



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



### **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 738736

Visto el Informe N° 278-2024-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

**N° 262-2024**

## **CONSTANCIA**

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud del Trabajo de Suficiencia Profesional cuyo título es:

**“SOBRECARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN BASADO EN LA NORMATIVA INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION 60076 EN LA ZONA SUR DE LIMA”**

Presentado por:

**ROSALES LOPEZ, FRANCO ALEXANDER**

**BACHILLER** de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de UNO POR CIENTO (1%), por el cual se le otorga el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 15 de Noviembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
  
Dr. José Luis Donayre Pasache  
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



**Título:**

Sobrecarga de los transformadores de distribución basado en la normativa *International Electrotechnical Commission 60076* en la Zona Sur de Lima.

**Línea de investigación:**

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

**INFORME FINAL DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**Autor:**

BACH. FRANCO ALEXANDER ROSALES LOPEZ

Ica – Perú

2024

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis padres quienes fueron mi inspiración y me brindaron el apoyo para culminar esta etapa en mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme las fuerzas de seguir adelante cada día y agradezco a mi familia, a mi esposa e hija, porque fueron mi mayor impulso y motivación para la culminación de esta etapa de mi vida profesional.

## INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE DE CONTENIDOS .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN .....	iix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA .....	7
1.1    Generalidades .....	7
1.1.1    Descripción de la empresa .....	7
CAPITULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL .....	12
2.1    Descripción general de experiencia.....	12
2.1.1    Formación profesional .....	12
2.1.2    Experiencia profesional .....	13
2.1.2.1    Analista de proyectos para clientes hasta 50 kW .....	13
2.1.2.2    Analista de proyectos de electrificación masiva .....	13
2.1.2.3    Analista de proyectos para clientes hasta 50 kW .....	13
2.1.2.4    Supervisor de proyectos y obras .....	14
2.2    Actividad profesional desempeñada en la empresa .....	14
2.3    Funciones desempeñadas en el cargo .....	15
2.4    Producto o proceso que es objeto del informe.....	16
2.5    Resultados concretos logrados .....	16
CAPITULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL.....	19
3.1    Problemática (realidad problemática) .....	19
3.2    Proyecto de solución .....	19
3.2.1    Formulación del problema .....	19

3.2.1.1	Problema principal .....	19
3.2.1.2	Problemas específicos .....	20
3.2.2	Justificación e importancia de la investigación .....	20
3.3	Objetivo .....	21
3.3.1	Objetivo principal .....	21
3.3.2	Objetivos específicos .....	21
3.4	Dimensiones e Instrumentos .....	21
3.5	Marco Teórico .....	22
3.5.1	Transformadores de Potencia .....	22
3.5.2	Partes componentes de un transformador .....	22
3.5.3	Curva de Bath para transformadores de potencia .....	23
3.5.4	Falla de transformadores de distribución .....	24
3.5.5	Técnicas de Diagnóstico de transformadores de potencia .....	26
3.5.6	Análisis de sobrecargas por criterios y Normativas .....	32
3.6	Análisis situacional del transformador de la SED 03386A .....	37
3.6.1	Análisis de sobrecarga de la subestación .....	37
3.6.2	Datos del transformador .....	37
3.6.3	Datos de la subestación .....	38
3.6.4	Datos del medidor .....	38
3.6.5	Mediciones de demanda de energía eléctrica .....	39
3.7	Cálculo de Hot – Spot y V .....	39
3.7.1	Criterio de antigüedad .....	39
3.7.2	Datos de los movimientos del transformador eléctrico .....	40
3.7.3	Determinación de la potencia de diseño de un nuevo cliente. ....	40
3.7.4	Mediciones de temperatura en la subestación .....	41
3.7.5	Mediciones de la subestación referente al máximo factor de utilización .....	44
3.7.6	Consideraciones adicionales .....	46
3.7.7	Medición del consumo de energía en kW por clientes .....	46
3.7.8	Comportamiento de la temperatura ambiental .....	47

3.7.9 Parámetros del transformador de potencia.....	48
3.7.10 Resultados de cálculos para Hot- Spot.....	48
3.7.11 Análisis Hot- Spot.....	49
3.7.12 Resultados .....	49
CAPITULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIANCIA .....	52
4.1. Aporte a la institución .....	52
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES .....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
ANEXOS .....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	21
ETAPAS E INSTRUMENTOS DEL PROCESO DE ANÁLISIS .....	21
TABLA 2.....	28
RESUMEN DEL TIPO DE FALLAS DETECTADAS UTILIZANDO FRA .....	28
TABLA 3.....	33
EVALUACIÓN DE TRANSFORMADORES QUE SUPEREN LOS 25 AÑOS.....	33
TABLA 4.....	37
COMPARACIÓN DE HOT SPOT Y V .....	37
TABLA 5.....	42
REGISTRO DE TEMPERATURAS DE TIPOS DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA .....	42
TABLA 6.....	44
MEDICIONES DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN ELECTRICA DE DISTRIBUCIÓN 03386A .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación de Luz del Sur S.A.A. (Sede Miotta) .....	8
Fig. 2. Organigrama de las Gerencias de Luz del Sur S.A.A. ....	10
Fig. 3. Organigrama de la gerencia de Distribución .....	11
Fig. 4. Transformador de potencia [6] .....	22
Fig. 5. Curva de Bath para transformador de potencia [6] .....	24
Fig. 6. Pentágono Duval de los 5 gases primarios .....	27
Fig. 7. Corriente de polarización y despolarización con PDC .....	29
Fig. 8. Influencia de factores físico-químicos del transformador en la técnica de FDS .....	30
Fig. 9. Detección de puntos calientes en un transformador usando IRT .....	31
Fig. 10. Simulación en pruebas de emisiones acústicas .....	32
Fig. 11. Matriz de criterios de evaluación del transformador .....	33
Fig. 12. Comportamientos atípicos no representativos .....	34
Fig. 13. Explorador de análisis de carga del transformador .....	35
Fig. 14. Datos de medición para el cálculo de Hot Spot .....	35
Fig. 15. Inspección visual – Detección de derrame de aceite .....	36
Fig. 16. Relación del análisis Host Spot y de envejecimiento .....	36
Fig. 17. Datos de sobrecarga de los últimos 12 meses .....	37
Fig. 18. Características del transformador .....	38
Fig. 19. Datos de la subestación .....	38
Fig. 20. Datos del medidor .....	39
Fig. 21. Picos de sobrecarga del transformador .....	39
Fig. 22. Año de fabricación del transformador .....	40
Fig. 23. Movimientos del transformador desde su puesta en marcha .....	40
Fig. 24. Solicitud de potencia requerida por el nuevo cliente .....	41
Fig. 25. Datos para condiciones adicionales .....	46
Fig. 26. Comportamiento de la carga nueva a ingresar .....	47
Fig. 27. Comportamiento de la temperatura ambiente en una subestación aérea .....	47

Fig. 28. Parámetros de cálculo del transformador .....	48
Fig. 29. Resultados de cálculos .....	48
Fig. 30. Resultados del análisis Hot- Spot.....	49

## RESUMEN

Ante la creciente demanda de energía eléctrica surge la problemática de sobrecarga en la infraestructura eléctrica, en específico en el elemento más importante de un sistema de distribución eléctrica, como lo es el transformador. La sobrecarga en los transformadores puede llevar a generar las siguientes dificultades para la empresa distribuidora de energía eléctrica, el incremento en la inversión debido a la necesidad de reemplazar los transformadores sobrecargados y el aumento en los plazos de atención a nuevos clientes.

