de la resistencia y secciones de los conductores eléctricos de aluminio, cálculo de pérdidas y la eficiencia del transformador de distribución; para ello se realizó un estudio de tipo descriptivo que permitió describir los procedimientos necesarios en el diseño de transformadores de distribución, se determinó que los conductores eléctricos de aluminio no provocan ningún efecto negativo considerable sobre el transformador y para ello se realizó un diseño cuasi-experimental que permitió tomar una muestra seleccionada para identificar las características más importantes de los estudios realizados y registrados en los protocolos de pruebas y poder determinar el efecto que causa implementar conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución. Para la interpretación de los resultados se utilizó el método analítico que permitió analizar y explicar las características eléctricas y de diseño de los devanados compuestos de conductores eléctricos de aluminio, el cual es un elemento de los transformadores de distribución.

Se utilizó el Análisis Documental como técnica de recolección de datos para obtener la información necesaria que, por medio del Cuestionario quien hace énfasis a las características más importantes de los protocolos de pruebas de los transformadores, fue que determinó las consideraciones necesarias para que un transformador de distribución sea aceptado por Luz del Sur. Para validar el instrumento se tuvo que acudir a la validez de contenido por juicio de expertos y la confiabilidad del instrumento fue medida por el coeficiente de confiabilidad de Kuder Richardson.

La investigación ha desarrollado los siguientes capítulos: En el Capítulo I se realiza el planteamiento del problema que describe la falta de innovación en la selección de transformadores de distribución por la empresa Luz del Sur en proyectos de electrificación masiva; también se establecen los objetivos y la justificación de la investigación. En el Capítulo II se describe el marco teórico donde se encuentra al transformador de distribución con sus leyes, teoremas, principio de funcionamiento, parámetros, tipos de conexión y sus partes; así como también a los conductores eléctricos de aluminio con sus características eléctricas. En el Capítulo III se analiza la operacionalización de las variables que son el transformador de distribución y los conductores eléctricos de aluminio y se generan las hipótesis de la investigación. En el Capítulo IV se describe la metodología de investigación a utilizar y la recolección de la información necesaria extraída de una fuente de estudios realizados y registrados anteriormente en los protocolos de transformadores de distribución implementados en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur de los años 2018 y 2019; también se presenta la metodología que es el diseño de un transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV con conductores eléctricos de aluminio. En el Capítulo V se describe los resultados de la investigación comparados a los resultados de la referencia que fueron Canchumanya (2012) quien realizó un diseño para un transformador de 1250KVA, Vizarrata (2006) quien realizó un estudio de conductores de aluminio en líneas de transmisión y Paz (2011) quien realizó un estudio de comparación de conductores eléctricos de aluminio y cobre. Finalmente, se presenta las conclusiones de la investigación.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Motivación**

La verificación y revisión que se ha realizado en los proyectos de electrificación masiva ejecutados por Luz del Sur en los distintos distritos de Lima, ha motivado a cuestionarse la razón por el cual en las subestaciones áreas tipo poste se utilizan transformadores con capacidad, diseño y características uniformes; a pesar que la información de la demanda en los diferentes puntos de nuestra capital es variable. Aparte de ello, hasta la actualidad no se conoce una innovación tecnológica en el diseño y uso de estas máquinas sabiendo que es un eslabón muy importante entre la red de distribución de media tensión y la red de distribución de baja tensión. Asimismo, la necesidad de conocer nuevas tecnologías que puedan favorecer al sector de distribución de energía eléctrica ha llevado a realizar un estudio de investigación de innovación dentro del marco normativo que Luz del Sur requiere para la implementación de transformadores de distribución en sus futuros proyectos, partiendo desde los proyectos de electrificación masiva, los cuales presentan una menor demanda a comparación con la demanda alta que tiene una ciudad en estos tiempos.

### **1.2 Estado del arte**

El 5 de mayo del 2015 el Ing. Celio Zimmermann de la empresa ABB publica una revista en la cual describe la aplicación del aluminio en devanados de transformadores de distribución y potencia, las cuales sus capacidades de diseño están comprendidas entre los 500KVA y los 10MVA para transformadores de distribución y una capacidad máxima de 63MVA para transformadores de potencia. También indica que para la fabricación de los transformadores se basan en una norma internacional de gestión de calidad (ISO 9001:2000) permitiendo así que su diseño asuma todos los estándares de calidad en el producto. En la actualidad existen diseños de transformadores subterráneos con devanados de aluminio de grandes capacidades que son fabricados por la empresa ABB, los cuales han demostrado buena competitividad en el mercado industrial.



### **1.3 Descripción del problema**

En el mundo las grandes empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica cuentan con una amplia gama de transformadores de potencia, los cuales tienen la misión de cubrir las múltiples necesidades que los grandes mercados industriales lo requieren, para ello manejan estándares e innovaciones del primer nivel que les permite posicionarse como las mejores empresas en el sector eléctrico.

En el Perú las empresas de distribución eléctrica utilizan transformadores de diversas capacidades para ser implementadas en subestaciones de distribución, estas máquinas estáticas tienen el propósito de satisfacer las necesidades que las demandas eléctricas de nuestro sector doméstico, industrial y comercial lo solicitan, para ello se diseñan y fabrican diversos tipos de transformadores de potencia y distribución que van a ser instalados por las empresas de distribución de energía eléctrica.

La empresa Luz del Sur en los proyectos de electrificación masiva, que ejecutan para ampliar sus redes de energía eléctrica y alumbrado público a poblaciones nuevas que requieren de este servicio, proyectan constantemente el uso de transformadores de distribución sumergidos en aceite para subestaciones aéreas tipo SAB y SAM, los cuales presenta unas capacidades de 50 y 100KVA según la carga de la población; sin embargo la utilización de estos equipos se ha vuelto rutinario por años en el tema de características, capacidades y diseños . Este uso constante en dichas máquinas ha generado que por años la empresa se acostumbre a utilizar siempre los mismos transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva sin dar lugar a la innovación tecnológica que en otros países si lo aprovechan; éste problema a la larga puede generar una limitación en el mercado debido que Luz del Sur tiene la capacidad de brindar servicios de ejecución de proyectos de electrificación masiva en zonas y sectores rurales que otras empresas tienen como concesión y así poder ampliar sus operaciones hacia otros lugares del país. Ante esta problemática la implementación del aluminio como material en los conductores eléctricos de un transformador tradicional de 50KVA 10/0.23kV permitirá que se dé una alternativa de innovación en la fabricación y uso de transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas que Luz del Sur solicita para su interés y las características del aluminio como material conductor de la electricidad.

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema general**

¿Cómo es el estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?

### **1.4.2 Problemas específicos**

#### **Problema específico 1**

¿Cuánto es la eficiencia de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?

#### **Problema específico 2**

¿Cuánto son las pérdidas de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?

#### **Problema específico 3**

¿Cuánto es la resistencia eléctrica y la sección del conductor eléctrico de aluminio de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Describir el estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

## **1.5.2 Objetivos específicos**

### **Objetivo específico 1**

Determinar la eficiencia de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

### **Objetivo específico 2**

Determinar las pérdidas de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

### **Objetivo específico 3**

Determinar la resistencia eléctrica y la sección del conductor eléctrico de aluminio de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV.

## **1.6 Justificación**

El estudio busca implementar conductores eléctricos de otro tipo de material en transformadores eléctricos de distribución tradicionales, para que la empresa Luz del Sur disponga de una opción de innovación tecnológica sin tener que afectar a sus clientes con el Servicio Público de Electricidad considerando que su principal función es abastecer de energía eléctrica a los suministros y alumbrado público en lotizaciones, asentamientos humanos, asociaciones, anexos, etc. de manera continua y confiable.

### **Justificación teórica**

El estudio propone realizar un análisis basado en las características que posee el aluminio como conductor eléctrico para su implementación en el diseño de conductores eléctricos en transformadores de distribución.

### **Justificación tecnológica**

El estudio busca generar la diversificación tecnológica en la implementación de transformadores de distribución eficientes en proyectos de electrificación masiva de la empresa Luz del Sur.

**Justificación social**

El estudio busca incentivar a la empresa Luz del Sur a utilizar transformadores con conductores eléctricos de aluminio en sus proyectos de electrificación masiva que se ejecutan en los asentamientos humanos, lotizaciones, asociaciones, agrupaciones, anexos, etc. Y ofrecer de esta manera un desarrollo y beneficio a nivel poblacional.

**Justificación económica**

El estudio busca generar una variación favorable en el precio de transformadores de distribución con conductores eléctricos de aluminio, debido a que el aluminio como materia prima es más económico que el cobre, ahorrando significativos costos a la empresa Luz del Sur.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Canchumanya, V. (2012). En la tesis titulada “Diseño de un transformador trifásico 1250KVA 22.9-10/0.46-0.23KV potencia compartida para aplicaciones en subestaciones” sustentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el título profesional en Ingeniería Mecánica Eléctrica. Describe el diseño de un transformador trifásico de distribución de 1250KVA de capacidad con doble relación tensión en AT (22.9-10 kV) y el lado de BT (0.46-0.23 V) con potencia compartida. Se fundamenta la parte teórica de los elementos constructivos principales del transformador como son el fierro silicoso para la construcción del núcleo; alambres de cobre, papel, cartón, aceite para la construcción de la parte activa; y demás accesorios como aisladores y conmutadores. También se presentó las generalidades del transformador donde se enfatiza fórmulas a utilizar en el diseño, para luego presentar el diseño del transformador con sus cálculos numéricos. Finalmente se presentó la evaluación económica del informe donde se detalla el precio financiero de la parte activa del transformador en donde toma en cuenta los precios del cobre y el fierro silicoso.

Vizarreta, P. (2006). En la tesis titulada “Influencia de la corrosión sobre los conductores de aluminio en las líneas de transmisión en 33kV” sustentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el título profesional en Ingeniería Eléctrica. Describe un estudio sobre el comportamiento de los conductores de aluminio en las líneas de transmisión a nivel de 33kV en la ciudad de Arequipa. En primer lugar, el autor realizó un análisis sobre las características del aluminio, así como su aplicación como conductor eléctrico. Luego analizó los procesos de corrosión a los cuales se ve afectado como consecuencia de su uso como cable de energía. Posteriormente tomó cuatro muestras de conductores de aluminio para realizar pruebas mecánicas en dos laboratorios y analizar sus propiedades. Finalmente concluye que el desempeño electromecánico de los conductores de aluminio aéreos de las líneas de transmisión en 33 kV es excelente.

Paz, Á. (2011). En la tesis titulada “Análisis técnico económico de conductores eléctricos normalizados NYY y NAYY en redes subterráneas” sustentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el título profesional en Ingeniería Eléctrica. Describe las propiedades eléctricas y los elementos constructivos de conductores eléctricos

subterráneos de cobre y de aluminio según las normas de fabricación. Luego realizó un estudio de mercado del precio, producción y oferta del cobre y aluminio. Igualmente aplicó conductores eléctricos de aluminio tipo NAYY en un proyecto eléctrico de baja tensión, señalando la ubicación geográfica, la calificación eléctrica, alcances, parámetros, cálculos y las especificaciones técnicas de suministro y montaje de estructuras. Finalmente realizó un análisis técnico económico comparativo entre conductores de cobre tipo NYY y aluminio tipo NAYY donde concluye que los conductores eléctricos de aluminio subterráneos tipo NAYY son buenos conductores, menos pesados y más económicos.

## **2.2 Bases teóricas**

El proyecto de investigación presenta como variable dependiente al transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV y como variable independiente al conductor eléctrico de aluminio, para ello se establece como bases teóricas a la definición del transformador de distribución, teoremas fundamentales, principio de funcionamiento, parámetros eléctricos y partes del transformador; igualmente se establece como bases teóricas a la definición del conductor eléctrico del transformador, definición del aluminio, densidad, conductividad y resistividad eléctrica. Finalmente se completa las bases teóricas con la definición de proyectos de electrificación masiva, condiciones de servicio y especificaciones técnicas requeridas por Luz del Sur concerniente a los transformadores de distribución trifásicos.

### **2.2.1 Transformador de distribución**

Es una máquina estática que se encuentra presente de manera elemental y como última etapa en los sistemas eléctricos de potencia, presenta una capacidad nominal desde 5 hasta 500KVA con una tensión nominal de hasta 34kV en el primario y 15kV en el secundario; así mismo ejerce una operación continua con carga o sin carga en el secundario, es por ello que el diseño de la parte activa del transformador debe ser de manera eficiente minimizando las pérdidas emitidas por el cobre y el núcleo. (Avelino, 2001).

Las leyes y teoremas que sustentan el funcionamiento del transformador de distribución se basan en:

### 2.2.1.1 Teorema de Ampere

Chapman (2000) indica que “la corriente eléctrica (I) que recorre por un conductor genera una intensidad de campo magnético (B) de forma circular que rodea dicho conductor”. (p.8).

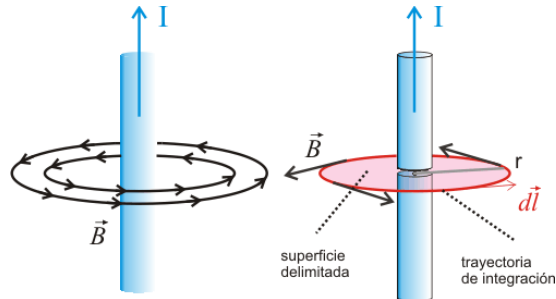


Figura 1: Campo magnético en un conductor.

Fuente: <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/ampere.html>

La fórmula para determinar el campo magnético en un conductor es el siguiente:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I_T \quad (1)$$

Donde:

B: Campo magnético (Amp-vuelta o Tesla).

$\mu_0$ : Permeabilidad del vacío ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{N} \cdot \text{A}^2$ ).

$I_T$ : Corriente total que circula (Amp).

En un solenoide de “N” espiras, el campo magnético que se genera por la circulación de la corriente (I) en una espira es el mismo flujo que circula en las demás espiras del solenoide.

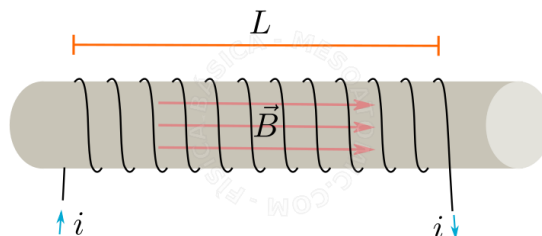


Figura 2: Campo magnético en un solenoide.

Fuente: <http://www.mesoatomic.com/es/fisica/electromagnetismo/electromagnetismo/campo-magnetico-de-corrientes>

La fórmula para determinar el campo magnético en un solenoide es el siguiente:

$$B = \mu_0 n I \quad (2)$$

Donde:

B: Campo magnético (Amp-vuelta o Tesla).

$\mu_0$ : Permeabilidad del vacío ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{N} \cdot \text{A}^2$ ).

$I_T$ : Corriente total que circula (Amp).

n: Número de vueltas del conductor.

### 2.2.1.2 Flujo de Campo Magnético

Chapman (2000) indica que “el flujo de magnético es la cantidad de energía que atraviesa una superficie por la acción de un campo magnético”. (p. 9).

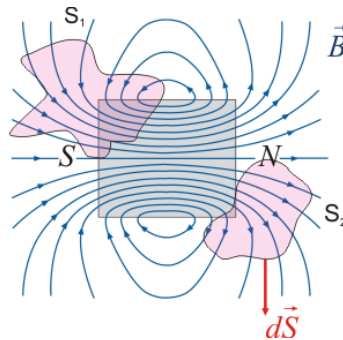


Figura 3: Flujo magnético en un punto.

Fuente: <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/ampere.html>

La fórmula para determinar el flujo magnético es el siguiente:

$$\Phi_m = \int_S \vec{B} d\vec{s} \quad (3)$$

Donde:

$\Phi_m$ : Flujo magnético (Wb).

B: Campo magnético (Amp-vuelta o Tesla).

$d_s$ : Sector de una superficie ( $m^2$ ).

### 2.2.1.3 Ley de Faraday

Chapman (2000) indica que “si por una espira atraviesa un flujo magnético, ésta inducirá una fuerza electromotriz (fem o volts) proporcional a la variación del flujo con respecto al tiempo”. (p.29).



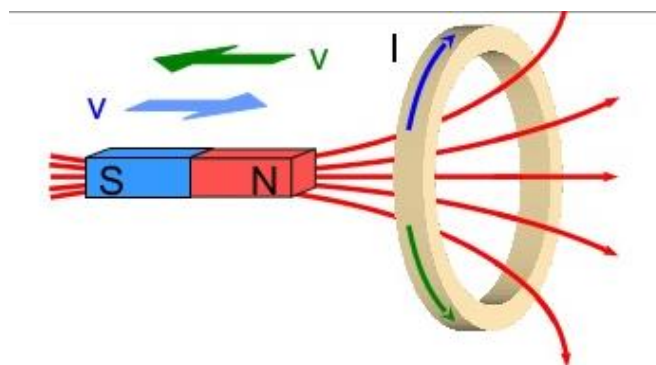


Figura 4: Ley de Faraday.

Fuente: <http://elberth90.blogspot.com/2012/09/ley-de-faraday.html>

La fórmula para determinar fem o tensión inducida de Faraday en un conductor es el siguiente:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_m}{dt} \quad (4)$$

Donde:

$\mathcal{E}$ : Tensión inducida (volts).

$\Phi_m$ : Variación del flujo magnético con respecto al tiempo (Wb).

(-): Ley de Lenz (Oposición al flujo magnético).

En el caso del solenoide de “N” espiras, el flujo magnético que induce la fem en una espira es igual en todas las espiras del solenoide.

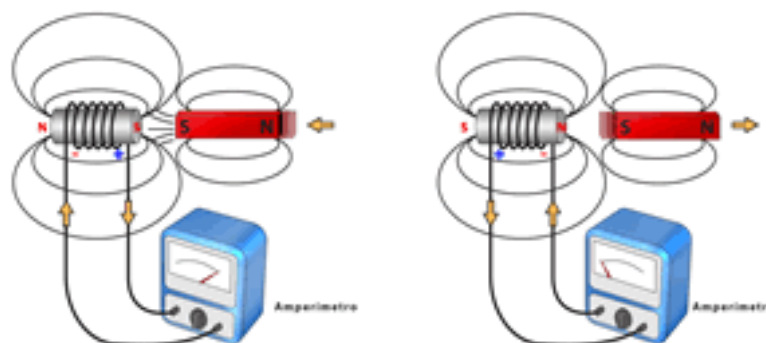


Figura 5: Ley de Faraday en un solenoide.

Fuente: <http://fisica3roifd.blogspot.com/p/ley-de-faraday.html>

La fórmula para determinar fem o tensión inducida de Faraday en un solenoide es el siguiente:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_m}{dt} \quad (5)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Tensión inducida (volts).

N: Numero de vueltas del conductor.

$\Phi_m$ : Variación del flujo magnético con respecto al tiempo (Wb).

(-): Ley de Lenz (Oposición al flujo magnético).

#### **2.2.1.4 Efecto Joule**

Mencionar a conductores eléctricos es referirse al fenómeno por efecto Joule que se genera cuando una determinada intensidad de corriente circula sobre ellos generando pérdidas en forma de calor, este efecto tiene como resultado la transformación de la energía eléctrica en energía calorífica y está dada por la siguiente fórmula:

$$P_w = R \times I^2 \quad (6)$$

Donde:

$P_w$ : Potencia generada por efecto Joule (W).

R: Resistencia del conductor eléctrico ( $\Omega$ ).

I: Intensidad de corriente que circula en el conductor (A).

#### **2.2.1.5 Principio de funcionamiento del transformador**

El principio de funcionamiento de un transformador se da cuando la energía eléctrica en corriente alterna se convierte en energía magnética en el lado primario, esta energía magnética fluye por el núcleo y llega al secundario para ser convertido en energía eléctrica inducida. Estos principios se dan gracias al Teorema de Ampere y a la Ley de Faraday. El funcionamiento se da cuando el lado primario del transformador es alimentado por una tensión inducida ( $V_p$ ); éste genera un flujo de intensidad de corriente ( $I_p$ ) y cuando entra en contacto con el devanado primario de ( $N_p$ ) espiras induce una fuerza electromotriz ( $E_p$ ) generando un flujo magnético ( $\emptyset$ ) en sentido horario circulando en todo el núcleo ferromagnético de hierro (alta permeabilidad); el flujo magnético ( $\emptyset$ ) al entrar en contacto con el devanado secundario de ( $N_s$ ) espiras, induce una fuerza electromotriz y finalmente en la salida se genera una intensidad de corriente eléctrica ( $I_s$ )

y una tensión ( $V_s$ ). (Preciado & Rodas, 2015). A continuación, se muestra la figura del funcionamiento de un transformador elemental.

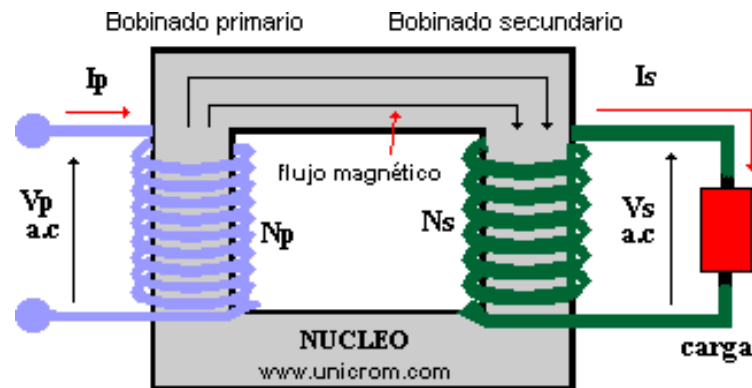


Figura 6: Funcionamiento de un transformador elemental.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos63/transformadores/transformadores2.shtml>

#### 2.2.1.6 Parámetros del transformador de distribución

##### -Potencia aparente (KVA)

Es la potencia cuando la carga se encuentra conectada a valores nominales. En transformadores se nombra potencia aparente a la capacidad ideal o nominal que soporta el transformador con cargas con factor de potencia igual a la unidad.

##### -Tensión primaria (V)

Es la tensión de alimentación en el lado primario del transformador, el cual genera un flujo magnético que circula por el núcleo hasta llegar al lado secundario.

##### -Tensión secundaria (V)

Es la tensión de salida del transformador, el cual alimenta las cargas en baja tensión para su utilización.

##### -Corriente primaria (A)

Es la corriente que circula por el devanado primario del transformador, se caracteriza por tener un nivel bajo porque la tensión del lado primario es elevada y la potencia de entrada y salida es constante.

### -Corriente secundaria (A)

Es la corriente que circula por el devanado secundario del transformador, se caracteriza por tener un nivel alto porque la tensión del lado secundario es baja y la potencia de entrada y salida es constante.

### -Pérdidas en vacío (pérdidas en el hierro)

Avelino (2001) indica que las pérdidas en vacío es la energía consumida por el núcleo del transformador cuando el lado primario es alimentado con una tensión nominal y el secundario se encuentra sin carga. Las pérdidas en vacío son la suma de las pérdidas por histéresis más las pérdidas por corriente de Foucault.

Las pérdidas por histéresis es la energía que se manifiesta en forma de calor cuando en un material ferromagnético, en este caso el núcleo del transformador, concluye la aplicación de un flujo magnético y el material no anula completamente su magnetismo, sino que permanece un cierto residuo de magnetismo, dicho residuo genera calor que es perjudicial para el material ferromagnético. A continuación, se muestra la figura del ciclo de histéresis en un material ferromagnético.

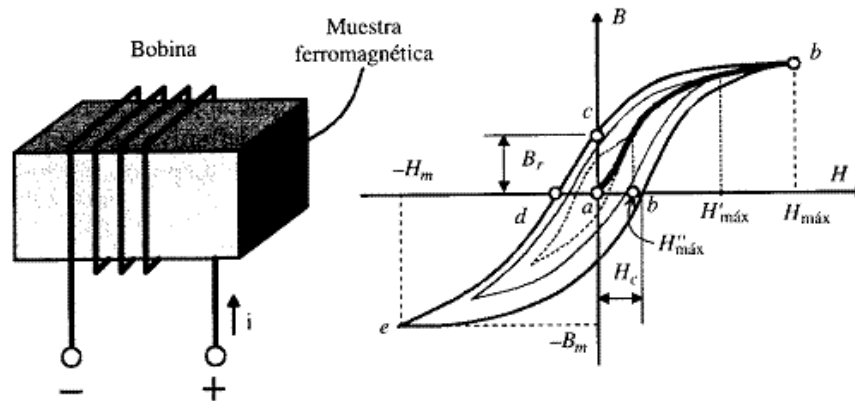


Figura 7: Ciclo de histéresis.

Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos82/perdidas-transformador/perdidas-transformador2.shtml>

Las pérdidas por corrientes parasitas o Foucault son producidas mediante la variación del flujo magnético que atraviesa por el núcleo del transformador, esta variación de flujo genera corrientes inducidas generando calor a través del efecto Joule; pese a ello se puede disminuir el valor de las pérdidas hasta convertirlas despreciables gracias al uso de láminas delgadas de acero aisladas con barniz en la construcción de núcleos; de esta manera los electrones generados, por la variación de flujo, no pueden

atravesar el aislante entre los laminados y por lo tanto no pueden circular en arcos abiertos, quedando atrapados en los extremos del laminado. A continuación, se muestra la figura de las corrientes de Foucault generadas por la variación de flujo.

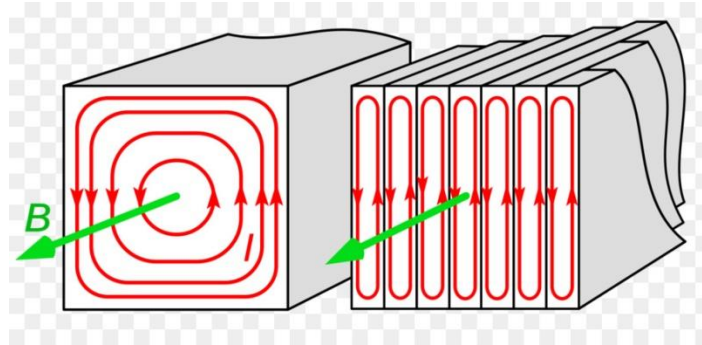


Figura 8: Corriente de Foucault.

Fuente: <https://www.freepng.es/png-m9rzdm/>

#### **-Pérdidas en cortocircuito (pérdidas en el conductor)**

Las pérdidas en cortocircuito es la potencia generada por los conductores eléctricos de los devanados del transformador cuando el lado primario es alimentado por una fuente de tensión moderada (5% del valor nominal) y el secundario conectado en cortocircuito. (Chapman, 2000).

Las pérdidas en cortocircuito son iguales a las pérdidas por efecto Joule, estas pérdidas se producen cuando en los conductores eléctricos, de una determinada resistencia y longitud, atraviesa una intensidad de corriente generando calor. (Sandoval, 2000).

#### **-Eficiencia**

La eficiencia de un transformador está dada por la relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida más las pérdidas en el conductor y las pérdidas en el núcleo. (Chapman, 2000)

#### **2.2.1.7 Tipos de conexiones en transformadores trifásicos**

Avelino (2001) indica que un transformador trifásico está compuesto por tres transformadores monofásicos y sus devanados pueden estar conectados de la siguiente manera:

### -Conexión Estrella

Esta conexión consiste en que tres devanados monofásicos se conecten en forma de Y, el cual presenta dos características significativas que son que la tensión de línea es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase y su corriente de línea es igual a la corriente de fase. A continuación, se muestra la figura de una conexión estrella.

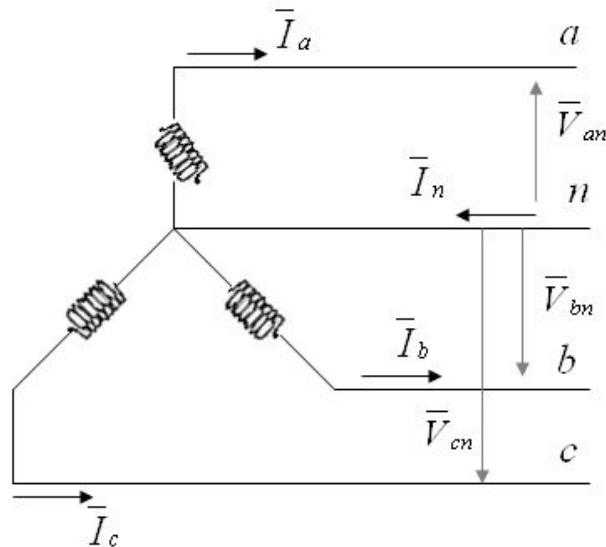


Figura 9: Conexión Estrella.

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/154838/>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión estrella:

$$V_{línea} = \sqrt{3} V_{fase} \quad (7)$$

$$I_{línea} = I_{fase} \quad (8)$$

Donde:

$V_{línea}$ : Tensión de línea.

$V_{fase}$ : Tensión de fase.

$I_{línea}$ : Corriente de línea.

$I_{fase}$ : Corriente de fase.

### -Conexión Delta

Esta conexión consiste en que tres devanados monofásicos se conecten en forma de  $\Delta$ , el cual presenta dos características significativas que son que la tensión de línea es igual a la tensión de fase y su corriente de línea es  $\sqrt{3}$  veces la corriente de fase. A continuación, se muestra la figura de una conexión estrella.

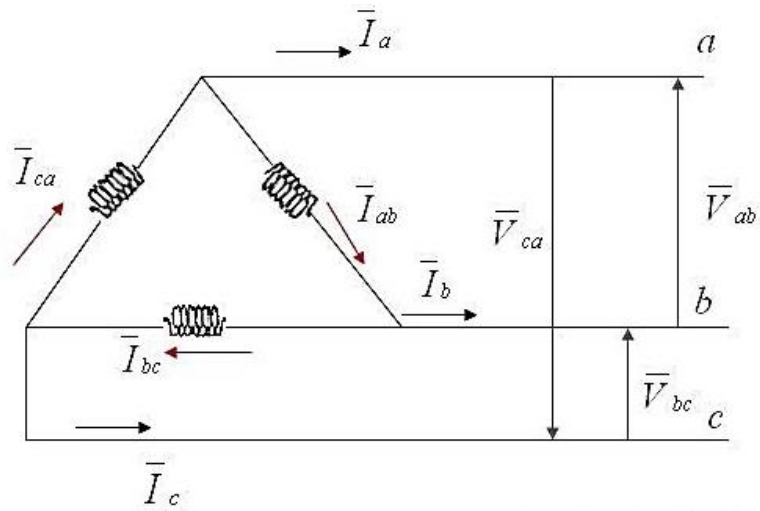


Figura 10: Conexión Delta.  
Fuente: <https://slideplayer.es/slide/154838/>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión delta:

$$V_{línea} = V_{fase} \tag{9}$$

$$I_{línea} = \sqrt{3} I_{fase} \tag{10}$$

En el caso de los tipos de conexiones para transformadores trifásicos se debe mencionar que existen 3 devanados en el lado primario y 3 devanados en el lado secundario, todos estos conectados a un mismo núcleo; además existen los siguientes tipos de conexiones de los devanados primarios con los secundarios. A continuación, se detallan los siguientes:

### -Conexión Estrella – Estrella

Este tipo de conexión hace referencia a que el primario y el secundario están conectados en estrella, este tipo de conexión la tensión de línea es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase. Una ventaja de este tipo de conexión es que el neutro se encuentra disponible físicamente; además en tema de operación, el transformador funciona normalmente así el neutro no esté aterrado cuando la carga esta equilibrada y si la carga no está equilibrada, el neutro del lado secundario debe ser aterrado (Rodríguez 2014). A continuación, se muestra la figura de una conexión estrella – estrella.

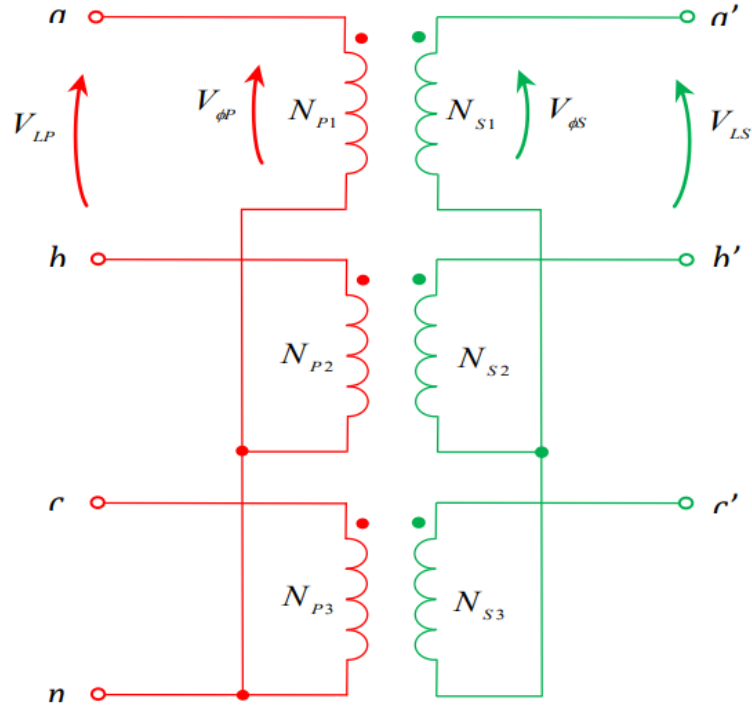


Figura 11: Conexión Estrella- Estrella.

Fuente: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1785/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-19.pdf>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión estrella – estrella.

$$\frac{V_a}{V_{a'}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (11)$$

$$\frac{V_{ab}}{V_{a'b'}} = \frac{\sqrt{3}N_{P1}}{\sqrt{3}N_{S1}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (12)$$

$$\frac{I_a}{I_{a'}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (13)$$

Donde:

$V_a$ : Tensión de línea del primario.

$V_{a'}$ : Tensión de línea del secundario.

$V_{ab}$ : Tensión de fase del primario.

$V_{a'b'}$ : Tensión de fase del secundario.

$N_{P1}$ : Número de espiras del primario.

$N_{S1}$ : Número de espiras del secundario.

$I_a$ : Corriente de línea del primario.

$I_{a'}$ : Corriente de línea del secundario.



### -Conexión Estrella – Delta

Este tipo de conexión hace referencia a que el primario está conectado en estrella y el secundario en delta, también se determina que la tensión de línea del primario es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase del mismo, a su vez la tensión de línea del secundario es igual a la tensión de fase del mismo. Es importante indicar que este tipo de conexión no tiene inconvenientes con los componentes de la tercera armónica en sus tensiones debido a que éstas son consumidas en la corriente que circula en el devanado de conexión delta (Rodríguez 2014).

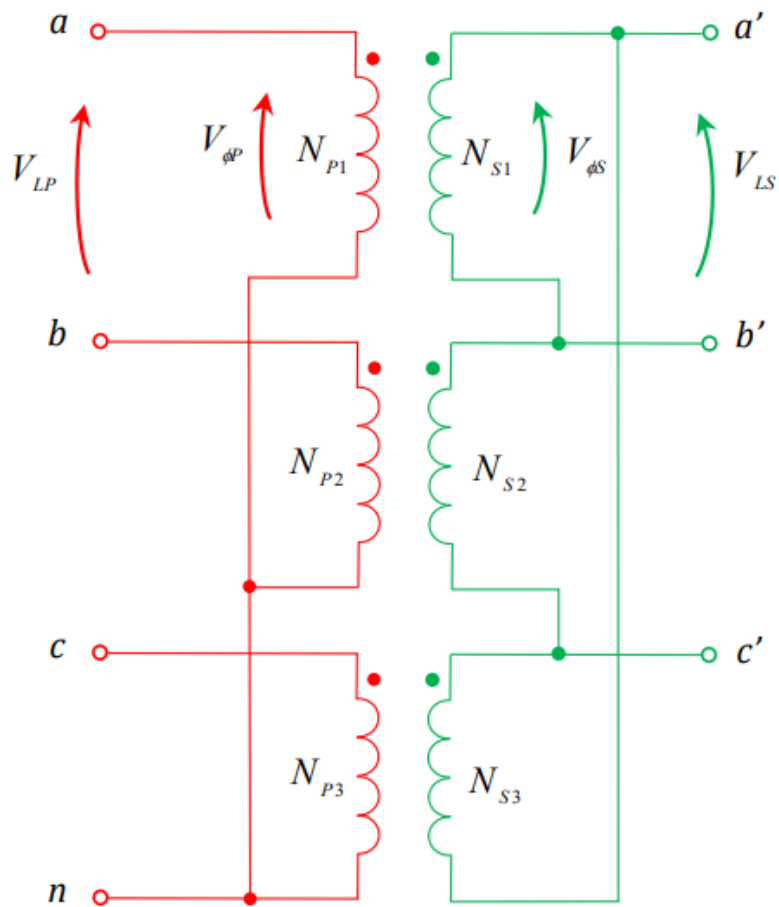


Figura 12: Conexión Estrella - Delta

Fuente: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1785/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-19.pdf>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión estrella – delta.

$$\frac{V_a}{V_{a'b'}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (14)$$

$$\frac{V_{ab}}{V_{a'b'}} = \frac{\sqrt{3}N_{P1}}{N_{S1}} \quad (15)$$

$$\frac{I_a}{I_{a'}} = \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \quad (167)$$

$$\frac{I_a}{I_{a'}} = \frac{N_{S1}}{\sqrt{3}N_{P1}} \quad (17)$$

### -Conexión Delta – Delta

Este tipo de conexión hace referencia a que los devanados del lado primario y del secundario se encuentran en delta, además se determina que las tensiones de línea son igual a la tensión de fase de los dos devanados. Es importante precisar que este tipo de conexión hace que la tensión esté equilibrada cuando la carga se encuentra desequilibrada (Rodríguez 2014).

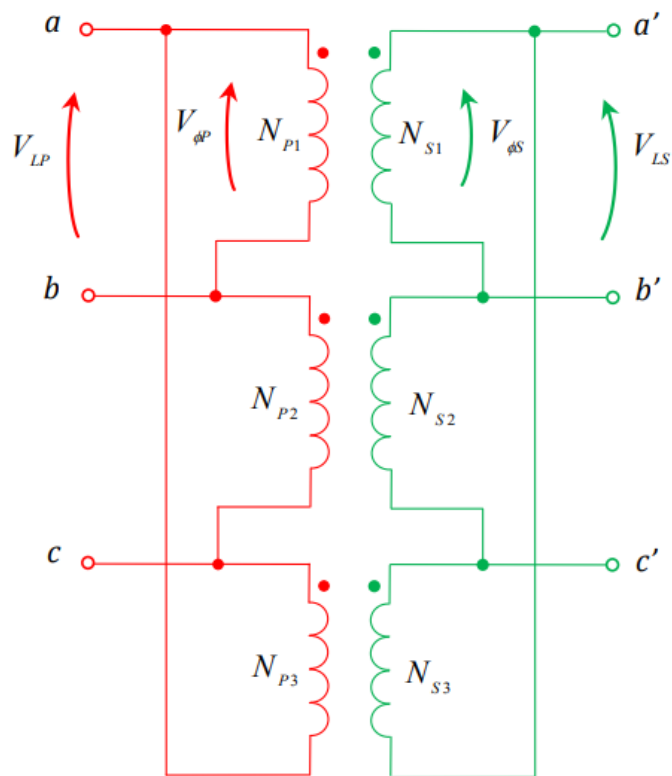


Figura 13: Conexión Delta – Delta.

