

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Evaluación de las pérdidas en el núcleo del  
transformador de distribución en la subestación 10511  
del distrito de San Sebastián, Cusco - 2021**

Henry Chuctaya Amaru

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Cusco, 2023

## ÍNDICE

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iii</b>
<b>Índice</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>viii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>x</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>13</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>13</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1. Problema general .....	14
1.1.2. Problemas específicos .....	14
1.2. Objetivos .....	14
1.2.1. Objetivo general .....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	15
1.3. Justificación e importancia .....	15
1.3.1. Justificación práctica .....	15
1.3.2. Justificación teórica .....	15
1.3.3. Justificación social .....	15
1.3.4. Justificación económica .....	16
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	16
1.4.1. Hipótesis general .....	16
1.4.2. Hipótesis específicas .....	16
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>17</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	17
2.1.1. En el contexto internacional .....	17
2.1.2. En el contexto nacional .....	18
2.1.3. En el contexto local .....	19
2.2. Bases teóricas .....	19
2.2.1. Transformador de distribución .....	19
2.2.1.1. Clasificación de transformadores .....	20
2.2.1.2. Partes y principios teóricos del transformador .....	21

2.2.1.3. Tipos de transformadores.....	23
2.2.1.4. Clasificación dependiendo del medio aislante y refrigerante .....	24
2.2.1.5. Tipos de núcleos en transformadores.....	24
2.2.2. Tipos de pérdidas en un transformador.....	26
2.2.2.1. Pérdidas en el núcleo.....	26
2.2.3. Fórmulas y métodos de cálculos .....	31
2.2.3.1. Rendimiento del transformador .....	31
2.2.4. Normatividad .....	33
2.2.4.1. Calidad de producto .....	33
2.2.4.2. Indicador de calidad .....	33
2.2.4.3. Tolerancia.....	34
2.2.4.4. Control.....	34
2.2.5. Definición de términos básicos.....	35
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>37</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	37
3.2. Diseño de la investigación.....	37
3.3. Población y muestra .....	38
3.3.1. Población.....	38
3.3.2. Muestra.....	38
3.4. Técnicas de instrumentos de recolección.....	38
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>39</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
4.1. Descripción técnica del transformador .....	39
4.2. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	44
4.2.1. Pérdidas por histéresis en el núcleo .....	44
4.2.1.1. Utilizando acero al silicio .....	44
4.2.1.2. Utilizando granos orientados .....	45
4.2.2. Pérdidas por corrientes parásitas.....	50
4.2.2.1. Utilizando acero al silicio .....	50
4.2.2.2. Utilizando granos orientados .....	51
4.2.3. Pérdidas totales en el núcleo utilizando acero al silicio .....	52
4.2.3.1. Utilizando acero al silicio .....	52
4.2.3.2. Utilizando granos orientados .....	53
4.2.4. Porcentaje de pérdidas .....	54
4.2.5. Regulación de voltaje.....	55

4.2.6. Valorización de pérdidas en el núcleo del transformador .....	60
4.2.6.1. Pérdidas totales con acero al silicio .....	60
4.2.7. Ahorro económico con la propuesta de granos orientados .....	61
4.2.7.1. Pérdidas totales con granos orientados .....	61
4.2.7.2. Ahorro económico con la propuesta de granos orientados .....	62
4.3. Prueba de hipótesis .....	63
4.3.1. Hipótesis específica 1 .....	63
4.3.2. Hipótesis específica 2 .....	65
4.3.3. Hipótesis específica 3 .....	68
4.3.4. Hipótesis general .....	69
4.4. Discusión de resultados .....	72
<b>Conclusiones .....</b>	<b>73</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>74</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>75</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del transformador de distribución .....	39
Tabla 2. Placa característica del transformador de distribución .....	41
Tabla 3. Demanda registrada de los últimos años .....	42
Tabla 4. Valores de coeficientes "n" para diferentes tipos de acero.....	44
Tabla 5. Características del material de aislamiento.....	48
Tabla 6. Características de los valores magnéticos en función del espesor .....	50
Tabla 7. Características de los valores magnéticos en función del espesor .....	51
Tabla 8. Pérdidas por histéresis en función de la frecuencia .....	63
Tabla 9. Estadístico t de la prueba de comparación de las medias estadísticas.....	64
Tabla 10. Pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo .....	66
Tabla 11. Estadístico t medias de las pérdidas por corrientes parásitas .....	67
Tabla 12. Pérdidas en el núcleo en función de la frecuencia.....	70
Tabla 13. Estadístico t de la prueba de comparación de las medias estadísticas.....	71
Tabla 14. Matriz de consistencia.....	78
Tabla 15. Matriz de operacionalización de variables .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transformador monofásico .....	20
Figura 2. Transformador trifásico de distribución .....	21
Figura 3. Partes elementales de un transformador trifásico.....	22
Figura 4. Componentes estructurales internos del transformador .....	23
Figura 5. Transformador trifásico con núcleo de tipo columna.....	25
Figura 6. Transformador monofásico acorazado .....	26
Figura 7. Ciclo de histéresis de un material magnético .....	28
Figura 8. Material magnético blando y duro.....	29
Figura 9. Visualización de las corrientes parásitas en el núcleo .....	30
Figura 10. Esquema de corriente de la prueba en vacío .....	31
Figura 11. Características del transformador en el sistema ArcGIS.....	40
Figura 12. Lecturas registradas por el analizador de redes en ArcGIS .....	40
Figura 13. Ubicación de la subestación 10511 en el distrito de San Sebastián.....	41
Figura 14. Registro de datos de la máxima demanda del transformador.....	42
Figura 15. Protocolo de pruebas del transformador 10511 .....	43
Figura 16. Diagrama fasorial del transformador con factor de potencia de 0,8 .....	59
Figura 17. Diagrama fasorial del transformador con factor de potencia de 0,9 .....	59
Figura 18. Diagrama fasorial del transformador con factor de potencia de 1 .....	60
Figura 19. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica 1 .....	64
Figura 20. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica 2 .....	65
Figura 21. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica 3 .....	67
Figura 22. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica 3 .....	68
Figura 23. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica .....	70
Figura 24. Región de aceptación y rechazo de la hipótesis específica .....	71
Figura 25. Inspección de las bobinas del transformador de distribución 10511 .....	86
Figura 26. Núcleo del transformador de la subestación 10511 .....	87
Figura 27. Megado del aislamiento del transformador de 50 kVA .....	87