Por lo antes mencionado, en el presente trabajo se busca establecer un correcto enfoque para la sobrecarga de los transformadores de distribución de la zona sur de Lima. Para ello se tomó como base teórica la normativa *International Electrotechnical Commission (IEC) 60076*, la cual nos indica que los transformadores pueden trabajar bajo sobrecarga siempre que se cumplan ciertos requisitos, como lo son: el tiempo de sobrecarga, la temperatura máxima del devanado (Hot-Spot) y la velocidad de envejecimiento (V). La normativa, también nos brinda ecuaciones para el cálculo de las dos variables claves, las cuales son: el Hot-Spot y V, dando como resultado parámetros que nos permiten determinar si los transformadores pueden trabajar bajo sobrecarga o deben ser reemplazados por otros de mayor capacidad.

Con la finalidad de efectuar y verificar las bases teóricas, se tuvo un objeto de análisis, el cual fue el transformador ubicado en la subestación eléctrica de distribución (SED) 03386A. La subestación antes mencionada se encuentra en servicio desde el año 1982, y se encarga de suministrar energía eléctrica a un sector de la población del distrito de Lurín. Debido a la necesidad de seguir atendiendo nuevos clientes, se realizó la venta de un nuevo suministro dentro del radio de acción de dicha subestación, por ello se tuvo que verificar la sobrecarga del transformador y determinar si se requiere su cambio o puede seguir trabajando bajo sobrecarga, sin sobrepasar los parámetros indicados en la normativa IEC 60076, para el cálculo del Hot-Spot y V del transformador se recabó la información de dicha subestación, tal como, el tipo de subestación, el perfil de carga de la subestación, la temperatura ambiente en la subestación y el tiempo de funcionamiento del transformador, todos estos datos fueron obtenidos del Software Explorador, el cual sirve como almacenamiento y visualizador de datos. Y fueron procesados mediante una hoja de cálculo con las fórmulas planteadas por la normativa IEC 60076.

Finalmente, al obtener los resultados verificamos que la sobrecarga del transformador no es crítica, por tal motivo puede continuar su operación hasta que el perfil de carga de la subestación se vea incrementado por nuevos clientes o por el incremento progresivo del consumo de energía en la zona.

**Palabras clave:** Transformador eléctrico, Subestación, potencia eléctrica, Sobrecarga

## ABSTRACT

Given the growing demand for electric power, the problem of overloading the electrical infrastructure arises, specifically in the most important element of an electrical distribution system, which is the transformer. Overloading transformers can lead to the following difficulties for the electrical distribution company: increased investment due to the need to replace overloaded transformers and increased service times for new customers.

For the reasons mentioned above, this paper seeks to establish a correct approach to overloading distribution transformers in the southern area of Lima. To do so, the International Electrotechnical Commission (IEC) 60076 standard was taken as a theoretical basis, which indicates that transformers can work under overload provided that certain requirements are met, such as: overload time, maximum winding temperature (Hot-Spot) and aging speed (V). The regulations also provide us with equations for calculating the two key variables, which are: Hot-Spot and V, resulting in parameters that allow us to determine whether the transformers can work under overload or should be replaced by others with greater capacity.

In order to carry out and verify the theoretical bases, an object of analysis was used, which was the transformer located in the electrical distribution substation (SED) 03386A. The aforementioned substation has been in service since 1982 and is responsible for supplying electricity to a sector of the population of the Lurin district. Due to the need to continue serving new customers, a new supply was sold within the radius of action of said substation, so it was necessary to verify the transformer overload and determine if it required its replacement or if it can continue working under overload, without exceeding the parameters indicated in the IEC 60076 standard. To calculate the Hot-Spot and V of the transformer, information was collected from said substation, such as the type of substation, the load profile of the substation, the ambient temperature in the substation and the operating time of the transformer. All of this data was obtained from the Explorer Software, which serves as data storage and display. And it was processed using a spreadsheet with the formulas set out in the IEC 60076 standard.

Finally, upon obtaining the results, we verified that the transformer overload is not critical, for this reason it can continue its operation until the load profile of the substation is increased by new customers or by the progressive increase in energy consumption in the area.

**Keywords:** Electric transformer, Substation, Electrical power, Overload

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo enfrenta un desafío creciente en el ámbito de la distribución eléctrica, generado por el constante aumento de la demanda de energía. Este fenómeno se ve impulsado principalmente por dos factores determinantes: el incremento poblacional y la acelerada industrialización. El crecimiento demográfico exige una mayor disponibilidad de energía para satisfacer las necesidades cotidianas, mientras que el desarrollo industrial demanda un suministro eléctrico robusto y confiable para impulsar sus operaciones. Como consecuencia, los transformadores eléctricos, como elementos fundamentales en la infraestructura de distribución, se ven sometidos a incrementos súbitos de demanda eléctrica, enfrentando situaciones de sobrecarga que podrían poner en riesgo su eficiencia operativa y vida útil.

En este contexto, la norma IEC 60076 emerge como un referente fundamental para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de los transformadores eléctricos frente a situaciones de sobrecarga. Esta normativa internacional establece directrices precisas para el diseño, la fabricación, la instalación y el mantenimiento de los transformadores, considerando aspectos críticos como la capacidad de sobrecarga admisible, la disipación de calor, la protección contra cortocircuitos y otros parámetros relevantes. De esta manera, la aplicación rigurosa de la norma IEC 60076 no solo contribuye a asegurar la integridad y confiabilidad de los transformadores en condiciones de sobrecarga, sino que también proporciona un marco técnico y normativo para abordar eficazmente los desafíos derivados del aumento de la demanda eléctrica en el contexto actual.

Dentro de este marco, es esencial establecer que el problema principal a abordar, de acuerdo con la normativa IEC 60076, es la sobrecarga de los transformadores eléctricos de distribución. Además, se deben considerar las problemáticas derivadas, tales como la inversión no justificada en el reemplazo de transformadores que podrían no estar en un estado crítico, sino que se encuentren dentro de los límites aceptables establecidos por la normativa internacional para su correcta operación. También es relevante el aumento en los plazos de atención a los clientes, ya que, cuando los nuevos clientes o los incrementos de carga se encuentran en el área de influencia de una subestación con un transformador sobrecargado, los tiempos de atención se prolongan considerablemente. Sin embargo, estos plazos podrían reducirse si se determina que la sobrecarga del transformador es aceptable y que permite la incorporación de nueva carga.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un enfoque innovador de análisis de la sobrecarga de los transformadores eléctricos, considerando aspectos fundamentales como la temperatura máxima del devanado (Hot-Spot) y la velocidad de envejecimiento del aislamiento (V). La evaluación de estos factores críticos no solo permite comprender el impacto de la

sobrecarga en el rendimiento a corto y largo plazo de los transformadores, sino que también posibilita el desarrollo de estrategias efectivas de gestión y mantenimiento. Se busca proporcionar soluciones técnicas que permitan gestionar eficazmente la sobrecarga en los transformadores, sin la necesidad de incurrir en los costos significativos asociados al reemplazo por unidades de mayor potencia. Al comprender a fondo el comportamiento de los transformadores frente a la sobrecarga y al emplear herramientas analíticas basadas en la norma IEC 60076, se pretende ofrecer alternativas viables que no solo aseguren un suministro eléctrico confiable para los nuevos clientes, sino que también optimicen el rendimiento y la vida útil de los transformadores existentes, contribuyendo así a una gestión eficiente de los recursos y a la sostenibilidad en el sector eléctrico.

Además, como consecuencia de un correcto análisis de la sobrecarga de los transformadores, se espera poder atender a los clientes en plazos más cortos. Al comprender a fondo el comportamiento de los transformadores bajo condiciones de sobrecarga y al implementar estrategias específicas basadas en parámetros como la temperatura máxima del devanado y la velocidad de envejecimiento del aislamiento, se buscará agilizar los procesos de evaluación, diagnóstico y acción, lo que permitirá brindar una respuesta más ágil y efectiva a las necesidades de los clientes. De esta manera, no solo se busca garantizar un suministro eléctrico confiable y seguro, sino también optimizar la capacidad de respuesta ante situaciones críticas, fortaleciendo así la relación con los clientes y mejorando la eficiencia operativa en el contexto de la distribución eléctrica.