Fuente: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1785/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-19.pdf>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión delta – delta.

$$\frac{V_{ab}}{V_{a'b'}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (18)$$

$$\frac{I_{ab}}{I_{a'b'}} = \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \quad (19)$$

$$\frac{I_a}{I_{a'}} = \frac{\sqrt{3}N_{S1}}{\sqrt{3}N_{P1}} = \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \quad (20)$$

### -Conexión Delta – Estrella

Este tipo de conexión hace referencia a que el devanado del lado primario sea conectado en delta y el devanado del lado secundario en estrella; al igual que la conexión estrella – delta, la tensión de línea del lado primario es igual a la tensión de fase del mismo y la tensión de línea del secundario es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase del mismo. Cabe indicar que este tipo de conexión presenta una ventaja con la componente de la tercera armónica debido a que se consume en la corriente que circula en el devanado del lado primario por ser delta, también es importante mencionar que este tipo de conexión utiliza en el lado secundario 4 bornes (tres líneas y un neutro) que permiten equilibrar cargas trifásicas y monofásicas. (Rodríguez 2014).

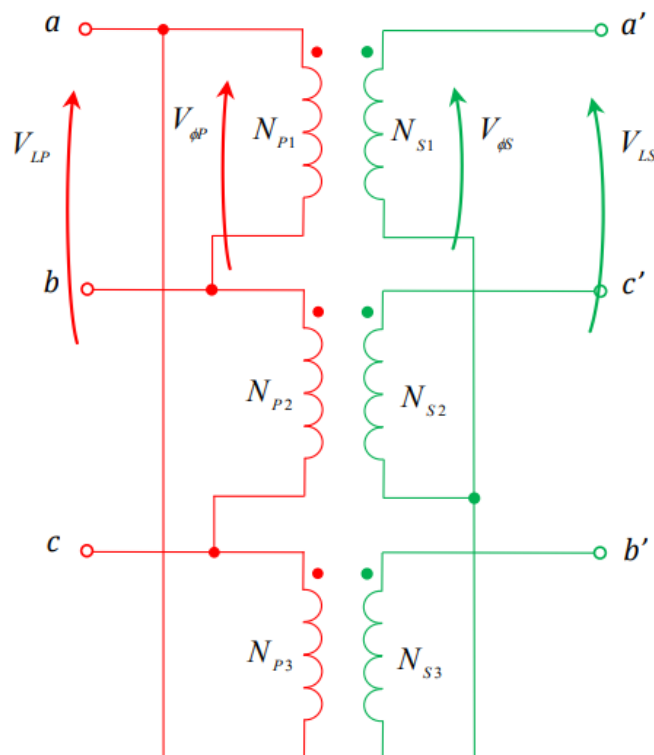


Figura 14: Conexión Delta – Estrella.

Fuente: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1785/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-19.pdf>

De la figura mostrada se derivan las siguientes ecuaciones en una conexión delta – estrella.

$$\frac{V_{ab}}{V_{a'}} = \frac{N_{P1}}{N_{S1}} \quad (21)$$

$$\frac{V_{ab}}{V_{a'b'}} = \frac{N_{P1}}{\sqrt{3}N_{S1}} \quad (22)$$

$$\frac{I_{ab}}{I_{a'}} = \frac{N_{S1}}{N_{P1}} \quad (23)$$

$$\frac{I_a}{I_{a'}} = \frac{\sqrt{3}N_{S1}}{N_{P1}} \quad (24)$$

### 2.2.1.8 Partes del transformador

Para la construcción de un transformador de distribución es necesario que esta máquina cuente con una parte activa (núcleo y devanados), un tanque para el almacenamiento del aceite, aceite mineral dieléctrico, Bushings o terminales, conmutador de tomas o taps. Para nuestro estudio se considera al núcleo y los devanados como objeto de diseño, siendo este último la parte del transformador de distribución que será implementado con conductores eléctricos de aluminio.

#### -Núcleo

Es la parte del transformador que está fabricado con hierro al silicio de grano orientado, el cual cumple la función de un circuito cerrado por donde circula el flujo magnético hacia los devanados. (Solano, 2005)

En la actualidad existen varios tipos y diseños de núcleo; sin embargo, los más utilizados en transformadores de distribución trifásicos y monofásicos son de tipo columna y tipo acorazado, para el caso de este estudio se considera que el diseño del núcleo del transformador de distribución será núcleo trifásico de tipo acorazado enrollado. A continuación, se muestran la figura del núcleo trifásico.



Figura 15: Núcleo trifásico

Fuente: <http://www.electriccapital.com.mx/index.php/proceso-fabricacion/fab-distribucion>

### **-Devanados**

Están elaborados de conductores eléctricos de forma redonda o rectangular con una alta conductividad eléctrica, aislados con esmaltado revestido o con papel aislante, su función principal es conducir la corriente y generar el flujo magnético que atraviesa a lo largo del núcleo. En un transformador existen el devanado primario para alta tensión que reciben la energía y el devanado secundario para la baja tensión quien la entrega hacia las cargas. (Solano, 2005). A continuación, se muestra la figura de los devanados de un transformador trifásico.



Figura 16: Devanados de un transformador trifásico.

Fuente: <https://www.alamy.es/gran-dispositivo-transformador-electrico-industrial-con-las-bobinas-de-alambre-de-cobre-image186063348.html>

En la gran mayoría de transformadores industriales los devanados están hechos de conductores de cobre y tienen dos formas constructivas: Devanado concéntrico y devanado alternado. En el primer caso, los devanados de baja y alta tensión están

dispuestos sobre el núcleo en forma de cilindro y ocupan la mayor parte de la longitud axial o altura de la columna. En los devanados alternados, los devanados de alta y baja tensión están subdivididos en grupos de bobinas colocadas en forma alternada una sobre otra en el sentido longitudinal de las columnas, cada bobina ocupa la mayor parte del espacio disponible en el sentido radial. En ambos casos, los devanados de baja tensión son los que se colocan en las partes más cercanas al núcleo. Para esta investigación el diseño de los devanados será de tipo concéntricos. A continuación, se muestra la figura de los devanados concéntricos y alternados.

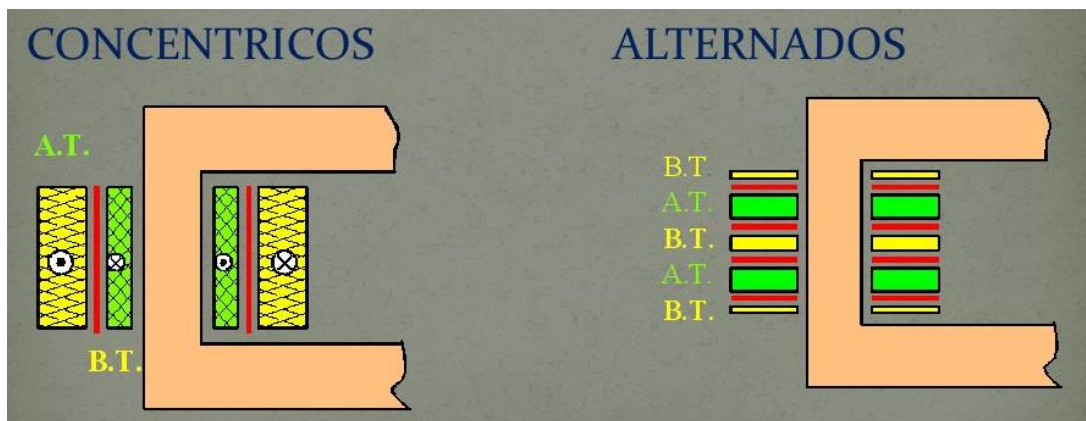


Figura 17: Devanado concéntrico y alternado.  
Fuente: <https://slideplayer.es/slide/23113/>

### -Tanque

Estructura metálica que tiene como fin, brindar soporte mecánico al transformador y todos sus elementos, está fabricado de láminas de acero al carbono que deben soportar las severas condiciones de humedad y calor. (Solano, 2005). A continuación, se muestra la figura del tanque del transformador.



Figura 18: Tanque del transformador.  
Fuente: [http://es.made-in-china.com/co\\_tissindustries/product\\_Transformer-Tank\\_hhiyoiyhy.html](http://es.made-in-china.com/co_tissindustries/product_Transformer-Tank_hhiyoiyhy.html)

## 2.2.2 Conductor eléctrico de aluminio

### 2.2.2.1 Conductor eléctrico del transformador de distribución

Un conductor eléctrico es un elemento que está fabricado de un material que se caracteriza por tener una buena conductividad y una baja resistencia para el paso de la corriente eléctrica y diseñado de una sección que soporte una intensidad de corriente nominal de una carga en particular.

Los conductores eléctricos de los devanados de los transformadores de distribución están fabricados de alambre redondo de cobre aislado con una capa de esmalte especial o pletinado rectangular de cobre aislado con papel “Prespan” o “Kraff” de clase térmica “E” (soportan hasta 120°C) según la norma IEC 60085, denominados “Papel térmicamente mejorado”. Para ambas dimensiones, ya sea alambre o pletinado, el cobre debe de contar con un 99.8% de pureza. (Luz del Sur, 2011). A continuación, se muestra la figura del tipo pletinado y alambre de conductores eléctricos en transformadores de distribución:

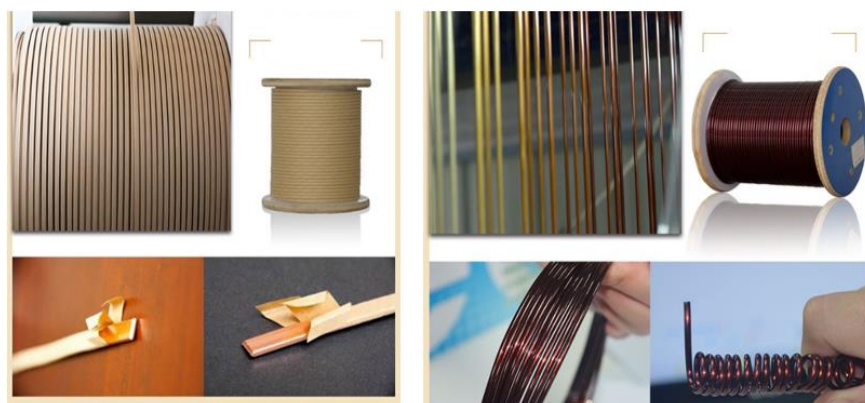


Figura 19: Tipos de conductores eléctricos para transformadores de distribución.

Fuente: [http://www.bobina-aluminio-transformador.com/Alambre\\_Esmaltado\\_pletino\\_de\\_Aluminio/](http://www.bobina-aluminio-transformador.com/Alambre_Esmaltado_pletino_de_Aluminio/)

### 2.2.2.2 Definición del aluminio

El aluminio es un metal no ferromagnético que se extrae de un mineral llamado Bauxita y se encuentra presente en la corteza terrestre en un 8%. En estado natural se caracteriza por poseer una baja densidad, cuenta con una alta resistencia a la corrosión y es un buen conductor de la electricidad. (Medina, 2010).

### **2.2.2.3 Densidad de corriente del aluminio ( $A/mm^2$ )**

La densidad de corriente es la magnitud de intensidad de corriente que fluye en una sección determinada de un conductor eléctrico.

### **2.2.2.4 Conductividad eléctrica del aluminio ( $S/m$ )**

La conductividad eléctrica es la propiedad de los materiales en ceder el paso de la corriente eléctrica y es lo contrario a la resistencia eléctrica; la unidad de medición utilizada generalmente es el Siemens/m ( $S/m$ ). El aluminio presenta una conductividad eléctrica de  $36,6 \times 10^6 S/m$ .

### **2.2.2.5 Resistividad eléctrica del aluminio ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )**

La resistividad eléctrica es una propiedad de los materiales a la oposición del paso de la corriente eléctrica en un conductor eléctrico con una sección y longitud determinada, el aluminio presenta una resistencia eléctrica de  $0,00284 \Omega \cdot mm^2/m$ .

## **2.2.3 Proyecto de electrificación masiva**

Un proyecto de electrificación masiva es la ejecución de un procedimiento para la adquisición del Servicio Público de Electricidad y Alumbrado Público a favor de lotizaciones, basado en la ampliación de redes de un subsistema de distribución primario y/o secundario, estas lotizaciones están constituidos sobre inmuebles y que comprenden áreas de uso público, posesiones informales con fines de vivienda, asentamientos humanos, agrupaciones de familias, asociaciones y anexos. (Luz del Sur, 2010).

Se debe precisar que el Servicio Público de Electricidad o Servicio Particular es el abastecimiento de energía eléctrica hacia los clientes por medio de acometidas que vienen desde las redes de distribución secundarias hacia las cajas de tomas generales de cada cliente y el Servicio de Alumbrado Público está comprendido a toda estructura que contemplan postes de concreto armado, pastorales, lámparas y luminarias de vapor de Sodio de 50W y demás accesorios.

La tabla 1 muestra la calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución según la Norma DGE “Calificación Eléctrica para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución Secundaria” que establece la carga eléctrica mínima y el tipo de suministro. Para la investigación se opta por los Tipos de Habilitación “g” y “h”, con un Sector de Distribución Típico 1 que presenta una carga eléctrica mínima de 0,7kW por lote y un suministro monofásico.



Tabla 1: Calificación eléctrica para la elaboración de proyectos de subsistemas de distribución de acuerdo a la R.D. N°015-2004-EM/DGE

Tipo de habilitación	Sector de Distribución Típico 1 W	Sector de Distribución Típico 2 W	Sector de Distribución Típico 3 W	Sector de Distribución Típico 4 W	Sector de Distribución Típico 5 W
a) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 1 (Zonas R1-S y R1)	1 500 + 3 W/m <sup>2</sup> hasta un máximo de 10 kW (suministro trifásico)	800 +1 W/m <sup>2</sup> hasta un máximo de 5 kW (suministro trifásico)	—	—	—
b) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 2 (Zona R2)	1 500	800	—	—	—
c) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 3 (Zona R3)	1 300	700	500	—	—
d) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 4 (Zona R4)	900 (suministro monofásico)	900 (suministro monofásico)	700 (suministro monofásico)	—	—
e) Habilitaciones de alta densidad poblacional, para viviendas multifamiliares	11 W/m <sup>2</sup> del área techada total, con un mínimo de 900 W	11 W/m <sup>2</sup> del área techada total, con un mínimo de 700 W	—	—	—
f) Habilitaciones para vivienda taller (Zona I1-R)	1 000	1 000	1 000	—	—
g) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Centros Poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales	700 300 (*) (suministro monofásico)	300 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	200 (suministro monofásico)
h) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes	700 (suministro monofásico)	400 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	250 (suministro monofásico)
i) Habilitaciones pre-Urbanas, tipos pecuarios o huertas (Zona P-U)	2 000	1 500	1 500	1 000	1 000
j) Lotizaciones para la industria elemental y complementaria de apoyo a la industria de mayor escala (Zona I1)	4 000	1 100	—	—	—

(\*) Se autorizan Demandas Máximas menores, si se sustentan con estudios justificativos.

**Nota1:** El Cuadro N° 2 será de aplicación a partir del 2005-11-01.

**Nota2:** Donde no se indica el tipo de suministro, puede ser monofásico o trifásico, debiendo precisarse mediante coordinación con el Concesionario.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

## -Especificaciones técnicas de Luz del Sur

Los transformadores de distribución trifásicos que son implementados en la zona de concesión de Luz del Sur tienen una capacidad que están comprendidas entre los valores de 50 hasta 630KVA; presentan una relación de transformación de 10/0.23kV a una frecuencia de 60Hz, están instalados a una altura máxima de 2500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y una temperatura ambiente de 5 a 40°C. (Luz del Sur, 2011).

Para una correcta selección de un transformador trifásico de 50KVA 10/0,23kV se debe considerar las siguientes especificaciones técnicas establecidas por Luz del Sur mostradas en la tabla 2 en el cual manifiestan las características eléctricas generales de transformadores trifásicos. Es importante también considerar las normas vigentes NTP 370.002 (Para diseño, fabricación y pruebas en transformadores) y CEI publicación 60076 (Para diseño, fabricación y pruebas en transformadores).

Tabla 2: Especificaciones técnicas para transformadores trifásicos de distribución 10/0,23kV.

	ESPECIFICACIONES TECNICAS	Codigo: DNC-ET-013d
	TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE DISTRIBUCION 10/0,23kV	Fecha: 21/01/2011
Número de fases	<b>3</b>	
Tensión nominal primaria	<b>10 kV</b>	
Tensión nominal secundario	<b>230 V</b>	
5 derivaciones para conmutación en el lado primario	<b>Nominal (10kV), ±2,5% , ±5%</b>	
Grupo de conexión	<b>Dyn5</b>	
Clase de aislamiento (kV)	<b>MT: 12</b>	
	<b>BT: 0,6</b>	
Nivel Basico de aislamiento (BIL)	<b>95</b>	
Tipo de enfriamiento	<b>ONAN</b>	
Sobre elevación de temperatura en los devanados	<b>75°C</b>	
Dimensiones maximas del transformador	<b>Altura (H) = 130cm</b>	
	<b>Ancho (L) = 85cm</b>	
	<b>Espesor (A) = 69cm</b>	
Pérdidas	<b>Pérdidas en carga 75°C (kW) = no mayores a 1,00</b>	
	<b>Pérdidas sin carga (kW) = no mayores a 0,23</b>	
	<b>Pérdidas totales (kW)= no mayores a 1,23</b>	

Fuente: Luz del Sur (2011).

### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Operacionalización de las variables

Variable dependiente	Definición de la variable dependiente	Dimensiones	Indicadores
<b>Transformador de distribución</b>	Máquina estática que se encuentra presente de manera elemental y como última etapa en los sistemas eléctricos de potencia, presenta una capacidad nominal desde 5 hasta 500KVA con una tensión nominal de hasta 34kV en el primario y 15kV en el secundario; así mismo ejerce una operación continua con carga o sin carga en el secundario, es por ello que el diseño de la parte activa del transformador debe de ser de manera eficiente minimizando las pérdidas emitidas por el cobre y el núcleo.	Pérdidas del transformador	Pérdidas en el conductor
			Pérdidas en el núcleo
		Eficiencia del transformador	Potencia activa

Variable independiente	Definición de la variable independiente	Dimensiones	Indicadores
<b>Conductor eléctrico de aluminio</b>	Es un elemento que está fabricado de un material que se caracteriza por tener una buena conductividad y una baja resistencia para el paso de la corriente eléctrica y diseñado de una sección que soporte una intensidad de corriente nominal de una carga en particular.	Sección del conductor	Intensidad de corriente
			Conductividad eléctrica
			Densidad de corriente
		Resistencia eléctrica del conductor	Resistividad eléctrica
			Longitud del conductor

## **3.2 Hipótesis de la investigación**

### **3.2.1 Hipótesis general**

El estudio permite implementar un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

### **3.2.2 Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica 1**

Un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio presenta una buena eficiencia en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

#### **Hipótesis específica 2**

Un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio genera pérdidas permitidas en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

#### **Hipótesis específica 3**

La sección de los conductores eléctricos de aluminio de un transformador distribución de 50KVA 10/0.23kV presenta una baja resistencia eléctrica.

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 Descripción de la metodología**

#### **Tipo de investigación**

La investigación tiene como objetivo principal describir el estudio de la implementación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución, para ello se establece una investigación de tipo descriptiva, dado que se describe los procedimientos adecuados para comprobar o rechazar las hipótesis establecidas en la investigación.

La investigación de tipo descriptivo se define como la descripción de la realidad del objeto de estudio con la finalidad de comprobar hipótesis, confirmar o rechazar un enunciado, también se define como el acto de representar por medio de las palabras de cada investigador las características de fenómenos, hechos, situaciones, cosas, etc. (Niño, 2011).

#### **Diseño de investigación**

Dado que el objetivo del estudio es describir la implementación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución basado en las consecuencias que provocará las características eléctricas del aluminio en las pérdidas y eficiencia del transformador de distribución, los cuales han sido materia de numerosas investigaciones realizadas anteriormente, se utiliza un diseño cuasi-experimental debido a que la muestra ha sido proporcionada por pruebas realizadas y registradas anteriormente.

El diseño cuasi-experimental se define como la manipulación intencional de una variable independiente para observar su efecto sobre una variable dependiente; este proceso se diferencia del diseño experimental debido a que la muestra del diseño cuasi-experimental no es asignada al azar, sino que es recolectada por grupos que han sido materia de otras investigaciones. (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p203).

#### **Método de investigación**

Dado que el objetivo de esta investigación es describir el estudio de la aplicación de una tecnología que no ha sido utilizada anteriormente en el objeto de estudio, se tiene

que acudir al análisis de los conductores eléctricos de los transformadores de distribución para realizar un correcto diseño y describir de qué manera esta tecnología afecta en los requerimientos técnicos solicitados por la empresa Luz del Sur, para ello se utiliza el método analítico en esta investigación debido a que se observa y se explica los resultados de la tentativa que se realiza a un elemento del objeto de estudio.

El método analítico es un método de investigación que permite observar los efectos causados en un objeto o elemento cuando es descompuesto en sus partes, este análisis se basa en la observación de un experimento específico teniendo presente que el entorno del fenómeno debe ser de conocimiento por el investigador, asimismo su aplicación permite comprender y explicar los resultados de la investigación. (Brawman, Barrera, Rochin y Esquer, 2011).

## **4.2 Implementación de la investigación**

### **Diseño de un transformador de distribución 50KVA 10/0,23kV $\pm 5\%$ conexión Dyn5 con conductores eléctricos de aluminio.**

El diseño de transformadores presenta normas nacionales e internacionales que deben cumplirse para garantizar el buen desempeño del producto. Estas normas y códigos para transformadores son las siguientes:

- Norma Técnica Peruana 370.002: Para diseño, fabricación y prueba.
- CEI, Publicación 60076: Para diseño, fabricación y prueba.
- CEI, Publicación 296: Para aceites aislantes.
- IEC 60137: Para los Bushings tipo enchufe y aisladores pasantes.

Para realizar el diseño de un transformador de distribución se consideran los siguientes parámetros eléctricos como base para los cálculos que se necesitan para diseñar geoméricamente las dimensiones del núcleo y devanado, asimismo determinar las pérdidas y eficiencia que tiene el transformador de distribución de 50kVA.

La tabla 3 muestra los parámetros eléctricos para el diseño de un transformador de distribución de 50KVA 10/0,23KV  $\pm 5\%$  conexión Dyn5, los cuales son el punto de partida

que permiten determinar los valores en las diferentes fórmulas que se muestran en el desarrollo de la metodología para determinar el diseño final.

Tabla 3: Parámetros eléctricos para el diseño de un transformador.

<b>PARAMETROS ELÉCTRICOS PARA EL DISEÑO DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN DE 50KVA 10/0,23KV ±5% CONEXIÓN Dyn5.</b>	
Potencia trifásica nominal ( $P_{3\phi}$ )	50KVA
Potencia monofásica ( $P_{1\phi}$ )	16,67KVA
Tensión en el primario ( $V_p$ )	10kV
Tensión en el secundario ( $V_s$ )	0,23kV
Frecuencia (Hz)	60Hz
Taps o Derivaciones	±5%
Temperatura máxima de servicio ( $T^{\circ}\text{máx}$ )	75°C

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4 muestra los niveles de aislamiento ante una tensión normalizada a frecuencia industrial y una tensión con nivel tipo rayo que soporta los aislamientos de un transformador, estos valores permiten determinar el nivel de aislamiento ante un valor máximo de tensión, el cual es un rayo. Para esta investigación el transformador de distribución tendrá un nivel de aislamiento de 28kV, debido a que la tensión nominal del lado primario es 10kV y al compararlo con la tabla, el valor más próximo es 12kV.

Tabla 4: Niveles de aislamiento normalizados (BIL).

Tensión más elevada para el material $U_m$ kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

Fuente: [http://www.webaero.net/ingenieria/especificaciones\\_y\\_normas/NB/reglamentos\\_tecnicos\\_oficiales/2008/itclat07.htm](http://www.webaero.net/ingenieria/especificaciones_y_normas/NB/reglamentos_tecnicos_oficiales/2008/itclat07.htm)

Indicado los parámetros eléctricos de la tabla 3 y el nivel de aislamiento BIL de la tabla 4, se procede a realizar los cálculos para diseñar un transformador de distribución de 50KVA con conductores eléctricos de aluminio.



## 1. Cálculo de corrientes en los devanados

### - Corriente en devanado A.T. ( $I_p$ )

La corriente que circula en el devanado de alta tensión o lado primario se calcula con la siguiente fórmula en donde interviene la potencia nominal del transformador y la tensión del lado de alta tensión:

$$I_p = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}V_p}$$

Donde:

$I_p$  = Corriente en devanado de alta tensión (A).

$P_{3\phi}$  = Potencia trifásica nominal del transformador (KVA).

$V_p$  = Tensión del lado primario (V).

Reemplazando los valores indicados en la fórmula se determina la corriente del lado primario:

$$I_p = \frac{50KVA}{(\sqrt{3})10KV} = 2,89A$$

De igual manera se calculan las corrientes en las 5 derivaciones o taps que contiene el devanado primario, para el cual se calcula con una variación de  $\pm 5\%$  de la tensión nominal del lado primario del transformador, quedando de la siguiente manera:

$$V_{tap1} = 10kV - 5\%(10kV) = 9500V \rightarrow 3,04A$$

$$V_{tap2} = 10kV - 2,5\%(10kV) = 9750V \rightarrow 2,96A$$

$$V_{tap3} = 10kV - 0\%(10kV) = 10000V \rightarrow 2,89A$$

$$V_{tap4} = 10kV + 2,5\%(10kV) = 10250V \rightarrow 2,81A$$

$$V_{tap5} = 10kV + 5\%(10kV) = 10500V \rightarrow 2,75A$$

### - Corriente en devanado B.T. (Is)

Al igual que el cálculo para hallar la corriente en el lado primario del transformador de distribución, la corriente que circula en el devanado de baja tensión o lado secundario del transformador se calcula de la siguiente manera teniendo en consideración la potencia aparente del transformador y la tensión nominal del lado secundario:

$$I_S = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}V_S}$$

Donde:

$I_S$ = Corriente en devanado de baja tensión (A).

$P_{3\phi}$ = Potencia trifásica nominal del transformador (KVA).

$V_S$ = Tensión del lado secundario (V).

Reemplazando los valores de la fórmula, la corriente que circula en el lado secundario es:

$$I_S = \frac{50KVA}{(\sqrt{3})0,23KVA} = 125,5A$$

## 2. Cálculo del número de vueltas de los devanados

Existen diversas maneras de calcular el número de vueltas de los devanados, para esta investigación se toma el procedimiento de Pedro Avelino Pérez (2001), el cual indica que para calcular el número de vueltas de los devanados es necesario conocer los volts/vuelta ( $V_t$ ) y la impedancia normalizada para transformadores de distribución "Z".

La fórmula para calcular los volts/vuelta es la siguiente:

$$V_t = 1,1 \sqrt{\frac{P_{1\phi}}{\left(\frac{Z}{5}\right)^{1/2}}}$$

Donde:

$V_t$ = Volts por vuelta (Volt/vuelta).

$P_{1\phi}$ = Potencia monofásica del transformador (KVA).

Z= Impedancia normalizada.

Para determinar la impedancia se tiene la tabla 5 donde muestra las impedancias normalizadas para transformadores de distribución monofásicos y trifásicos.

Tabla 5: Impedancias normalizadas para transformadores de distribución.

FASES	TENSIÓN PRIMARIA	IMPEDANCIA NORMALIZADA (%Z)
1Ø	Hasta 13,2kV	2 a 3
3Ø	Hasta 13,2kV	2 a 3
	De 13,2 hasta 23kV	2 a 3,25
	De 23 hasta 33kV	2 a 3,5

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 5, el valor de la impedancia que se toma para calcular los volts/vuelta será 3% puesto que la tensión nominal del lado primario del transformador es 10kV, con los valores indicados se calcula los volts/vuelta:

$$V_t = 1,1 \sqrt{\frac{16,67kV}{\left(\frac{3}{5}\right)^{1/2}}} = 5,1 \text{ volt/vuelta}$$

Con el valor de 5,1 voltios por una vuelta se procede a calcular los números de vueltas o espiras que contiene los devanados de A.T. y B.T.

#### - Número de vueltas de B.T. (Ns)

El número de vueltas de baja tensión o lado secundario del transformador se establece como la razón de los volts/vuelta y la tensión del lado secundario.

$$N_s = \frac{V_s}{V_t}$$

Donde:

$N_s$ : Número de vueltas del secundario.

$V_s$ : Tensión del lado secundario (V).

$V_t$ : Volts por vuelta.

Reemplazando los valores de los volts/vuelta y la tensión del lado secundario se calcula el número de vueltas del devanado secundario:

$$N_s = \frac{230V}{5,1\text{volt/vuelta}} = 45,09 \approx 46 \text{ vueltas}$$

El devanado del lado secundario o lado de baja tensión tiene un total de 46 vueltas.

#### - Número de vueltas de A.T. ( $N_p$ )

El número de vueltas de alta tensión o lado primario del transformador se establece como la razón de los volts/vuelta con la tensión del lado primario.

$$N_p = \frac{V_p}{V_t}$$

Donde:

$N_p$ : Número de vueltas del primario.

$V_p$ : Tensión del lado secundario (V).

$V_t$ : Volts por vuelta.

Reemplazando los valores de los volts/vuelta y la tensión del lado secundario se calcula el número de vueltas del devanado secundario:

$$N_p = \frac{10000V}{5,1\text{volt/vuelta}} = 1960,78 \approx 1961 \text{ vueltas}$$

El devanado de alta tensión o lado primario tiene un total de 1961 vueltas, de igual manera se calculan el número de vueltas de los taps o derivaciones que contiene el devanado primario.

$$N_{tap1} = \frac{V_{tap1}}{V_t} = \frac{9500V}{5,1\text{volt/vuelta}} = 1863 \text{ vueltas}$$

$$N_{tap2} = \frac{V_{tap2}}{V_t} = \frac{9750V}{5,1\text{volt/vuelta}} = 1912 \text{ vueltas}$$

$$N_{tap3} = \frac{V_{tap3}}{V_t} = \frac{10000V}{5,1\text{volt/vuelta}} = 1961 \text{ vueltas}$$

$$N_{tap4} = \frac{V_{tap4}}{V_t} = \frac{10250V}{5,1volt/vuelta} = 2010 \text{ vueltas}$$

$$N_{tap5} = \frac{V_{tap5}}{V_t} = \frac{10500V}{5,1volt/vuelta} = 2059 \text{ vueltas}$$

### 3. Secciones de los conductores eléctricos

Para el dimensionamiento de los conductores eléctricos de aluminio es necesario tener en cuenta que las pérdidas en el conductor sean menores o igual a las pérdidas que emiten los conductores eléctricos de cobre, para ello se tiene que las pérdidas en los conductores están relacionados al efecto Joule, el cual indica que las pérdidas en un conductor eléctrico con una determinada resistencia por el paso de una corriente eléctrica, se genera en forma de calor.

Asimismo, para el análisis de esta investigación se considera que las pérdidas en los conductores eléctricos tanto como del cobre y del aluminio sean iguales. Partiendo que la corriente en un transformador es constante, se necesita que las resistencias eléctricas de los conductores eléctricos de aluminio y cobre tengan el ajuste necesario para que las pérdidas por efecto Joule no sean diferentes, entonces lo que se busca es que la resistencia del conductor eléctrico de aluminio sea igual a la resistencia del conductor eléctrico de cobre, para ellos se considera la siguiente fórmula el cual representa la resistividad de un conductor eléctrico con respecto a su longitud, sección y conductividad eléctrica:

$$R = \frac{L}{Sx\sigma}$$

Donde:

R: Resistividad ( $\Omega.m$ )

L: Longitud del conductor (m)

S: Sección del conductor ( $mm^2$ )

$\sigma$ : Conductividad eléctrica ( $S/m$ )

Se tiene en consideración que las conductividades eléctricas en los materiales son diferentes, en el caso del cobre y del aluminio, las conductividades eléctricas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Conductividad eléctrica del cobre y aluminio.

Conductividad eléctrica ( $\sigma$ )	Aluminio	Cobre
		36,6 S/m

Fuente: Elaboración propia.

El análisis demuestra que se debe igualar la resistividad de los conductores tanto como del cobre y del aluminio para que las pérdidas sean similares, para este caso se tiene en cuenta que las conductividades eléctricas de estos materiales son diferentes:

$$R_{Al} = R_{Cu}$$

$$\frac{L_{Al}}{S_{Al}\sigma_{Al}} = \frac{L_{Cu}}{S_{Cu}\sigma_{Cu}}$$

Donde:

$R_{Al}$ : Resistividad del conductor eléctrico de aluminio ( $\Omega$ ).

$L_{Al}$ : Longitud del conductor eléctrico de aluminio (m).

$S_{Al}$ : Sección del conductor eléctrico de aluminio ( $mm^2$ ).

$\sigma_{Al}$ : Conductividad eléctrica del aluminio (S/m).

$R_{Cu}$ : Resistividad del conductor eléctrico de cobre ( $\Omega$ ).

$L_{Cu}$ : Longitud del conductor eléctrico de cobre (m).

$S_{Cu}$ : Sección del conductor eléctrico de cobre ( $mm^2$ ).

$\sigma_{Cu}$ : Conductividad eléctrica del cobre (S/m).

En la fórmula se analiza y se determina que existen 2 alternativas que permiten que las resistencias de los materiales sean iguales: la primera sería que la sección de los conductores sea constante y las longitudes variables, la segunda alternativa sería que las longitudes de los conductores sean constantes y las secciones variables. Teniendo en consideración que los conductores eléctricos son seleccionados por su sección y no por su longitud, se toma la segunda opción, el cual es que las longitudes de los conductores eléctricos sean constantes y las secciones variables, de tal manera que la fórmula con los valores reemplazados es la siguiente:

$$R_{Al} = R_{Cu}$$

$$\frac{L}{S_{Al}\sigma_{Al}} = \frac{L}{S_{Cu}\sigma_{Cu}}$$

$$S_{Al} = \frac{\sigma_{Cu}S_{Cu}}{\sigma_{Al}}$$

$$S_{Al} = \frac{59,6 \times S_{cu}}{36,6}$$

$$S_{Al} = 1,63 S_{cu}$$

Según los cálculos realizados para que las resistividades eléctricas de los conductores eléctricos sean iguales, es necesario que la sección del conductor eléctrico de aluminio ostente un 63% con respecto a la sección del conductor eléctrico de cobre, esto siempre y cuando se requiera que las pérdidas en el conductor eléctrico de aluminio no sean superiores a las pérdidas del conductor eléctrico de cobre.

#### - Sección de conductor A.T. ( $S_{cond_{A.T.}}$ )

Para calcular la sección del conductor eléctrico del transformador de distribución se requiere la cantidad de intensidad de corriente que circula en el conductor y la densidad de corriente  $\delta$  el cual se determina mediante los valores que se muestran en la tabla 7, donde se detalla la densidad de corriente en transformadores de distribución según el tipo de enfriamiento.

Tabla 7: Densidad de corriente según tipo de enfriamiento.

Tipo de enfriamiento	Densidad de corriente $\delta$ (A/mm <sup>2</sup> )
Sumergido en aceite	2,5 – 3,5
Seco	1,5 – 2,5

Fuente: Elaboración propia.

Para la calcular la densidad de corriente se considera el enfriamiento del tipo sumergido en aceite porque el tipo de enfriamiento de los transformadores utilizados en los proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur son sumergidos en aceite; asimismo los valores estandarizados de la tabla, el valor promedio de densidad de corriente a utilizar es 3A/mm<sup>2</sup> para conductores eléctricos de cobre. Teniendo en consideración que la densidad de corriente es la cantidad de corriente que circula en una determinada área o sección de un conductor eléctrico y determinado el valor de la densidad de corriente que circula en el conductor del lado primario y la corriente que circula por el conductor de alta tensión o primario (2,89A), se calcula la sección del conductor de alta tensión:

$$S_{cond_{A.T.}} = \frac{I_P}{\delta} = \frac{2,89A}{3A/mm^2} = 0,96mm^2 \text{ en cobre.}$$

Donde:

$S_{cond_{A.T.}}$  : Sección del conductor del lado primario ( $mm^2$ ).

$I_P$ : Intensidad de corriente primaria (A).

$\delta$ : Densidad de corriente ( $A/mm^2$ ).

Según el cálculo determinado de la sección de conductor del lado primario en cobre es  $0,96mm^2$ , esto quiere decir que, para un conductor eléctrico de aluminio con la misma resistividad que la del conductor de cobre, la sección del conductor debe ser diseñado con un 63% mayor que la sección del conductor de cobre, entonces la sección del conductor eléctrico de aluminio del lado primario tiene el siguiente valor:

$$S_{cond_{A.T.Al}} = 0,96 \times 1,63 = 1,57 \approx 1,6mm^2 \text{ en aluminio.}$$

Teniendo el valor de la sección del conductor eléctrico de aluminio se debe tomar qué tipo de conductor eléctrico se debe utilizar. En esta investigación se elige un conductor eléctrico de dimensión rectangular envuelto en papel Kraft.

Las dimensiones del conductor eléctrico de aluminio del lado primario con una sección de  $1,6mm^2$  tienen un espesor de 1mm y con un ancho de 1,6mm tal y como se muestra en la figura 20.

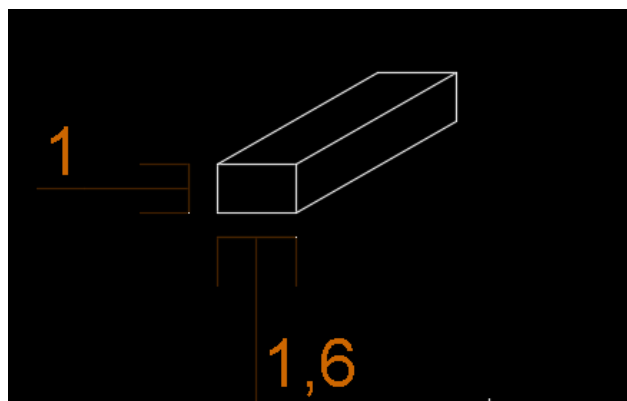


Figura 20: Sección de conductor eléctrico de aluminio de alta tensión.

Fuente: Elaboración propia.