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la subestación eléctrica 10511 ubicada en la Urb. 3 de Mayo, distrito de San Sebastián, provincia de Cusco, región Cusco; la investigación es de tipo aplicada y nivel descriptivo, no experimental; ya que no afecta al objeto, se analizaron las pérdidas producidas en el núcleo del transformador de distribución de la subestación 10511 de San Sebastián. Este tipo de pérdidas se da, principalmente, en el núcleo del transformador haciendo que el transformador no trabaje óptimamente. El método utilizado en la presente investigación sirve para tener en consideración para verificar el nivel de pérdidas del transformador de distribución, ya que las pérdidas en el núcleo, en específico, la pérdida por histéresis y por corrientes parásitas, afectan en un porcentaje al rendimiento del transformador. Según los resultados de la investigación se indica que en cuanto a la pérdidas por histéresis en el núcleo magnético, influye en el rendimiento del transformador de distribución, ya que existe una pérdida por histéresis de 664.147 W en el núcleo del transformador que representa el 1.66 % respecto a la potencia activa total del transformador de 40,000 W, y también la pérdida por corrientes parásitas de 335.064 W que representa un porcentaje de pérdida de 0.837 % con respecto a la potencia activa total del transformador y un ahorro económico de S/ 4014.86 soles anuales.

La investigación concluye de forma general que, las pérdidas totales en el núcleo del transformador de distribución de la subestación 10511 de San Sebastián son de 999.214 W y se encuentran dentro de los parámetros permitidos de 2.7 % por la norma NTP-IEC 60076-1.

**Palabras claves:** corrientes parásitas, histéresis, pérdidas en el núcleo, transformador

## ABSTRACT

The present investigation was conducted in the electrical substation 10511 located in the Urb. 3 de Mayo, San Sebastián district, Cusco province, Cusco region, the research is of an applied type and descriptive level, not experimental since it does not affect the object, the losses produced in the core of the distribution transformer of the substation were analyzed 10511 San Sebastian. This type of loss occurs mainly in the core of the transformer, causing the transformer to not work optimally. The method used in the present investigation serves to take into consideration to verify the level of losses of the distribution transformer, since the losses in the core, specifically the loss due to hysteresis and parasitic currents, affect the performance of the transformer in a percentage. According to the results of the investigation, it is indicated that in terms of hysteresis losses in the magnetic core, it influences the -performance of the distribution transformer, since there is a hysteresis loss of 664.147 W in the transformer core, which represents 1.66% with respect to the total active power of the 40,000 W transformer, and also the loss due to parasitic currents of 335.064 W, which represents a loss percentage of 0.837% with respect to the total active power of the transformer and an economic saving of S/ 4014.86 soles annual.

The investigation concludes in general that the total losses in the core of the distribution transformer of substation 10511 in San Sebastián are 999,214 W and are within the permitted parameters of 2.7% by the NTP-IEC 60076-1 standard.

**Keywords:** core losses, eddy currents, hysteresis, transformer