Ante la creciente demanda de energía y la limitada disponibilidad de recursos, es fundamental evitar inversiones no justificadas. En este contexto, se requiere desarrollar estrategias que maximicen la capacidad y la vida útil de los transformadores existentes, sin incurrir en los costos asociados con el reemplazo por unidades de mayor potencia. En consecuencia, el presente trabajo adquiere relevancia al proponer un enfoque innovador basado en el análisis de la sobrecarga de los transformadores eléctricos. Este enfoque se centra en factores críticos como la temperatura máxima del devanado y la velocidad de envejecimiento del aislamiento, con el objetivo de optimizar la operación de los transformadores sin necesidad de realizar inversiones innecesarias.

Por otro lado, la mejora en la capacidad de respuesta ante situaciones críticas representa un factor determinante en la justificación de este estudio. La posibilidad de atender a los clientes en plazos más cortos, como resultado de un correcto análisis y gestión de la sobrecarga en los transformadores, no solo impacta positivamente en la satisfacción del cliente, sino que también fortalece la competitividad y eficiencia operativa de las empresas del sector eléctrico. En un contexto donde la continuidad y calidad del suministro eléctrico son aspectos fundamentales para el desarrollo socioeconómico, contar con estrategias efectivas para gestionar la sobrecarga en

transformadores se convierte en un factor clave para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico y para responder ágilmente a las necesidades emergentes de los clientes.

En el presente trabajo de suficiencia, nos enfocaremos en la evaluación detallada del caso específico de la Subestación de Distribución Eléctrica (SED) 03386A. Esta subestación se caracteriza por experimentar sobrecargas en momentos específicos del día, y se plantea la necesidad de atender a un nuevo cliente unifamiliar. Para abordar esta situación, será crucial considerar tanto la potencia de diseño requerida por el nuevo cliente como los valores de demanda eléctrica registrados en la subestación. Este análisis permitirá determinar con precisión la capacidad actual de la subestación para satisfacer las necesidades energéticas adicionales derivadas de la incorporación del nuevo cliente, así como identificar posibles ajustes o mejoras que puedan ser necesarios para garantizar un suministro eléctrico confiable y eficiente para todos los usuarios conectados a dicha subestación. Además, se buscará evaluar el impacto potencial que la adición del nuevo cliente pueda tener en la operación general de la subestación, considerando aspectos como la estabilidad del sistema, la calidad del suministro y la seguridad operativa. Este estudio proporcionará una visión integral que orientará las decisiones relacionadas con el crecimiento y la gestión efectiva de la infraestructura eléctrica, asegurando una atención óptima a las demandas energéticas presentes y futuras dentro del área de influencia de la SED 03386A.

Las limitaciones en el análisis de la sobrecarga de transformadores de distribución incluyen la dificultad de acceso a datos de demanda máxima. Esto se debe a que algunas subestaciones no cuentan con medidores totalizadores instalados; sin estos dispositivos, no se registra la demanda a lo largo del tiempo, lo que puede llevar a errores en el análisis de la sobrecarga de los transformadores si solo se realizan mediciones puntuales. Además, los factores climáticos adversos representan otra limitación significativa. Como se detallará más adelante, la temperatura ambiente es un factor crucial en los cálculos de Hot-Spot y V. Fenómenos climáticos, como el "fenómeno del Niño", pueden afectar la precisión de los resultados del análisis de sobrecarga.

Para darle sustento al proyecto de investigación se consultaron los siguientes antecedentes internacionales:

M. Hinojosa (2001) [1] realizó un estudio sobre la sobrecarga de transformadores de potencia basado en la Guía de Carga de Transformadores Sumergidos en Aceite Mineral de la normativa *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. Este estudio abarcó la identificación de los riesgos por sobrecargas en transformadores de potencia, revelando los distintos efectos en cada componente del transformador.

Asimismo, Hinojosa estableció directrices para evaluar correctamente la sobrecarga de los transformadores, con el fin de determinar el tiempo máximo admisible para la sobrecarga y la

temperatura en el devanado. Además, analizó la pérdida porcentual de la vida útil del transformador bajo condiciones de sobrecarga.

Según sus recomendaciones, el 85% de las fallas en transformadores se deben a problemas en el aislamiento. Por lo tanto, es crucial desarrollar nuevos métodos de análisis y monitoreo de los transformadores para salvaguardar la vida útil del aislamiento durante su operación.

Durante su investigación sobre la determinación de la máxima sobrecarga admisible de corta duración en un transformador, Q. Fu (2015) [2] evaluó los diversos factores a los que se enfrenta un transformador en funcionamiento, especialmente cuando debe soportar cargas por encima de su potencia nominal. Con el objetivo de estudiar la pérdida de vida útil de un transformador, analizó los principales agentes que contribuyen a esta pérdida, como el deterioro del papel de aislamiento y la formación de burbujas en el aceite. Estos factores están intrínsecamente relacionados, ya que el aumento de temperatura causado por la sobrecarga daña directamente al papel aislante, lo que a su vez puede generar burbujas en el aceite y provocar fallos dieléctricos.

Basándose en sus análisis y estudios, Fu concluye que los límites de temperatura establecidos por la Norma IEC 60076 no se alcanzan con las cargas máximas especificadas en la normativa. Por lo tanto, sugiere que se realice un análisis individual para cada transformador, teniendo en cuenta su perfil de demanda. De esta manera, se pueden obtener resultados de temperatura y pérdida de vida útil con mayor precisión, lo que permite determinar si la sobrecarga de corta duración es admisible para el transformador en cuestión.

Durante la elaboración de su trabajo de fin de grado, R. Rodríguez (2014) [3] llevó a cabo un estudio para determinar las temperaturas de mayor influencia durante la sobrecarga de un transformador. El objetivo fue calcular la cantidad de horas de vida útil perdidas en un transformador cuando las temperaturas en el devanado se acercan a los límites establecidos por la normativa. Para ello, utilizó los modelos propuestos por las normativas IEC y IEEE, obteniendo resultados fiables para el análisis de pérdida de vida y envejecimiento de un transformador.

Asimismo, llegó a la conclusión de que la influencia de la temperatura ambiente desempeña un papel importante en la determinación de las temperaturas máximas del devanado. En sus conclusiones, señaló que los períodos de verano son aquellos en los que se registran las temperaturas más altas y, por ende, las mayores pérdidas de vida útil. Finalmente, también concluyó que los transformadores que operan bajo condiciones de carga normales y temperaturas adecuadas envejecen mucho menos que el tiempo real transcurrido.

En su investigación, P. Caballero y K. Pizarro (2017) [4] llevaron a cabo un análisis comparativo de los materiales utilizados en los transformadores de distribución sumergidos en aceite, con el fin de determinar el comportamiento de dichos materiales constructivos y cómo son afectados por

los diversos estados de operación del transformador. Durante su análisis de los distintos tipos de aislamiento, destacaron el uso de aceites vegetales sobre los aceites minerales debido a su menor impacto ambiental.

Por otra parte, al examinar el aislamiento sólido, centrándose en el papel Kraft, evaluaron las respuestas de este material frente a las principales reacciones químicas que causan su deterioro, como la oxidación, hidrólisis y pirolisis. En particular, se enfocaron en la pirolisis, la cual establece una temperatura máxima de 110°C; superada esta temperatura, se produce un envejecimiento acelerado del aislante, lo que puede llevar a la pérdida total del transformador.

En su artículo científico, E. Sierra, A. Basulto y J. Planos (2016) [5] propusieron un método de estimación temprana de la pérdida de vida útil de los transformadores de distribución, considerando el nivel de criticidad de la sobrecarga. Esto resultó en la creación de un modelo de planificación correctiva y preventiva para los transformadores en operación. La estimación se basó en la guía de carga de la normativa IEEE, así como en datos físicos promedio y perfiles de demanda máxima de zonas geográficas similares.