### - Sección de conductor B.T. ( $S_{cond_{B.T.}}$ )

Al igual que el cálculo de la sección del conductor eléctrico de alta tensión se debe considerar la intensidad de corriente que circula por el conductor eléctrico, el cual su valor es 125,5A y como la densidad de corriente para alta y baja tensión son iguales, entonces la sección del conductor eléctrico de baja tensión es el siguiente:

$$S_{cond_{B.T.}} = \frac{I_S}{\delta} = \frac{125,5A}{3A/mm^2} = 41,8mm^2 \text{ en cobre.}$$

Donde:

$S_{cond_{B.T.}}$  : Sección del conductor del lado secundario ( $mm^2$ ).

$I_S$ : Intensidad de corriente secundaria (A).

$\delta$ : Densidad de corriente ( $A/mm^2$ ).

Según el cálculo de la sección de conductor del lado secundario en cobre es  $41,8mm^2$ , esto quiere decir que, para un conductor eléctrico de aluminio con la misma resistividad que la del conductor de cobre, la sección del conductor debe ser diseñado con un 63% mayor que la sección del conductor de cobre, entonces la sección del conductor eléctrico de aluminio del lado secundario tiene el siguiente valor:

$$S_{cond_{B.T.Al}} = 41,8 \times 1,63 = 68,13 \approx 70mm^2 \text{ en aluminio.}$$

Las dimensiones del conductor eléctrico de aluminio del lado secundario con una sección de  $41,8mm^2$  tienen un espesor de 7mm y con un ancho de 10mm tal y como se muestra en la figura 21.

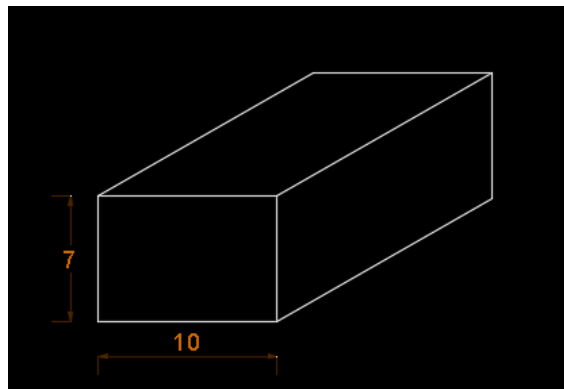


Figura 21: Sección de conductor eléctrico de aluminio de baja tensión.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Cálculo de sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas

##### -Sección transversal del núcleo

Para determinar la sección transversal del núcleo es necesario determinar la densidad de flujo magnético que circula por el mismo, asimismo se debe considerar que Luz del Sur menciona en sus requerimientos técnicos que el núcleo debe ser arrollado de tipo acorazado hecho de láminas de acero al Silicio de Grano Orientado debido a que la tercera armónica se encuentra en fase a cada devanado y es necesario que dicho flujo armónico tenga una trayectoria externa al núcleo. Para hallar la densidad de flujo B se considera los valores de la tabla 8 donde se muestra la densidad de flujo según el tipo de núcleo del transformador de distribución.

Tabla 8: Densidad de flujo según tipo de núcleo.

Tipo de núcleo	Densidad de flujo (B)
Apilado	13000 – 15000 Gauss
Arrollado	15000 – 17000 Gauss

Fuente: Elaboración propia.

Según los requerimientos que indica Luz de Sur, el núcleo es arrollado de tipo acorazado y se determina una densidad de flujo promedio a 16000 Gauss según la tabla; este valor se utiliza en la siguiente ecuación para calcular la sección transversal del núcleo:

$$A = \frac{V_p \times 10^8}{4,44 \times f \times N_p \times B}$$

Donde:

A: Sección transversal del núcleo ( $cm^2$ ).

$V_p$ : Tensión del lado primario (Volts).

f: Frecuencia (60Hz).

$N_p$ : Número de espiras del primario.

B: Densidad de flujo (Gauss).

Con los valores de la tensión del lado primario, frecuencia, número de vueltas y densidad de flujo determinados anteriormente; se procede a realizar el cálculo de la sección transversal del núcleo:

$$A = \frac{10000 \times 10^8}{4,44 \times 60 \times 1961 \times 16000}$$

$$A = 119,64 \text{ cm}^2$$

Siendo  $119,64 \text{ cm}^2$  el área de la sección transversal del núcleo se debe considerar que en la fabricación del núcleo se presenta una ligera variación por el factor de apilamiento, este factor está normalizado según la tabla 9 en el cual se detalla el valor según el tipo de núcleo.

Tabla 9: Factor de apilamiento del acero según tipo de núcleo.

<b>Tipo de núcleo</b>	<b>Factor de apilamiento del acero</b>
Apilado	0,93 – 0,95
Arrollado	0,95 – 0,97

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del núcleo arrollado el factor de apilamiento será 0,97, este valor proporciona el área física del núcleo el cual se determina con la siguiente fórmula:

$$A_f = \frac{A}{F_e}$$

Donde:

$A_f$ : Área física del núcleo ( $\text{cm}^2$ ).

A: Sección transversal del núcleo ( $\text{cm}^2$ ).

$F_e$ : Factor de apilamiento del acero.

Según la fórmula, el área física del núcleo es:

$$A_f = \frac{119,64}{0,97} = 123,34 \text{ cm}^2$$

Siendo el área física de  $123,34\text{cm}^2$  un área de forma rectangular, se toma valores de 1 a 2 en los lados del área del núcleo, este ajuste se realiza para que el volumen del núcleo no sea muy grande, debido a que si el núcleo es muy grande, este será muy pesado y por consecuencia tendrá un alto valor en pérdidas; es por tal motivo que el ajuste de los lados de 1 a 2 es la que mejor conviene para que el transformador de distribución tenga una eficiencia aceptable como se muestra en la figura 22.

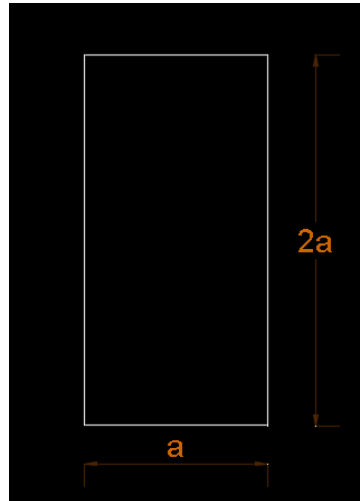


Figura 22: Dimensiones geométricas del área física del núcleo.  
Fuente: Elaboración propia.

Con los lados proporcionados de 1 a 2 y teniendo el área física del núcleo, se procede a calcular cuánto es el valor de cada lado del área física del núcleo con la siguiente fórmula geométrica:

$$A_f = a(2a)$$

$$123,34 = 2a^2$$

$$a = 7,855 \approx 7,86\text{cm}$$

Teniendo calculado el valor de los lados de la sección transversal del núcleo, es preciso indicar que la sección transversal del núcleo presenta las siguientes dimensiones geométricas mostradas en la figura 23.

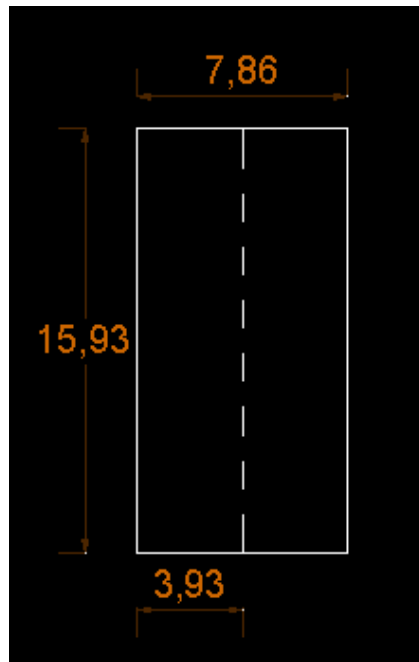


Figura 23: Valores calculados de las dimensiones geométricas del área física del núcleo.  
Fuente: Elaboración propia.

**- Dimensiones geométricas del núcleo**

Para el dimensionamiento geométrico del núcleo del transformador de tipo arrollado se considera el arreglo que utiliza Zúñiga, J. (2016) en su tesis “Cálculo de pérdidas en el diseño del núcleo de un transformador de distribución aplicando el método de los elementos finitos”.

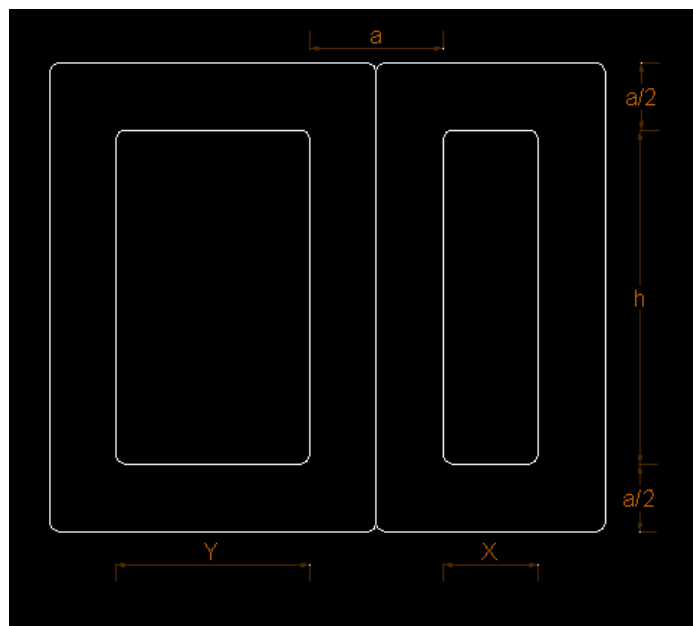


Figura 24: Dimensiones geométricas del núcleo del transformador.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 24 muestra que las dimensiones del espesor y altura de las arcadas chica y grande están relacionadas al lado menor “a” de la sección transversal del núcleo, es decir que el espesor de las arcadas “a/2” y la altura de ventana del núcleo “h” están relacionadas al valor que determina “a”; además cabe mencionar que el ancho de las ventanas grande “y” y venta chica “x” no son considerados en esta relación. A continuación, se calcula el valor para la altura de ventana del núcleo con la siguiente fórmula:

$$h = 2,5 - 5,5a$$

Donde:

*h* : Altura de ventana del núcleo (cm).

*a* : Lado menor de sección transversal del núcleo (cm).

El diseño que se presenta en esta investigación requiere que el núcleo sea de dimensiones mínimas para que las pérdidas sean menores, para ello se toma una altura de ventana del núcleo 2,5 veces el lado menor de la sección del núcleo “a”, el cálculo de la altura de ventada del núcleo es:

$$h = 2,5a$$

$$h = 2,5(7,86)$$

$$h = 19,65cm$$

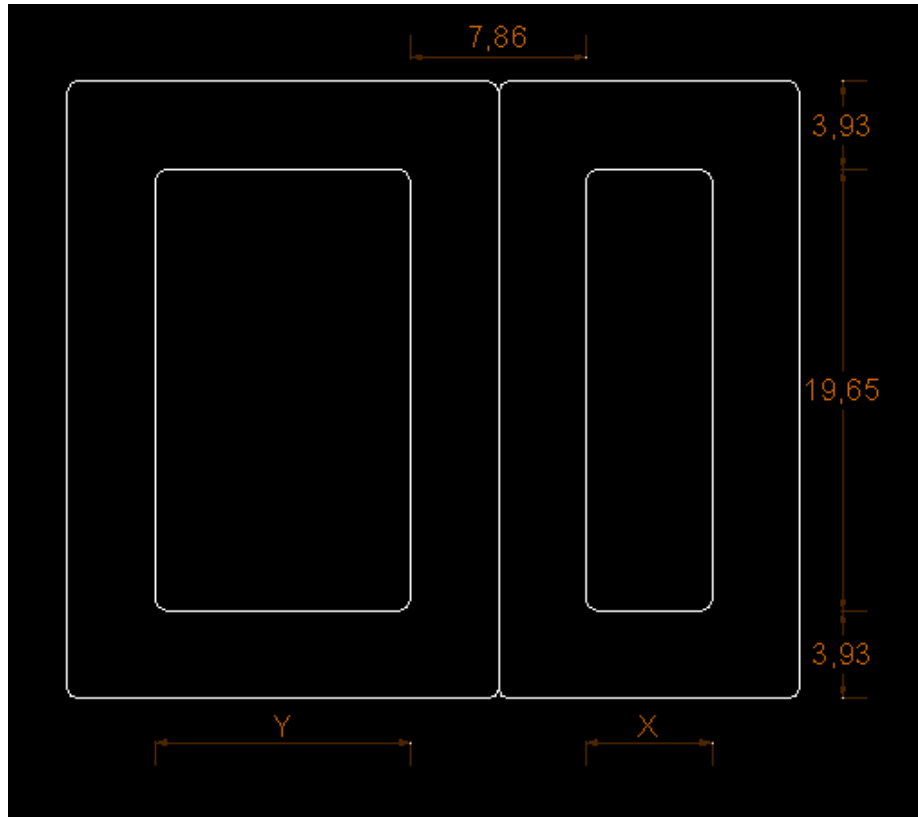


Figura 25: Valores calculados de las dimensiones geométricas del núcleo del transformador.

Fuente: Elaboración propia.

Calculado la altura de la ventana del núcleo se tiene un gran avance del diseño del núcleo; sin embargo, para determinar el ancho de la ventana grande “Y” y el ancho de la ventana chica “X” se requiere de la sumatoria de los valores del ancho del devanado de baja tensión, ancho del devanado de alta tensión, separación entre fases o devanados de baja tensión y separación núcleo-devanado de baja tensión; los cuales serán calculados a continuación.

## 5. Cálculo de las dimensiones, longitud de conductor y peso de los devanados

Para calcular las dimensiones geométricas de los devanados de baja y alta tensión se considera los valores de la tabla 10.

Tabla 10: Consideraciones para el dimensionamiento de los devanados.

Descripción	Alta tensión	Baja tensión
Número de espiras	2059 vueltas	46 vueltas
Dimensiones del conductor	1 x 1,6mm	7 x 10mm
Altura de ventana del núcleo	19,65cm	

Fuente: Elaboración propia.

Se debe establecer que los devanados deben ser concéntricos y que el devanado de baja tensión debe estar cerca al núcleo del transformador, asimismo los devanados cuentan con un número determinado de capas y un número de vueltas por capas. Este tipo de devanado permite que el devanado de alta tensión, que presenta un mayor voltaje que el devanado de baja tensión, se encuentre más alejado del núcleo por razones de aislamiento, es decir que el devanado de menor voltaje se encuentre más cerca del núcleo. La figura 26 muestra la disposición de los devanados con respecto al núcleo del transformador.

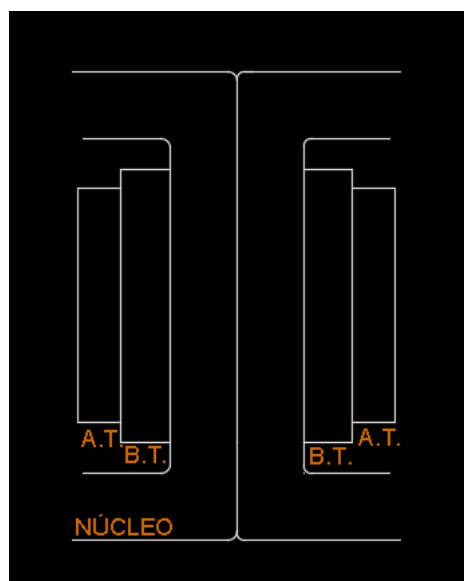


Figura 26: Modelamiento de los devanados y núcleo.

Fuente: Elaboración propia.



### - Cálculo de dimensiones del devanado A.T.

El devanado de alta tensión presenta un dimensionamiento de forma cilíndrica el cual contiene capas y vueltas alrededor de su eje, éste eje según el arreglo anteriormente indicado es el devanado de baja tensión; asimismo el devanado presenta un espesor y una altura que están directamente proporcional al número de capas y vueltas por cada capa del devanado de alta tensión respectivamente.

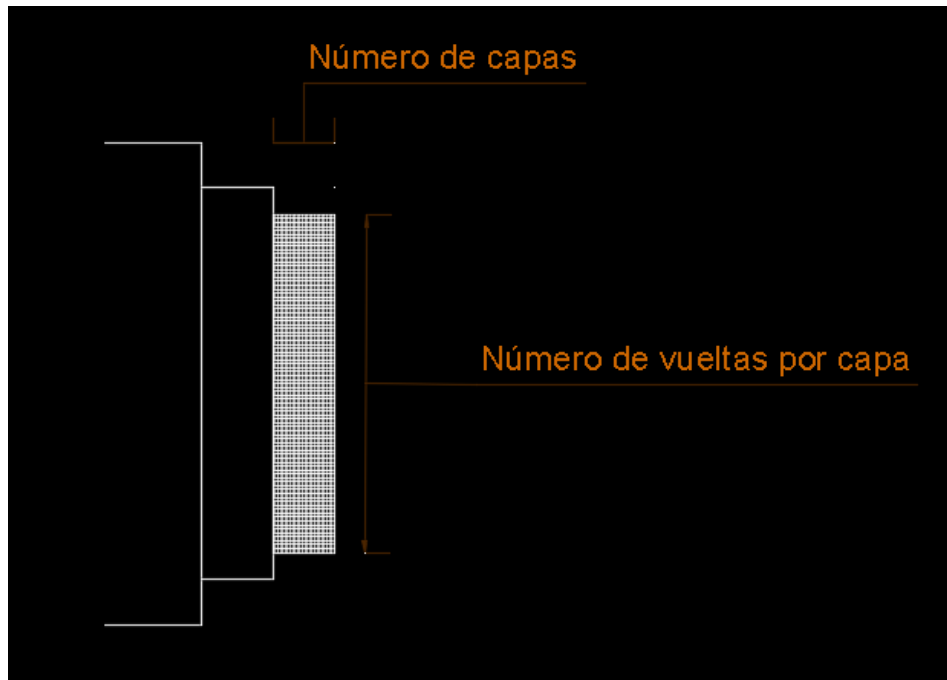


Figura 27: Dimensionamiento del devanado de alta tensión.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 27 muestra que las dimensiones de altura y espesor del devanado de alta tensión están directamente proporcionales al número de vueltas por capa y número de capas respectivamente, es así que se calculan esos valores teniendo presente la siguiente fórmula en la cual se considera el número total de vueltas del devanado, la altura de ventana del núcleo y el diámetro del conductor de alta tensión:

$$N_{capas AT} = \frac{N_p \times d_{cond AT} \times 1,05}{h}$$

$$N_{capas AT} = \frac{2059 \times 0,1 \times 1,05}{19,65}$$

$$N_{capas AT} = 11,002 \approx 12capas$$

Donde:

$N_{capas AT}$  : Número de capas del devanado A.T

$h$  : Altura de ventana del núcleo (cm).

$N_p$  : Número de vueltas del primario.

$d_{cond AT}$  : Diámetro del conductor A.T. (cm).

Para este caso sí el devanado tiene 12 capas, su altura sería mayor a la altura de la ventana del núcleo debido a que mientras menos capas tenga el devanado, esté mismo presentará mayor número de vueltas por capa y en consecuencia su altura será mayor; para que ello no sea un inconveniente, se necesita que el número de capas sea el doble, es decir debe tener 24 capas, entonces el número de vueltas por capa es:

$$vueltas\ por\ capa = \frac{N_p}{N_{capas\ AT}}$$

$$vueltas\ por\ capa = \frac{2059}{24} = 86\ vueltas\ por\ capa$$

Con los valores del número de capas y vueltas por capa del devanado de A.T., se calcula el espesor ( $E_{dev AT}$ ) y altura del devanado ( $H_{dev AT}$ ).

$$E_{dev AT} = 0,1cm \times 24\ capas = 2,4cm$$

$$H_{dev AT} = 0,16cm \times 86\ vueltas = 13,76cm$$

Donde:

$E_{dev AT}$  : Espesor de devanado A.T. (cm).

$H_{dev AT}$ : Altura de devanado A.T. (cm).

Calculado el espesor y altura del devanado de A.T. se tiene geoméricamente sus dimensiones que se muestran en la figura 28 donde se aprecia el espesor y altura del devanado de A.T.; así como también el detalle de la disposición del conductor eléctrico según el número de capas y el número de vueltas.

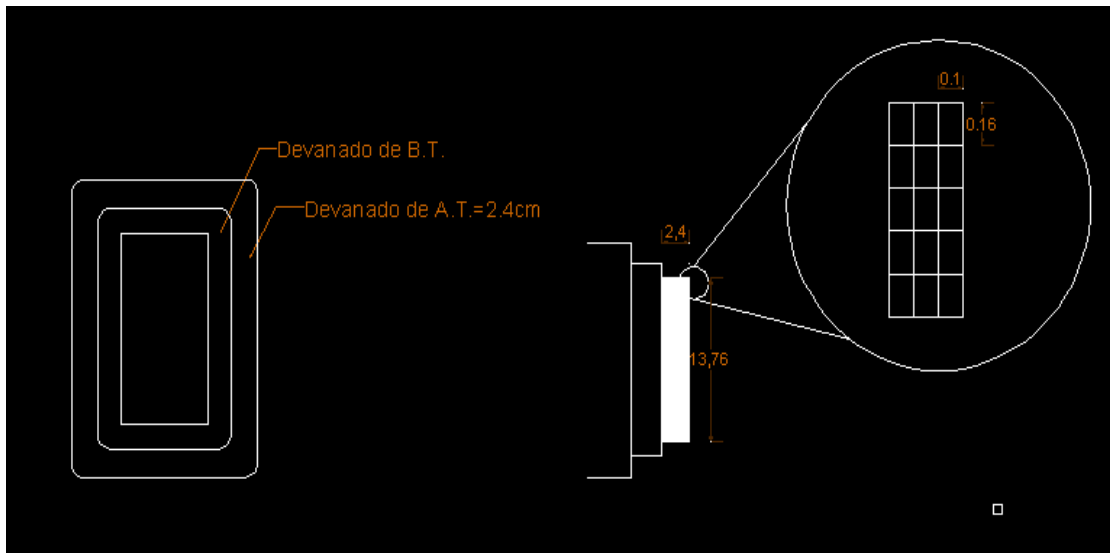


Figura 28: Dimensiones calculadas del devanado de alta tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

**- Cálculo de dimensiones del devanado B.T.**

Al igual que el dimensionamiento del devanado de A.T., se realiza los mismos cálculos para determinar el número de capas, vueltas por capa, espesor y altura del devanado de B.T.

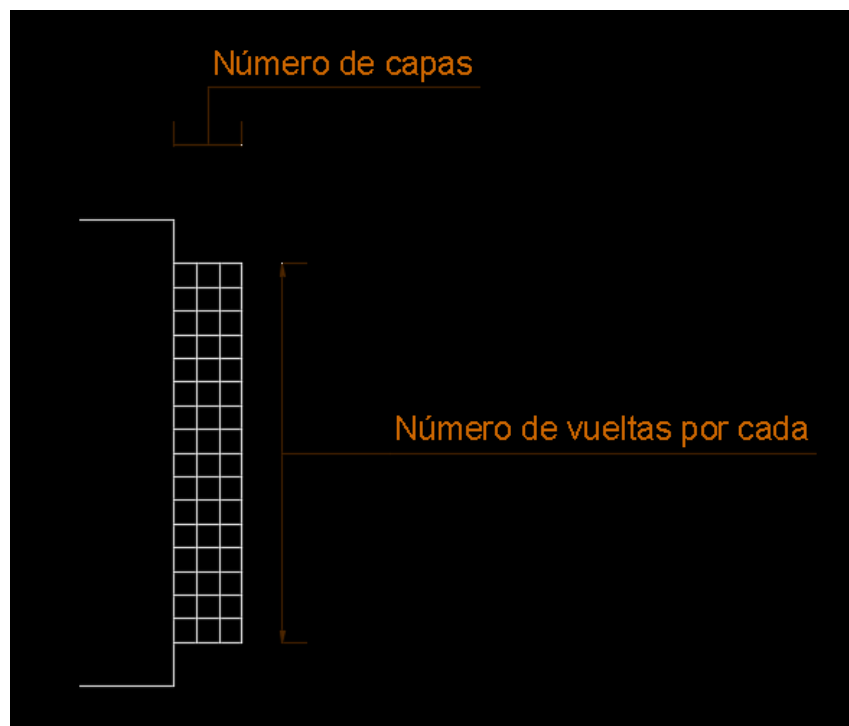


Figura 29: Dimensionamiento del devanado de baja tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el número de capas que presenta el devanado de B.T. para poder determinar el espesor del devanado, para ello se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$N_{\text{capas BT}} = \frac{N_S \times d_{\text{cond BT}} \times 1,05}{h}$$

$$N_{\text{capas BT}} = \frac{46 \times 0,7 \times 1,05}{19,65}$$

$$N_{\text{capas BT}} = 1,72 \approx 2 \text{ capas}$$

Donde:

$N_{\text{capas BT}}$  : Número de capas del devanado de B.T.

$h$  : Altura de ventana del núcleo (cm).

$N_S$  : Número de vueltas del secundario.

$d_{\text{cond BT}}$  : Diámetro del conductor BT (cm).

Al igual que el caso de A.T. si el devanado tiene 2 capas su altura sería mayor a la altura de la ventana del núcleo; para que ello no sea un inconveniente, se requiere que el número de capas tenga una capa más, es decir debe tener 3 capas.

$$\text{vueltas por capa} = \frac{N_S}{N_{\text{capas BT}}}$$

$$\text{vueltas por capa} = \frac{46}{3} = 15,3 \approx 16 \text{ vueltas por capa}$$

Con los valores del número de capas y vueltas por capa del devanado de B.T, se calcula el espesor ( $E_{\text{dev BT}}$ ) y altura del devanado ( $H_{\text{dev BT}}$ ).

$$E_{\text{dev BT}} = 0,7 \text{ cm} \times 3 \text{ capas} = 2,1 \text{ cm}$$

$$H_{\text{dev BT}} = 1 \text{ cm} \times 16 \text{ vueltas} = 16 \text{ cm}$$

Donde:

$E_{\text{dev BT}}$  : Espesor de devanado B.T. (cm).

$H_{\text{dev BT}}$ : Altura de devanado B.T. (cm).

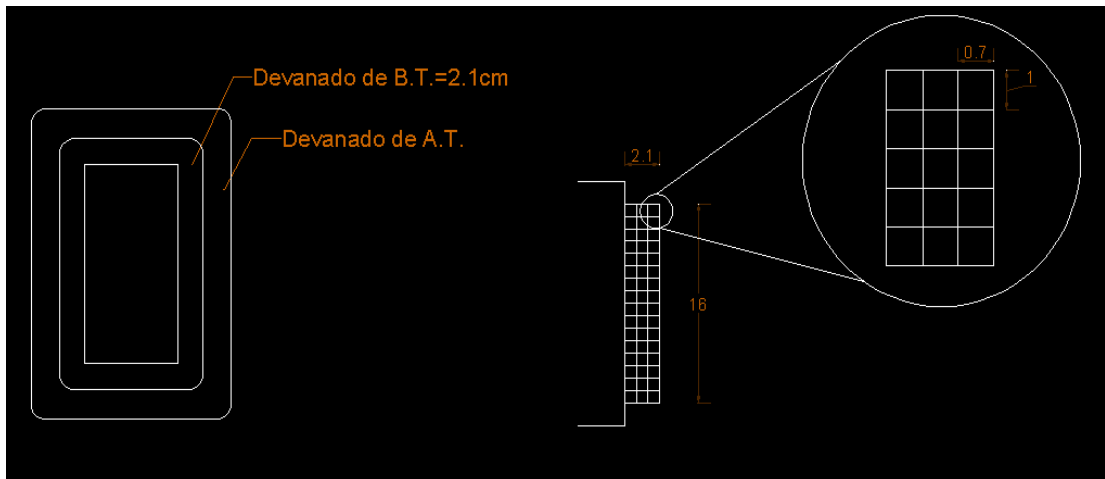


Figura 30: Dimensiones calculadas del devanado de baja tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo calculado las dimensiones del núcleo y los devanados de A.T. y B.T. se proceden a determinar el espesor de los aislamientos y distancias mínimas teniendo en consideración la clase de aislamiento que se requiere para un nivel de tensión nominal de 10kV según la tabla 11.

Tabla 11: Tensiones nominales preferentes.

Clase de aislamiento kV	Tensión en volts
1,2	220/127
5	4160
8,7	7620
15	13200 13800

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 11 para un nivel de tensión de 10kV se determina una clase de aislamiento de 15kV, este valor permite hallar los aislamientos mayores, los cuales se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Distancias mínimas para aislamientos mayores.

Clase de aislamiento	Tubo de papel (cm)	Ducto de aceite (cm)	Envolvente (cm)	Aislante entre fases (cm)	Separación núcleo - devanado	Claro núcleo-tanque (cm)
1,2	0,15	-	-	0,17	0,2	1,5
5	-	0,3	0,1	0,47	0,2	2
8,7	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2	2,5
15	0,09	0,3	0,1	0,6	0,2	2,8

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores proporcionados de la tabla 12 “Distancias mínimas para aislamientos mayores” se procede a dimensionar el conjunto núcleo-devanados con sus aislamientos respectivos. La figura 31, 32 y 33 muestran la vista superior, frontal y lateral del conjunto núcleo-devanados respectivamente.

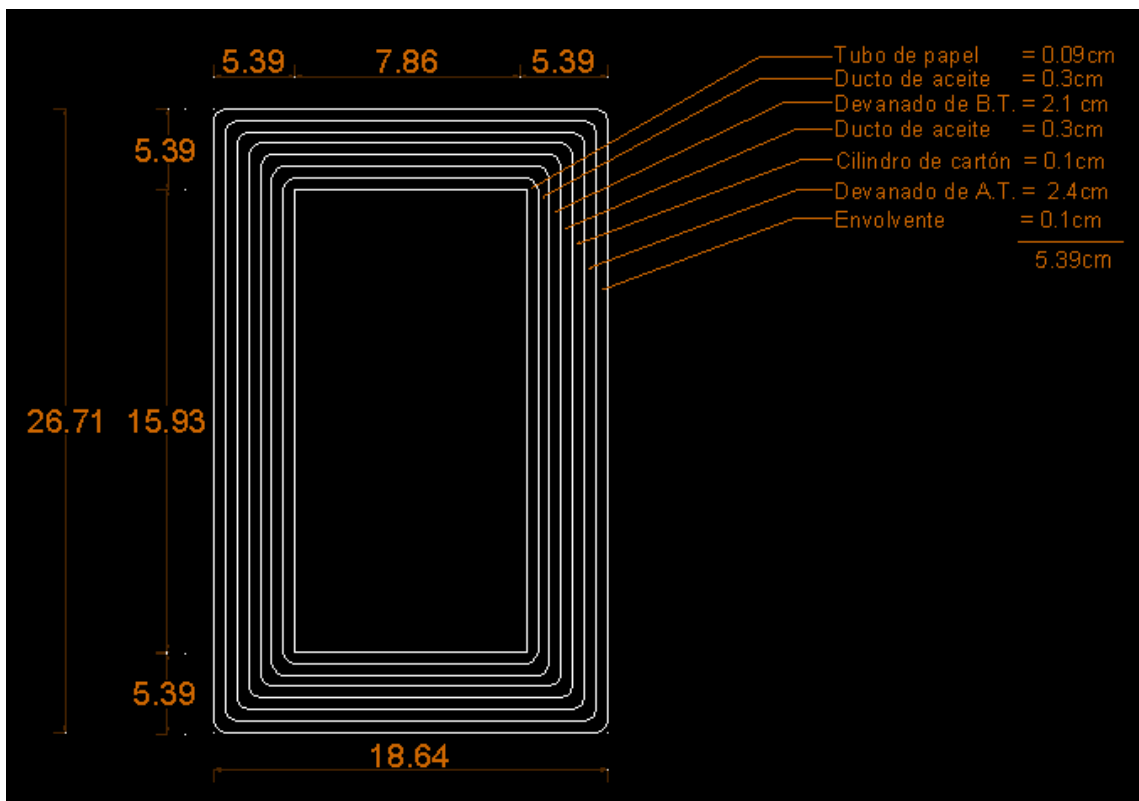


Figura 31: Vista superior del conjunto núcleo-devanados.

Fuente: Elaboración propia.

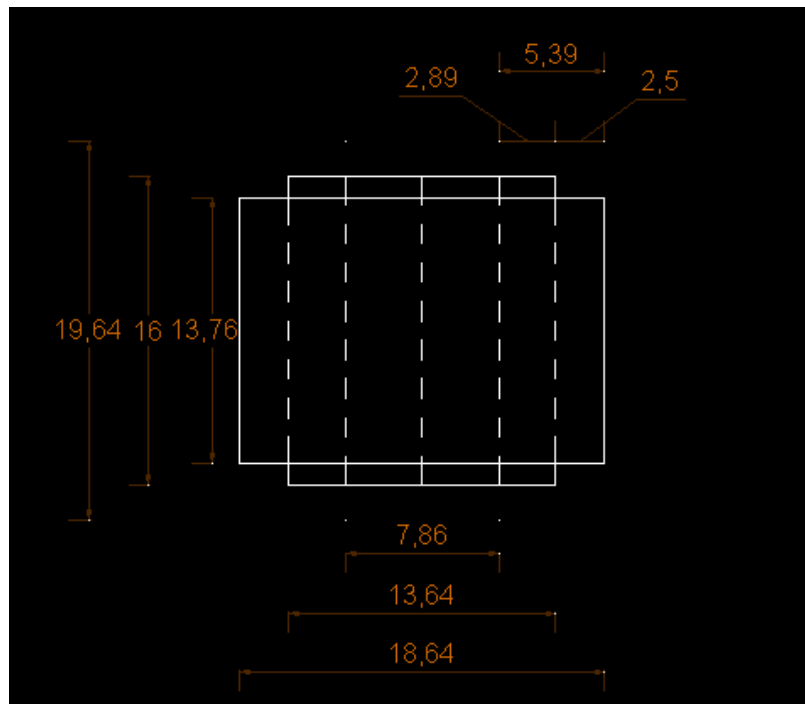


Figura 32: Vista frontal del conjunto núcleo-devanados.  
Fuente: Elaboración propia.

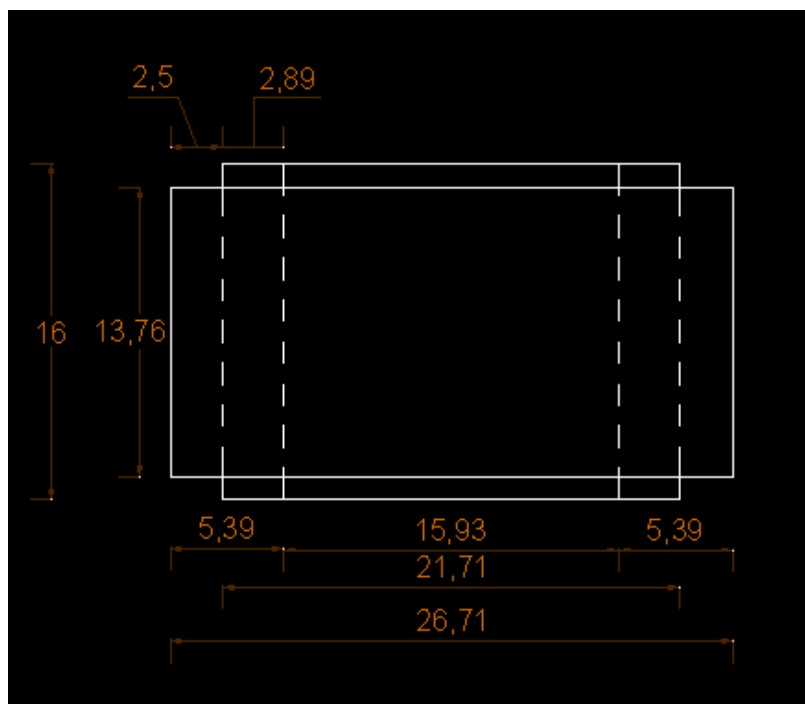


Figura 33: Vista lateral del conjunto núcleo-devanados  
Fuente: Elaboración propia.

Por medio de las dimensiones del núcleo y los devanados del transformador se determina el ancho de ventanas de la arcada grande “Y” y el ancho de ventana de la arcada chica “X”, a continuación, se muestra la figura donde se aprecia el dimensionamiento de los anchos de ventana:

$$X = (\text{Espesor de los devanados} + \text{aislamientos}) + \text{separación núcleo y devanado}$$

$$X = (5,39\text{cm}) + 0,2\text{cm}$$

$$X = 5,59\text{cm}$$

$$Y = 2(\text{Espesor de los devanados} + \text{aislamientos}) + \text{separación núcleo y devanado}$$

$$Y = 2(5,39\text{cm}) + 0,6\text{cm}$$

$$Y = 11,38\text{cm}$$

Realizado los cálculos de los anchos de ventana del núcleo trifásico, su dimensionamiento geométrico queda como se muestra en la figura 34 y 35.

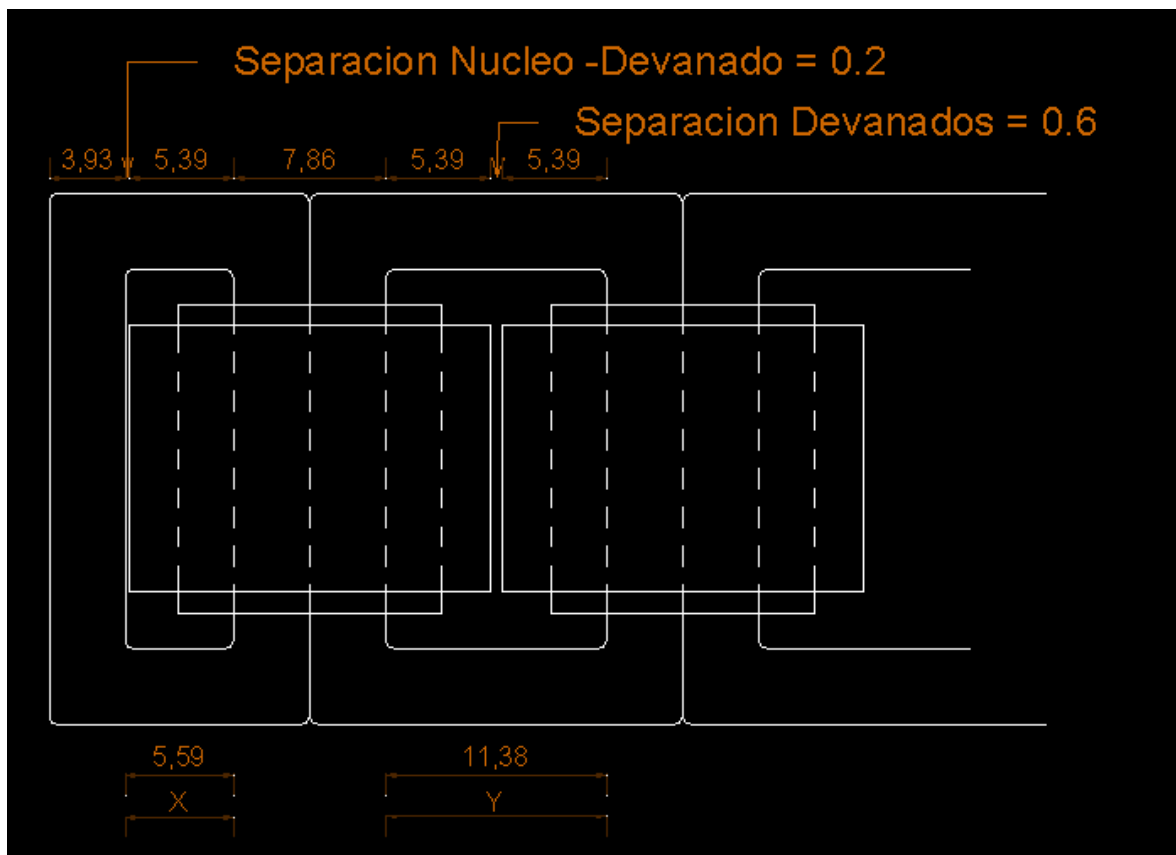


Figura 34: Dimensiones calculadas de los anchos de ventana del núcleo trifásico.  
Fuente: Elaboración propia.