Los resultados mostraron un porcentaje de error considerable, lo que llevó a la conclusión de que, para realizar estimaciones precisas de la pérdida de vida útil de los transformadores, es necesario utilizar los perfiles de demanda máxima específicos de los transformadores analizados, así como tener en cuenta sus características físicas individuales.

D. Martínez, A. Céspedes y D. García (2019) [6] presentaron su artículo científico titulado "Evaluación de modelos térmicos utilizados para estimar la temperatura del punto caliente en transformadores de distribución". Su objetivo fue evaluar dos modelos de análisis de sobrecarga establecidos por las normas IEC y IEEE. Esta evaluación se llevó a cabo experimentalmente mediante el análisis de datos numéricos recopilados de un transformador específico.

Después de realizar la comparación y llevar a cabo los cálculos numéricos, se concluyó que el modelo propuesto por la norma IEC permite determinar de manera más precisa las temperaturas en el punto más caliente del devanado, generadas por la demanda del transformador.

A continuación se presentarán los antecedentes nacionales:

En su investigación titulada "Metodología de cálculo de la vida útil remanente basada en la degradación del aislamiento para predicción de fallas en transformadores de distribución", Y. Tuesta (2020) [28] examina la degradación de la vida útil de los transformadores debido a la sobrecarga y la temperatura. El estudio se centra en transformadores que presentaron fallas aparentemente causadas por estos factores. Sin embargo, es necesario corroborar que las fallas se debieron a la sobrecarga y no a aspectos relacionados con la construcción de los transformadores. De esta manera, Tuesta valida su investigación y propone una metodología para el cálculo de las

temperaturas en el devanado, así como para la identificación de la disminución parcial de la vida útil del transformador.

El resultado fue favorable para la admisión de sobrecargas en los transformadores, bajo la condición de limitar la temperatura del devanado. Sin embargo, es importante destacar que esta temperatura puede variar según los tipos de subestaciones evaluadas y sus ubicaciones geográficas, dado que la temperatura ambiente a la que se expone el transformador influye significativamente en los resultados finales de las ecuaciones matemáticas utilizadas para determinar las temperaturas del devanado.

En su informe, D. Romaní (2021) [29] busca determinar la capacidad de un transformador para soportar un incremento de carga que excede su capacidad nominal. Para ello, se basa en el estudio de la temperatura interna del transformador y argumenta que los perfiles de demanda, junto con la temperatura ambiente, son factores cruciales para determinar la viabilidad de un aumento de carga en un transformador. Este análisis tiene como objetivo prevenir fallas o la degradación prematura de la vida útil del equipo.

Finalmente, Romaní concluye que es admisible una sobrecarga de hasta un 20% por encima de la capacidad nominal, siempre y cuando los perfiles de máxima demanda presenten picos de carga durante períodos limitados, con el fin de evitar daños al transformador.

## **CAPITULO I: CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLÓ LA EXPERIENCIA**

### **1.1 Generalidades**

#### **1.1.1 Descripción de la empresa**

Luz del Sur es una empresa peruana líder en la distribución de electricidad, brindando servicios a aproximadamente 1,3 millones de clientes y destacándose como una de las principales compañías en el Perú. Con más del 30% del mercado de distribución eléctrica, se ha comprometido a mejorar la calidad de vida de sus clientes, alineándose con el desarrollo sostenible y la tecnología.

Dentro de sus iniciativas, Luz del Sur impulsa la electromovilidad. Uno de sus objetivos a corto plazo es la instalación de electrolineras (puntos de recarga para vehículos eléctricos). Actualmente, ya cuenta con una en Miraflores y planea expandir esta red. Además, tiene la ambición de transformar la mayoría de su flota, compuesta por más de 500 unidades, a tecnología eléctrica en los próximos 3 años, habiendo comenzado con 22 vehículos.

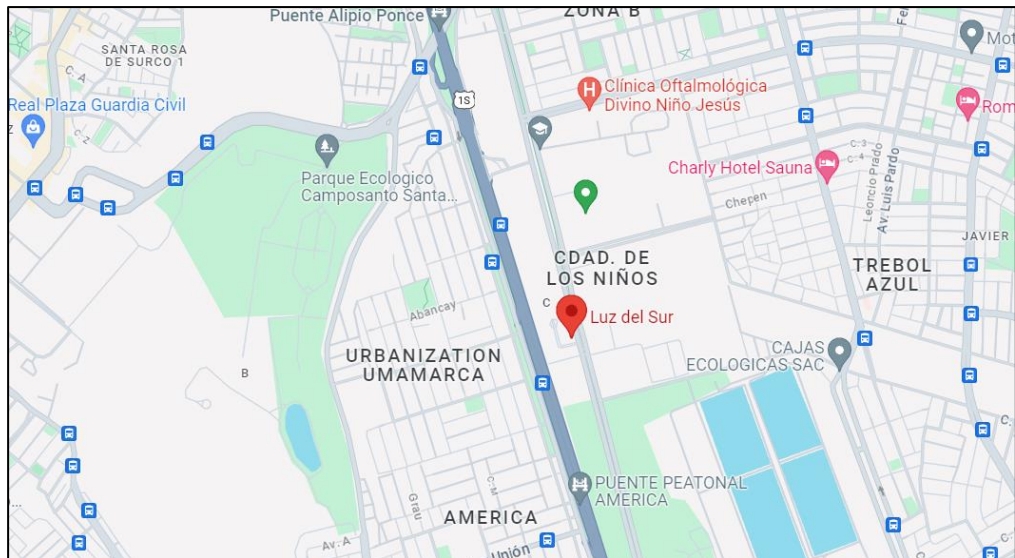
En los últimos seis años, la empresa ha invertido más de US\$ 745 millones para mejorar su infraestructura y ampliar su alcance, llegando a un mayor número de ciudadanos. Estas inversiones han permitido la modernización de sus sistemas de distribución, la implementación de tecnologías más eficientes y la expansión de la cobertura de servicios a áreas anteriormente no atendidas.

Luz del Sur es reconocida como una de las empresas que mejor maneja sus estándares de seguridad en el país. Cumple con creces los estándares de calidad dispuestos por la normativa peruana y se esfuerza por garantizar la seguridad tanto de sus empleados como de sus clientes.

Es importante mencionar que las tarifas eléctricas son establecidas por OSINERGMIN, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, que regula y supervisa el sector eléctrico en el Perú. Luz del Sur se compromete a cumplir con las regulaciones establecidas y a ofrecer un servicio confiable y de calidad a todos sus clientes, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país.

##### **1.1.1.1 Ubicación**

La empresa se encuentra ubicada en la Av. Prolongación Pedro Miotta 400.



*Fig. 1. Ubicación de Luz del Sur S.A.A. (Sede Miotta)*

Nota: Imagen recortada de la página web de Google Maps (2024), link: <https://n9.cl/k9af2>

#### **1.1.1.2 Reseña histórica**

El origen de la empresa Luz del Sur se remonta a la fundación de las Empresas Eléctricas Asociadas en el año 1906, una entidad privada dedicada a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Durante el gobierno revolucionario de las fuerzas armadas, esta empresa fue estatizada, dando lugar a la empresa estatal Electrolima. Sin embargo, en 1992, durante el gobierno de Alberto Fujimori, se promulgó la ley de concesiones eléctricas, la cual tenía como objetivo fomentar la inversión privada y mejorar la eficiencia del sector eléctrico en el país. Esta ley provocó la división de Electrolima en unidades de negocio de generación, transmisión y distribución.

A principios de 1994, se llevó a cabo la fragmentación de Electrolima en cinco empresas de sociedad anónima: Empresa de Generación Eléctrica de Lima (Edegel), Empresa de Distribución Eléctrica de Lima y Norte (Edelnor), Empresa de Distribución Eléctrica de Lima – Sur (Edelsur), Empresa de Distribución Eléctrica de Chancay (EdeChancay) y Empresa de Distribución Eléctrica de Cañete (EdeCañete).

En 1996, la Empresa de Distribución Eléctrica de Lima – Sur se constituyó como Luz del Sur, con el propósito de atender la demanda de electricidad en la zona sur de Lima y parte de la provincia de Cañete. Además, se incorporaron dos empresas subsidiarias: Empresa de Distribución Eléctrica de Cañete (EdeCañete) e Inmobiliaria Luz del Sur, con el fin de gestionar las actividades inmobiliarias relacionadas con la empresa.

En el año 1998, mediante escritura pública, Luz del Sur S.A.A. se adecuó a la Ley General de Sociedades, adoptando la forma societaria de sociedad anónima abierta y, consecuentemente, su denominación social actual: Luz del Sur S.A.A.

En 2015, Luz del Sur S.A.A. y EdeCañete acordaron fusionarse, absorbiendo Luz del Sur a EdeCañete, proceso que entró en vigor el 1 de octubre de 2015. En el mismo año, Luz del Sur constituyó la subsidiaria *Inland Energy S.A.C.* para dedicarse a actividades de desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica, como parte de su estrategia de expansión y diversificación.

En abril de 2020, China *Yangtze Power Company* (CYPC) adquirió las acciones de Luz del Sur y todas las empresas subsidiarias pertenecientes al grupo, adquiriendo más del 80% de las acciones. Esta adquisición representó un hito importante para la empresa y marcó el inicio de una nueva etapa en su desarrollo. Como parte de esta transacción, CYPC se comprometió a mantener y fortalecer las operaciones de Luz del Sur, así como a seguir promoviendo la inversión en infraestructura eléctrica en el país.

Finalmente, en 2021, la empresa CYPC adquirió más del 97% de las acciones de Luz del Sur, consolidando su posición como accionista mayoritario y garantizando su participación activa en la gestión y dirección de la empresa.

Esta trayectoria histórica refleja la evolución y el crecimiento de Luz del Sur a lo largo de más de un siglo, desde sus inicios como una empresa privada hasta convertirse en una de las principales empresas de distribución de energía eléctrica en el Perú, con un fuerte enfoque en la eficiencia operativa, la calidad del servicio y la responsabilidad social corporativa.

### **1.1.1.3 Actividad**

Empresa especializada en llevar a cabo actividades de generación y distribución de energía eléctrica. Su principal foco de negocio se centra en la distribución de energía eléctrica, contribuyendo con un 97% de sus ingresos totales; mientras que el restante se divide entre sus operaciones en generación eléctrica e inmobiliaria. En lo que respecta a la distribución, su área de concesión abarca la región sur de Lima Metropolitana y la provincia de Cañete. En cuanto al negocio de generación, la empresa opera en el departamento de Cusco, específicamente a través de la Central

Hidroeléctrica Santa Teresa. Estos dos sectores vinculados al ámbito eléctrico conjuntamente brindan servicios a 1,3 millones de clientes.

#### 1.1.1.4 Misión y Visión de la empresa

##### Misión:

Proporcionar energía con el objetivo de elevar el bienestar de la comunidad, asegurando operaciones que sean seguras y respetuosas con el entorno ambiental. Nuestro compromiso se centra en mejorar la calidad de vida de las personas mediante la entrega confiable de energía, al mismo tiempo que nos esforzamos por realizar nuestras actividades de manera responsable y sostenible, minimizando el impacto en el medio ambiente.

##### Visión:

Fomentar un horizonte más sostenible mediante el impulso de energías renovables e innovación, gestionando de manera eficiente los recursos en aras de construir un legado beneficioso para las futuras generaciones. Nuestro compromiso se centra en liderar iniciativas que promuevan un futuro más limpio, incorporando prácticas innovadoras y sostenibles en la gestión de la energía. Nos esforzamos por dejar un impacto positivo y duradero para las generaciones venideras, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar global.

#### 1.1.1.5 Organización de la empresa

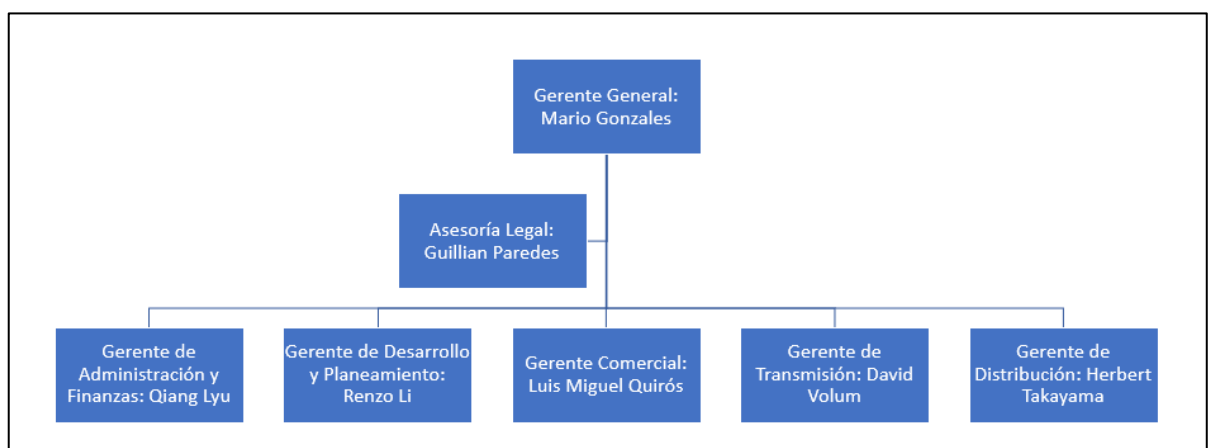


Fig. 2. Organigrama de las Gerencias de Luz del Sur S.A.A.

Nota: Información del departamento de comunicaciones de la empresa Luz del Sur.

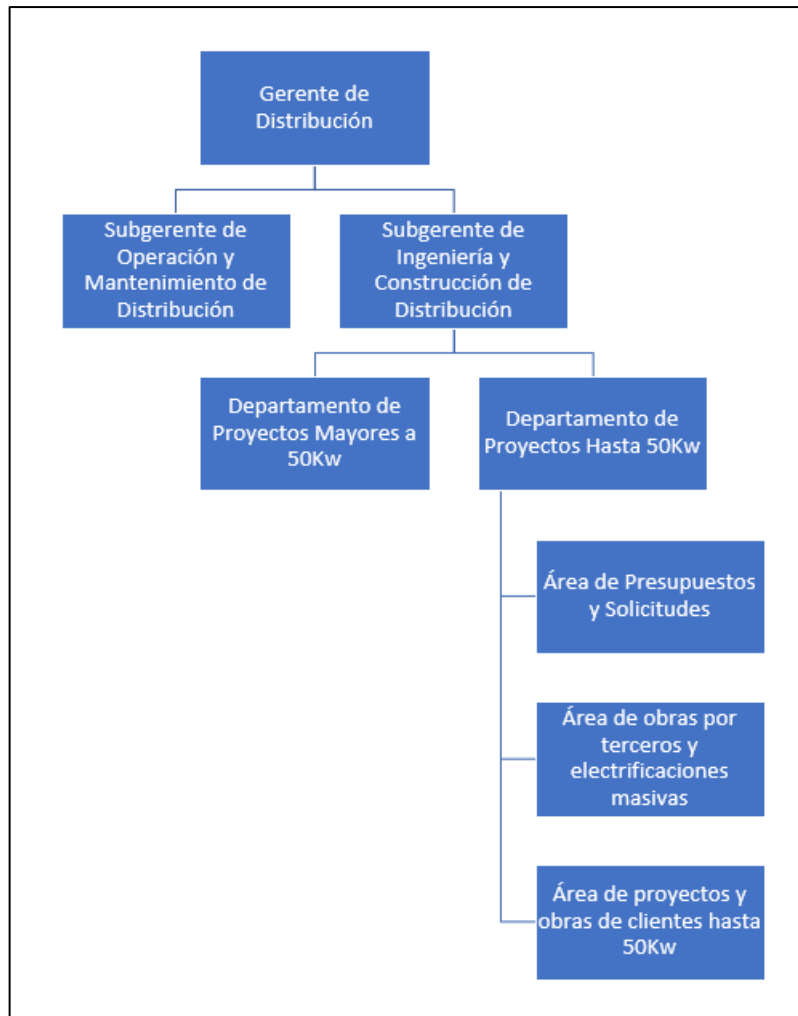


Fig. 3. Organigrama de la gerencia de Distribución

Nota: Información del departamento de comunicaciones de la empresa Luz del Sur.