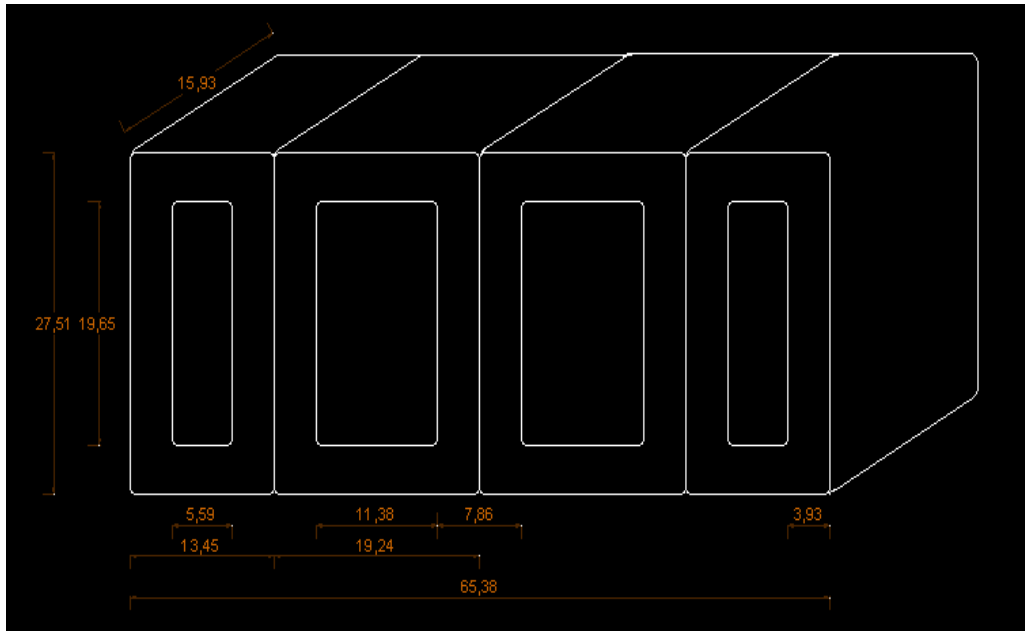


Figura 35: Dimensiones finales del núcleo trifásico de tipo acorazado.  
Fuente: Elaboración propia.

**- Longitud del conductor B.T.**

Para el cálculo de la longitud total del conductor de baja tensión se necesita determinar el producto de la longitud media del conductor ( $L_{media\ BT}$ ) y el número de vueltas del devanado de B.T. ( $N_S$ ), éste último calculado anteriormente; para ello se realiza un análisis con respecto al promedio aritmético de la posición inicial y final del conductor según los espesores que tienen cada parte del conjunto núcleo-devanados, tal como lo muestra la figura 36 con las densidades de los grosores que ocupan los devanados y sus aislamientos mayores.

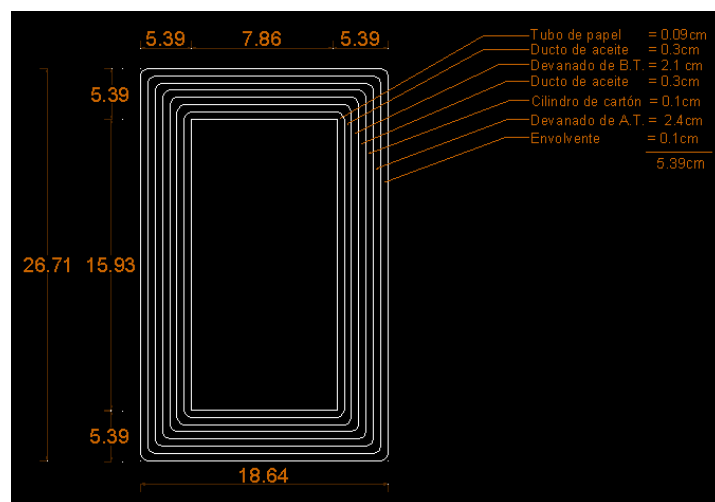


Figura 36: Dimensiones geométricas de la vista superior del conjunto núcleo-devanados.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis consiste en que el conductor eléctrico al envolver el núcleo de forma circular y ordenada según el número de capas y el número de vueltas por capa, éste debe llegar al número total de vueltas “ $N_s$ ”, este proceso se realiza en una posición inicial y termina en una posición final el cual su promedio aritmético determina la longitud media del conductor.

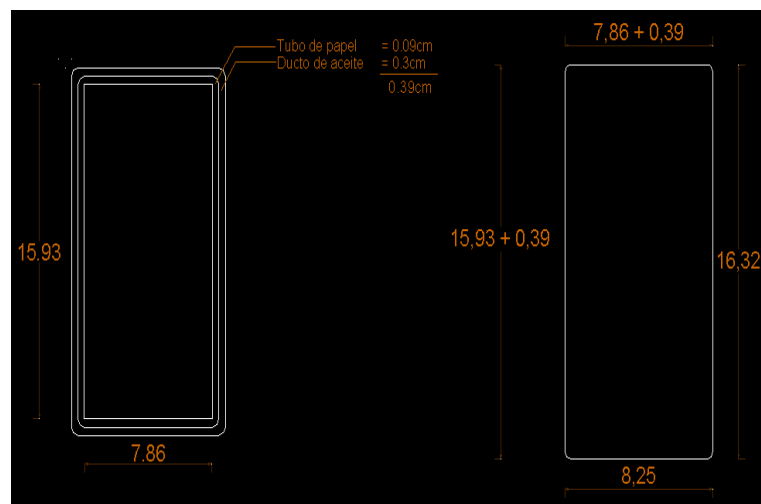


Figura 37: Perímetro de la posición inicial del conductor de baja tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 37 muestra el perímetro del núcleo sumado con el grosor del tubo de papel (0,09cm) y al ducto de aceite (0,30cm) en cada lado del núcleo; entonces el perímetro es la sumatoria de los lados para determinar la longitud en la posición inicial del conductor:

$$L_{inicial} = 2(16,32cm + 8,25cm) = 49,14cm$$

De igual manera se determina la longitud en la posición final del conductor considerando los grosores que intervienen para la ubicación de la última vuelta del conductor, el cual considera adicionar el grosor del devanado de B.T.

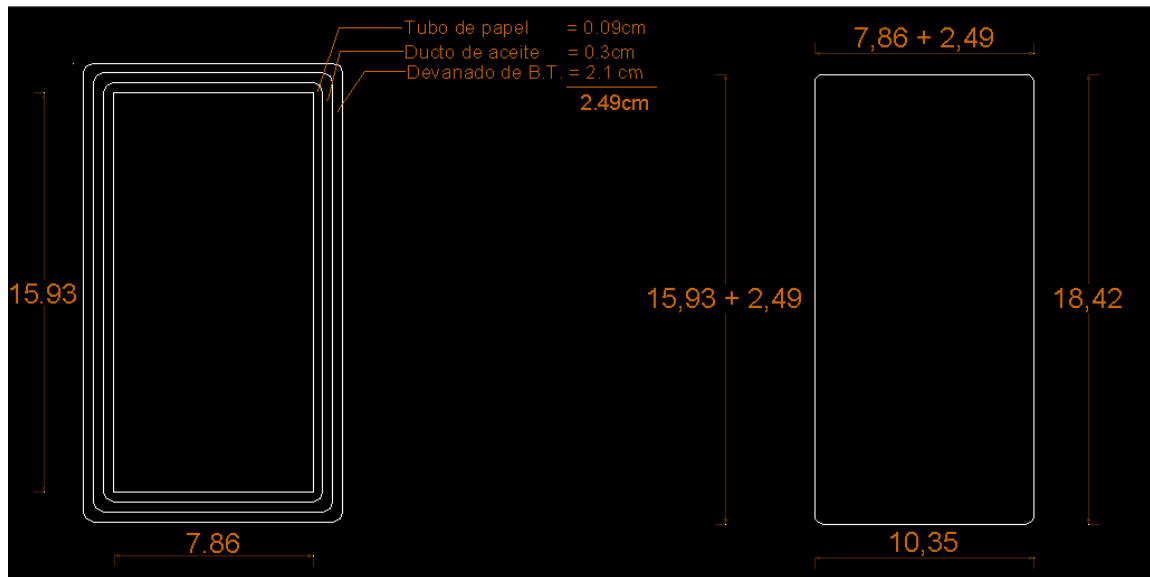


Figura 38: Perímetro de la posición final del conductor de baja tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 38 muestra la ubicación del conductor en su última vuelta, el cual determina la longitud de la posición final del conductor de B.T.

$$L_{final} = 2(18.42cm + 10.35cm) = 57.54cm$$

Con los valores obtenidos de la longitud inicial y longitud final del conductor se realiza el cálculo para la longitud media del conductor de B.T.

$$L_{media\ BT} = \frac{L_{inicial} + L_{final}}{2}$$

$$L_{media\ BT} = \frac{49.14cm + 57.54cm}{2} = 53.34cm\ en\ una\ vuelta$$

Determinado el valor de la longitud media del conductor en una vuelta, se calcula la longitud total del conductor.

$$L_{total\ cond\ BT} = N_S \times L_{media\ BT}$$

$$L_{total\ cond\ BT} = 46 \times 53.34cm$$

$$L_{total\ cond\ BT} = 2453.64cm \approx 24.53m$$

El conductor del devanado de baja tensión tiene una longitud total de 24,53 metros.

#### - Peso de conductor B.T.

El peso del conductor se determina mediante el producto del volumen total del conductor y el peso específico del material del que está fabricado, en este caso el material del conductor es el aluminio quien tiene un peso específico de  $3,7\text{gr}/\text{cm}^3$ , para calcular el volumen del conductor se toma las dimensiones del conductor de B.T. los cuales se muestran en la figura 39.

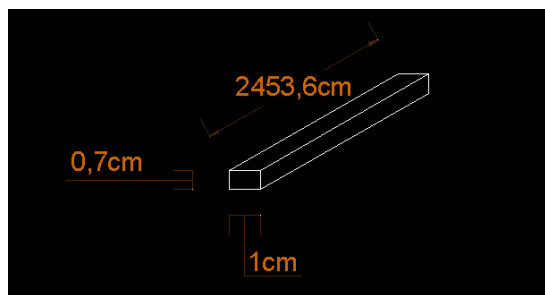


Figura 39: Dimensiones geométricas del conductor de baja tensión.

Fuente: Elaboración propia.

El volumen del conductor es determinado con el producto de su espesor, altura y longitud del mismo:

$$V_{cond BT} = (0,7\text{cm})(1\text{cm})(2453,64\text{cm})$$

$$V_{cond BT} = 1717,55\text{cm}^3$$

Asimismo, el peso del conductor de B.T. se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{cond BT} = V_{cond BT} \times \rho_e$$

Donde:

$P_{cond BT}$ : Peso del conductor de B.T. (gr o kg).

$V_{cond BT}$ : Volumen total del conductor B.T. ( $\text{cm}^3$ ).

$\rho_e$ : Peso específico del aluminio ( $3,7\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Por lo tanto, el peso del conductor de B.T. es el siguiente:

$$P_{cond BT} = 1717.55cm^3 \times 3.7gr/cm^3$$

$$P_{cond BT} = 6354.9gr \approx 6.35kg \times 3 = 19.05kg$$

El peso total del conductor de B.T. es 19,05kg.

#### - Longitud del conductor A.T.

Para el cálculo de la longitud total del conductor de alta tensión al igual que el de baja tensión se necesita determinar la longitud media del conductor ( $L_{media AT}$ ) y el número de vueltas del devanado de A.T. ( $N_P$ ), para ello se realiza el mismo análisis con respecto al promedio aritmético de la posición inicial y final del conductor.

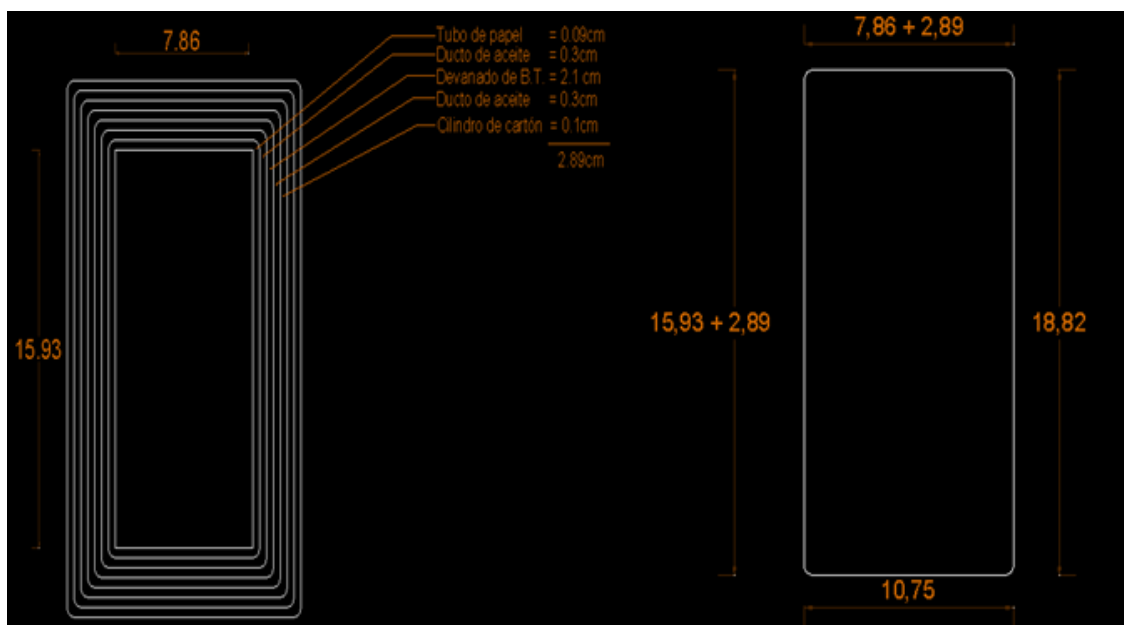


Figura 40: Perímetro de la posición inicial del conductor de alta tensión.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 40 muestra el perímetro del núcleo sumado con los grosores de los siguientes elementos: tubo de papel (0,09cm), ducto de aceite (0,3cm), devanado de B.T. (2,1cm), ducto de aceite (0,3cm) y el cilindro de cartón (0,1cm) en cada lado del núcleo. Entonces el perímetro es la sumatoria de los lados para determinar la longitud en la posición inicial del conductor de A.T.:

$$L_{inicial} = 2(18.82cm + 8.75cm) = 59.06cm$$

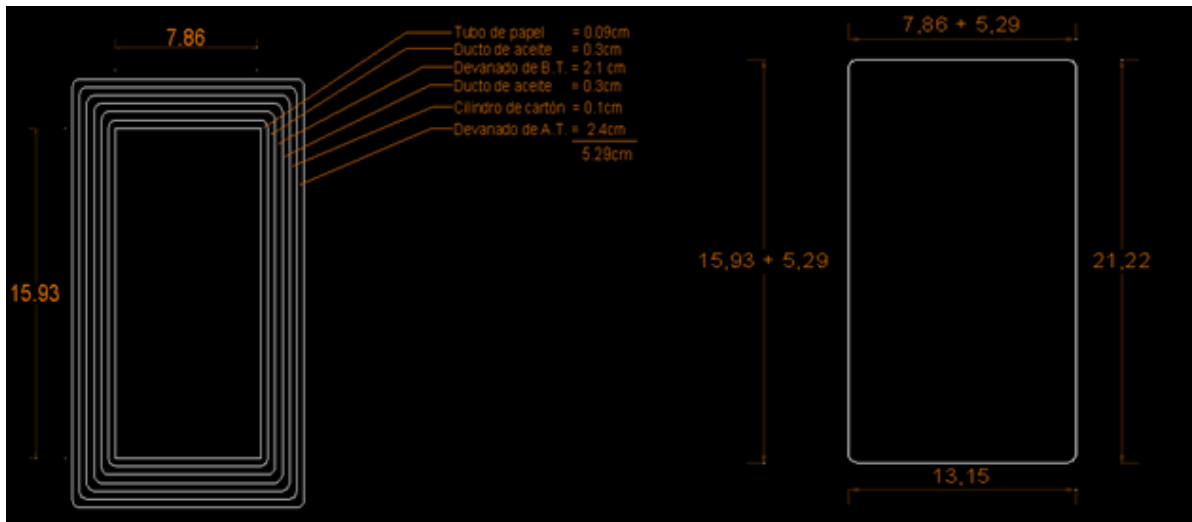


Figura 41: Perímetro de la posición final del conductor de alta tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 41 muestra la ubicación del conductor en su última vuelta, el cual determina la longitud de la posición final del conductor de A.T.

$$L_{final} = 2(21.22 + 13.15) = 68.74cm$$

Entonces:

$$L_{media AT} = \frac{L_{inicial} + L_{final}}{2}$$

$$L_{media AT} = \frac{59.06 + 68.74}{2} = 63.9cm \text{ en una vuelta}$$

Determinado el valor de la longitud media del conductor en una vuelta, se calcula la longitud total del conductor.

$$L_{total cond AT} = N_p \times L_{media AT}$$

$$L_{total cond AT} = 2059 \times 63.9$$

$$L_{total cond AT} = 131570.1cm \approx 1315.7m$$

El conductor del devanado de alta tensión tiene una longitud total de 1315,7 metros.

### - Peso de conductor A.T.

El peso del conductor se determina mediante el producto del volumen total del conductor y el peso específico del material, al igual que el conductor de B.T. el material del conductor es el aluminio quien tiene un peso específico de  $3,7\text{gr}/\text{cm}^3$ . La figura 42 muestra las dimensiones del conductor de A.T:

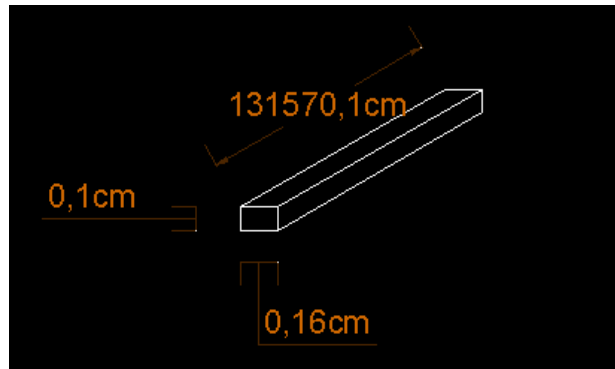


Figura 42: Dimensiones geométricas del conductor de alta tensión.  
Fuente: Elaboración propia.

El volumen del conductor es determinado con el producto de su espesor, altura y longitud del mismo:

$$V_{cond AT} = (0.1)(0.16)(131570.1)$$

$$V_{cond AT} = 2105.12\text{cm}^3$$

El cálculo para hallar el peso del conductor de A.T. es el siguiente:

$$P_{cond AT} = V_{cond AT} \times \rho_e$$

Donde:

$P_{cond AT}$ : Peso del conductor de A.T. (gr o kg).

$V_{cond AT}$ : Volumen total del conductor A.T. ( $\text{cm}^3$ ).

$\rho_e$ : Peso específico del aluminio ( $3,7\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

Reemplazando los valores en la fórmula, el peso del conductor de A.T. es:

$$P_{cond AT} = 2105.12 \times 3.7$$

$$P_{cond AT} = 7788.94\text{gr} \approx 7.78\text{kg} \times 3 = 23.34\text{kg}$$

El peso total del conductor de A.T. es 23,34kg.

## 6. Diseño del tanque y selección de accesorios

El tanque del transformador está fabricado de lámina de acero soldado generalmente de un calibre No. 10 o 11, tiene una forma rectangular con una cámara de aire entre la tapa y el nivel del aceite; esta cámara permite que el aceite comprima el aire contenido y a su vez ayuda al transformador a disipar el calor emitido por las pérdidas de la parte activa hacia el para que sea transmitida hacia el medio ambiente. También cuenta con aisladores pasa tapas de baja y alta tensión, válvulas de sobrepresión y vaciado de aceite, conmutador, bastidor. La figura 43 muestra el contenido del tanque del transformador.

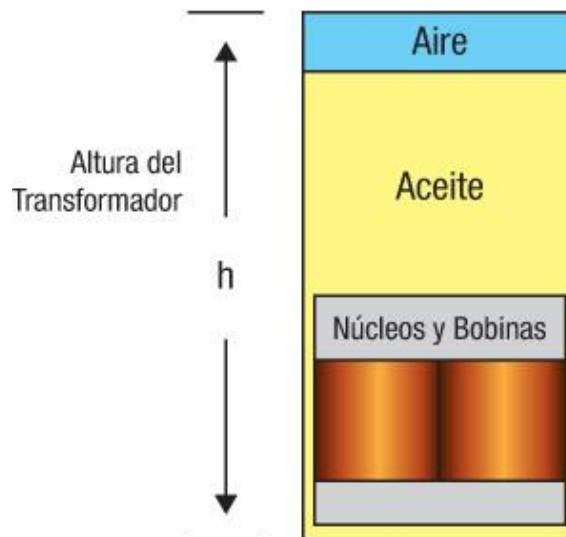


Figura 43: Contenido del tanque del transformador de distribución.

Fuente: <https://e-management.mx/transformadores-de-distribucion-normativa-vigente/>

**-Dimensiones geométricas del tanque:** El diseño del tanque está vinculado a los aislamientos entre el núcleo y el tanque que es 2.8cm en los lados laterales y 5cm en los lados frontales, aparte se debe considerar 17,5cm aprox. de llenado de aceite mineral no inhibido en la parte superior del núcleo; también 5cm aprox. de aire comprimido y 10cm aprox. por la altura del bastidor que soporta a la parte activa. Con estos valores el modelado del tanque del transformador presenta las siguientes dimensiones geométricas:



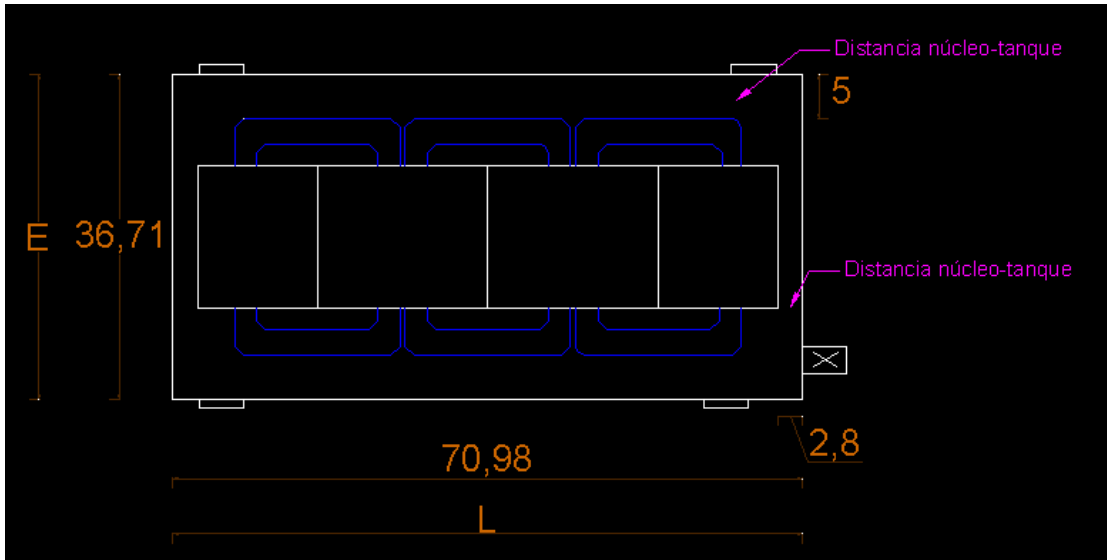


Figura 44: Vista superior del tanque.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 44 muestra la vista superior del tanque del transformador con el núcleo y los devanados colocados a sus distancias requeridas por cuestión de aislamientos. Dando como resultado el espesor del tanque del transformador un valor de 36,71cm.

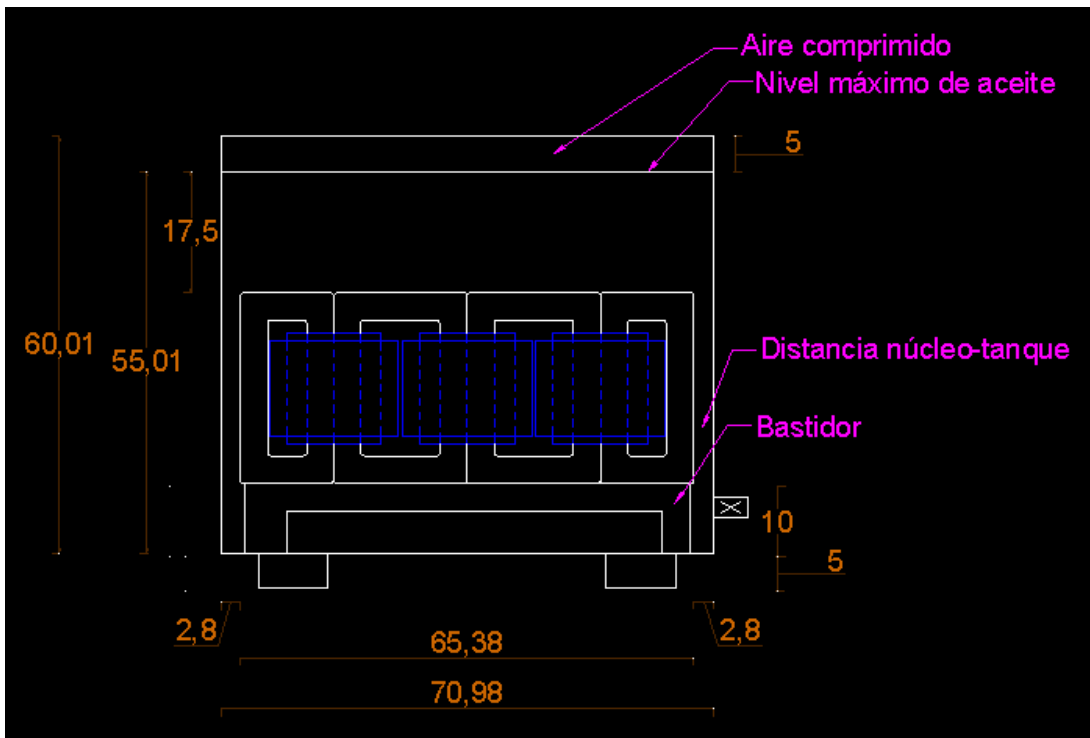


Figura 45: Vista frontal del tanque.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 45 muestra la vista frontal del tanque del transformador en donde se visualiza la parte activa montada sobre el bastidor y con una distancia núcleo-tanque por cuestión de aislamiento; también se observa una profundidad de excedente de aceite de 17,5cm aprox. para refrigerar la parte activa y una altura de 5cm aprox. para el aire comprimido del tanque. Dando como resultado valores para la altura y ancho del tanque del transformador que son 60,01 y 70,98cm respectivamente.

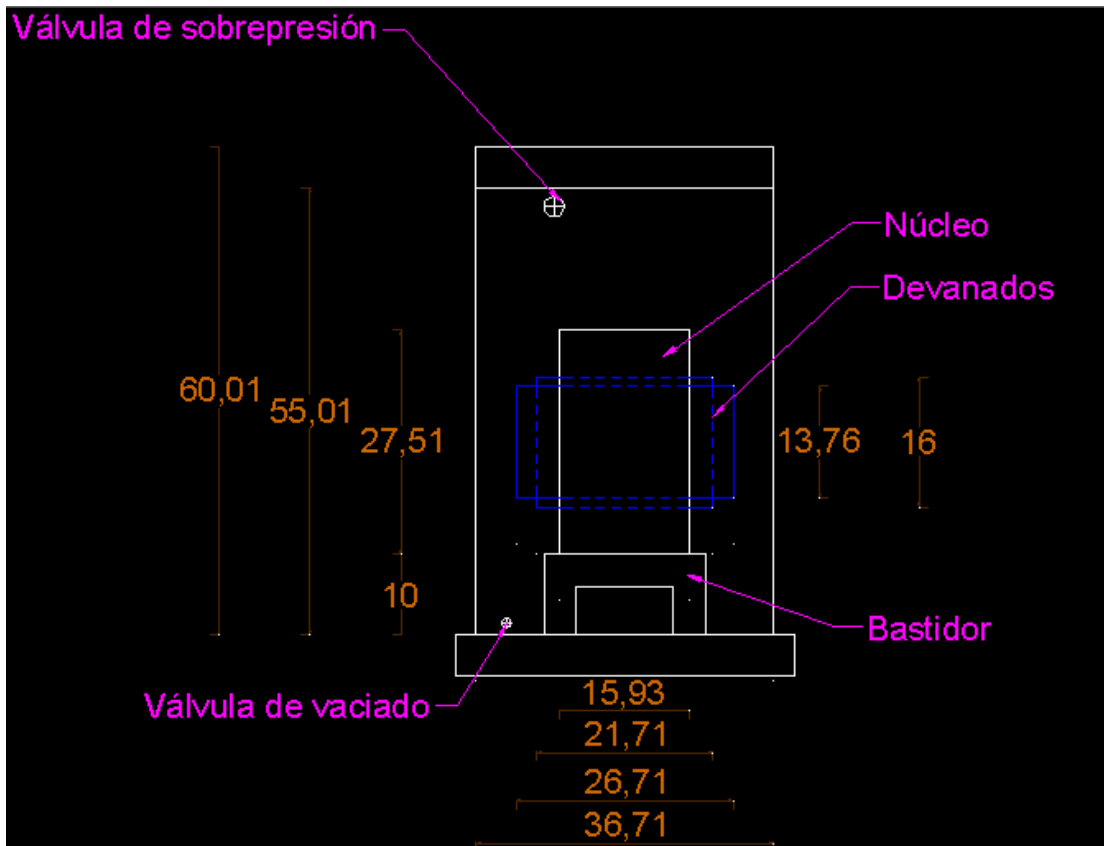


Figura 46: Vista lateral del tanque.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 46 muestra la vista lateral del tanque del transformador donde se visualiza la parte activa montada en el bastidor, la altura del nivel de aceite y altura del aire comprimido.

**-Volumen del tanque:** Teniendo los valores de las dimensiones geométricas del tanque; el volumen del tanque se calcula de la siguiente manera:

$$V_{tanque} = H \times L \times E$$

Donde:

$V_{tanque}$ : Volumen total del tanque (cm).

$H$ : Altura del tanque (cm).

$L$ : Ancho del tanque (cm).

$E$ : Espesor del tanque (cm).

La figura 47 muestra las dimensiones del sólido, el cual es formado por los valores mencionados anteriormente de la altura, ancho y espesor del tanque del transformador.

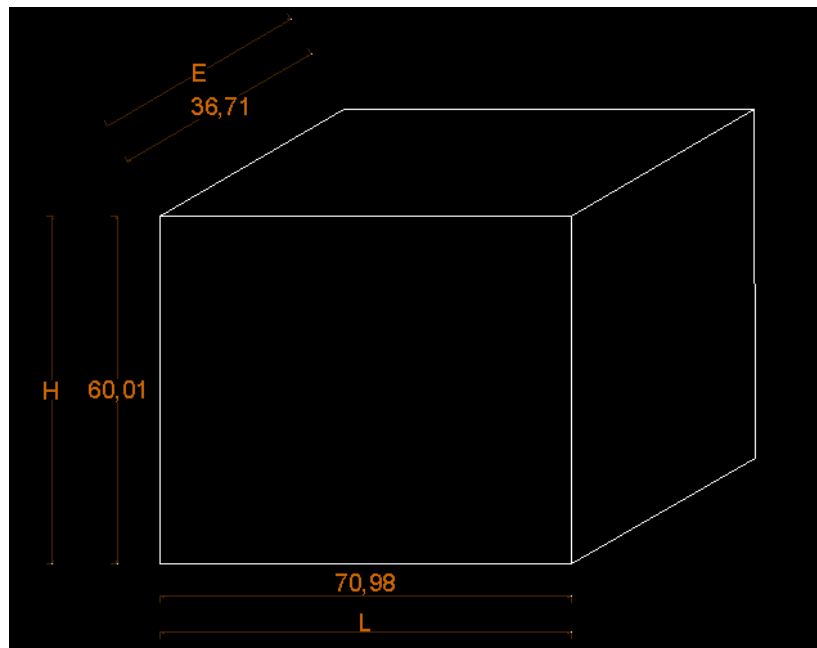


Figura 47: Dimensiones geométricas del tanque del transformador.  
Fuente: Elaboración propia.

Siendo los valores:

$$H = 60.01 \text{ cm}$$

$$L = 70.98 \text{ cm}$$

$$E = 36.71 \text{ cm}$$

Se reemplaza en la fórmula:

$$V_{tanque} = 60.01 \text{ cm} \times 70.98 \text{ cm} \times 36.71 \text{ cm}$$

$$V_{tanque} = 156366.6 \text{ cm}^3$$

El volumen total del tanque es  $156366,6 \text{ cm}^3$ .

**-Peso total del tanque:** Con respecto al peso total del tanque es necesario determinar el área aproximada de las paredes del tanque, siendo ellos fabricados de láminas de acero de calibre número 10, sabiendo que el tanque tiene forma rectangular cúbica se determina el peso de las 5 tapas o paredes del tanque y su tapa superior.

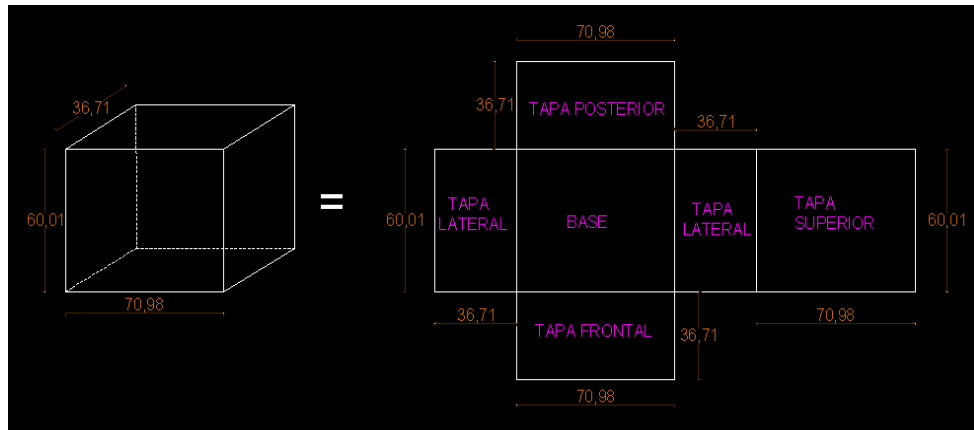


Figura 48: Dimensiones geométricas de las paredes del tanque.  
Fuente: Elaboración propia.

La figura 48 muestra las dimensiones geométricas del tanque del transformador que permite calcular el área aproximada de las laminas de acero de calibre No 10 distribuidas en las 6 tapas, el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$A_{tanque} = A_{base} + A_{posterior} + A_{frontal} + A_{superior} + 2A_{lateral}$$

$$A_{tanque} = (60,01 \times 70,98) + (36,71 \times 70,98) + (36,71 \times 70,98) + (70,98 \times 60,01) + 2(36,71 \times 60,01)$$

$$A_{tanque} = 18136,3 \text{ cm}^2 \approx 1,81 \text{ m}^2$$

Calculado el área de las tapas del tanque, se calcula el peso total del tanque; para ello es necesario conocer el peso de la lámina de acero de calibre No 10, el cual es determinado con los valores de la tabla 13.

Tabla 13: Pesos y espesores de láminas de acero según calibre.

Calibre	Espesor mm	Kg. M2	Kg./Pie Cuadrado	Libras/Pie Cuadrado
10	3.4	8.4379	2.572	5.67
12	2.7	6.5881	2.008	4.427
14	1.9	4.6937	1.431	3.154
16	1.5	3.7502	1.143	2.52
18	1.2	2.9912	0.912	2.01
20	0.9	2.2501	0.686	1.512
22	0.8	1.8751	0.572	1.26
24	0.6	1.5001	0.457	1.008
26	0.5	1.1251	0.343	0.756
28	0.4	0.9435	0.288	0.634

Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-621897598-lamina-acero-inoxidable-304-cal20-09mm-30cm-x-30cm-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-621897598-lamina-acero-inoxidable-304-cal20-09mm-30cm-x-30cm-_JM?quantity=1)

Siendo  $8,4379 \text{ kg/m}^2$ , el peso de la lámina de acero de calibre No 10 según la tabla 13, se calcula el peso total de las 6 tapas del tanque del transformador.

$$W_{\text{tanque}} = A_{\text{tanque}} \times 8,4379 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{tanque}} = 1,81 \text{ m}^2 \times 8,4379 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{tanque}} = 15,27 \text{ kg}$$

El peso total del tanque sin accesorios es 15,27kg aprox.

El tanque también contiene otros elementos complementarios que son el bastidor, la válvula para el vaciado y toma de muestra de aceite, una válvula de sobrepresión, un conmutador de niveles de tensión y los aisladores pasa tapas también llamado Bushings de baja y alta tensión. A continuación, se detalla los elementos mencionados y otros.

**-Bastidor:** El bastidor es una estructura que está fabricado artesanalmente de acero y completamente aislado, el cual ejerce el trabajo de soporte de la parte activa del transformador (núcleo-devanados), las partes de esta estructura se encuentran adheridas a través de soldadura y acoplada al tanque del transformador mediante pernos y arandelas. La figura 49 muestra un bastidor para transformadores.



Figura 49: Bastidor para transformadores.