## **CAPITULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL**

### **2.1 Descripción general de experiencia**

Luz del Sur S.A.A. es una empresa líder en la distribución de energía eléctrica en la zona sureste de Lima, desempeñando un papel fundamental al atender las necesidades de más de 1.3 millones de usuarios dentro de su zona de concesión. La empresa opera a través de diversas divisiones internas, siendo la gerencia de Distribución la encargada de planificar el crecimiento de las redes eléctricas y asegurar su operación continua para garantizar un suministro confiable a sus usuarios.

Dentro de la gerencia de Distribución, se encuentran dos subgerencias fundamentales: la subgerencia de Ingeniería y Construcción de Distribución (SGICD) y la subgerencia de Operación y Mantenimiento de Distribución (SGOMD). Estas subgerencias desempeñan roles esenciales para el desarrollo y funcionamiento óptimo de la red eléctrica en la zona sureste de Lima.

La subgerencia de Ingeniería y Construcción de Distribución tiene a su cargo la evaluación de factibilidad para la atención de nuevos clientes, desplegando un equipo altamente capacitado que se encarga de determinar los trabajos necesarios para satisfacer las demandas energéticas emergentes. Esta subgerencia opera con distintas áreas especializadas que abordan modalidades específicas de atención, tales como solicitudes individuales hasta 50Kw, solicitudes individuales superiores a 50Kw, electrificaciones masivas, electrificaciones por terceros y solicitudes de sistemas de utilización.

Los analistas de proyectos en la subgerencia de Ingeniería y Construcción de Distribución realizan un exhaustivo análisis para asegurar que los recursos sean asignados eficientemente, considerando aspectos técnicos, económicos y operativos para satisfacer las necesidades energéticas tanto actuales como futuras. Este proceso garantiza que el crecimiento y expansión de la red eléctrica sea planificado con precisión y en línea con las normativas vigentes.

La labor desarrollada por la subgerencia de Ingeniería y Construcción de Distribución es crucial para el desarrollo sostenible y eficiente del servicio eléctrico en la zona sureste de Lima, contribuyendo al bienestar y progreso continuo de la comunidad a través del acceso confiable a la energía eléctrica.

#### **2.1.1 Formación profesional**

- Maestría en Ingeniería Eléctrica con mención en gestión de sistemas eléctricos de potencia. En la Universidad Nacional del Callao en el Periodo 2021 – 2023.
- Diplomado en gerencia y gestión de proyectos. En la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería en el periodo 2020 – 2020.
- Bachiller en Ingeniería Mecánica y Eléctrica. En la Universidad Nacional San Luis Gonzaga en el periodo 2014 – 2018.

## **2.1.2 Experiencia profesional**

### **2.1.2.1 Analista de proyectos para clientes hasta 50 kW**

Empresa Luz del Sur S.A.A. en la actualidad.

Responsabilidades:

- Análisis de redes eléctricas de baja tensión para la atención de nuevos clientes individuales.
- Proyectos de ampliación y reformas de redes de baja tensión para la atención de nuevos clientes.
- Análisis de sobrecarga de transformadores para la atención de nuevos clientes individuales.
- Proyectos de descarga y cambio de transformadores para la atención de nuevos clientes.

### **2.1.2.2 Analista de proyectos de electrificación masiva**

Empresa Luz del Sur S.A.A. en el periodo de noviembre del 2021 hasta octubre del 2023.

Responsabilidades:

Proyectos de electrificación masiva, desde la etapa de análisis hasta la etapa de envío a obra.

- Análisis de redes eléctricas existentes (caída de tensión, sobrecarga de cable y fusible, sobrecarga de transformadores, etc.)
- Inspección y levantamiento de información en campo.

Supervisión de obras y estándares de seguridad durante la ejecución de los proyectos de electrificación.

- Coordinación con la contratista para el inicio, fin y puesta en servicio de la obra.
- Supervisión de campo a la empresa contratista y verificación del cumplimiento de los estándares de seguridad.

### **2.1.2.3 Analista de proyectos para clientes hasta 50 kW**

Empresa Luz del Sur S.A.A. en el periodo de diciembre del 2020 hasta octubre del 2021.

Responsabilidades:

- Análisis de redes eléctricas de baja tensión para la atención de nuevos clientes individuales.
- Proyectos de ampliación y reformas de redes de baja tensión para la atención de nuevos clientes.
- Análisis de sobrecarga de transformadores para la atención de nuevos clientes individuales.

- Proyectos de descarga y cambio de transformadores para la atención de nuevos clientes.

#### **2.1.2.4 Supervisor de proyectos y obras**

Empresa Ferreyra Ingenieros E.I.R.L. en el periodo de agosto del 2020 hasta noviembre del 2021.

Responsabilidades:

Encargado de la supervisión de 2 ingenieros, designar carga de trabajo y revisar informes de cierre de trabajos para presentar al cliente.

Trabajos realizados:

- Ampliación del sistema de utilización del fundo agrícola La Portada (Grupo La Calera).
- Mantenimiento a los sistemas de utilización de los fundos agrícolas y planta de exportación del grupo La Calera.
- Diseño y ejecución de tableros eléctricos para fundos agrícolas, sistemas de bombeo de agua y sistemas de refrigeración.

## **2.2 Actividad profesional desempeñada en la empresa**

El puesto de analista de proyectos en el área de solicitudes individuales hasta 50Kw es de vital importancia para garantizar la correcta atención a las solicitudes de nuevos clientes o incrementos de consumo de clientes registrados. Este rol implica la evaluación minuciosa de las solicitudes, que pueden clasificarse en tres tipos distintos: conexiones por rutina, conexiones que requieren reformas o ampliaciones de redes en baja tensión y conexiones que demandan reformas sustanciales de las redes, como ampliaciones en media tensión o cambios de transformadores en subestaciones existentes.

El analista designado para esta función debe llevar a cabo una exhaustiva evaluación de las redes eléctricas preexistentes, verificando su existencia, la calidad de energía que proporcionan y el estado de todos sus componentes. Además, se espera que genere el respectivo proyecto para la atención de cada nuevo suministro, asegurándose de que cumpla con la normativa interna de la empresa y la normativa nacional, incluyendo el Código Nacional de Electricidad y sus complementos.

Asimismo, es responsabilidad del analista realizar un seguimiento constante para garantizar la ejecución oportuna del proyecto y la correcta atención a los clientes dentro de los plazos establecidos. En última instancia, se espera que todo analista de proyectos haga cumplir los estándares de calidad y seguridad en el trabajo establecidos por la empresa, asegurándose de que tanto los empleados como los contratistas respeten dichos estándares en cada tarea realizada.

Por otro lado, el puesto de analista de proyectos en el área de electrificaciones masivas conlleva la responsabilidad crucial de evaluar el tipo de proyecto necesario para atender las nuevas agrupaciones de viviendas, principalmente ubicadas en zonas urbano-marginales dentro del área de concesión de la empresa. Los tipos de proyectos requeridos para atender estas agrupaciones incluyen ampliaciones tanto en redes eléctricas de baja tensión como en redes eléctricas de media y baja tensión con el cambio correspondiente del transformador.

Para determinar el tipo específico de proyecto necesario en cada caso, es fundamental realizar una evaluación detallada de las redes eléctricas existentes, considerando aspectos como la proximidad a la agrupación de viviendas, la calidad del suministro eléctrico y el estado general tanto de las redes como sus componentes. Al igual que en el área anterior, se espera que el analista cumpla con los plazos propuestos y haga cumplir los estándares establecidos en cuanto a calidad y seguridad laboral.

### **2.3 Funciones desempeñadas en el cargo**

Para el puesto de analista de proyectos en el área de solicitudes individuales hasta 50Kw, el objetivo principal es atender las solicitudes de nuevos clientes en el menor tiempo posible. Sin embargo, este objetivo se ve obstaculizado por el rápido crecimiento del consumo de energía eléctrica en la población, lo que ocasiona que muchas de las solicitudes de nuevos clientes sean automáticamente calificadas como conexiones que requieren reformas sustanciales en las redes. Estas reformas, a su vez, demandan un mayor tiempo de atención.

Por esta razón, se han evaluado dos criterios fundamentales para la evaluación de las nuevas solicitudes: la potencia de diseño de los nuevos suministros y el análisis de sobrecarga de transformadores basado en la normativa IEC 60076. Este último criterio permite realizar simulaciones de la sobrecarga del transformador con la inclusión de la nueva carga, lo que a su vez permite descartar la consideración de una conexión que requiera una reforma sustancial en las redes. De esta manera, se logra reducir los tiempos de atención a los nuevos clientes y evitar inversiones elevadas que no serían rentables para la empresa.

Al implementar estos criterios, se busca agilizar el proceso de atención a los nuevos clientes y optimizar los recursos al evitar inversiones innecesarias. Esto no solo beneficia a la empresa al reducir costos, sino que también mejora la experiencia del cliente al brindar un servicio más eficiente y oportuno.

## **2.4 Producto o proceso que es objeto del informe**

El análisis de sobrecarga de transformadores mediante el criterio de Hot-Spot y V se basa en la normativa IEC 60076. Esta normativa detalla las consideraciones necesarias para realizar el cálculo preciso de la temperatura de Hot-Spot y la velocidad de envejecimiento (V), además de proporcionar estándares adecuados para el funcionamiento de los transformadores bajo sobrecarga.

El estudio e interpretación detallada de la normativa IEC 60076 permite elaborar una directiva de trabajo para el análisis de la sobrecarga de transformadores. Además, proporciona un método para determinar el nivel de criticidad de la sobrecarga. Este enfoque resulta en un análisis más preciso de las lecturas de parámetros realizadas en todas las subestaciones, lo que permite determinar con mayor precisión la necesidad de reformas sustanciales en las redes para atender a nuevos clientes o aumentos de carga.

Al aplicar este criterio, se logra una evaluación más exhaustiva y detallada del impacto de la sobrecarga en los transformadores, lo que a su vez permite tomar decisiones fundamentadas sobre la necesidad real de reformas en las redes. Esta aproximación no solo contribuye a garantizar un funcionamiento óptimo de los transformadores bajo condiciones de sobrecarga, sino que también optimiza los recursos al evitar reformas innecesarias, lo que resulta en beneficios tanto para la empresa como para los clientes.

## **2.5 Resultados concretos logrados**

Los resultados obtenidos en el puesto de Analista de proyectos en el área de solicitudes individuales hasta 50Kw en un periodo de 11 meses, son los siguientes:

- Se adquirieron los conocimientos necesarios en los softwares Design Manager, Módulos de Análisis de Caída de Tensión SPO y ORBIT con Tecnología LIDAR, con el fin de atender a más de 2000 nuevos clientes. Estos softwares proporcionan herramientas avanzadas para realizar un análisis detallado de la infraestructura eléctrica y garantizar un servicio eficiente y de calidad.

Dentro del análisis para la atención de estos nuevos clientes se incluye la verificación de la existencia de redes eléctricas, la evaluación de la caída de tensión para asegurar un suministro adecuado de energía, la identificación de posibles sobrecargas en cables y transformadores, así como la coordinación y revisión de fusibles de baja tensión. También se considera el estado actual de las redes para identificar áreas que requieran mantenimiento o mejoras.

Este enfoque integral nos permite garantizar un servicio confiable y seguro para nuestros clientes, así como adaptarnos a las necesidades de una creciente demanda de energía en la región.

- Dentro de los 2000 clientes atendidos, aproximadamente el 50% requirió ampliaciones y/o reformas de redes en Baja Tensión. Las ampliaciones de las redes eléctricas se llevaron a cabo debido a la ausencia de redes cercanas a los predios de los nuevos clientes. Estas ampliaciones pueden consistir en redes subterráneas, aéreas o mixtas. Por otro lado, las reformas se realizaron con el objetivo de suministrar electricidad a los nuevos clientes mediante redes que cumplan con los estándares de calidad.

Estos estándares incluyen el cumplimiento de distancias mínimas de seguridad, la prevención de sobrecargas de cables a lo largo del trayecto desde la subestación hasta el cliente, y la minimización de la caída de tensión causada por la incorporación de nuevos clientes.

Este enfoque garantiza la seguridad y la calidad del suministro eléctrico para los nuevos clientes, al tiempo que cumple con los requisitos técnicos y normativos establecidos en el sector eléctrico. Asimismo, contribuye al desarrollo sostenible al asegurar una infraestructura eléctrica adecuada para el crecimiento urbano y económico de la región.

- De los 2000 clientes atendidos, 300 requirieron conexiones con reformas sustanciales de redes debido a la sobrecarga de transformadores, lo que implicó plazos de atención más prolongados. Sin embargo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la sobrecarga de transformadores, basado en los criterios de Hot-Spot y V, con el fin de determinar las acciones necesarias.

Tras este análisis, se concluyó que el 94% de los clientes podrían ser atendidos como conexiones por rutina o mediante ampliaciones/reformas de redes en baja tensión. Esta decisión no solo reduciría significativamente los plazos de atención, sino que también permitiría evitar la realización de trabajos de inversión poco rentables, optimizando así la asignación de recursos.

Este enfoque permitió una gestión más eficiente de los recursos disponibles y una atención más rápida a los clientes. Además, aseguró la calidad y la seguridad en el suministro eléctrico, lo que es fundamental para el funcionamiento de las actividades de los clientes y el desarrollo de la comunidad en general.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el puesto de analista de proyectos en el área de electrificaciones masivas en un periodo de 2 años son los siguientes:

- Se llevó a cabo la electrificación de más de 40 mil viviendas situadas en las zonas urbano-marginales de Lima, asociaciones de viviendas de escasos recursos que carecían del servicio básico de electricidad y alumbrado público. Para abordar esta tarea, se

implementaron proyectos de electrificación masiva, los cuales se clasificaron en función del número de lotes, variando desde proyectos para 50 lotes hasta proyectos para 5000 lotes.

Según la magnitud del proyecto, se ejecutaron proyectos de subsistemas de distribución secundaria y alumbrado público, o bien proyectos de subsistemas de distribución primaria, secundaria y alumbrado público. Dado que existían agrupaciones de viviendas de pequeña envergadura, se optó por realizar proyectos de subsistemas de distribución secundaria y alumbrado público.

Para esto, se llevó a cabo una verificación exhaustiva del estado actual de las redes eléctricas existentes, se aseguraron los estándares de calidad en términos de caída de tensión y sobrecarga de cables, y se evaluó la sobrecarga de los transformadores a los cuales se conectarían las nuevas redes proyectadas. Este último punto se realizó bajo los criterios de Hot-Spot y V, los cuales permiten determinar la capacidad de carga de los transformadores y garantizar un suministro eléctrico seguro y eficiente.