Fuente: <http://www.legrand.es/documentos/Catalogo-Encapsulados-de-resina-CRT-Legrand.pdf>

**-Conmutador:** El conmutador, o también llamado Taps, es un dispositivo mecánico de maniobra el cual permite cambiar el nivel de tensión del lado primario en un porcentaje de  $\pm 2,5\%$  y  $\pm 5\%$  de su tensión nominal; su función es de variar el número de espiras para que la tensión de salida sea la adecuada para su operación. La figura 50 muestra un conmutador o tap de derivación.



Figura 50: Conmutador o Tap de derivación.

Fuente: <https://es.slideshare.net/EdgardoGarcia5/cambio-de-tap>

**-Válvulas:** El transformador de distribución posee dos válvulas independientes, una válvula es la de sobrepresión que se encuentra en la tapa del tanque del transformador y está destinado a liberar los gases que se generan por la evaporación del aceite cuando éste aumenta su temperatura máxima. La otra válvula es la de vaciado y toma de muestras del aceite, este elemento tiene la función de abrir el paso al flujo del aceite cuando éste deba ser vaciado y también de poder tomar muestras para el análisis del

aceite cuando el transformador entre a mantenimiento. La figura 51 muestra una válvula de sobrepresión y una válvula de vaciado de aceite.



Figura 51: Válvula de sobre presión y de vaciado.

Referencia: <https://www.ingetraf.com/es/8-servicios/2-accesorios-y-repuestos.html>

**-Aisladores Pasa Tapas:** Este elemento cumple la función de sujeción y soporte de los cables de la red de aérea de alimentación y los cables de comunicación de baja tensión hacia el tablero de distribución, están fabricados de porcelana con bornes metálicos para la conexión de los conectores terminales de los cables mencionados, cabe mencionar que los pasa tapas están diseñados bajo la norma IEC 60137 “Aisladores pasantes para tensiones alternas superiores a 1000 V”. La figura 52 muestra pasa tapas de baja y alta tensión.



Figura 52: Pasa tapas o Bushings.

Fuente: <http://www.cedaspe.com/en/bushings/porcelain-bushings-lv.html>

Para esta investigación se selecciona 3 aisladores pasa tapas de 10kV para el lado primario y 3 aisladores pasa tapas de 0,23kV para el lado secundario. La tabla 14 muestra las tensiones máximas para aisladores pasa tapas según la tensión nominal asignada.

Tabla 14: Tensiones máximas para aisladores pasa tapas.

Aisladores Pasatapas de:	TENSIÓN ASIGNADA KV	TENSIÓN MAS ELEVADA PARA EL MATERIAL (KV)	Tensión de sostenimiento a la frecuencia industrial (KV)	Tensión de sostenimiento al impulso 1.2/50 Us (kVp)	Altitud (msnm)
MT	10	17.5	38	95	0 - 4,500
	10.5	17.5	38	95	0 - 4,500
	13.2	24	50	125	0 - 4,500
	13.8	24	50	125	0 - 4,500
	19.07	36	70	170	0 - 4,500
	22.9	36	70	170	0 - 4,500
	10-22.9	36	70	170	0 - 4,500
	33-10	52	95	250	0 - 4,500
BT	33-22.9	52	95	250	0 - 4,500
	0.231	1.0	3	10	0 - 4,500
	0.46-0.23	1.0	3	10	0 - 4,500
	0.40-0.231	1.0	3	10	0 - 4,500

Fuente: <http://www.else.com.pe/else/media/1169/eett-de-transformadores-de-distribuci%C3%B3n-15122017.pdf>

**-Pintura del transformador:** Se sabe que los transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva se encuentran instalados al aire libre y están sometidos a las diferentes alteraciones de temperatura, humedad y corrosión del medio ambiente; en consecuencia se necesita de un pintado exterior no menor de 6mils (unidad de longitud de cuerpos vistos por microscopio) de espesor de pintura líquida o pintura en polvo con un color gris RAL 7035 (RAL 7035 se refiere al color Gris luminoso y es parte de la colección RAL Classic); también se debe aplicar al interior del tanque 1,5mils de zincromato compatible con el aceite para evitar el óxido dentro del tanque. La figura 53 muestra el color gris RAL 7035.



Figura 53: Color gris RAL 7035 para pintado de transformadores.

Fuente: <https://www.ebay.es/itm/RAL7035-2K-HS-Gris-Claro-5-litros-color-plus-2-5-litro-HS-Duro-/282447537599>



**-Placa de características:** Es una placa de acero inoxidable con indicación indeleble en idioma español, ubicada en el lado de B.T. en la parte inferior, donde pueda ser leída fácilmente con las siguientes características:

- Potencia nominal
- Número de fases
- Frecuencia
- Tensiones
- Corrientes
- Conexión en M.T y B.T.
- Grupo de conexión
- Método de Enfriamiento
- Nivel de Aislamiento
- Peso total
- Fabricante y número de serie de la unidad
- Normas de fabricación
- Año de fabricación

**-Medio de refrigeración:** La refrigeración del transformador de distribución es de vital importancia para poder disipar el calor emitido de la parte activa hacia el tanque y posteriormente hacia el medio ambiente, para ello se debe considerar la siguiente nomenclatura para determinar el tipo de refrigeración:

- **Primera letra: Medio de refrigeración interno:**  
O: Aceite mineral con punto de inflamación  $\leq 300^{\circ}\text{C}$ .  
K: Líquido aislante con punto de inflamación  $> 300^{\circ}\text{C}$ .
- **Segunda letra: Modo de circulación del medio de refrigeración interno.**  
N: Circulación natural  
F: Circulación forzada
- **Tercera letra: Medio de refrigeración externo:**  
A: Aire.  
W: Agua

- **Cuarta letra: Modo de circulación del medio de refrigeración externo.**

N: Circulación natural.

Para la investigación y según la especificación de Luz del Sur, el tipo de refrigeración a considerar es el tipo ONAN (Aceite mineral con enfriamiento natural al aire o sumergido en aceite con enfriamiento natural).

## 7. Dimensiones finales de la parte activa núcleo – devanados y tanque

Realizado los cálculos para el dimensionamiento de los elementos fundamentales del transformador los cuales son el núcleo, los devanados de baja y alta tensión y el tanque, los resultados de las dimensiones finales se muestran en las figuras 54, 55, 56, 57, 58, 59 y 60.

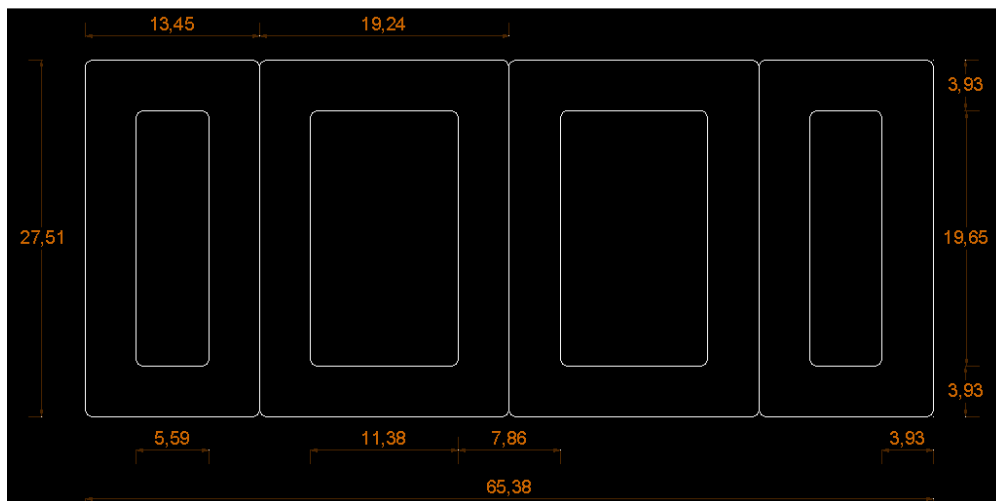


Figura 54: Dimensiones geométricas finales del núcleo trifásico tipo acorazado.  
Fuente: Elaboración propia.

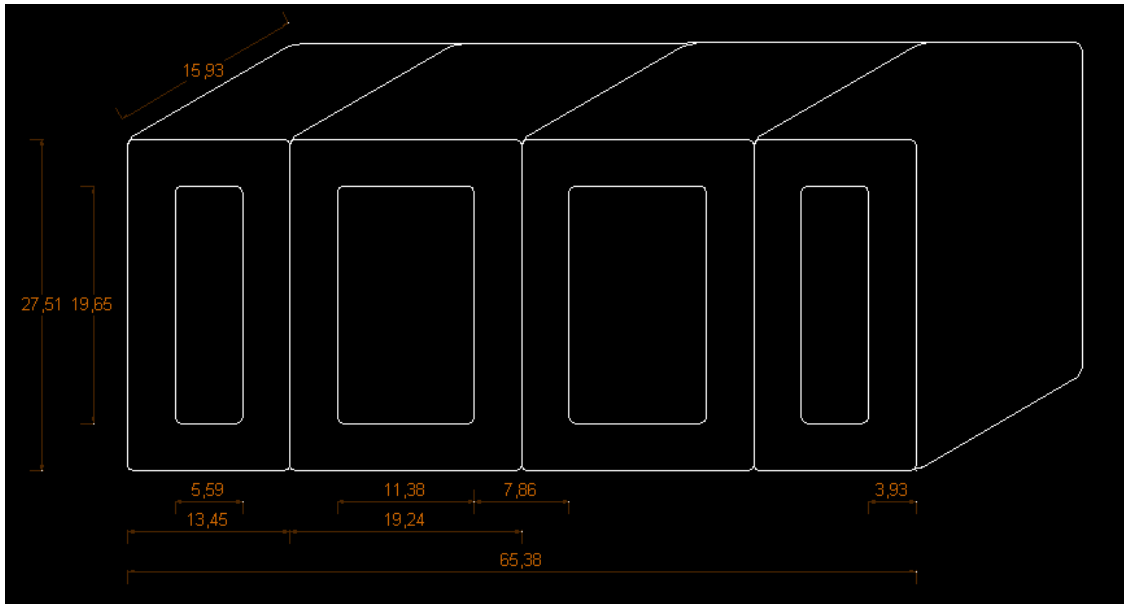


Figura 55: Dimensiones geométricas finales del núcleo trifásico tipo acorazado en sólido.

Fuente: Elaboración propia.

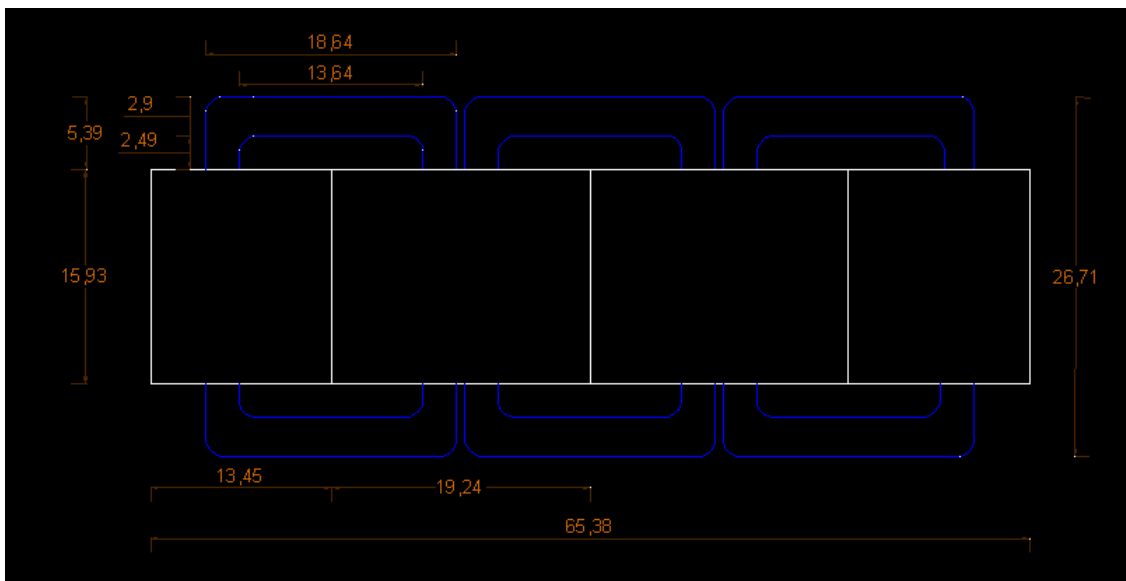


Figura 56: Vista superior del conjunto núcleo-devanados.

Fuente: Elaboración propia.

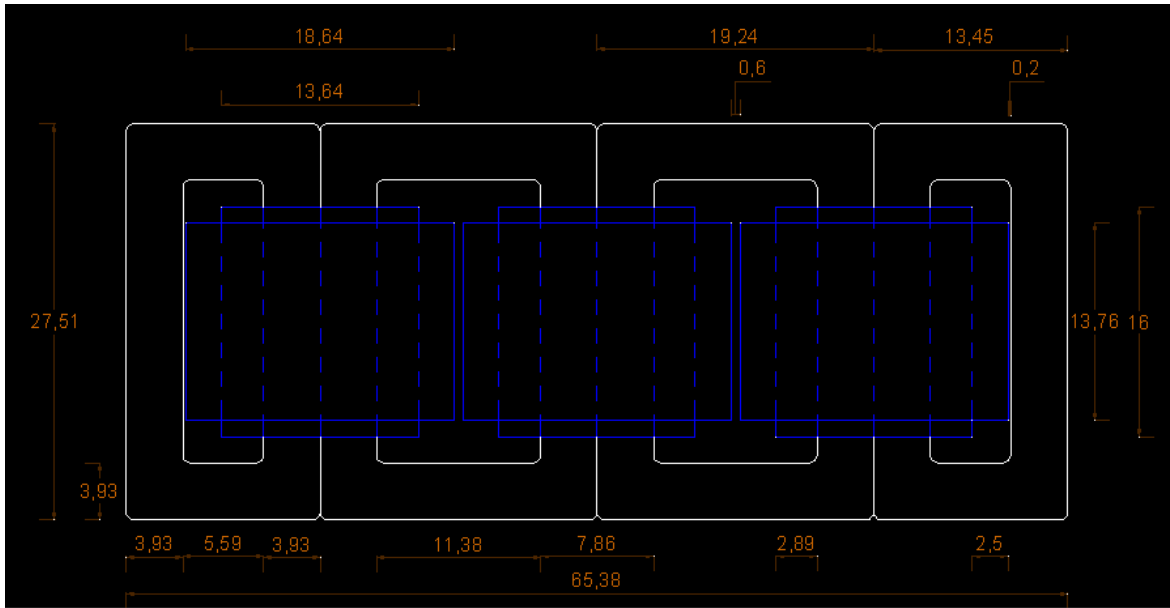


Figura 57: Vista frontal del conjunto núcleo-devanados.  
Fuente: Elaboración propia.

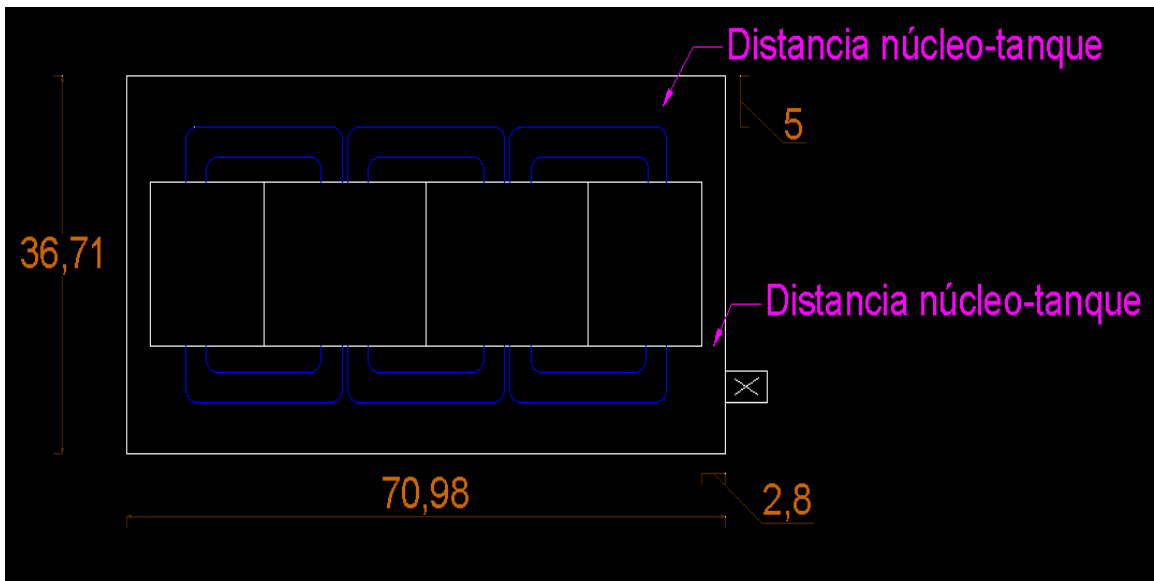


Figura 58: Vista superior del transformador de distribución.  
Fuente: Elaboración propia.

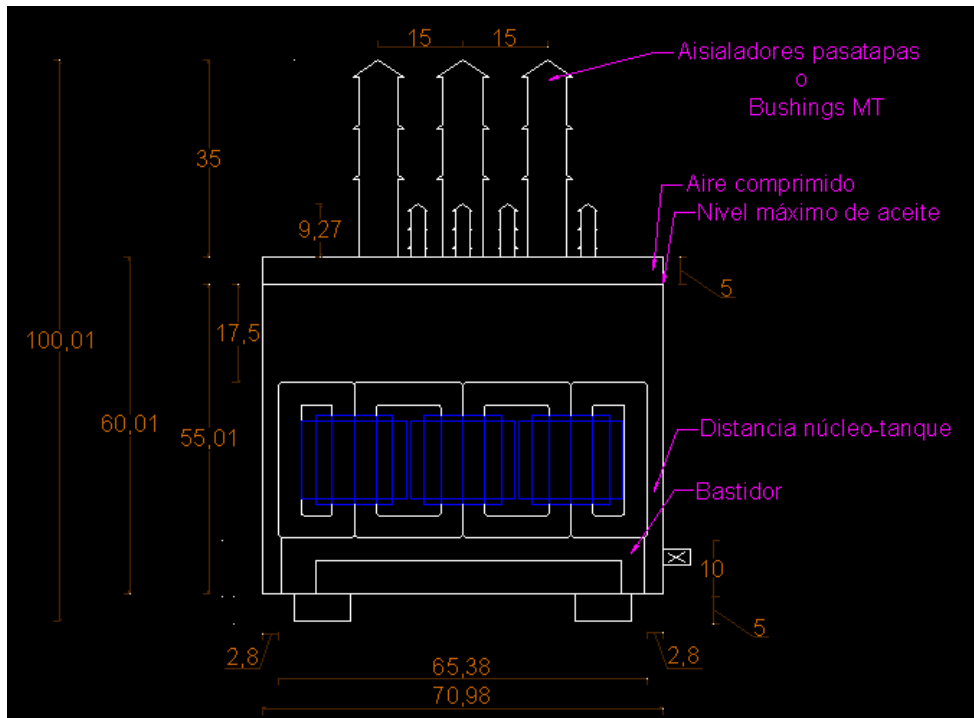


Figura 59: Vista frontal del transformador de distribución.  
Fuente: Elaboración propia.

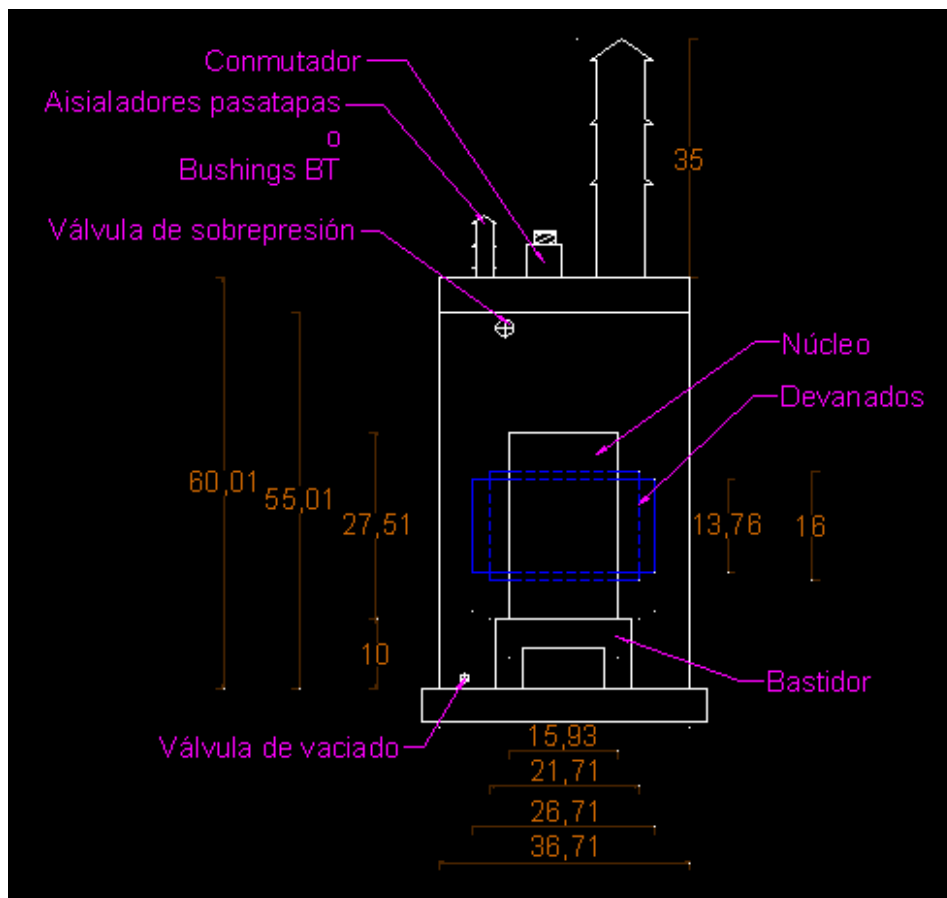


Figura 60: Vista lateral del transformador de distribución.  
Fuente: Elaboración propia.

## 8. Pérdidas y eficiencia del transformador

Las pérdidas que se generan en el transformador de distribución son los que se presentan en los ensayos de vacío y cortocircuito, para ello se realiza los cálculos que permiten conocer el valor de las pérdidas en el núcleo y conductores respectivamente, asimismo se determina la eficiencia del transformador y poder realizar su elección.

### - Pérdidas en el núcleo (Ensayo de vacío)

Para calcular las pérdidas en el núcleo (ensayo de vacío) es necesario conocer su peso total, debido a que la tabla “Curva de pérdidas del acero al silicio” proporciona las pérdidas en Watts por cada kilogramo del núcleo, los cuales se generan a partir de la densidad de flujo “B” en Gauss que circula por el núcleo; es preciso indicar que el peso específico del acero es  $7,65 \text{ gr/cm}^3$ . En la figura 61 se muestra las pérdidas que se generan en el acero al silicio según la densidad del flujo que circula por el mismo.

En la figura 61 donde muestra las pérdidas del acero al silicio, para una densidad de flujo magnético determinado anteriormente de 16000Gauss que circula en el núcleo, el valor aproximado de las pérdidas en Watts por cada kilogramo del núcleo es 1,32W/Kg, También puede ser determinado con un valor aproximado de la tabla 15, donde muestra las pérdidas en acero al silicio.

Tabla 15: Pérdidas en acero al silicio a 60 y 50 Hz.

Grano orientado	Espesor mm	60Hz				50Hz			
		Watts por Lb		Watts por Kg		Watts por Lb		Watts por Kg	
		15K Gauss	17K Gauss	15K Gauss	17K Gauss	15K Gauss	17K Gauss	15K Gauss	17K Gauss
M-2	0,18	0,42	-	0,93	-	0,32	-	0,70	-
M-3	0,23	0,46	-	1,01	-	0,35	-	0,77	-
M-4	0,28	0,41	0,74	<b>1,12</b>	<b>1,63</b>	0,39	0,56	0,85	1,24
M-6	0,35	0,66	0,94	1,46	2,07	0,50	0,71	1,11	1,57

Fuente: Elaboración propia.

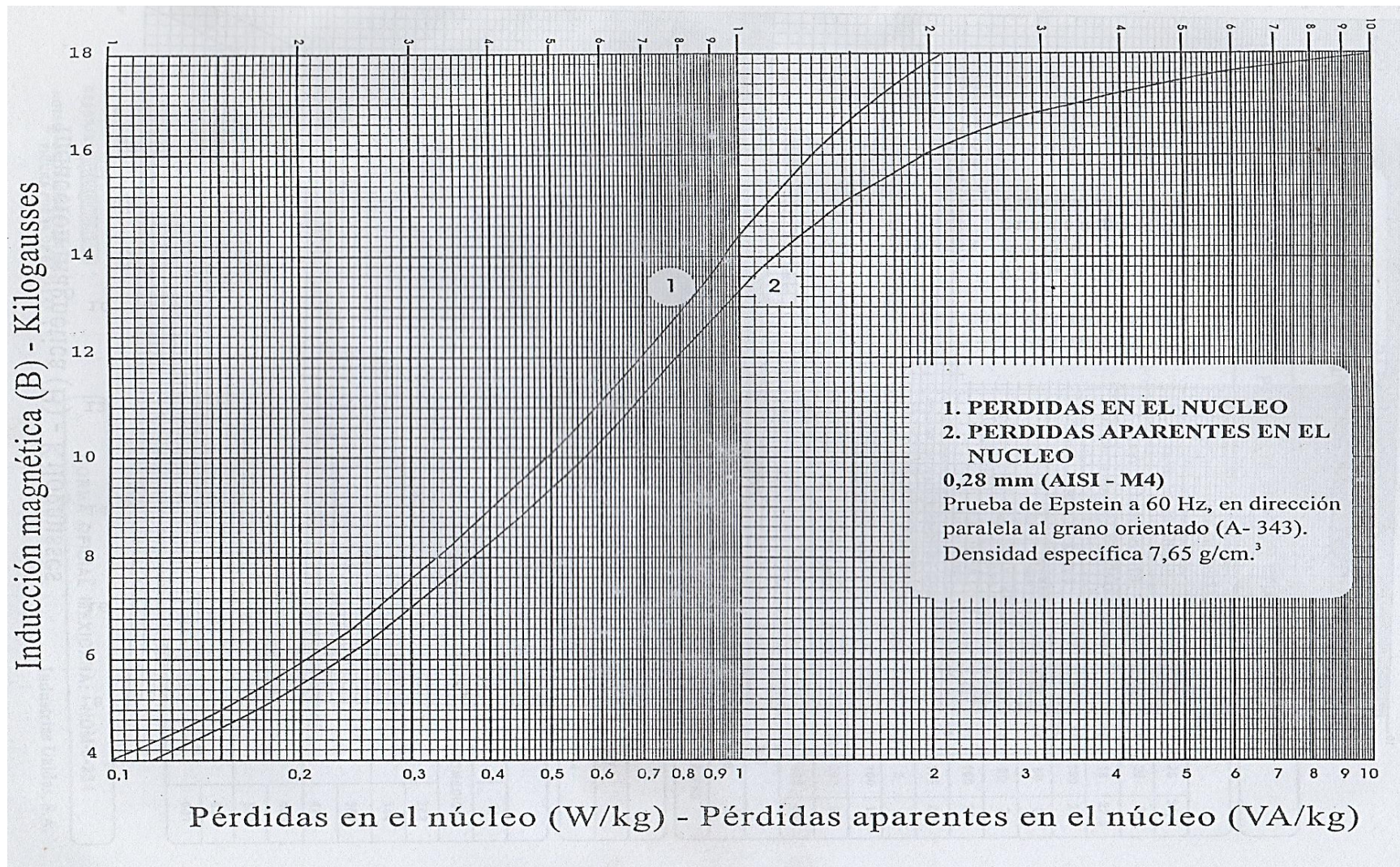


Figura 61: Curva de pérdidas del acero al silicio.

Fuente: <https://docplayer.es/50645919-Universidad-nacional-de-san-agustin.html>

Con el valor de pérdidas de 1,32W/Kg según la figura 61, se puede calcular las pérdidas totales del núcleo teniendo en cuenta su peso total, para ello se analiza el peso de cada arcada del núcleo (chica y grande). El análisis que se realiza es de calcular geoméricamente el volumen en  $cm^3$  de cada arcada considerando sus dimensiones geométricas; es así que obteniendo el peso total del núcleo se determina sus pérdidas totales. La figura 62 muestra las dimensiones geométricas de la arcada chica para determinar el volumen en  $cm^3$ .

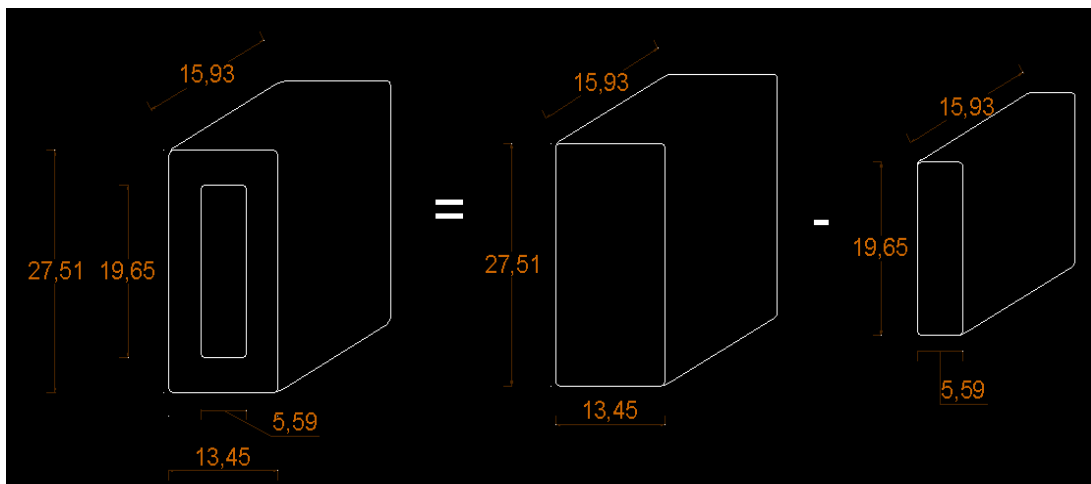


Figura 62: Dimensiones geométricas de la arcada chica.  
Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 62, la arcada chica está compuesta de un sólido de forma rectangular con una ventana; para determinar el volumen de la arcada chica se debe calcular la diferencia entre el volumen del sólido y el volumen de la ventana.

$$\begin{aligned}
 Vol_{arcada\ chica} &= Vol_{sólido} - Vol_{ventana} \\
 Vol_{arcada\ chica} &= (15,93 \times 27,51 \times 13,45) - (15,93 \times 19,65 \times 5,59) \\
 Vol_{arcada\ chica} &= 5894,25 - 1749,81 \\
 Vol_{arcada\ chica} &= 4144,4cm^3
 \end{aligned}$$

El volumen total de la arcada chica es de  $4144,4cm^3$ .

De igual manera se determina el volumen de la arcada grande y para ello se realiza el mismo cálculo. La figura 63 muestra las dimensiones geométricas de la arcada grande para determinar el volumen en  $cm^3$ .



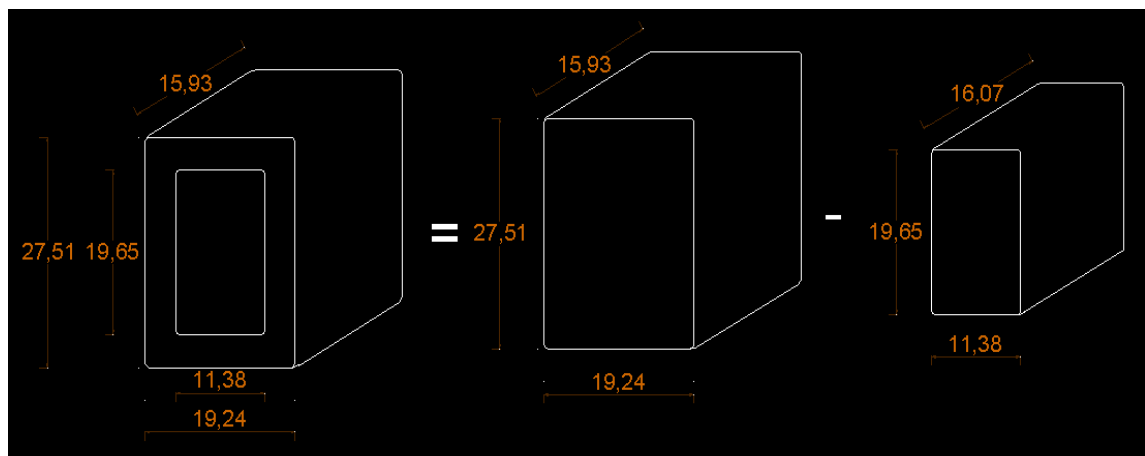


Figura 63: Dimensiones geométricas de la arcada grande.  
Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 63, la arcada grande está compuesta de un sólido de forma rectangular con una ventana; para determinar el volumen de la arcada grande se debe calcular la diferencia entre el volumen del sólido y el volumen de la ventana.

$$Vol_{arcada\ grande} = Vol_{sólido} - Vol_{ventana}$$

$$Vol_{arcada\ grande} = (15,93 \times 27,51 \times 19,24) - (15,93 \times 19,65 \times 11,38)$$

$$Vol_{arcada\ grande} = 4869,4cm^3$$

El volumen total de la arcada grana es de  $4869,4cm^3$

Luego de haber determinado los volúmenes de las arcadas y considerando que el núcleo trifásico de tipo acorazado presenta 2 arcadas chicas y 2 arcadas grandes, se calcula el volumen total del núcleo:

$$Vol_{total\ del\ núcleo} = 2(Vol_{arcada\ chica} + Vol_{arcada\ grande})$$

$$Vol_{total\ del\ núcleo} = 2(4869,4 + 4144,4)$$

$$Vol_{total\ del\ núcleo} = 18027,6cm^3$$

El volumen total del núcleo trifásico de tipo acorazado es  $18027,6cm^3$ .

Teniendo calculado el volumen total del núcleo en  $cm^3$ , se procede a calcular el peso total del núcleo por medio de su peso específico del acero de grano orientado silicoso que es  $7,65 \text{ gr/cm}^3$ .

$$W_{\text{núcleo}} = Vol_{\text{total del núcleo}} \times \rho_e$$

$$W_{\text{núcleo}} = 18027,6 \text{ cm}^3 \times 7,65 \text{ gr/cm}^3$$

$$W_{\text{núcleo}} = 137911,14 \text{ gr} \approx 137,91 \text{ kg}$$

Finalmente, con el peso total del núcleo se calcula las pérdidas aproximadas que genera el núcleo con una inducción de 16000 Gauss es:

$$P_{fe} = W_{\text{núcleo}} \times 1,32 \text{ w/kg}$$

$$P_{fe} = 137,91 \text{ kg} \times 1,32 \text{ w/kg}$$

$$P_{fe} = 182,04 \text{ watts}$$

Las pérdidas totales del núcleo trifásico de tipo acorazado son 182,04 watts.

#### **- Pérdidas en el conductor (Ensayo de cortocircuito)**

Las pérdidas en el conductor se generan en el ensayo de cortocircuito por consecuencia del efecto Joule, este fenómeno causa que el conductor, de una determinada resistencia, libere energía en forma de calor por efecto de la intensidad de corriente que circula por él, es así que para calcular las pérdidas por efecto Joule se debe considerar la siguiente fórmula:

$$P_{\text{cond.}} = R \times I^2$$

Donde:

$P_{\text{cond.}}$  : Potencia por efecto Joule (Watts).

$R$  : Resistencia del conductor eléctrico ( $\Omega$ ).

$I$  : Intensidad de corriente (A).

Por otro lado, las resistencias eléctricas de los conductores eléctricos de baja y alta tensión de material de aluminio de una determinada longitud y una determinada sección no se conocen; en consecuencia de ello, se considera a la resistencia eléctrica

como la propiedad que tienen los materiales en oponerse al paso de la corriente eléctrica según la resistividad eléctrica del material, longitud y sección del conductor; la fórmula para calcular la resistencia de un conductor es la siguiente:

$$R = \rho \times \frac{L_{cond.}}{S_{cond.}}$$

Donde:

$\rho$ : Resistividad eléctrica del material ( $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ ).

$L_{cond.}$ : Longitud del conductor (m).

$S_{cond.}$ : Sección del conductor ( $mm^2$ ).

Con las fórmulas establecidas se procede a realizar los cálculos de las pérdidas en los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión del transformador de distribución.

- **Pérdidas en el conductor B.T.**

Las pérdidas en el conductor de baja tensión según la fórmula indicada anteriormente se calculan mediante la intensidad de corriente eléctrica y la resistencia eléctrica del conductor de aluminio; este último es determinado a continuación.

$$R_{B.T.} = \rho_{aluminio} \times \frac{L_{cond.B.T.}}{S_{cond.B.T.}}$$

Donde:

$R_{B.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de baja tensión ( $\Omega$ ).

$\rho_{aluminio}$ : Resistividad del aluminio ( $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ ).

$L_{cond.B.T.}$ : Longitud del conductor de baja tensión (m).

$S_{cond.B.T.}$ : Sección del conductor ( $mm^2$ ).

Siendo los valores:

$$\rho_{aluminio} = 0,0284 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$L_{cond.B.T.} = 24,53m$$

$$S_{cond.B.T.} = 70mm^2$$

Se reemplaza en la fórmula:

$$R_{B.T.} = 0,0284 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times \frac{24,53m}{70mm^2}$$
$$R_{B.T.} = 0,00995 \Omega$$

La resistencia del conductor eléctrico de aluminio de baja tensión es  $0,00995 \Omega$ , con este valor se procede a calcular la potencia de efecto Joule con la siguiente formula:

$$P_{cond.B.T.} = R_{B.T.} \times I_s^2$$

Donde:

$P_{cond.B.T.}$ : Potencia de efecto Joule en conductor de baja tensión (Watts).

$R_{B.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de baja tensión ( $\Omega$ ).

$I_s$ : Intensidad de corriente en lado secundario (A).

Siendo los valores:

$$R_{B.T.} = 0,00995 \Omega$$

$$I_s = 125,5A$$

Se reemplaza en la fórmula:

$$P_{cond.B.T.} = 0,00995\Omega \times 125,5^2A$$

$$P_{cond.B.T.} = 156,71Watts \text{ a } 20^\circ C \text{ (temperatura ambiente)}$$

Las pérdidas por efecto Joule del conductor eléctrico de aluminio de baja tensión es 156,7 watts a una temperatura ambiente de  $20^\circ C$ ; cabe mencionar que la resistencia del conductor es directamente proporcional a la temperatura, en este caso la temperatura máxima determinará una resistencia eléctrica mayor del conductor y por consecuencia las pérdidas por Efecto Joule serán máximas; asimismo se determina la resistencia corregida a una temperatura máxima de  $75^\circ C$  siendo la temperatura máxima de servicio. A continuación, se muestra la fórmula para calcular la resistencia corregida a una temperatura de  $75^\circ C$ .

$$R_{C.B.T.} = R_{B.T.} [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

Donde:

$R_{C_{B.T.}}$ : Resistencia eléctrica corregida a temperatura máxima ( $\Omega$ ).

$R_{B.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de baja tensión ( $\Omega$ ).

$T_2$ : Temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ).

$T_1$ : Temperatura mínima ( $^{\circ}C$ ).

$\alpha$ : Coeficiente de temperatura del aluminio.

Siendo los valores:

$$R_{B.T.} = 0,00995 \Omega$$

$$T_2 = 75^{\circ}C$$

$$T_1 = 20^{\circ}C$$

$$\alpha = 0,0038$$

Reemplazando en la fórmula:

$$R_{C_{B.T.}} = 0,00995[1 + 0,0038(75 - 20)]$$

$$R_{C_{B.T.}} = 0,01202\Omega$$

Con el valor de la resistencia corregida a una temperatura máxima de  $75^{\circ}C$  se procede a calcular las pérdidas por efecto Joule en el conductor eléctrico de baja tensión a una temperatura de servicio máxima.

$$P_{cond.B.T.} = R_{C_{B.T.}} \times I_s^2$$

$$P_{cond.B.T.} = 0,01202 \times 125,5^2$$

$$P_{cond.B.T.} = 189,32W \text{ a } 75^{\circ}C \text{ (temperatura máxima)}$$

- **Pérdidas en el conductor A.T.**

Las pérdidas en el conductor de alta tensión se calculan con el mismo procedimiento que se realizó para calcular las pérdidas en el conductor de baja tensión. En el caso del cálculo de la resistencia eléctrica del conductor de alta tensión es el siguiente:

$$R_{A.T.} = \rho_{aluminio} \times \frac{L_{cond.A.T.}}{S_{cond.A.T.}}$$

Donde:

$R_{A.T.}$ : Resistencia del conductor de alta tensión ( $\Omega$ ).

$\rho_{aluminio}$ : Resistividad del aluminio ( $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ ).

$L_{cond.A.T.}$ : Longitud del conductor de alta tensión (m).

$S_{cond.A.T.}$ : Sección del conductor de alta tensión ( $mm^2$ ).

Siendo los valores:

$$\rho_{aluminio} = 0,0284 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$L_{cond.A.T.} = 1315,7m$$

$$S_{cond.A.T.} = 1,6mm^2$$

Se reemplaza en la fórmula:

$$R_{A.T.} = 0,0284 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times \frac{1315,7m}{1,6mm^2}$$

$$R_{A.T.} = 23,353 \Omega$$

La resistencia del conductor eléctrico de aluminio de alta tensión es  $23,353\Omega$ , con este valor se procede a calcular la potencia de efecto Joule con la siguiente fórmula:

$$P_{cond.A.T.} = R_{A.T.} \times I_p^2$$

Donde:

$P_{cond.A.T.}$ : Potencia de efecto Joule en conductor de alta tensión (Watts).

$R_{A.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de alta tensión ( $\Omega$ ).

$I_p$ : Intensidad de corriente en lado primario (A).

Reemplazando en la fórmula:

$$P_{cond.A.T.} = 23,353 \times 2,89^2$$

$$P_{cond.A.T.} = 195,05Watts \text{ a } 20^\circ C \text{ (temperatura ambiente)}$$

Las pérdidas por efecto Joule en el conductor de alta tensión a una temperatura ambiente es 195,05 watts; sin embargo, al igual que el conductor de baja tensión se requiere que las pérdidas sean máximas, para ello la resistencia debe ser corregida a una resistencia con una temperatura máxima de servicio el cual es  $75^\circ C$ .

$$R_{C.A.T.} = R_{A.T.} [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

Donde:

$R_{C.A.T.}$ : Resistencia eléctrica corregida a temperatura máxima ( $\Omega$ ).

$R_{A.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de alta tensión ( $\Omega$ ).

$T_2$ : Temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ).

$T_1$ : Temperatura mínima ( $^{\circ}C$ ).

$\alpha$ = Coeficiente de temperatura del aluminio.

Siendo los valores:

$$R_{A.T.} = 23,353 \Omega$$

$$T_2 = 75^{\circ}C$$

$$T_1 = 20^{\circ}C$$

$$\alpha = 0,0038$$

Reemplazando en la fórmula:

$$R_{C.A.T.} = 23,353[1 + 0,0038(75 - 20)]$$

$$R_{C.A.T.} = 28,23\Omega$$

Con el valor de la resistencia corregida a una temperatura máxima de  $75^{\circ}C$  se procede a calcular las pérdidas por efecto Joule en el conductor eléctrico de alta tensión a una temperatura de servicio máxima.

$$P_{cond.A.T.} = R_{C.A.T.} \times I_P^2$$

$$P_{cond.A.T.} = 28,23 \times 2,89^2$$

$$P_{cond.A.T.} = 235,8W \text{ a } 75^{\circ}C \text{ (temperatura máxima)}$$

Realizado los cálculos de los valores de las pérdidas de los conductores eléctricos de baja y alta tensión, se realiza la sumatoria para determinar las pérdidas totales del conductor a plena carga.

$$P_{cond.total} = P_{cond.B.T.} + P_{cond.A.T.}$$

$$P_{cond.total} = 156,71W + 235,8W$$

$$P_{cond.total} = 425,12W \text{ a plena carga.}$$

## - Eficiencia del transformador

La eficiencia del transformador se calcula como la razón de la potencia activa con la sumatoria de la potencia activa más las pérdidas del transformador; se debe considerar aquellas pérdidas como las pérdidas en los conductores y las pérdidas en el núcleo; asimismo se debe determinar la potencia de salida como la potencia activa que es consumida a plena carga a un factor de potencia de 0,95 el cual es un valor proporcionado por Luz del sur en sus proyectos. Se sabe que la potencia activa es calculada como el producto de la potencia aparente con su factor de potencia, el cual para esta investigación se calcula de la siguiente manera:

$$P_{kw} = P_{KVA} \times \cos\phi$$

Donde:

$P_{kw}$ : Potencia activa (kilowatts).

$P_{KVA}$ : Potencia aparente (kilo volt-ampere).

$\cos\phi$ : Factor de potencia.

Siendo los valores:

$P_{KVA}$ : 50 KVA

$\cos\phi$ : 0,95

Reemplazando en la fórmula:

$$P_{kw} = 50KVA \times 0,95$$

$$P_{kw} = 47,5kW$$

La potencia activa para el transformador de distribución de 50KVA a un factor de potencia igual a 0,95 es 47,5kW; por consiguiente, teniendo el valor de la potencia activa y las pérdidas, se calcula la eficiencia del transformador de distribución con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{P_{kw}}{P_{kw} + P_{fe} + P_{cond.total}} \times 100\%$$



Donde:

$n$ : Eficiencia del transformador (%).

$P_{kW}$ : Potencia activa del transformador (kW).

$P_{fe}$ : Pérdidas en el núcleo (kW).

$P_{cond.total}$ : Pérdidas totales en el conductor (kW).

Siendo los valores:

$$P_{kW} = 47,5 \text{ kW.}$$

$$P_{fe} = 182,04 \text{ kW.}$$

$$P_{cond.total} = 425,12 \text{ kW.}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$n = \frac{47500}{47500 + 182,04 + 425,12} \times 100\%$$

$$n = 98,74\%$$

La eficiencia del transformador de distribución de 50KVA es 98,74%.

## 9. Aceite dieléctrico del transformador de distribución

El aceite dieléctrico del transformador de distribución es de aislante mineral libre de PCB (bifenilo policlorado) que debe cumplir la norma IEC 296 “Especificaciones para aceites aislantes minerales utilizados para transformadores y subestaciones” y la Norma ASTM D3487-16: “Aceite mineral aislante utilizado en aparatos eléctricos”. Asimismo, se debe considerar los valores de las propiedades mostradas en la tabla 16.

Tabla 16: Propiedades del aceite de aislante mineral para transformadores.

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO ENSAYO	VALOR USUAL	VALOR LÍMITE
Clase	<b>U: Aceite para transformador no inhibido.</b>			
<b>FUNCIÓN</b>				
Viscosidad a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	10 - 11	< 12
Viscosidad a -30 °C	mm <sup>2</sup> /s	ISO 3104	950	< 1800
Punto de congelación	°C	ISO 3016	-45	< -40
Contenido de agua	mg/kg	IEC 60814	< 5 (puesta en servicio)	< 30 ( cisterna) < 40 ( bidón)
Tensión de ruptura eléctrica	kV	IEC 60156	> 60 (puesta en servicio)	> 30 (suministro)
Densidad a 20°C	g/ml	ISO 3675 o ISO 12185	0,840 – 0,880	< 0,895
Factor de disipación dieléctrica a 90°C		IEC 60247 o IEC 61620	< 0,002	< 0,005

Fuente: [https://www.hcenergia.com/recursos/doc/Conocenos/Distribucion/Especificaciones\\_tecnicas/Subestaciones\\_y\\_CR/1880252968\\_2882013105258.pdf](https://www.hcenergia.com/recursos/doc/Conocenos/Distribucion/Especificaciones_tecnicas/Subestaciones_y_CR/1880252968_2882013105258.pdf)

Para esta investigación se ha seleccionado un aceite mineral no inhibido (sin aditivo que retarda la oxidación) de la marca Repsol de denominación Electra 3, el cual presenta las siguientes características que se encuentran dentro del rango permitido sobre sus propiedades y tiene un precio de \$396,45 por cilindro de 208 litros.

Tabla 17: Características del aceite mineral no inhibido Repsol Electra 3.

Principales características	
Propiedades	Valor Típico
Viscosidad a 40°C	10,3 cSt
Punto de congelación	-48°C
Factor pérdidas dieléctricas a 90 °C	0,00066
Tensión de ruptura dieléctrica	>70 kV
Calor específico a 20 °C	2,2 J/g.K

Fuente: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/10008835.pdf>

Tabla 18: Cotización de cilindro de 208 litros de aceite mineral Repsol Electra 3

Código	Descripción	Presentación	Volumen x Envase	Cant.	Valor Und S/IGV	Valor Und C/IGV
RP333E08	RP ELECTRA 3	Cilindro de 208 Lt.	208	10	335.97	396.45

Fuente: Repsol S.A.

Seleccionado el aceite dieléctrico mineral, se necesita calcular el volumen y el peso del mismo, para ello se requiere determinar la cantidad aproximada de aceite dieléctrico contenida en el tanque del transformador, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$V_{aceite} = V_{tanque} - V_{total\ del\ núcleo} - 3V_{cond\ BT} - 3V_{cond\ AT} - V_{aire\ comprimido}$$

$$V_{aceite} = 156366,6cm^3 - 18027,6cm^3 - 3(1717.55cm^3) - 3(2105.12cm^3) - (5cm \times 36,71cm \times 70,98cm)$$

$$V_{aceite} = 113842,61cm^3 \approx 0,1138m^3 \approx 113,84\ litros$$

Teniendo calculado el volumen total del aceite dieléctrico, se calcula el peso aproximado del aceite teniendo en cuenta la densidad del aceite según la tabla 19, el cual muestra los valores típicos del aceite mineral.

Tabla 19: Valores típicos del aceite mineral.

Propiedad	Valores
Densidad	a 15° C, valor máximo 0,890g/cm <sup>3</sup>
	a 20° C, valor máximo 0,887g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad	a 40° C 9,2 cSt
	a 100°C 2,3 cSt
Color	Incoloro
Apariencia	Clara y limpia
Punto de inflamación	Valor mínimo a 140° C
Genizas	Inapreciables
Azufre corrosivo	Exento
Índice de saponificación	Valor máximo 0,10 mg KOH/g de aceite
Punto de Combustión	165° C
Conductividad térmica	a 25° C -2,4 W/m K

Fuente: <https://docplayer.es/31207159-Guissela-andrea-rebolledo-lozano.html>

La tabla 19 muestra una densidad de 0,887g/cm<sup>3</sup> a una temperatura ambiente de 20°C, entonces el peso total aproximado del aceite dieléctrico es:

$$W_{aceite} = V_{aceite} \times 0,887 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{aceite} = 113842,61 \text{ cm}^3 \times 0,887 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{aceite} = 100978,4 \text{ g} \approx 100,98 \text{ kg}$$

## 10. Peso total del transformador

El peso total del transformador está conformado por la sumatoria de los pesos del tanque, aceite dieléctrico, conductor de baja tensión, conductor de alta tensión, núcleo y accesorios. A continuación, se muestra los valores calculados anteriormente para luego calcular el peso total del transformador:

$$W_{aceite} = 100,98 \text{ kg}$$

$$W_{tanque} = 15,27 \text{ kg}$$

$$W_{cond.BT} = 19,05 \text{ kg}$$

$$W_{cond.AT} = 23,43$$

$$W_{núcleo} = 137,91 \text{ kg}$$

$$W_{accesorios} = 8 \text{ kg}$$

Se realiza la sumatoria de todos los pesos para calcular el peso total del transformador.

$$W_{total \text{ del transformador}} = 100,98 + 15,25 + 19,05 + 23,43 + 137,91 + 8$$

$$W_{total \text{ del transformador}} = 304,62 \text{ kg.}$$

El peso total del transformador de distribución de 50KVA es 304,64kg.

## 11. Resumen de los valores calculados

Tabla 20: Resumen de los valores calculados del diseño del transformador de distribución de 50KVA con conductores eléctricos de aluminio.

ITEM	DESCRIPCION	DEVANADO	
		B.T.	A.T.
1	Intensidad de corriente (A)	125,5	2,89
2	Número de vueltas	46	2059
3	Sección del conductor (mm <sup>2</sup> )	70	1,6
4	Dimensiones del conductor	7mm x 10mm	1mm x 1,16mm

5	Número de capas	3	24
6	Vueltas por capa	16	86
7	Espesor del devanado (cm)	2,1	2,4
8	Altura del devanado (cm)	16	13,76
9	Longitud del conductor (m)	24,53	1315,7
10	Peso del conductor (kg)	19,05	23,43
11	Resistencia del conductor a 20°C ( $\Omega$ )	0,0099	23,35
12	Resistencia del conductor a 75°C ( $\Omega$ )	0,0120	28,23
13	Pérdidas del conductor (watts) a 20°C	156,71	195,05
14	Pérdidas del conductor (watts) a 75°C	189,32	235,8
		<b>NÚCLEO</b>	
15	Densidad de flujo (B)	16000	
16	Sección transversal del núcleo (cm <sup>2</sup> )	119,64	
17	Área física del núcleo (cm <sup>2</sup> )	123,34	
18	Lado mayor de la sección transversal del núcleo (cm)	15,93	
19	Lado menor de la sección transversal del núcleo (cm)	7,86	
20	Altura de ventana del núcleo (cm)	19,65	
21	Ancho de arcada grande (cm)	11,38	
22	Ancho de arcada chica (cm)	5,59	
23	Altura del núcleo (cm)	27,51	
24	Longitud del núcleo (cm)	65,38	
25	Peso del núcleo (kg)	137,91	
26	Volumen total del núcleo (cm <sup>3</sup> )	18027,6	
27	Pérdidas en el núcleo (watts)	182,04	
		<b> AISLAMIENTOS MAYORES </b>	
28	Tubo de papel (cm)	0,09	
29	Ducto de aceite (cm)	0,3	
30	Cilindro de cartón (cm)	0,1	
31	Envolvente (cm)	0,1	
32	Separación núcleo - devanado (cm)	0,2	
33	Separación devanado - devanado (cm)	0,6	
		<b>TANQUE</b>	
34	Volumen de aceite dieléctrico (litros)	113,84	
35	Peso del aceite dieléctrico (kg)	100,98	
36	Peso del tanque (kg)	15,27	
37	Peso aprox. Accesorios (kg)	8	
38	Altura (cm)	60,01	
39	Ancho (cm)	70,98	
40	Espesor (cm)	36,71	
		<b>TRANSFORMADOR</b>	
41	Altura (cm)	100,01	
42	Ancho (cm)	70,98	
43	Espesor (cm)	36,71	
44	Peso total (kg)	304,62	

45	VCC (%)	3%
46	Nivel de aislamiento BIL	95
47	Eficiencia del transformador (%)	98,74%

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1 Pruebas realizadas

Las pruebas realizadas en esta investigación fueron aplicadas a la parte más importante del transformador trifásico de distribución, el cual es la parte activa que cuenta con un núcleo trifásico acorazado enrollado y sus devanados de aluminio de tipo concéntricos de baja y alta tensión, estas pruebas se realizaron para determinar la eficiencia del transformador de distribución; a su vez para poder determinar las pérdidas en el núcleo, pérdidas en los conductores eléctricos de aluminio, resistencias en los conductores eléctricos y sus secciones correspondientes. Las pruebas que se realizaron fueron las siguientes:

- a. Para determinar las secciones de los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión fue necesario analizar las resistividades de un conductor eléctrico de cobre con un conductor eléctrico de aluminio con respecto a sus conductividades eléctricas, a su vez se consideró que sus longitudes sean iguales y estén a una intensidad de corriente constante, esta prueba se realizó para determinar la sección del conductor eléctrico de aluminio con respecto a uno de cobre.
- b. Para determinar la resistencia de los conductores eléctricos de aluminio fue necesario requerir la resistividad del aluminio como materia prima, también la sección de los conductores de baja y alta tensión determinados en el estudio y las longitudes total de cada conductor eléctrico de baja y alta tensión.
- c. Para calcular las pérdidas en el transformador de distribución fue necesario conocer las pérdidas en el núcleo que son determinadas en la prueba en vacío y las pérdidas en los conductores que son determinadas en la prueba de cortocircuito; sin embargo por no contar con las herramientas necesarias para realizar dichas pruebas, se optó por calcularlas teóricamente gracias a un procedimiento que permite calcular valores aproximados de las pérdidas en el núcleo y las pérdidas en los conductores eléctricos.
- d. Con respecto a las pérdidas en el núcleo, se diseñó un núcleo de tipo acorazado enrollado según el requerimiento de Luz del Sur para su correcta selección, asimismo se calculan las pérdidas que se generan en el núcleo por medio de su peso total y la curva de pérdidas del acero silicoso, cabe mencionar que estas curvas determinaron las pérdidas en Watts por cada kilogramo que pesa el núcleo.
- e. Con respecto a las pérdidas en los conductores, se diseñó los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión teniendo en cuenta la resistencia a una temperatura máxima de 75°C, el cual indica los requerimientos técnicos de Luz del Sur, para que con el producto del cuadrado de la intensidad de corriente que circula en cada

conductor eléctrico se pueda calcular las pérdidas en los conductores eléctricos de baja y alta tensión (Efecto Joule).

- f. Para el cálculo de la eficiencia del transformador fue necesario conocer la potencia activa, potencia que emite el transformador a plena carga, el cual se calcula mediante el producto de la potencia aparente con el factor de potencia, este factor de potencia es una referencia normalizada por Luz del Sur; así como también fue necesario de las pérdidas del núcleo y las pérdidas en los conductores de aluminio.

Finalmente, las pruebas realizadas serán comparadas con los datos proporcionados de la muestra de la investigación, el cual menciona los requerimientos técnicos que Luz del Sur determina para la aceptación y selección de un transformador de distribución en sus proyectos de electrificación masiva. La tabla 21 hace referencia al resumen de los valores de las pruebas realizadas.



Tabla 21: Resumen de los valores de las pruebas realizadas.

DESCRIPCIÓN	PRUEBA REALIZADA	RESULTADO DE LA PRUEBA
Sección del conductor	Se igualan las conductividades eléctricas de un conductor de aluminio con respecto a uno de cobre y se considera longitudes iguales e intensidad de corriente constante.	La sección de un conductor eléctrico de aluminio es 63% mayor con respecto a un conductor eléctrico de cobre.
Resistencia de los conductores eléctricos	Las resistencias de los conductores eléctricos de aluminio fueron calculadas teóricamente por medio de la resistividad del aluminio, la sección y longitud de los conductores.	Las resistencias de los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión son $0,012\Omega$ y $28,23\Omega$ respectivamente
Pérdidas en el transformador	Para las pérdidas en el núcleo están determinadas teóricamente por medio de su peso total y la curva de pérdidas del acero silicoso	Las pérdidas en los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión son $189,32W$ y $235,8W$ respectivamente. También las pérdidas en el núcleo son $182,04W$
	Las pérdidas en el conductor eléctrico fueron calculadas teóricamente por medio de la fórmula de Efecto Joule a una temperatura máxima de $75^{\circ}C$ .	
Eficiencia del transformador	Se calcula teóricamente mediante la potencia activa del transformador, factor de potencia proporcionado por Luz del Sur y las pérdidas del transformador.	La eficiencia del transformador de distribución con conductores eléctricos de aluminio es 98,74%

Fuente: Elaboración propia.

### **4.3 Población y muestra**

La investigación tiene como población y muestra un número determinado de transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV de tipo convencional que la empresa TECSUR S.A. ha instalado en proyectos de electrificación masiva que Luz del Sur ha proyectado entre los años 2018 y 2019.

#### **Población**

Para la investigación se asigna una población de 40 transformadores de distribución de 50KVA instalados en proyectos de electrificación masiva ejecutados entre los años 2018 y 2019 por la empresa Luz del Sur.

Hernández, Fernández y Baptista (2006) indican que la población es un conjunto de todos los casos que concuerden con una determinada especificación donde se recolectan datos. (p, 239).

#### **Muestra**

La investigación tiene como muestra 7 protocolos de pruebas de transformadores de distribución de donde se recolectan datos que manifiestan las características eléctricas y de diseño de los transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV de tipo Convencional, los cuales han sido implementados en 7 proyectos de electrificación masiva que Luz del Sur realizó entre los años 2018 y 2019 en la provincia de Lima.

Hernández, Fernández y Baptista (2006) indican que la muestra es un subgrupo de la población del cual se recolectan datos para la representación de dicha población. (p, 236).

En la siguiente tabla se muestra las características eléctricas, de diseño y la información general de la muestra, éstos fueron proporcionados por medio de los Protocolos de los transformadores de distribución, los cuales fueron instalados en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

Tabla 22: Características eléctricas, de diseño e información de 7 transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACION MASIVA DE LUZ DEL SUR	AAHH SECTOR QUEBRADA 2000 GRUPO II RINCONADA	ASOC.DE POBLADORES ABRAHAM VALDELOMAR	AAHH.VIRGEN DE LA CANDELARIA	ASOC.DE PROP. DE VIVIENDA SAN SILVESTRE	AAHH. BUENA VISTA DEL PARAISO	ASOC.DE VIVIENDA EL VALLECITO DE LA ERA	ASOC.DE VIVIENDA EL VALLECITO DE LA ERA
SOLICITUD DE SERVICIO TERCEARIZADO - SST	1667951	1728808	1842343	1852950	1863179	1751066	1751066 II
AÑO DE EJECUCION DEL PROYECTO	2018	2018	2019	2019	2019	2018	2019
DISTRITO	S.J.M.	ATE VITARTE	V.M.T.	CHOSICA	V.M.T.	V.M.T.	V.M.T.
TIPO	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
KARDEX	400-00414	420-00095	400-03200	400-01897	102-07953	400-02039	420-02926
MARCA	ABB	DELCROSA	ABB	ABB	BBC	ABB	MAGNETRON
AÑO DE FABRICACION	1995	1995	1999	1995	1988	1997	1998
POTENCIA (KVA)	50	50	50	50	50	50	50
TENSION PRIMARIO (KV)	10	10	10	10	10	10	10
TENSION SECUNDARIO (KV)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
CORRIENTE PRIMARIO (A)	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
CORRIENTE SECUNDARIO (A)	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5	125.5
TAPS $\pm 2.5\%$ , $\pm 5\%$	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dy5	Dy5
FRECUENCIA (HZ)	60	60	60	60	60	60	60
DIMENSION H (cm)	110	108	102	110	121	102	101
DIMENSION A (cm)	51	48	48	70	50	48	66
DIMENSION L (cm)	73	82	83	80	89	80	104
PESO TOTAL (Kg)	375	340	350	380	470	280	353
PERDIDAS EN EL HIERRO (W)	100.2	348	206.99	69.1	13.2	79.7	40.1
PERDIDAS EN EL COBRE (W)	389.45	328	221.99	449.27	334.62	359.36	223.66
PERDIDAS TOTALES (W)	489.65	676	428.98	518.37	347.82	439.06	263.76
EFICIENCIA %	0.99021	0.98648	0.99142	0.98963	0.99304	0.99122	0.99472
POTENCIA UTIL (KVA)	49.515	49.333	49.575	49.487	49.655	49.565	49.738
TIPO DE ENFRIAMIENTO	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN
TEMPERATURA MÁX. EN DEVANADOS	75°C	75°C	75°C	75°C	75°C	75°C	75°C
AÑO DE INSTALACIÓN	2018	2018	2019	2019	2019	2018	2018
PESO DEL ACEITE (KG)	80	110	75	110	125	70	86

Fuente: Elaboración propia.

### **Tipo de muestreo**

Según la muestra de la investigación, que son los protocolos de pruebas de los transformadores de distribución, los cuales especifican las características de los transformadores de distribución instalados en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur; para nuestro caso, se utiliza un muestreo de tipo no probabilístico debido a que se recoge las características más específicas y resaltantes de la población para el interés de esta investigación.

Hernández, Fernández y Baptista (2006) indican que el muestreo no probabilístico determina que los elementos de la muestra no dependen de la probabilidad, sino de las características de la investigación o de quien realiza la muestra, el procedimiento no es mecánico y tampoco existen fórmulas de probabilidad. (p, 241).


#### **4.4 Técnicas de recolección de datos**

Para la recolección de datos se utiliza la técnica Análisis Documental porque la información necesaria para la recolección de datos para esta investigación ha sido obtenida por medio de registro de datos de investigaciones realizadas anteriormente por otros autores, los cuales son los protocolos de pruebas de transformadores de distribución.

La técnica documental sirve para la revisión de una gran variedad de fuentes de información y obtener información necesaria que permita construir un marco teórico y conceptual para la investigación. (Niño, 2011).

A Continuación, se muestra el formato de los protocolos de pruebas, en donde se aprecia toda la información necesaria de un registro de datos que se ha realizado a los transformadores de distribución.

Tabla 23: Formato de protocolo de pruebas de transformadores de distribución.

	<b>FORMATO</b>		Código : F09-PO-REC-007										
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>		Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1										
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b>													
<b>ACEITE : X</b>		<b>O.P</b>											
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>													
Marca :	Potencia :	Refrigeración :											
Número de Serie :	Relac. Transformación :	Altitud :											
Tipo :	Relac. Corriente :	Montaje :											
Año de Fabricación :	Grupo de Conexión :	Nivel Aislamiento AT :											
Norma :	Tcc ( % ) :	Nivel Aislamiento BT :											
Tipo de aislador :	Kardex :	Peso del aceite :											
Frecuencia :	Taps :	Peso :											
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>													
DENOMINACION			AT - BT										
M - Ohmios													
VDC													
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>													
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )							
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w									
1													
2													
3													
4													
5													
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>				KV	ACEITE								
					NUEVO								
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER L-200 :</b>				T amb. ( °C )	METODO	PPM							
					AROCLORO 1242	MUESTRA							
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>													
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			Cw = 1		
	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3	TOTAL			
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido 3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido 3	WT Cálculo			
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T				
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>													
ARROLLAMIENTO DE BT			T amb. = 21 °C	ARROLLAMIENTO DE AT			T amb. = 21 °C						
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA						
u - n	mV	A	mΩ	U - V	V	A	Ω						
v - n	mV	A	mΩ	V - W	V	A	Ω						
w - n	mV	A	mΩ	W - U	V	A	Ω						
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>													
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			Cw = 1	Pcu (%)	Tcc (%)
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	WATTS		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido 3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido 3				
	VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T				
<b>8.- RESUMEN :</b>				STANDARD	MEDIDO	LIMITES	CALCULADO						
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )				220		P(fe)= + 14.29	%						
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )				1000		P(cu)= + 14.29	%						
Tcc a 75 °C ( % )						Σp(w) = 1220	W						
Io a Vnom, Fnom ( % )						Σp(w) %P(kva)= 1.82	%						
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )						P(kva)= 98.18	%						
Tcc a 20 °C ( % )						P(KVA)UTIL= 49.090	P(KVA)UTIL=						
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 110 cm; A= 51cm; L= 73cm</b>													
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)													
POTENCIA UTILAL % = KVA													
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)													
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA						DEPARTAMENTO TECNICO							
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO			Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ			Revisado Por:	ING. MARCO CHAVEZ				
Fecha :				Fecha :				Fecha :					
Firma:				Firma:				Firma:					

Fuente: Tecsurs S.A.

#### **4.5 Instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos de esta investigación se recurre al instrumento Cuestionario, porque por medio de este instrumento se puede recolectar la información necesaria gracias a las preguntas que se rigen básicamente a las características de la muestra. En el caso de esta investigación, las características de la muestra son las especificaciones técnicas requeridas por Luz del Sur para la aceptación de transformadores de distribución que se muestran en los protocolos de pruebas de transformadores de distribución.

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso que el investigador utiliza para que pueda aproximarse a los fenómenos de la investigación y poder extraer información. (Sabino, 1996).

A continuación, se muestra el cuestionario que hace referente a la recolección de datos según las características de la muestra seleccionada.

Tabla 24: Cuestionario.

<b>INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS (CUESTIONARIO)</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPUESTA</b>
<b>1</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el grupo de conexión de los transformadores de distribución?	
<b>2</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la frecuencia de los transformadores de distribución?	
<b>3</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las alturas de los transformadores de distribución?	
<b>4</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los espesores de los transformadores de distribución?	
<b>5</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los anchos de los transformadores de distribución?	
<b>6</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los pesos específicos de los transformadores de distribución?	
<b>7</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas en el núcleo de los transformadores de distribución?	
<b>8</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas en el conductor de los transformadores de distribución?	
<b>9</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas totales de los transformadores de distribución?	
<b>10</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las eficiencias de los transformadores de distribución?	
<b>11</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el tipo de enfriamiento de los transformadores de distribución?	
<b>12</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los taps de los transformadores de distribución?	
<b>13</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las temperaturas máximas de los devanados?	
<b>14</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la tensión primaria del transformador de distribución?	
<b>15</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la tensión secundaria del transformador de distribución?	
<b>16</b>	De acuerdo a la muestra ¿En qué año fueron instalados los transformadores de distribución?	
<b>17</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las marcas de los transformadores de distribución?	
<b>18</b>	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el peso del aceite de los transformadores de distribución?	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.1 Validez

Para determinar la validez del instrumento de la investigación se aplica el método de validez de contenido por juicio de expertos.

(Hernández Nieto, 2002), el coeficiente de validez por contenido CVC permite valorar el grado de validez de acuerdo a expertos; para ello, tras la aplicación de una escala tipo Likert (permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad) se calcula la media obtenida en cada uno de los ítems y, en base a esta, se calcula el CVC para cada elemento.

Los valores del CVC varían de 0 a 1, en donde los niveles de validez son: Excelente (para valores de 0.9 - 1), Buena (para valores de 0.8 - 0.89), Aceptable (para valores de 0.71 - 0.79), Deficiente (para valores de 0.61 - 0.70) e Inaceptable (para valores de 0 - 0.60).

Tabla 25: Validación del instrumento por juicio de expertos.

Experto	Número de ítems	CVC
Exp. 1	9	0.87

Fuente: Elaboración propia.

Según Hernández Nieto (2002) para los valores que se encuentren dentro de 0.80-0.89 se determina que el nivel de validez es Buena; para nuestro caso, el coeficiente de validez de contenido por juicio de expertos CVC es igual a 0.87, donde se concluye que el instrumento es válido.

#### 4.5.2 Confiabilidad

El análisis fue realizado con la finalidad de medir el grado de confiabilidad del instrumento; para el cual se aplicó una serie de preguntas para cada característica de la muestra. El instrumento fue evaluado con el coeficiente de confiabilidad de Kuder Richardson KR20.



Kuder Richardson (1937), la confiabilidad para una prueba con variables binarias o dicotómicas (Si = 1 y No = 0) se refiere a qué tan consistentes son los resultados de la prueba.

Los valores de KR-20 varían de 0 a 1, en donde los niveles de confiabilidad son: alta (para valores de 0.9 - 1), fuerte (para valores de 0.76 - 0.89), moderada (para valores de 0.50 - 0.75) y baja (para valores de 0 - 0.49).

Tabla 26: Análisis del Coeficiente de Confiabilidad de Kuder Richardson KR20.

<b>Casos</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Válidos	7	100%
Excluidos	0	0
Total	7	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Estadística de Fiabilidad.

<b>KR20</b>	<b>Número de ítems</b>
0.50	18

Fuente: Elaboración propia.

Según Kuder Richardson (1937) para los valores que se encuentren dentro de 0.50 – 0.70 se determina que el nivel de confiabilidad es Moderada; para nuestro caso, el coeficiente de confiabilidad KR20 es igual a 0.5, donde se concluye que el instrumento es confiable.

#### **4.6 Resultados**

Realizada las pruebas para alcanzar los objetivos de esta investigación, se realiza una tabla donde se muestra los parámetros que fueron identificados en cada objetivo específico de la investigación, a su vez estos valores calculados mediante la metodología de investigación son comparados con la muestra presentada para su validación debido a que los valores de la muestra han sido tomados de transformadores aceptados y seleccionados por Luz del Sur en sus proyectos de electrificación masiva.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos según los objetivos trazados en la investigación.

Tabla 28: Resultados obtenidos según los objetivos de la investigación.

ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Dimensiones del conductor de baja tensión	7mm x 10mm
Dimensiones del conductor de alta tensión	1mm x 1,16mm
Resistencia del conductor de baja tensión a 75°C ( $\Omega$ )	0,012
Resistencia del conductor de alta tensión a 75°C ( $\Omega$ )	28,23
Pérdidas del conductor de baja tensión a 75°C (watts)	189,32
Pérdidas del conductor de alta tensión a 75°C (watts)	235,8
Pérdidas en el núcleo (watts)	182,04
Eficiencia del transformador (%)	98,74%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 28 muestra los valores de las dimensiones, resistencias y pérdidas de los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión, también muestra las pérdidas en el núcleo y por último la eficiencia del transformador, de la tabla se determina lo siguiente.

- Las secciones de los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión son  $70mm^2$  y  $1,6mm^2$  respectivamente, según la investigación fue necesario que, para no generar mayor resistencia eléctrica en los conductores eléctricos de aluminio con respecto a los de cobre, las secciones de los conductores eléctricos de aluminio tengan una dimensión equivalente al 63% con respecto a la sección de los conductores eléctricos de cobre.
- Las resistencias de los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión son  $0,012\Omega$  y  $28,23\Omega$  respectivamente, estos valores fueron calculados con una temperatura máxima a plena carga normalizada para Luz del Sur de 75°C.
- Las pérdidas en los conductores eléctricos de aluminio de baja y alta tensión son 189,32W y 235,8W respectivamente; aquellos valores fueron calculados teóricamente por medio de la fórmula del efecto Joule. También las pérdidas en el núcleo del transformador de distribución son 182,04W; los cuales fueron calculados teóricamente por el peso total del núcleo trifásico de tipo acorazado enrollado y un valor determinado de la curva de pérdidas del acero al silicio.

- La eficiencia del transformador de distribución es 98,74%; este valor fue producto de las pérdidas generadas en el núcleo de tipo acorazado enrollado y las pérdidas en los conductores eléctricos de aluminio a un factor de potencia de 0,95.

Para alcanzar el objetivo general que es describir el estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur, es determinante que los valores del diseño de investigación se encuentren dentro de los valores máximos permitidos por Luz del Sur y referenciados por la muestra; de ser así, la investigación demostrará que la metodología del presente estudio es factible para diseñar un transformador de distribución con conductores eléctricos de aluminio y ser implementado en los proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur. A continuación, se muestra la tabla donde se muestra las especificaciones requeridas de Luz del Sur para la aceptación de transformadores de distribución y sus valores máximos permitidos, a su vez se muestra los valores que se seleccionaron de la muestra y los valores del diseño de la investigación.

Tabla 29: Especificaciones técnicas requeridas por Luz del Sur comparadas con los valores de la muestra y el diseño de investigación.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS REQUERIDAS POR LUZ DEL SUR PARA SU ACEPTACIÓN	LUZ DEL SUR	AAHH SECTOR QUEBRADA 2000 GRUPO II RINCONADA	ASOC.DE POBLADORES ABRAHAM VALDELOMAR	AAHH.VIRGEN DE LA CANDELARIA	ASOC.DE PROP. DE VIVIENDA SAN SILVESTRE	AAHH. BUENA VISTA DEL PARAISO	ASOC.DE VIVIENDA EL VALLECITO DE LA ERA	ASOC.DE VIVIENDA EL VALLECITO DE LA ERA	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dyn5	Dy5	Dy5	Dyn5
FRECUENCIA (HZ)	60	60	60	60	60	60	60	60	60
DIMENSIÓN ALTURA H (cm)	130	110	108	102	110	121	102	101	100,01
DIMENSIÓN ESPESOR A (cm)	69	51	48	48	70	50	48	66	36,71
DIMENSIÓN ANCHO L (cm)	85	73	82	83	80	89	80	104	70,98
PESO TOTAL (Kg)	NO ESPECIFICA	375	340	350	380	470	280	353	304,64
PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO (W)	230	100,2	348,00	206,99	69,1	13,2	79,7	40,1	182,04
PÉRDIDAS EN EL CONDUCTOR (W)	1000	389,45	328,00	221,99	449,27	334,62	359,36	223,66	425,12
PÉRDIDAS TOTALES (W)	1230	489,65	676,00	428,98	518,37	347,82	439,06	263,76	607,16
EFICIENCIA %	97,59%	99,02%	98,65%	99,14%	98,96%	99,30%	99,12%	99,47%	98,74%

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 29, con los valores máximos requeridos por Luz del Sur para la aceptación de transformadores de distribución, los valores de la muestra y los valores del diseño de la investigación se determina lo siguiente:

- El grupo de conexión del transformador trifásico del diseño de investigación y según el requerimiento de Luz del Sur es Dyn5, el cual permite que la componente de la tercera armónica sea consumida con la corriente que circula en el devanado primario por medio de la conexión Delta, asimismo se determina que la conexión Estrella en el devanado secundario es el que permite que las cargas desequilibradas puedan estar equilibradas gracias a su neutro.
- La frecuencia del diseño de investigación según la muestra y las especificaciones técnicas de Luz del Sur es estándar, a lo que se concluye que la red se encuentra a una frecuencia de 60Hz.
- Con respecto a las dimensiones del transformador, según el diseño de investigación los valores determinados para la altura, ancho y espesor del transformador son calculados mediante los procedimientos para calcular el núcleo, devanados, tanque y Bushings; es así que el resultado de las dimensiones del diseño se encuentra dentro de los valores máximos permitidos por Luz del Sur.
- Para el peso total del transformador, no está detallado cual es el valor máximo según las especificaciones técnicas de Luz del Sur; en consecuencia, se determina que el peso del transformador del diseño de investigación, según la muestra, está dentro de los valores permitidos.
- Las pérdidas en el núcleo calculadas en esta investigación se encuentran dentro de los valores máximos permitidos por Luz del Sur.
- Las pérdidas totales en el conductor de aluminio calculadas en esta investigación se encuentran dentro de los valores máximos permitidos por Luz del Sur, esto quiere decir que los conductores eléctricos de aluminio pueden reemplazar a los conductores eléctricos convencionales de cobre y ser implementados en los devanados de los transformadores de distribución de 50KVA 10kV/0,23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.
- Las pérdidas totales del transformador de distribución diseñado son 607,16W, el cual llega aproximadamente al 50% del valor máximo permitido para Luz del Sur.
- La eficiencia del transformador es 98,74%, el cual está dentro de los valores máximos permitidos por Luz del Sur, entonces se concluye que la eficiencia es óptima para la selección del transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber descrito los resultados de la investigación con respecto al diseño, pérdidas y eficiencia de un transformador de distribución con conductores eléctricos de aluminio; así como también la resistencia eléctrica de los conductores eléctricos de aluminio, se presenta la discusión de resultados.

Los resultados con respecto al diseño del transformador de distribución con conductores eléctricos de aluminio guardan relación con lo que fundamenta Canchumanya (2012), quien señala que para un diseño de un transformador trifásico de 1250KVA es significativo implementar, en la parte teórica, los elementos constructivos principales del transformador trifásico que son el núcleo, conductores eléctricos, aislamientos, aceite dieléctrico y aisladores; así como también describir las generalidades del transformador y las fórmulas que se utilizan en el diseño del transformador trifásico, para finalmente presentar los cálculos numéricos y el diseño del transformador. También guarda relación con Vizarreta (2006), quien establece que para el uso de conductores de aluminio es importante realizar un análisis de las características del aluminio y su aplicación como conductor eléctrico.

En lo que respecta a la eficiencia del transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV con conductores eléctricos de aluminio, el resultado no concuerda con lo que menciona Canchumanya (2012), puesto que el diseño del transformador trifásico se basa en el aspecto económico más no en el técnico y no calcula ni define a la eficiencia del transformador como un parámetro relevante para su investigación.

Con respecto a las pérdidas del transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV con conductores eléctricos de aluminio, el resultado no se aproxima al valor calculado por Canchumanya (2012), puesto que el cálculo de las pérdidas en el cobre del diseño del transformador trifásico de 1250KVA, para una entrada de 10kV y una salida de 0,23kV, fueron menores y las pérdidas en el núcleo fueron mayores a comparación del resultado calculado en el presente estudio; estos valores no guardan relación alguna por las diferentes capacidades de los transformadores.

Para lo referente a los resultados de la resistencia eléctrica de los conductores eléctricos de aluminio del transformador de distribución de 50KVA 10/0,23kV, no concuerda con los autores Canchumanya (2012), Vizarreta (2006) y Paz (2011); debido a que los estudios no calculan ni describen a la resistencia eléctrica como un parámetro relevante para sus investigaciones.

## VI. CONCLUSIONES

- El estudio de la implementación de transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur demuestra teóricamente que los valores calculados en el diseño del transformador se encuentran dentro de los valores permitidos proporcionados por Luz del Sur.
- Se determinó que la implementación de conductores eléctricos de aluminio influyó ligeramente en el cálculo de las pérdidas del conductor, debido a que el aluminio por ser un material que no se utiliza en transformadores de distribución de proyectos de electrificación masiva se supuso que las pérdidas debían ser elevadas con respecto a los de cobre, sin embargo por el análisis que se realizó con respecto a su resistencia y conllevar a que la sección del conductor eléctrico de aluminio deba ser 63% veces mayor a la del cobre para que las pérdidas se aproximen, este análisis hizo que las pérdidas no se elevaran considerablemente y se concluye que las pérdidas se encuentran dentro de los valores permitidos según los requerimientos técnicos de Luz del Sur.
- Se determinó que la resistencia de los conductores eléctricos de aluminio fueron significativos para que las pérdidas de los conductores no sean mayores a los valores máximos permitidos por Luz del Sur; a pesar que no se tiene ninguna referencia sobre los valores permitidos de la resistencia en conductores eléctricos, esto no fue impedimento para determinar que la resistencia de los conductores eléctricos de aluminio es considerablemente buena, los cuales tienen una proporción directa a las pérdidas del transformador.
- Se determinó que la eficiencia del transformador de distribución, pese a encontrarse entre los valores mínimos comparado con la muestra, es aceptable con respecto al valor mínimo permitido de los requerimientos por Luz del Sur.

Se concluye que la investigación demuestra teóricamente que los conductores eléctricos de aluminio con un análisis correspondiente a sus características eléctricas pueden comportarse como un buen material para transportar la energía eléctrica en transformadores de distribución implementados en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur como lo son los conductores eléctricos de cobre. Esta investigación mantiene vigente la implementación de diversos materiales alternativos que gracias a sus características eléctricas puedan innovar el terreno de las máquinas eléctricas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avelino, P. (2001). Transformadores de distribución. *Teoría, cálculo, construcción y pruebas* (2da. ED.). México. Reverte Ediciones S.A.C.
- Antonio, R. y Díaz, J. (2008). *Optimización aplicada al diseño y cálculo de un transformador de distribución* (Tesis de grado). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Brawman, Barrera, Rochín y Esquer. (2011). *Métodos de investigación* (3ra. ED.). Sonora, México: Autor.
- Canchumanya, V. (2012). *Diseño de un transformador trifásico 1250KVA 22,9-10/0,46-0,23kV potencia compartida para aplicaciones en subestaciones* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Chapman, S. (2000). *Máquinas eléctricas* (3ra. Ed). Buenos Aires, Argentina: Mc Graw Hill.
- Hernández, R. (2002). *Instrumentos de recolección de datos en ciencias sociales y ciencias biomédicas*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Hernández R., Fernández C. y Baptista (2006). *Metodología de la investigación* (4. Ed). México. Mc Graw Hill.
- Kuder, G. y Richardson, M. (1937). *The theory of the estimation of test reliability*. *Psychometrika*. 2 (3), 151 – 160.
- Luz del Sur. (2010). *Evaluación de solicitudes de electrificación y fijación de punto de diseño para sistemas de distribución LDS-PA-059*. Lima, Perú.
- Luz del Sur. (2011). *Especificaciones técnicas transformadores trifásicos y monofásicos de distribución 10/0,23kV DNC-ET-013d*. Lima, Perú.
- Medina, J. (2010). *Estudio integral para la recuperación de chatarra de aluminio* (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.



- Niño, Víctor. (2011). *Metodología de la investigación* (1ra.Ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Paz, A. (2011). *Análisis técnico económico de conductores eléctricos normalizados NYY y NAYY utilizados en redes subterráneas* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Preciado, G. y Rodas, J. (2015). *Diseño para la construcción de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Rodríguez, L. (2014). *Análisis integral de la operación de los cuartos de transformación eléctrica, plan de mejora de la facultad de medicina de la UCSG* (Tesis de grado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador.
- Sabino, C. (1996). *El proceso de investigación* (2da. Ed.). Argentina: Editorial: Hvmanitas.
- Sandoval, I. (2000). *Diseño de transformadores de distribución asistido por computador* (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Solano, J. (2005). *Mantenimiento de transformadores de potencia* (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Vizarreta, P. (2006). *Influencia de la corrosión sobre los conductores de aluminio en líneas de transmisión en 33kV* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Zimmermann, C. (2015). *Jornadas técnicas 2015*. Brasil: Autor.
- Zúñiga, J. (2016). *Cálculo de pérdidas en el diseño del núcleo de un transformador de distribución aplicando el método de los elementos finitos* (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín, Perú.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

#### “ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CONDUCTORES ELECTRICOS DE ALUMINIO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION DE 50KVA 10/0.23KV EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACION MASIVA DE LUZ DEL SUR, 2018 - 2019”

Bach. Gerson Omar Robledo Benitez

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES DE V.D.	INDICADORES DE V.D.	METODOLOGIA
¿Cómo es el estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?	Describir el estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.	El estudio permite implementar un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN	EFICIENCIA DEL TRANSFORMADOR  PÉRDIDAS DEL TRANSFORMADOR	POTENCIA ACTIVA  PERDIDAS EN EL CONDUCTOR ELECTRICO  PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO	<p><b>Tipo de investigación:</b> Tipo descriptivo.</p> <p><b>Método de investigación:</b> Método analítico.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Diseño cuasi-experimental.</p> <p><b>Población:</b> Proyectos de electrificación masiva ejecutado por la empresa Luz del Sur en los años 2018-2019.</p>
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES DE V.I.	INDICADORES DE V.I.	<p><b>Muestra:</b> Protocolos de pruebas de transformadores de distribución de 50KVA 10/0,23kV de tipo convencional.</p> <p><b>Tipo de muestreo:</b> Muestreo no probabilístico.</p> <p><b>Técnica de recolección de datos:</b> Análisis documental.</p> <p><b>Instrumento de recolección de datos:</b> Cuestionario.</p>
1. ¿Cuánto es la eficiencia de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?	1. Determinar la eficiencia de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.	1. Un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio presenta una buena eficiencia en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.	CONDUCTORES ELECTRICOS DE ALUMINIO	SECCIÓN DEL CONDUCTOR  RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL CONDUCTOR	INTENSIDAD DE CORRIENTE  CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA  DENSIDAD DE CORRIENTE  RESISTIVIDAD ELÉCTRICA  LONGITUD DEL CONDUCTOR	
2. ¿Cuánto son las pérdidas de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur?	2. Determinar las pérdidas de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.	2. Un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV con conductores eléctricos de aluminio genera pérdidas permitidas en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur.				
3. ¿Cuánto es la resistencia eléctrica y la sección de los conductores eléctricos de aluminio de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV?	3. Determinar la resistencia eléctrica y la sección de los conductores eléctricos de aluminio de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV.	3. La sección de los conductores eléctricos de aluminio de un transformador de distribución de 50KVA 10/0.23kV presenta una baja resistencia eléctrica.				

## Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

### Cuestionario



#### UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

“ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE ALUMINIO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE 50KVA 10/0.23KV EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN MASIVA DE LUZ DEL SUR, 2018 - 2019”

#### CUESTIONARIO

Estimado colaborador me encuentro interesado en conocer las características necesarias para la implementación de transformadores de distribución en proyectos de electrificación masiva según una muestra tomada con referencia a datos registrados anteriormente en sus protocolos de pruebas correspondientes, por lo que tus respuestas serán de mucha utilidad para evaluar los criterios necesarios y poder describir la factibilidad de utilizar conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución para proyectos de electrificación masiva. La información es totalmente anónima, por lo que agradecemos responder con sinceridad a cada pregunta.

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESPUESTA
1	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el grupo de conexión de los transformadores de distribución?	
2	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la frecuencia de los transformadores de distribución?	
3	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las alturas de los transformadores de distribución?	
4	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los espesores de los transformadores de distribución?	
5	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los anchos de los transformadores de distribución?	
6	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los pesos específicos de los transformadores de distribución?	
7	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas en el núcleo de los transformadores de distribución?	
8	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas en el conductor de los transformadores de distribución?	
9	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las pérdidas totales de los transformadores de distribución?	
10	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las eficiencias de los transformadores de distribución?	
11	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el tipo de enfriamiento de los transformadores de distribución?	
12	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son los taps de los transformadores de distribución?	
13	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las temperaturas máximas de los devanados?	
14	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la tensión primaria del transformador de distribución?	
15	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es la tensión secundaria del transformador de distribución?	
16	De acuerdo a la muestra ¿En qué año fueron instalados los transformadores de distribución?	
17	De acuerdo a la muestra ¿Cuáles son las marcas de los transformadores de distribución?	
18	De acuerdo a la muestra ¿Cuál es el peso del aceite de los transformadores de distribución?	

Fuente: Elaboración propia.

## Prueba sobre las características de los protocolos de pruebas de transformadores de distribución

Marque SI o NO según la información de la muestra.

ITEM	DESCRIPCIÓN	RESPUESTA	
		SI	NO
P1	¿El grupo de conexión es diferente a la que indica Luz del Sur?		
P2	¿La frecuencia es igual a la que indica Luz del Sur?		
P3	¿La altura del transformador es mayor a 130cm?		
P4	¿El espesor del transformador es menor o igual a 69cm?		
P5	¿El ancho del transformador es menor o igual a 85cm?		
P6	¿El transformador tiene un peso especificado según Luz del Sur?		
P7	¿Las pérdidas en el núcleo son mayores a 230W?		
P8	¿Las pérdidas en el conductor son mayores a 1000W?		
P9	¿Las pérdidas totales del transformador son menores o iguales a 1230W?		
P10	¿La eficiencia del transformador es mayor o igual a 97,59%?		
P11	¿El tipo de enfriamiento del transformador es onan?		
P12	¿El transformador presenta taps?		
P13	¿La temperatura máxima de los devanados es mayores a 75°C?		
P14	¿La tensión primaria del transformador es 10kV?		
P15	¿La tensión secundaria del transformador es 230V?		
P16	¿El transformador fue instalado en el año 2018?		
P17	¿La marca del transformador instalado es ABB?		
P18	¿El peso del aceite del transformador es menor a 100kg?		

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 3. Formato de Validación de Expertos

#### Matriz de Validación de Experto

"ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE ALUMINIO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE 50KVA 10/0.23KV EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN MASIVA DE LUZ DEL SUR, 2018 - 2019"

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del informante :  
 1.2 Cargo e institución donde labora :  
 1.3 Nombre del instrumento sujeto a validación :  
 1.4 Autor del instrumento :

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 0 - 20				REGULAR 21 - 40				BUENA 41 - 60				MUY BUENA 61 - 80				EXCELENTE 81 - 100			
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. claridad	Está redactado con lenguaje apropiado																				
2. objetividad	Está expresado en capacidades observables																				
3. actualidad	Está acorde a los aportes recientes en la disciplina de estudio																				
4. organización	Existe una organización lógica en la presentación de ítems																				
5. suficiencia	Comprende los aspectos de cantidad y calidad																				
6. intencionalidad	Es adecuado para valorar la variable seleccionada																				
7. consistencia	Basado en aspectos teóricos y científicos																				
8. coherencia	Con las variables de investigación																				
9. metodología	La estrategia responde al propósito de investigación																				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: .....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 20 de agosto del 2020

-----  
Firma del experto

## Anexo 4. Pruebas de Validez y Confiabilidad

### Validez de contenido por juicio de expertos

ITEM	EXPERTOS	Sx1	Mx	CVC
	EXP. 1			
1	85	85	0.85	0.85
2	85	85	0.85	0.85
3	80	80	0.8	0.80
4	90	90	0.9	0.90
5	90	90	0.9	0.90
6	85	85	0.85	0.85
7	90	90	0.9	0.90
8	90	90	0.9	0.90
9	85	85	0.85	0.85
<b>PROMEDIO</b>				<b>0.87</b>

Donde:

- Sxi** Sumatoria de los puntajes asignados  
**Mx** Valor máximo de la escala utilizada por los jueces  
**CVC** Coeficiente de validez de contenido

Fuente: Elaboración propia.

## Prueba de confiabilidad con Kuder Richardson (KR20)

ESCALA DE VALORES																			
1=SI									0=NO										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	TOTAL
1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	11
2	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	12
3	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	10
4	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	8
5	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	9
6	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	12
7	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	12

SUMA	2	7	0	6	5	0	1	0	7	7	7	7	0	7	7	4	3	4
P	0.29	1.00	0.00	0.86	0.71	0.00	0.14	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.57	0.43	0.57
Q	0.71	0.00	1.00	0.14	0.29	1.00	0.86	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.43	0.57	0.43
PQ	0.20	0.00	0.00	0.12	0.20	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.24	0.24
SUMA(PQ)	1.39																	
K	18																	
St	2.62																	
1ra Parte	1.06																	
2da Parte	0.47																	
<b>KR20</b>	<b>0.50</b>																	
<b>Confiabilidad Favorable o Moderado</b>																		


Donde:

- SUMA Sumatoria de respuestas positivas
- P Porcentaje de respuesta positiva
- Q Porcentaje de respuesta negativa
- PxQ Producto de porcentajes positivos y negativos
- SUMA(PxQ) Sumatoria de PxQ
- K Número de reactivos o ítems del instrumento = 18 preguntas
- St Varianza total del instrumento
- 1ra Parte  $K / (K-1)$
- 2da Parte  $St - SUMA(PxQ) / St$

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 5. Protocolos de pruebas de transformadores de distribución


### Protocolo de pruebas de transformador de distribución AAHH Sector quebrada 2000 grupo rinconada -SJM- Sst 1667951

	<b>FORMATO</b>				Código : F09-PO-REC-007										
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>				Versión : 02										
				Aprobado: GL	Fecha : 14/08/2013										
				Página : 1 de 1											
<b>PR_TD_426_2017</b>															
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b>		<b>ACEITE : X</b>		<b>O.P</b>											
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>															
Marca	ABB	Potencia	50 KVA	Refrigeración	ONAN										
Número de Serie	L-21642	Relac. Transformación	10000 / 230 V	Altitud	1000 m.s.n.m										
Tipo	Convencional	Relac. Corriente	2.89 / 125.5 A	Montaje	INT./EXT.										
Año de Fabricación	1995	Grupo de Conexión	Dyn5	Nivel Aislamiento AT	28 KV										
Norma	370.002	Tcc (%)	4.34	Nivel Aislamiento BT	3 KV										
Tipo de aislador	Porcelana	Kardex	400-00414	Peso del aceite	80 KV										
Frecuencia	60 Hz	Taps	+ - 2.5 x 2.5 %	Peso	375 Kg										
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>					T amb. = 21 °C										
DENOMINACION		AT - BT		AT - Masa											
M - Ohmios		9000	M - Ohm.	6000	M - Ohm.										
VDC		10000	VDC	10000	VDC										
		1000	VDC	1000	VDC										
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>															
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION (%)	LIMITE DE ERROR RELACION (%)									
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w											
1	79.072	79.132	79.116	79.113	0.076	± 0.500									
2	77.189	77.205	77.197	77.206	0.022	± 0.500									
3	75.307	75.323	75.320	75.329	0.030	± 0.500									
4	73.424	73.450	73.450	73.527	0.140	± 0.500									
5	71.541	71.561	71.565	71.607	0.092	± 0.500									
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>					KV	ACEITE									
					21	NUEVO									
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER L-200 :</b>					T amb. (°C)	MUESTRA									
					21	104792									
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>					AROCOLORO 1242	18.60									
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			Ca = 1	WATIOS			Cw = 1				
	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3	TOTAL					
	V Leído 1	V Leído 2	V Leído 3	A Leído 1	A Leído 2	A Leído 3	WLeído 1	WLeído 2	WLeído 3	WT Cálculado					
3	231	231	228	3.69	4.54	4.54	33	33	33	100.2					
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T						
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>															
ARROLLAMIENTO DE BT				T amb. = 21 °C				ARROLLAMIENTO DE AT				T amb. = 21 °C			
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA
u - n	15.4 mV	1 A	15.4 mΩ	U - V	42.3 V	1 A	42.3 Ω	u - n	15.4 mV	1 A	15.4 mΩ	U - V	42.3 V	1 A	42.3 Ω
v - n	21.0 mV	1 A	21.0 mΩ	V - W	42.6 V	1 A	42.6 Ω	v - n	21.0 mV	1 A	21.0 mΩ	V - W	42.6 V	1 A	42.6 Ω
w - n	21.0 mV	1 A	21.0 mΩ	W - U	42.0 V	1 A	42.0 Ω	w - n	21.0 mV	1 A	21.0 mΩ	W - U	42.0 V	1 A	42.0 Ω
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>												T amb. = 21 °C			
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			Ca = 1	WATIOS			Cw = 1	Tcc (%)			
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	WATTS	(%)			
	V Leído 1	V Leído 2	V Leído 3	A Leído 1	A Leído 2	A Leído 3	WLeído 1	WLeído 2	WLeído 3						
3	389	388	385	2.6	2.7	2.6	4	4	4	11	13.33	4.27			
	VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T						
<b>8.- RESUMEN :</b>												T amb. = 21 °C			
				STANDARD		MEDIDO		LIMITES		CALCULADO					
Pfe a Vnom, Fnom (Watts)				220		100.20		P(fe) = + 14.29		-54.455		%			
Pcu a 75 °C, Inom (Watts)				1000		389.45		P(cu) = + 14.29		-61.055		%			
Tcc a 75 °C (%)						4.34		Σ p(w) = 1220		489.65		W			
Io a Vnom, Fnom (%)						3.39		Σ p(w) % P(kva) = 1.82		0.9793		%			
Pcu a 20 °C, Inom (Watts)				-----		5.69		P(kva) = 98.18		99.021		%			
Tcc a 20 °C (%)				-----		4.27		P(KVA)UTIL = 49.090		P(KVA)UTIL = 49.515		%			
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 110 cm; A= 51cm; L= 73cm</b>															
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= 0.979 % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)															
POTENCIA UTIL AL 99.021 % = 49.515 KVA															
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)															
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA				DEPARTAMENTO TECNICO											
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO			Revisado Por :	TEC.CARLOS CRUZ			Revisado Por :	ING.MARCO CHAVEZ						
Fecha :	4/12/2017			SUPERV.DE AREA (TECSUR-RECLAJE)				Fecha :	04/12/17			JEFE DE AREA (TECSUR-RECLAJE)			
Firma:				Firma:				Firma:							

Fuente: TECSUR.S.A.




**Protocolo de pruebas de transformador de distribución Asoc. De pobladores Abraham Valdelomar - Ate Vitarte- Sst. 1728808**

	<b>FORMATO</b>			Código : F09-PO-REC-007									
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>			Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1									
<b>PR_TD_209_2018</b>													
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b>		<b>ACEITE : X</b>	<b>OP</b>										
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>													
Marca :	DELCROSA	Potencia :	50 KVA	Refrigeración :	ONAN								
Número de Serie :	138357-T1	Relac. Transformaciór :	10000 / 230 V	Altitud :	1000 m.s.n.m.								
Tipo :	Convencional	Relac. Corriente :	2.89 / 125.5 A	Montaje :	INT./EXT.								
Año de Fabricación :	1995	Grupo de Conexión :	Dyn5	Nivel Aislamiento AT :	- KV								
Norma :	370.002	Tcc (%) :	4.02	Nivel Aislamiento BT :	- KV								
Tipo de aislador :	Porcelana	Kardex :	420-00095	Peso del aceite :	110 KV								
Frecuencia :	60 Hz	Taps :	+ - 2.5 x 2.5 %	Peso :	340 Kg								
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>													
T amb. = 21 °C													
DENOMINACION	AT - BT	AT - Masa	BT - Masa										
M - Ohmios	1500	M - Ohm.	1000	M - Ohm.									
VDC	10000	VDC	10000	VDC									
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>													
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION (%)	LIMITE DE ERROR RELACION (%)							
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w									
1	79.072	79.067	79.069	79.067	0.006	± 0.500							
2	77.189	77.295	77.183	77.183	0.137	± 0.500							
3	75.307	75.319	75.309	75.310	0.017	± 0.500							
4	73.424	73.436	73.435	73.437	0.018	± 0.500							
5	71.541	71.562	71.561	71.560	0.029	± 0.500							
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>					T amb. (°C)	KV	ACEITE						
					21	50.00	NUEVO						
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER L-200 :</b>					T amb. (°C)	METODO	PPM	MUESTRA					
					21	AROCLORO 1242	23.50	101344					
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>													
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			Cw = 1		
	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3	TOTAL			
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido 3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido 3	WT Cálculado			
3	231	231	228	3.70	2.54	3.43	116	116	116	348			
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T				
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>													
ARROLLAMIENTO DE BT					T amb. = 21 °C	ARROLLAMIENTO DE AT					T amb. = 21 °C		
FASES		TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES		TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA				
u - n	14.5	mV	1 A	14.5 mΩ	U - V	34.5	V	1 A	34.5	Ω			
v - n	14.5	mV	1 A	14.5 mΩ	V - W	34.8	V	1 A	34.8	Ω			
w - n	14.5	mV	1 A	14.5 mΩ	W - U	34.6	V	1 A	34.6	Ω			
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>					1	T amb. = 21 °C							
POS. COM.	VOLTIOS		Cv = 1	AMPERIOS			CA = 1	WATIOS			Cw = 1	Pcu (%)	Tcc (%)
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	WATTS		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido 3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido 3				
3	394	393	388	2.9	2.8	2.9	11	11	11	34	34.78	3.97	
	VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T				
<b>8.- RESUMEN :</b>					STANDARD	MEDIDO	LIMITES		CALCULADO				
Pfe a Vnom, Fnom (Watts)					220	348.00	P(fe)=	+	14.29	58.182	%		
Pcu a 75 °C, Inom (Watts)					1000	328.00	P(cu)=	+	14.29	-67.200	%		
Tcc a 75 °C (%)						4.02	Σp(w) =		1220	676.00	W		
Io a Vnom, Fnom (%)						2.57	Σp(w) % P(kva)=		1.82	1.3520	%		
Pcu a 20 °C, Inom (Watts)					-----	28.83	P(kva)=		98.18	98.648	%		
Tcc a 20 °C (%)					-----	3.97	P(KVA)UTIL=		49.090	P(KVA)UTIL=	49.333		
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 108 cm; A= 48cm; L= 082cm</b>													
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= 1.352 % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)													
POTENCIA UTILAL 98.648 % = 49.333 KVA													
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)													
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA						DEPARTAMENTO TECNICO							
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO					Revisado Por :	TEC.CARLOS CRUZ						
Fecha :	13/06/2018					SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)	Fecha :	13/06/18					
Firma:						Firma:							


Fuente: TECSUR S.A.

## Protocolo de pruebas de transformador de distribución A.A.H.H. Virgen de la Candelaria- Nueva Esperanza -VMT- Sst 1842343

 <b>Te c s u r</b>	<b>FORMATO</b> <b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>	Código : F09-PO-REC-007 Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1										
<b>PR_TD_085_2019</b>												
<b>CLIENTE :</b> LUZ DEL SUR	<b>ACEITE :</b> X	<b>O.P</b>										
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>												
Marca : ABB	Potencia : 50 KVA	Refrigeración : ONAN										
Número de Serie : L-190517-01	Relac. Transformaciór : 10000 / 230 V	Altitud : 1000 ms.n.m.										
Tipo : Convencional	Relac. Corriente : 2.89 / 125.5 A	Montaje : INT./EXT.										
Año de Fabricación : 1999	Grupo de Conexión : Dyn5	Nivel Aislamiento AT : 28 KV										
Norma : CEI 76	Tcc ( % ) : 3.37	Nivel Aislamiento BT : 3 KV										
Tipo de aislador : Porcelana	Kardex : 400-03199	Peso del aceite : 75 KV										
Frecuencia : 60 Hz	Taps : + -2.5 x 2.5 %	Peso : 350 Kg										
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>												
		T amb. = 21 °C										
DENOMINACION	AT - BT	AT - Masa										
M - Ohmios	20000 M - Ohm.	15000 M - Ohm.										
VDC	10000 VDC	10000 VDC										
		BT - Masa										
		2000 M - Ohm.										
		1000 VDC										
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>												
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )						
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w								
1	79.072	79.132	79.116	79.116	0.076	± 0.500						
2	77.189	77.258	77.261	77.254	0.093	± 0.500						
3	75.307	75.344	75.340	75.340	0.050	± 0.500						
4	73.424	73.458	73.459	73.455	0.048	± 0.500						
5	71.541	71.571	71.564	71.569	0.042	± 0.500						
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>			T amb. ( °C )		KV	ACEITE						
			21		50.00	NUEVO						
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER :</b>			T amb. ( °C )		METODO	PPM						
			21		AROCLORO 1242	12.70						
						MUESTRA						
						102879						
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>			Cv = 1		AMPERIOS		CA = 1		WATIOS		Cw = 1	
POS. COM.	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3	TOTAL		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	WT Cálculo		
3	231	233	230	2.39	1.90	2.17	70	70	70	209.4		
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T			
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>			T amb. = 21 °C		ARROLLAMIENTO DE AT		T amb. = 21 °C					
ARROLLAMIENTO DE BT												
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA					
u - n	9.5 mV	1 A	9.5 mΩ	U - V	24.0 V	1 A	24.0 Ω					
v - n	9.4 mV	1 A	9.4 mΩ	V - W	23.9 V	1 A	23.9 Ω					
w - n	9.5 mV	1 A	9.5 mΩ	W - U	23.9 V	1 A	23.9 Ω					
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>			Cv = 1		AMPERIOS		CA = 1		WATIOS		Cw = 1	
POS. COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	Pcu ( % )	Tcc ( % )
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3			
3	335	333	331	2.9	2.8	2.9	8	8	8	24	24.53	3.35
	VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T			
<b>8.- RESUMEN :</b>			STANDARD		MEDIDO		LIMITES		CALCULADO			
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )			320		206.99		P(fe)= + 14.29		-35.315 %			
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )			1500		221.99		P(cu)= + 14.29		-85.200 %			
Tcc a 75 °C ( % )					3.37		Σp(w) = 1820		428.99 W			
Io a Vnom, Fnom ( % )					1.72		Σp(w) % P(kva)= 1.82		0.8580 %			
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )			-----		20.52		P(kva)= 98.18		99.142 %			
Tcc a 20 °C ( % )			-----		3.35		P(KVA)UTIL= 49.090		P(KVA)UTIL= 49.575			
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 102 cm; A= 48cm; L= 83cm</b>												
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= 0.858 % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)												
POTENCIA UTIL AL 99.142 % = 49.575 KVA												
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)												
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA						DEPARTAMENTO TECNICO						
Probado por :	TEC.DAVID TELLEZ					Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ					
Fecha :	6/03/2019					SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)	Fecha :	06/03/19				
Firma:						Firma:						


Fuente: TECSUR.S.A.

**Protocolo de pruebas de transformador de distribución Asoc. de Propietarios de Vivienda  
San Silvestre – Chosica- Sst 1852950**

 <b>Te c s u r</b>	<b>FORMATO</b>		Código : F09-PO-REC-007								
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>		Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1								
<b>PR_TD_208_2019</b>											
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b>		<b>ACEITE : X</b>	<b>O.P</b>								
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>											
Marca : ABB	Potencia : 50 KVA	Refrigeración : ONAN									
Número de Serie : L-22610	Relac. Transformaciór : 10000 / 230 V	Altitud : 1000 ms.n.m.									
Tipo : Convencional	Relac. Corriente : 2.89 / 125.5 A	Montaje : INT./EXT.									
Año de Fabricación : 1995	Grupo de Conexión : Dyn5	Nivel Aislamiento AT : 28 KV									
Norma : 370.002	Tcc ( % ) : 4.50	Nivel Aislamiento BT : 3 KV									
Tipo de aislador : Porcelana	Kardex : 400-01897	Peso del aceite : 110 KV									
Frecuencia : 60 Hz	Taps : + -2.5 x 2.5 %	Peso : 380 Kg									
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>			T amb. = 21 °C								
DENOMINACION	AT - BT	AT - Masa	BT - Masa								
M - Ohmios	10000 M - Ohm.	1000 M - Ohm.	1000 M - Ohm.								
VDC	10000 VDC	10000 VDC	1000 VDC								
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>											
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )					
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w							
1	79.072	79.100	79.097	79.103	0.039	± 0.500					
2	77.189	77.224	77.213	77.215	0.045	± 0.500					
3	75.307	75.343	75.335	75.338	0.048	± 0.500					
4	73.424	73.462	73.471	73.453	0.064	± 0.500					
5	71.541	71.578	71.571	71.628	0.121	± 0.500					
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>			T amb. ( °C )	KV	ACEITE						
			21	50.00	NUEVO						
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER :</b>			T amb. ( °C )	METODO	PPM	MUESTRA					
L-200			21	AROCOLORO 1242	10.20	106693					
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>											
POS. COM.	VOLTIOS Cv = 1			AMPERIOS CA = 1		WATIOS Cw = 1					
	u - v	v - w	w - u	u	v	w					
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1				
3	230	230	230	3.66	4.35	3.18	23				
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R				
							Pfe S				
							Pfe T				
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>											
ARROLLAMIENTO DE BT T amb. = 21 °C				ARROLLAMIENTO DE AT T amb. = 21 °C							
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA				
u - n	19.6 mV	1 A	19.6 mΩ	U - V	54.9 V	1 A	54.9 Ω				
v - n	19.5 mV	1 A	19.5 mΩ	V - W	55.1 V	1 A	55.1 Ω				
w - n	19.7 mV	1 A	19.7 mΩ	W - U	55.0 V	1 A	55.0 Ω				
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>							T amb. = 21 °C				
POS. COM.	VOLTIOS Cv = 1			AMPERIOS CA = 1			WATIOS Cw = 1		Pcu (%)	Tcc (%)	
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3		
3	400	400	397	2.6	2.6	2.6	2	2	2	5	
	3	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T		
<b>8.- RESUMEN :</b>											
			STANDARD	MEDIDO	LIMITES		CALCULADO				
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )			320	69.10	P(fe)= + 14.29		-78.406 %				
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )			1500	449.27	P(cu)= + 14.29		-70.049 %				
Tcc a 75 °C ( % )				4.50	Σp(w) = 1820		518.37 W				
Io a Vnom, Fnom ( % )				2.97	Σp(w) % P(kva)= 1.82		1.0367 %				
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )			-----	-2.64	P(kva)= 98.18		98.963 %				
Tcc a 20 °C ( % )			-----	4.41	P(KVA)UTIL= 49.090		P(KVA)UTIL= 49.487				
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 110 cm; A= 70cm; L= 80m</b>											
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= 1.037 % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)											
POTENCIA UTIL AL 98.963 % = 49.487 KVA											
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)											
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA					DEPARTAMENTO TECNICO						
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO				Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ		Revisado Por:	ING. MARCO CHAVEZ		
Fecha :	21/06/2019				SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)	Fecha :	21/06/19		JEFE DE AREA (TECSUR-RECICLAJE).		
Firma:					Firma:			Firma:			

Fuente: TECSUR S.A.

**Protocolo de pruebas de transformador de distribución A.A.H.H Buena Vista del Paraíso  
VMT- Sst 1863179**

 <b>Te c s u r</b>	<b>FORMATO</b>			Código : F09-PO-REC-007 Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1								
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>											
<b>PR_TD_198_2019</b>												
<b>CLIENTE :</b> LUZ DEL SUR	<b>ACEITE :</b> X	<b>O.P</b>										
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>												
Marca : BBC	Potencia : 50 KVA	Refrigeración : ONAN										
Número de Serie : L-18242	Relac. Transformaciór : 10000 / 230 V	Altitud : 1000 ms.n.m.										
Tipo : Convencional	Relac. Corriente : 2.89 / 125.5 A	Montaje : INT./EXT.										
Año de Fabricación : 1988	Grupo de Conexión : Dyn5	Nivel Aislamiento AT : 28 KV										
Norma : 370.002	Tcc ( % ) : 3.90	Nivel Aislamiento BT : 3 KV										
Tipo de aislador : Porcelana	Kardex : 102-07953	Peso del aceite : 125 KV										
Frecuencia : 60 Hz	Taps : + -2.5 x 2.5 %	Peso : 470 Kg										
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>												
DENOMINACION		AT - BT	AT - Masa	BT - Masa								
M - Ohmios	2000	M - Ohm.	1000	M - Ohm.								
VDC	10000	VDC	10000	VDC								
T amb. = 21 °C												
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>												
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )						
		U - V / n - u	V - W / n - v	W - U / n - w								
1	79.072	79.043	79.086	79.042	0.038	± 0.500						
2	77.189	77.165	77.201	77.166	0.031	± 0.500						
3	75.307	75.322	75.324	75.327	0.027	± 0.500						
4	73.424	73.408	73.397	73.407	0.037	± 0.500						
5	71.541	71.552	71.514	71.527	0.038	± 0.500						
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>					T amb. ( °C )	KV	ACEITE					
					21	50.00	NUEVO					
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER :</b>					T amb. ( °C )	METODO	PPM	MUESTRA				
L-200					21	CROMATOGRAFICO	8.20	109224				
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>					Cv = 1	AMPERIOS	CA = 1	WATIOS	Cw = 1			
POS. COM.	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3	TOTAL		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	WT Cálculado		
3	230	230	230	2.61	3.98	2.05	4	4	4	13.2		
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T			
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>					T amb. = 21 °C	ARROLLAMIENTO DE AT						
ARROLLAMIENTO DE BT					T amb. = 21 °C	ARROLLAMIENTO DE AT						
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA					
u - n	13.9 mV	1 A	13.9 mΩ	U - V	39.6 V	1 A	39.6 Ω					
v - n	13.9 mV	1 A	13.9 mΩ	V - W	39.5 V	1 A	39.5 Ω					
w - n	13.9 mV	1 A	13.9 mΩ	W - U	39.6 V	1 A	39.6 Ω					
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>					Cv = 1	AMPERIOS	CA = 1	WATIOS	Cw = 1	Pcu (%)	Tcc (%)	
POS. COM.	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3	TOTAL	WATTS	
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3			
3	382	380	379	2.9	2.9	2.9	7	7	7	20	20.48	
	3	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T			
<b>8.- RESUMEN :</b>					STANDARD	MEDIDO	LIMITES	CALCULADO				
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )					320	13.20	P(fe)= +	14.29	-95.875	%		
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )					1500	334.62	P(cu)= +	14.29	-77.692	%		
Tcc a 75 °C ( % )						3.90	∑p(w) =	1820	347.82	W		
Io a Vnom, Fnom ( % )						2.29	∑p(w) % P(kva)=	1.82	0.6956	%		
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )					-----	14.10	∑P(kva)=	98.18	99.304	%		
Tcc a 20 °C ( % )					-----	3.84	∑P(KVA)UTIL=	49.090	P(KVA)UTIL=	49.655		
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 121 cm; A= 50cm; L= 89m</b>												
LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= 0.696 % DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE)												
POTENCIA UTIL AL 99.304 % = 49.655 KVA												
- EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)												
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA						DEPARTAMENTO TECNICO						
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO					Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ					
Fecha :	11/06/2019					SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)	Fecha :	11/06/19				
Firma:						Firma:						


Fuente: TECSUR S.A.

# Protocolo de pruebas de transformador de distribución Asoc. de Vivienda El Vallecito de la Era-VMT- Sst 1751066

 <b>Te c s u r</b>	<b>FORMATO</b>	Código : F09-PO-REC-007 Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1																																																									
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>																																																										
<b>PR_TD_357_2018</b>																																																											
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b>	<b>ACEITE : X</b>	<b>O.P</b>																																																									
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>																																																											
Marca : <b>ABB</b> Potencia : <b>50 KVA</b> Refrigeración : <b>ONAN</b> Número de Serie : <b>L-23570</b> Relac. Transformaciór : <b>10000 / 230 V</b> Altitud : <b>1000 m.s.n.m.</b> Tipo : <b>Convencional</b> Relac. Corriente : <b>2.89 / 125.5 A</b> Montaje : <b>INT./EXT.</b> Año de Fabricación : <b>1997</b> Grupo de Conexión : <b>Dy5</b> Nivel Aislamiento AT : <b>28 KV</b> Norma : <b>370.002</b> Tcc ( % ) : <b>3.84</b> Nivel Aislamiento BT : <b>3 KV</b> Tipo de aislador : <b>Porcelana</b> Kardex : <b>400-02039</b> Peso del aceite : <b>70 KV</b> Frecuencia : <b>60 Hz</b> Taps : <b>+ -2.5 x 2.5 %</b> Peso : <b>280 Kg</b>																																																											
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b>																																																											
		T amb. = <b>21 °C</b>																																																									
DENOMINACION      AT - BT      AT - Masa      BT - Masa M - Ohmios <b>2000</b> M - Ohm. <b>1500</b> M - Ohm. <b>1000</b> M - Ohm. VDC      10000      VDC      10000      VDC      1000      VDC																																																											
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">POS. COM.</th> <th rowspan="2">RELACION TEORICA</th> <th colspan="3">RELACION MEDIDA</th> <th rowspan="2">ERROR DE RELACION ( % )</th> <th rowspan="2">LIMITE DE ERROR RELACION ( % )</th> </tr> <tr> <th>U - V / vw - u</th> <th>V - W / wu - v</th> <th>W - U / uv - w</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>52.715</td><td>52.719</td><td>52.683</td><td>52.727</td><td>0.060</td><td>± 0.500</td></tr> <tr><td>2</td><td>51.459</td><td>51.495</td><td>51.424</td><td>51.466</td><td>0.069</td><td>± 0.500</td></tr> <tr><td>3</td><td>50.204</td><td>50.201</td><td>50.169</td><td>50.202</td><td>0.070</td><td>± 0.500</td></tr> <tr><td>4</td><td>48.949</td><td>48.960</td><td>48.964</td><td>48.972</td><td>0.046</td><td>± 0.500</td></tr> <tr><td>5</td><td>47.694</td><td>47.702</td><td>47.701</td><td>47.715</td><td>0.044</td><td>± 0.500</td></tr> </tbody> </table>	POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )	U - V / vw - u	V - W / wu - v	W - U / uv - w	1	52.715	52.719	52.683	52.727	0.060	± 0.500	2	51.459	51.495	51.424	51.466	0.069	± 0.500	3	50.204	50.201	50.169	50.202	0.070	± 0.500	4	48.949	48.960	48.964	48.972	0.046	± 0.500	5	47.694	47.702	47.701	47.715	0.044	± 0.500														
POS. COM.			RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA				ERROR DE RELACION ( % )	LIMITE DE ERROR RELACION ( % )																																																		
	U - V / vw - u	V - W / wu - v		W - U / uv - w																																																							
1	52.715	52.719	52.683	52.727	0.060	± 0.500																																																					
2	51.459	51.495	51.424	51.466	0.069	± 0.500																																																					
3	50.204	50.201	50.169	50.202	0.070	± 0.500																																																					
4	48.949	48.960	48.964	48.972	0.046	± 0.500																																																					
5	47.694	47.702	47.701	47.715	0.044	± 0.500																																																					
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b>																																																											
		T amb. ( °C )      KV      ACEITE																																																									
		<b>21</b> <b>50.00</b> <b>NUEVO</b>																																																									
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER :</b>																																																											
		T amb. ( °C )      METODO      PPM      MUESTRA																																																									
		<b>21</b> <b>AROCLORO 1242</b> <b>2.84</b> <b>106285</b>																																																									
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">POS. COM.</th> <th colspan="3">VOLTIOS</th> <th colspan="3">AMPERIOS</th> <th colspan="3">WATIOS</th> <th rowspan="2">TOTAL</th> </tr> <tr> <th>u - v</th> <th>v - w</th> <th>w - u</th> <th>u</th> <th>v</th> <th>w</th> <th>W1</th> <th>W2</th> <th>W3</th> </tr> <tr> <td></td> <td>V Leido 1</td> <td>V Leido 2</td> <td>V Leido3</td> <td>A Leido 1</td> <td>A Leido 2</td> <td>A Leido 3</td> <td>WLeido 1</td> <td>WLeido 2</td> <td>WLeido3</td> <td>WT Cálculado</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>230</td> <td>232</td> <td>228</td> <td>5.04</td> <td>3.95</td> <td>4.84</td> <td>27</td> <td>27</td> <td>27</td> <td>79.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Vn R</td> <td>Vn S</td> <td>Vn T</td> <td>Io R</td> <td>Io S</td> <td>Io T</td> <td>Pfe R</td> <td>Pfe S</td> <td>Pfe T</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	POS. COM.	VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS			TOTAL	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3		V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	WT Cálculado	3	230	232	228	5.04	3.95	4.84	27	27	27	79.7		Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T							
POS. COM.		VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS				TOTAL																																															
	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3																																																		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	WT Cálculado																																																	
3	230	232	228	5.04	3.95	4.84	27	27	27	79.7																																																	
	Vn R	Vn S	Vn T	Io R	Io S	Io T	Pfe R	Pfe S	Pfe T																																																		
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b>																																																											
		T amb = <b>21 °C</b>																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">ARROLLAMIENTO DE BT</th> <th colspan="4">ARROLLAMIENTO DE AT</th> </tr> <tr> <th>FASES</th> <th>TENSION</th> <th>CORRIENTE</th> <th>RESISTENCIA</th> <th>FASES</th> <th>TENSION</th> <th>CORRIENTE</th> <th>RESISTENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>u - n</b></td> <td>11.9 mV</td> <td>1 A</td> <td>11.9 mΩ</td> <td><b>U - V</b></td> <td>42.8 V</td> <td>1 A</td> <td>42.8 Ω</td> </tr> <tr> <td><b>v - n</b></td> <td>12.0 mV</td> <td>1 A</td> <td>12.0 mΩ</td> <td><b>V - W</b></td> <td>42.9 V</td> <td>1 A</td> <td>42.9 Ω</td> </tr> <tr> <td><b>w - n</b></td> <td>12.0 mV</td> <td>1 A</td> <td>12.0 mΩ</td> <td><b>W - U</b></td> <td>42.8 V</td> <td>1 A</td> <td>42.8 Ω</td> </tr> </tbody> </table>	ARROLLAMIENTO DE BT				ARROLLAMIENTO DE AT				FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	<b>u - n</b>	11.9 mV	1 A	11.9 mΩ	<b>U - V</b>	42.8 V	1 A	42.8 Ω	<b>v - n</b>	12.0 mV	1 A	12.0 mΩ	<b>V - W</b>	42.9 V	1 A	42.9 Ω	<b>w - n</b>	12.0 mV	1 A	12.0 mΩ	<b>W - U</b>	42.8 V	1 A	42.8 Ω																			
ARROLLAMIENTO DE BT				ARROLLAMIENTO DE AT																																																							
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA																																																				
<b>u - n</b>	11.9 mV	1 A	11.9 mΩ	<b>U - V</b>	42.8 V	1 A	42.8 Ω																																																				
<b>v - n</b>	12.0 mV	1 A	12.0 mΩ	<b>V - W</b>	42.9 V	1 A	42.9 Ω																																																				
<b>w - n</b>	12.0 mV	1 A	12.0 mΩ	<b>W - U</b>	42.8 V	1 A	42.8 Ω																																																				
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b>																																																											
		T amb. = <b>21 °C</b>																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">POS. COM.</th> <th colspan="3">VOLTIOS</th> <th colspan="3">AMPERIOS</th> <th colspan="3">WATIOS</th> <th rowspan="2">Pcu (%)</th> <th rowspan="2">Tcc (%)</th> </tr> <tr> <th>U - V</th> <th>V - W</th> <th>W - U</th> <th>U</th> <th>V</th> <th>W</th> <th>W1</th> <th>W2</th> <th>W3</th> </tr> <tr> <td></td> <td>V Leido 1</td> <td>V Leido 2</td> <td>V Leido3</td> <td>A Leido 1</td> <td>A Leido 2</td> <td>A Leido 3</td> <td>WLeido 1</td> <td>WLeido 2</td> <td>WLeido3</td> <td>TOTAL WATTS</td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>370</td> <td>370</td> <td>369</td> <td>2.9</td> <td>2.8</td> <td>2.8</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>17</td> <td>51</td> <td>53.07</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VccR</td> <td>VccS</td> <td>VccT</td> <td>InR</td> <td>InS</td> <td>InT</td> <td>Pcu R</td> <td>Pcu S</td> <td>Pcu T</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	POS. COM.	VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS			Pcu (%)	Tcc (%)	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3		V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	TOTAL WATTS		3	370	370	369	2.9	2.8	2.8	17	17	17	51	53.07		VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T				
POS. COM.		VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS					Pcu (%)	Tcc (%)																																													
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3																																																		
	V Leido 1	V Leido 2	V Leido3	A Leido 1	A Leido 2	A Leido 3	WLeido 1	WLeido 2	WLeido3	TOTAL WATTS																																																	
3	370	370	369	2.9	2.8	2.8	17	17	17	51	53.07																																																
	VccR	VccS	VccT	InR	InS	InT	Pcu R	Pcu S	Pcu T																																																		
<b>8.- RESUMEN :</b>																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>STANDARD</th> <th>MEDIDO</th> <th>LIMITES</th> <th>CALCULADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )</td> <td>320</td> <td>79.70</td> <td>P(fe)= + 14.29</td> <td>-75.094 %</td> </tr> <tr> <td>Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )</td> <td>1500</td> <td>359.36</td> <td>P(cu)= + 14.29</td> <td>-76.043 %</td> </tr> <tr> <td>Tcc a 75 °C ( % )</td> <td></td> <td>3.84</td> <td>∑p(w) =</td> <td>1820      439.06 W</td> </tr> <tr> <td>Io a Vnom, Fnom ( % )</td> <td></td> <td>3.67</td> <td>∑p(w) % P(kva)=</td> <td>1.82      0.8781 %</td> </tr> <tr> <td>Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )</td> <td></td> <td>46.86</td> <td>P(kva)=</td> <td>98.18      99.122 %</td> </tr> <tr> <td>Tcc a 20 °C ( % )</td> <td></td> <td>3.77</td> <td>P(KVA)UTIL=</td> <td>49.090      P(KVA)UTIL= 49.565</td> </tr> </tbody> </table>		STANDARD	MEDIDO	LIMITES	CALCULADO	Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )	320	79.70	P(fe)= + 14.29	-75.094 %	Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )	1500	359.36	P(cu)= + 14.29	-76.043 %	Tcc a 75 °C ( % )		3.84	∑p(w) =	1820      439.06 W	Io a Vnom, Fnom ( % )		3.67	∑p(w) % P(kva)=	1.82      0.8781 %	Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )		46.86	P(kva)=	98.18      99.122 %	Tcc a 20 °C ( % )		3.77	P(KVA)UTIL=	49.090      P(KVA)UTIL= 49.565																								
	STANDARD	MEDIDO	LIMITES	CALCULADO																																																							
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )	320	79.70	P(fe)= + 14.29	-75.094 %																																																							
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )	1500	359.36	P(cu)= + 14.29	-76.043 %																																																							
Tcc a 75 °C ( % )		3.84	∑p(w) =	1820      439.06 W																																																							
Io a Vnom, Fnom ( % )		3.67	∑p(w) % P(kva)=	1.82      0.8781 %																																																							
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )		46.86	P(kva)=	98.18      99.122 %																																																							
Tcc a 20 °C ( % )		3.77	P(KVA)UTIL=	49.090      P(KVA)UTIL= 49.565																																																							
OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 102 cm; A= 48cm; L= 80cm LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= <b>0.878 %</b> DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE) POTENCIA UTILAL <b>99.122 % = 49.565 KVA</b> - EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA</th> <th colspan="2">DEPARTAMENTO TECNICO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Probado por :</td> <td>TEC.GUSTAVO NAVARRO</td> <td>Revisado Por:</td> <td>TEC.CARLOS CRUZ</td> </tr> <tr> <td>Fecha :</td> <td>17/10/2018</td> <td>Revisado Por:</td> <td>ING. MARCO CHAVEZ</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECKLAJE)</td> <td>Fecha :</td> <td>17/10/18</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>JEFE DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)</td> </tr> <tr> <td>Firma:</td> <td></td> <td>Firma:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA		DEPARTAMENTO TECNICO		Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO	Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ	Fecha :	17/10/2018	Revisado Por:	ING. MARCO CHAVEZ		SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECKLAJE)	Fecha :	17/10/18				JEFE DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)	Firma:		Firma:																																				
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA		DEPARTAMENTO TECNICO																																																									
Probado por :	TEC.GUSTAVO NAVARRO	Revisado Por:	TEC.CARLOS CRUZ																																																								
Fecha :	17/10/2018	Revisado Por:	ING. MARCO CHAVEZ																																																								
	SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECKLAJE)	Fecha :	17/10/18																																																								
			JEFE DE AREA (TECSUR-RECICLAJE)																																																								
Firma:		Firma:																																																									

Fuente: TECSUR S.A.

# Protocolo de pruebas de transformador de distribución Asoc. de Vivienda El Vallecito de la Era-VMT- Sst 1751066 II

	<h2 style="margin: 0;">FORMATO</h2>	Código : F09-PO-REC-007 Versión : 02 Aprobado: GL Fecha : 14/08/2013 Página : 1 de 1									
<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION</b>		<b>PR_TD_355_2018</b>									
<b>CLIENTE : LUZ DEL SUR</b> <b>ACEITE : X</b> <b>OP</b>											
<b>DATOS CARACTERISTICOS</b>											
Marca : <b>MAGNETRON</b> Potencia : <b>50 KVA</b> Refrigeración : <b>ONAN</b> Número de Serie : <b>5281298</b> Relac. Transformaciór : <b>10000 / 230 V</b> Altitud : <b>1000 m.s.n.m.</b> Tipo : <b>Convencional</b> Relac. Corriente : <b>2.89 / 125.5 A</b> Montaje : <b>INT./EXT.</b> Año de Fabricación : <b>1998</b> Grupo de Conexión : <b>Dy5</b> Nivel Aislamiento AT : <b>- KV</b> Norma : <b>370.002</b> Tcc (%) : <b>3.34</b> Nivel Aislamiento BT : <b>- KV</b> Tipo de aislador : <b>Porcelana</b> Kardex : <b>400-02926</b> Peso del aceite : <b>86 KV</b> Frecuencia : <b>60 Hz</b> Taps : <b>+ - 2.5 x 2.5 %</b> Peso : <b>353 Kg</b>											
<b>1.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO :</b> T amb. = <b>21 °C</b>											
DENOMINACION	AT - BT	AT - Masa									
M - Ohmios	<b>10000</b>	<b>10000</b>									
VDC	<b>10000</b>	<b>1000</b>									
<b>2.- MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y GRUPO :</b>											
POS. COM.	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA			ERROR DE RELACION (%)	LIMITE DE ERROR RELACION (%)					
		U - V / vw - u	V - W / wu - v	W - U / uv - w							
1	52.715	52.696	52.744	52.723	0.056	± 0.500					
2	51.459	51.437	51.476	51.468	0.044	± 0.500					
3	50.204	50.180	50.213	50.201	0.049	± 0.500					
4	48.949	48.910	48.953	48.939	0.080	± 0.500					
5	47.694	47.649	47.690	47.677	0.095	± 0.500					
<b>3.- PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE :</b> T amb. (°C) = <b>21</b> KV = <b>50.00</b> ACEITE = <b>NUEVO</b>											
<b>4.- PRUEBA DE ANALYZER L-200 :</b> T amb. (°C) = <b>21</b> METODO = <b>AROCLORO 1242</b> PPM = <b>6.65</b> MUESTRA = <b>109488</b>											
<b>5.- PRUEBA EN VACIO O PERDIDAS FIERRO(Fe):</b>											
POS. COM.	VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS			TOTAL WT Cálculado	
	u - v	v - w	w - u	u	v	w	W1	W2	W3		
3	230	231	229	1.05	0.79	1.06	13	13	13	40.1	
<b>6.- MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS :</b> T amb. = <b>21 °C</b>											
ARROLLAMIENTO DE BT				ARROLLAMIENTO DE AT							
FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA	FASES	TENSION	CORRIENTE	RESISTENCIA				
u - n	9.7 mV	1 A	9.7 mΩ	U - V	22.7 V	1 A	22.7 Ω				
v - n	9.8 mV	1 A	9.8 mΩ	V - W	22.5 V	1 A	22.5 Ω				
w - n	9.8 mV	1 A	9.8 mΩ	W - U	22.6 V	1 A	22.6 Ω				
<b>7.- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO O PERDIDAS (Cu):</b> I = <b>1</b> T amb. = <b>21 °C</b>											
POS. COM.	VOLTIOS			AMPERIOS			WATIOS			Pcu (%)	Tcc (%)
	U - V	V - W	W - U	U	V	W	W1	W2	W3		
3	328	328	328	2.9	2.9	2.8	10	10	10	31	31.18
<b>8.- RESUMEN :</b>											
	STANDARD	MEDIDO	LIMITES	CALCULADO							
Pfe a Vnom, Fnom ( Watts )	220	40.10	P(fe)= + 14.29	-81.773 %							
Pcu a 75 °C, Inom ( Watts )	1000	223.66	P(cu)= + 14.29	-77.634 %							
Tcc a 75 °C (%)		3.34	∑p(w) = 1220	263.76 W							
Io a Vnom, Fnom (%)		0.77	∑p(w) % P(kva)= 1.82	0.5275 %							
Pcu a 20 °C, Inom ( Watts )	-----	27.28	P(kva)= 98.18	99.472 %							
Tcc a 20 °C (%)	-----	3.31	P(KVA)UTIL= 49.090	P(KVA)UTIL= 49.738							
<b>OBSERVACIONES : Dimensiones: H= 101 cm; A= 66cm; L= 104cm</b> LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ES= <b>0.528 %</b> DE LA POTENCIA TOTAL(APARENTE) POTENCIA UTIL AL <b>99.472 %</b> = <b>49.738 KVA</b> - EL TRANSFORMADOR SALE REGULADO EN LA POSICION NOMINAL (POS.3)											
DEPARTAMENTO SALA DE PRUEBA		DEPARTAMENTO TECNICO									
Probado por : <b>TEC.GUSTAVO NAVARRO</b> Fecha : <b>17/10/2018</b> Firma:	Revisado Por: <b>TEC.CARLOS CRUZ</b> SUPERV. DE AREA (TECSUR-RECICLAJE) Fecha : <b>17/10/18</b> Firma:	Revisado Por: <b>ING. MARCO CHAVEZ</b> JEFE DE AREA( TECSUR-RECICLAJE). Firma:									

Fuente: TECSUR S.A.

**Anexo 6. Gráficos de resultados**

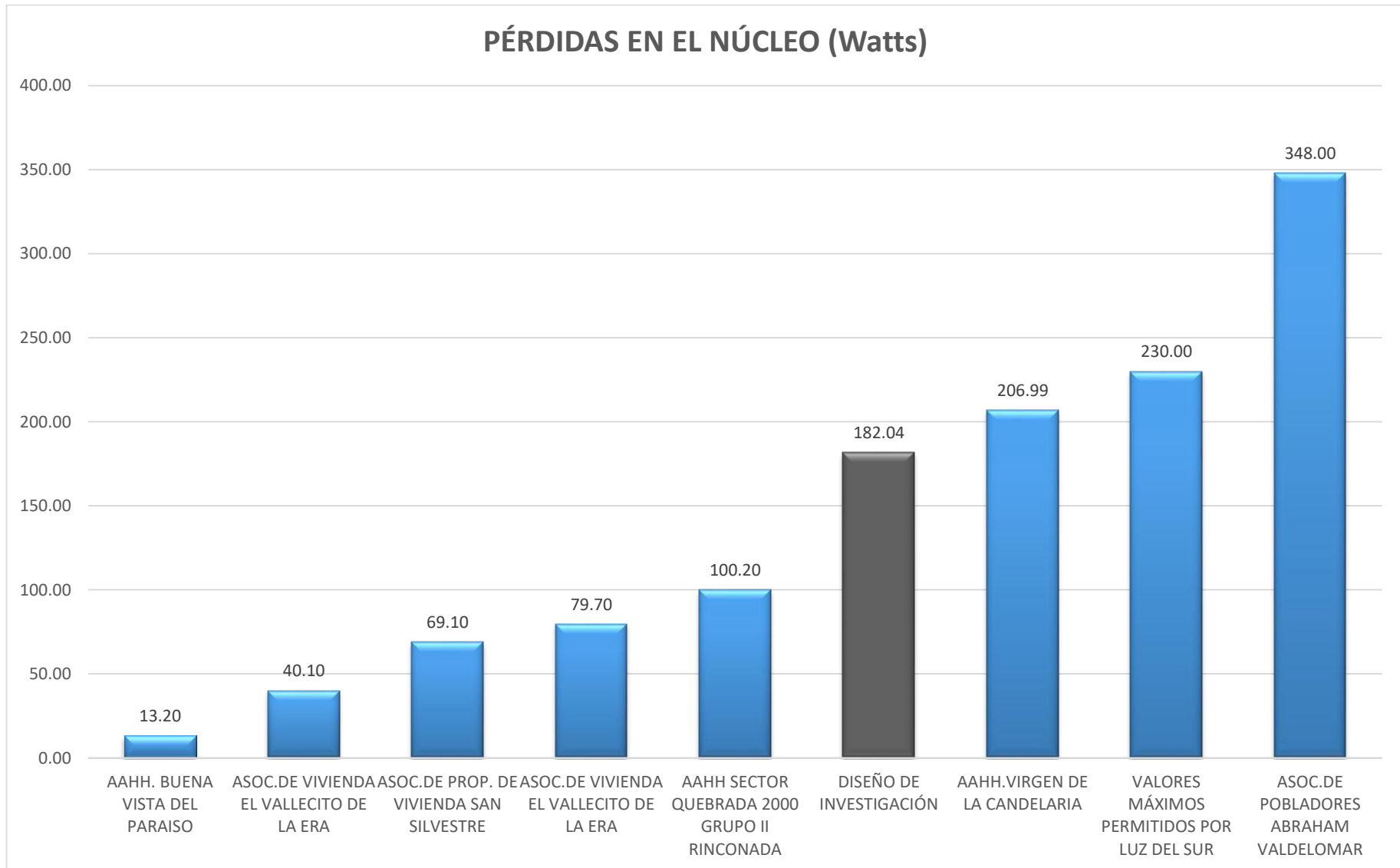
**Peso del transformador**



Fuente: Elaboración propia.

### Pérdidas en el núcleo

## PÉRDIDAS EN EL NÚCLEO (Watts)



Fuente: Elaboración propia.

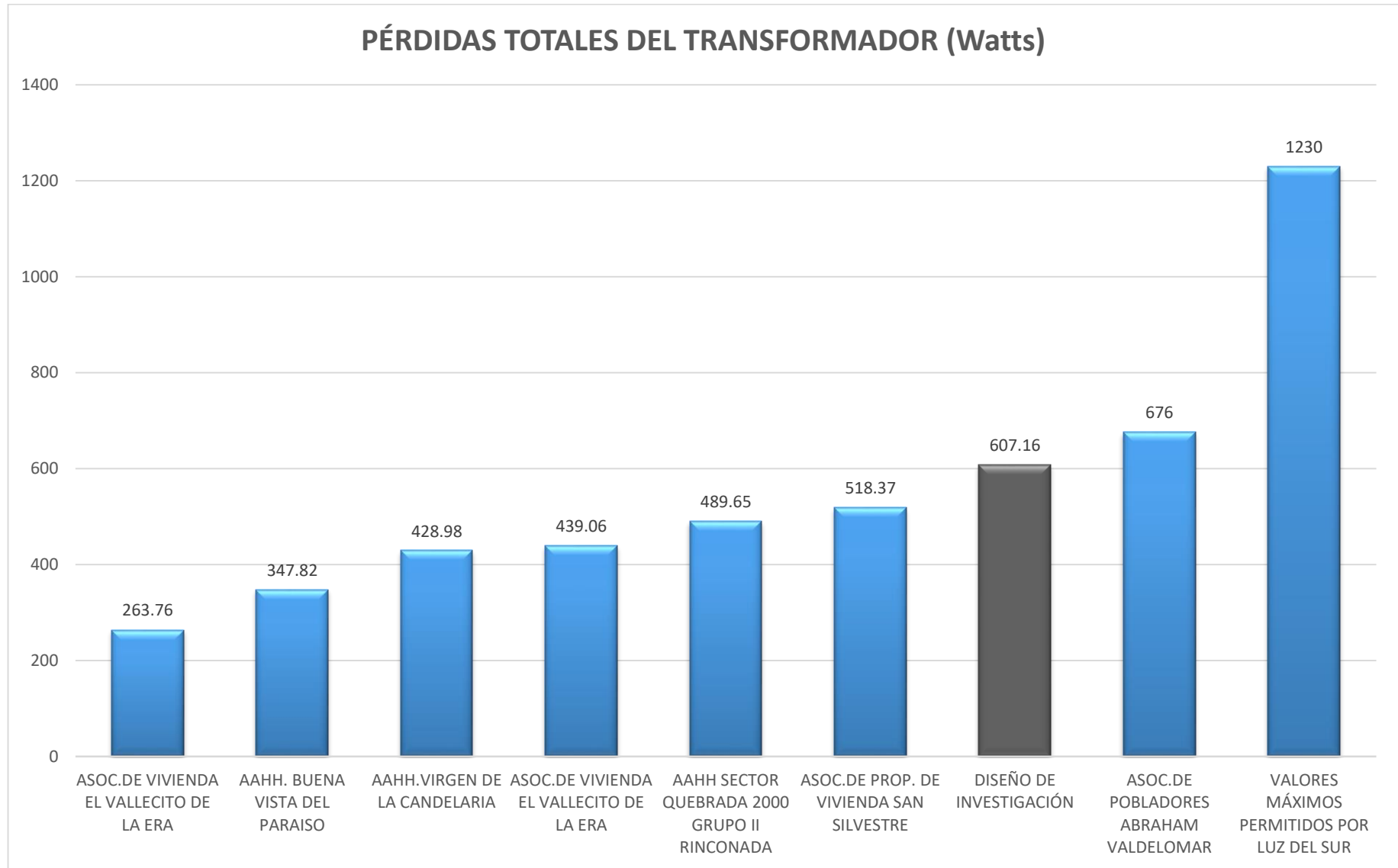


## Pérdidas en el conductor



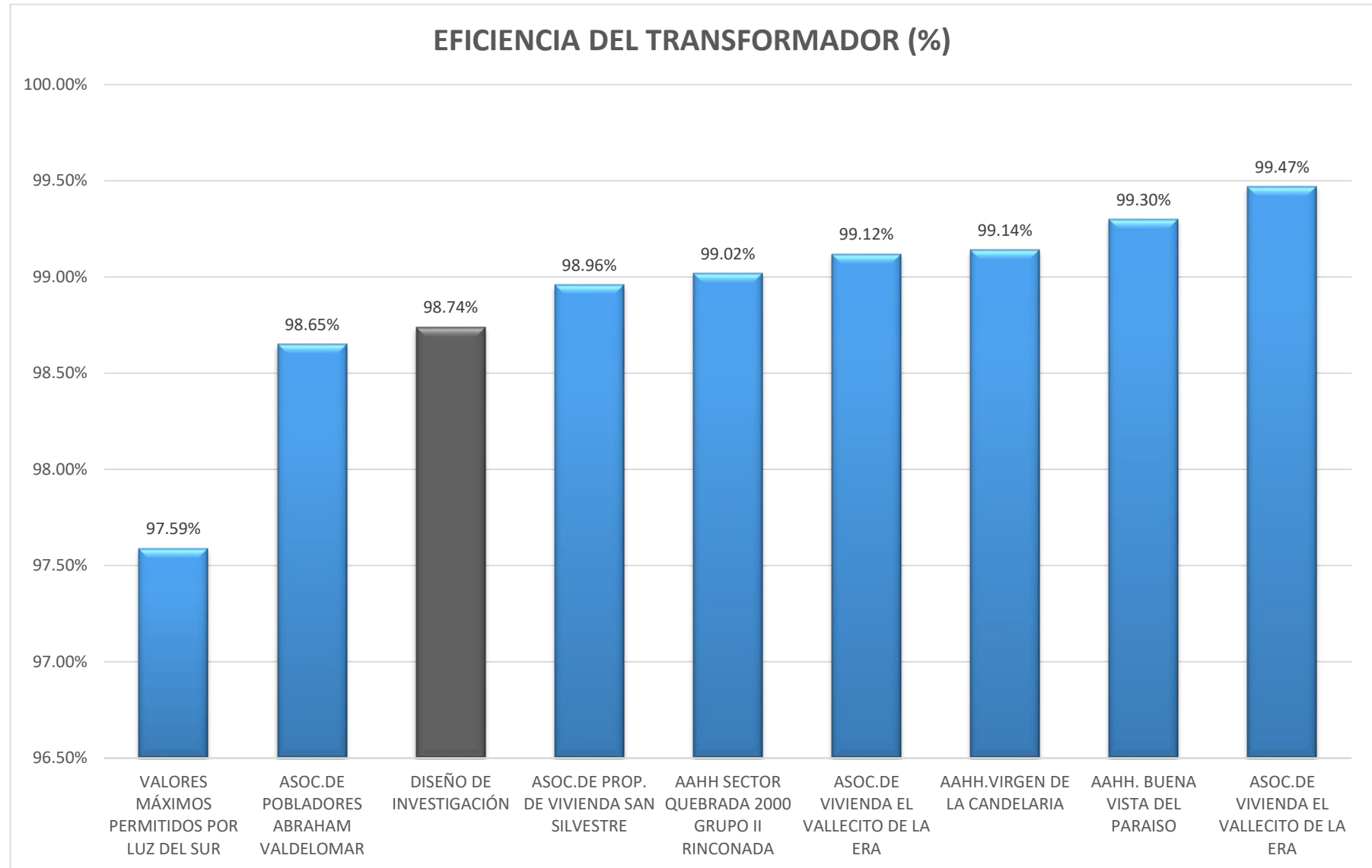
Fuente: Elaboración propia

### Pérdidas totales del transformador



Fuente: Elaboración propia.

## Eficiencia del transformador



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 7. Documentación para validación de experto

Lima, 20 de agosto del 2020

**ING. VIVAR ZAVALA, JAIR**

Jefe del Dpto. de Obras de Distribución – TECSUR S.A.

**PRESENTE**

**ASUNTO:** Validación del Instrumento de Investigación CUESTIONARIO del proyecto de investigación “**Estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur, 2018 - 2019**”.

*De mi mayor consideración:*

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y comentarle que vengo desarrollando el Proyecto de investigación “**Estudio de la aplicación de conductores eléctricos de aluminio en transformadores de distribución de 50KVA 10/0.23kV en proyectos de electrificación masiva de Luz del Sur, 2018 - 2019**”, el cual dentro de su proceso exige recoger datos a través de un instrumento de investigación.

Conocedores de sus permanentes aportes en la investigación; solicito tenga la amabilidad de validar mi CUESTIONARIO que será aplicada a la muestra seleccionada para esta investigación.

*Desde ya agradezco su tiempo y su apoyo al presente proyecto.*

*Atentamente.*



Bach. Gerson Omar Robledo Benitez

**Adjunto:**

Cuestionario

Matriz de Validación de experto.

### Matriz de Validación de Experto

**“ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE ALUMINIO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE 50KVA 10/0.23KV EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN MASIVA DE LUZ DEL SUR, 2018 - 2019”**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y nombres del informante : **ING. VIVAR ZAVALETA, JAIR**
- 1.2 Cargo e institución donde labora : Jefe del Dpto. de Obras de Distribución – TECSUR S.A.
- 1.3 Nombre del instrumento sujeto a validación : Cuestionario
- 1.4 Autor del instrumento : Bach. Gerson Omar Robledo Benitez


**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE 0 - 20				REGULAR 21 - 40				BUENA 41 - 60				MUY BUENA 61 - 80				EXCELENTE 81 - 100			
		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. claridad	Está redactado con lenguaje apropiado																	X			
2. objetividad	Está expresado en capacidades observables																	X			
3. actualidad	Está acorde a los aportes recientes en la disciplina de estudio															X					
4. organización	Existe una organización lógica en la presentación de ítems																		X		
5. suficiencia	Comprende los aspectos de cantidad y calidad																		X		
6. intencionalidad	Es adecuado para valorar la variable seleccionada																	X			
7. consistencia	Basado en aspectos teóricos y científicos																		X		
8. coherencia	Con las variables de investigación																		X		
9. metodología	La estrategia responde al propósito de investigación																	X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Aplicar la prueba a la muestra.

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

Lima, 20 de agosto del 2020

  
 Firma del experto: **Jair Vivar Zavaleta**  
 Jefe del Dpto. de Obras de Distribución  
 TECSUR S.A.

## Anexo 8. Glosario de términos

KVA: Kilo Volt-Ampere.

kV: Kilo Voltio.

B: Campo magnético.

$\mu_0$ : Permeabilidad del vacío.

$I_T$ : Corriente total que circula.

B: Campo magnético.

$\mu_0$ : Permeabilidad del vacío.

N: Número de vueltas del conductor.

$\Phi_m$ : Flujo magnético.

$d_s$ : Sector de una superficie.

$\varepsilon$ : Tensión inducida.

$P_w$ : Potencia generada por efecto Joule.

R: Resistencia eléctrica.

I: Intensidad de corriente.

$V_{linea}$ : Tensión de línea.

$V_{fase}$ : Tensión de fase.

$I_{linea}$ : Corriente de línea.

$I_{fase}$ : Corriente de fase.

$V_a$ : Tensión de línea del primario.

$V_{a'}$ : Tensión de línea del secundario.

$V_{ab}$ : Tensión de fase del primario.

$V_{a'b'}$ : Tensión de fase del secundario.

$N_{P1}$ : Número de espiras del primario.

$N_{S1}$ : Número de espiras del secundario.

$I_a$ : Corriente de línea del primario.

$I_{a'}$ : Corriente de línea del secundario.

$I_p$ = Corriente en devanado de alta tensión.

$P_{3\phi}$ =Potencia trifásica nominal del transformador.

$I_s$ = Corriente en devanado de baja tensión.

$V_s$ = Tensión del lado secundario.

$V_t$ = Volts por vuelta.

$P_{1\phi}$ = Potencia monofásica del transformador.

$Z$ : Impedancia normalizada.  
 $L$ : Longitud del conductor.  
 $S$ : Sección del conductor.  
 $\delta$ : Conductividad eléctrica.  
 $R_{Al}$ : Resistividad del conductor eléctrico de aluminio.  
 $L_{Al}$ : Longitud del conductor eléctrico de aluminio.  
 $S_{Al}$ : Sección del conductor eléctrico de aluminio.  
 $\delta_{Al}$ : Conductividad eléctrica del aluminio.  
 $R_{Cu}$ : Resistividad del conductor eléctrico de cobre.  
 $L_{Cu}$ : Longitud del conductor eléctrico de cobre.  
 $S_{Cu}$ : Sección del conductor eléctrico de cobre.  
 $\delta_{Cu}$ : Conductividad eléctrica del cobre.  
 $S_{cond_{A.T.}}$ : Sección del conductor del lado primario.  
 $\delta$ : Densidad de corriente.  
 $S_{cond_{B.T.}}$ : Sección del conductor del lado secundario.  
 $I_S$ : Intensidad de corriente secundaria.  
 $A$ : Sección transversal del núcleo.  
 $f$ : Frecuencia.  
 $A_f$ : Área física del núcleo.  
 $Fe$ : Factor de apilamiento del acero.  
 $h$ : Altura de ventana del núcleo.  
 $a$ : Lado menor de sección transversal del núcleo.  
 $N_{capas_{AT}}$ : Número de capas del devanado.  
 $h$ : Altura de ventana del núcleo.  
 $d_{cond_{AT}}$ : Diámetro del conductor A.T.  
 $N_{capas_{BT}}$ : Número de capas del devanado de B.T.  
 $d_{cond_{BT}}$ : Diámetro del conductor BT.  
 $E_{dev_{BT}}$ : Espesor de devanado B.T.  
 $H_{dev_{BT}}$ : Altura de devanado B.T.  
 $E_{dev_{AT}}$ : Espesor de devanado A.T.  
 $H_{dev_{AT}}$ : Altura de devanado A.T.  
 $P_{cond_{BT}}$ : Peso del conductor de B.T.  
 $V_{cond_{BT}}$ : Volumen total del conductor B.T.

$P_{cond AT}$ : Peso del conductor de A.T.  
 $V_{cond AT}$ : Volumen total del conductor A.T.  
 $\rho_e$ : Peso específico del aluminio.  
 $P_{cond AT}$ : Peso del conductor de A.T.  
 $V_{cond AT}$ : Volumen total del conductor A.T.  
 $V_{tanque}$ : Volumen total del tanque.  
 $H$ : Altura del tanque.  
 $L$ : Ancho del tanque.  
 $E$ : Espesor del tanque.  
 $O$ : Aceite mineral.  
 $K$ : Líquido aislante.  
 $N$ : Circulación natural.  
 $F$ : Circulación forzada.  
 $\rho$ : Resistividad eléctrica del material.  
 $S_{cond.}$ : Sección del conductor.  
 $\rho_{aluminio}$ : Resistividad del aluminio.  
 $L_{cond.BT.}$ : Longitud del conductor de baja tensión.  
 $S_{cond.B.T.}$ : Sección del conductor de baja tensión.  
 $P_{cond.B.T.}$ : Potencia de efecto Joule en conductor de baja tensión.  
 $R_{B.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de baja tensión.  
 $R_{C_{B.T.}}$ : Resistencia eléctrica corregida a temperatura máxima.  
 $T_2$ : Temperatura máxima.  
 $T_1$ : Temperatura mínima.  
 $\alpha$ = Coeficiente de temperatura del aluminio.  
 $R_{A.T.}$ : Resistencia del conductor de alta tensión.  
 $L_{cond.A.T.}$ : Longitud del conductor de alta tensión.  
 $S_{cond.A.T.}$ : Sección del conductor de alta tensión.  
 $R_{C_{A.T.}}$ : Resistencia eléctrica corregida a temperatura máxima.  
 $R_{A.T.}$ : Resistencia eléctrica del conductor de alta tensión.  
 $P_{kw}$ : Potencia activa (kilowatts).  
 $cos\phi$ : Factor de potencia.  
 $n$ : Eficiencia del transformador.  
 $P_{fe}$ : Pérdidas en el núcleo (kW).