Además, se realizó un análisis detallado de los requisitos técnicos y normativos, incluyendo la normativa local y las regulaciones establecidas por el sector eléctrico. Esto aseguró que todos los proyectos se llevaran a cabo de acuerdo con las normas vigentes y se cumplieran los estándares de calidad exigidos.

Estos esfuerzos no solo permitieron la electrificación de las viviendas, sino que también contribuyeron al desarrollo social y económico de las comunidades beneficiadas, mejorando su calidad de vida y facilitando su integración en la sociedad.

- Se llevó a cabo una supervisión integral de todos los proyectos ejecutados con el propósito de garantizar la calidad de las redes instaladas y verificar el cumplimiento de los procedimientos de seguridad y salud en el trabajo establecidos por la normativa interna de la empresa.

Este proceso de supervisión involucró una evaluación exhaustiva de cada etapa de los proyectos, desde la planificación hasta la implementación, con el fin de asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos. Se realizaron inspecciones regulares en el sitio de trabajo para verificar la correcta ejecución de las actividades y se llevaron a cabo pruebas y controles de calidad en los materiales y equipos utilizados.

Además, se hizo hincapié en la observancia de los procedimientos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir accidentes y proteger la integridad física de los trabajadores. Se proporcionó capacitación continua sobre medidas de seguridad y se implementaron medidas de control de riesgos en todas las áreas de trabajo.

Esta supervisión rigurosa fue fundamental para garantizar el éxito de los proyectos y cumplir con los estándares de calidad y seguridad requeridos por la empresa y la normativa vigente.

## CAPITULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL

### 3.1 Problemática (realidad problemática)

A nivel mundial la demanda energética eléctrica crece cada día así como lo menciona Figueroa y Villaquiran [7], mencionan que la demanda de energía eléctrica se incrementara en un 52% para el año 2030 ante esto surge la necesidad de realizar o ampliar los componentes y equipos eléctricos en baja y media tensión como los transformadores los cuales permiten la distribución de energía hacia unidades domésticas y entidades o empresas que utilizan maquinaria eléctrica, existen problemas relacionados a los transformadores las cuales generalmente son sobrecargas que afectan la vida útil de los transformadores y provocan mayor envejecimiento de sus componentes internos ante ello la norma IEC, ante esto la normativa IEC 60076 es una base para una serie de normas que propone principalmente valores nominales y requisitos generales, orientados para un transformador con devanados de tomas y designación de grupo de conexión, placa de identificación, requisitos de seguridad, ambientales, etc. La sobrecarga tipo nominal en el transformador depende de la carga anterior, los devanados y temperatura al inicio de la sobrecarga por ejemplo si en el transformador se carga con un 50% de su potencia nominal, entonces este se puede sobrecargar al 150% o 120% [8].

El Perú no es ajeno respecto al aumento de su demanda de energía eléctrica debido al propio crecimiento poblacional e industrial y eso trae consigo el incremento del empleo de transformadores eléctricos ocasionándose además mayores problemas y daños por sobrecarga de los transformadores [9].

En el ámbito local, Lima es una ciudad con gran consumo de energía eléctrica ello conllevando a potenciales sucesos de sobrecarga en transformadores, como lo menciona [10] acorde a las normas IEC 60076-1, IEC 60076-2, IEC 60044-3, IEC 60044-5, ANSI/NETA MTS 2011, IEEE Std 43, se debe de contar con parámetros estrictos de análisis para evitar sobrecarga en transformadores es por eso que actualmente se desconoce de un análisis de sobrecargas en los transformadores de distribución eléctrica que este basado en la norma IEC 60076 para la zona Sur de Lima, y por tal motivo describiendo la problemática es necesario contar con un análisis de sobrecarga de los transformadores de distribución para diagnosticar y precisar las tomas de decisiones y las acciones correctas a tomar dentro de las actividades planificadas en la empresa.

### 3.2 Proyecto de solución

#### 3.2.1 Formulación del problema

##### 3.2.1.1 Problema principal

¿Cómo realizar el análisis de la sobrecarga de los transformadores de distribución en la Zona Sur de Lima?

### **3.2.1.2 Problemas específicos**

- a) Incremento en la inversión: Debido a la sobrecarga de los transformadores se debe plantear soluciones inmediatas para evitar los fuera de servicio o las pérdidas de activos, esto involucra la inversión elevada de realizar el cambio de un transformador.
- b) Incremento en plazos de atención a nuevos clientes: En la actualidad, para los clientes en baja tensión, se tienen tres plazos de atención. En 7 días, clientes que pueden ser atendidos por rutina, debido a que existen redes eléctricas que pasan por su frontis y cumplen los parámetros de calidad. En 21 días, clientes que deben ser atendidos con una ampliación de redes en baja tensión o reformas para mejorar la calidad del suministro. En 54 días, clientes que deben ser atendidos con una reforma sustancial de las redes eléctricas, lo cual involucra el cambio de los transformadores o la instalación de una nueva subestación o redes en media tensión. Al encontrarse los transformadores bajo sobrecarga los plazos a los clientes se ven incrementados.

## **3.2.2 Justificación e importancia de la investigación**

### **3.2.2.1 Justificación Teórica**

El propósito de este proyecto fue desarrollar un procedimiento de evaluación y análisis de transformadores de distribución basado en la Normativa IEC 60076 con el objetivo de diagnosticar e identificar las condiciones necesarias de los transformadores para tomar acciones correctas para el funcionamiento, mantenimiento e instalación a través de procedimientos de evaluación del factor de utilización, temperatura de Hot Spot y velocidad de envejecimiento.

### **3.2.2.2 Justificación Práctica**

Los hallazgos de este estudio describen la metodología utilizada para desarrollar el procedimiento de análisis de transformadores de distribución basado en la Normativa IEC 60076 en la Zona Sur de Lima.

### **3.2.2.3 Justificación Legal**

La investigación contribuirá en la evaluación de la Normativa IEC 60076, esto implica identificar las brechas de cumplimiento para el análisis de los transformadores.

### **3.2.2.4 Justificación metodología**

El análisis de los transformadores de distribución basado en la Normativa IEC constituye un modelo que puede ser objeto de investigación, análisis como punto de referencia, y ser aprovechado en investigaciones futuras por profesionales en el campo de la electrónica, ingeniería mecánica eléctrica.

### 3.3 Objetivo

#### 3.3.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un enfoque innovador para el análisis de la sobrecarga en transformadores eléctricos en subestaciones, mediante una evaluación detallada de la temperatura máxima del devanado (Hot-Spot) y la velocidad de envejecimiento del aislamiento (V).

#### 3.3.2 Objetivos específicos

- a) En base al análisis de la sobrecarga de los transformadores eléctricos bajo la normativa IEC 60076, uno de los objetivos específicos es determinar con certeza la criticidad de la sobrecarga para evitar inversiones no justificadas, y mejorar la gestión de los activos.
- b) El segundo objetivo específico es mejorar los tiempos de atención de las solicitudes de nuevos suministros o aumentos de carga, ya que debido a la automatización del sistema de atención, las solicitudes son clasificadas de manera automática de acuerdo a la situación de las redes eléctricas, sin embargo al aplicarse la evaluación de la temperatura de Hot-Spot y V, se puede recalificar a las solicitudes y atender en plazos menores a los propuestos de manera inicial.

### 3.4 Dimensiones e Instrumentos

TABLA 1

ETAPAS E INSTRUMENTOS DEL PROCESO DE ANÁLISIS

proyecto	Dimensiones	Indicador	Instrumento
Análisis de sobrecarga	Factor de Utilización	$FU = \frac{MD (KVA) + Pot. diseño cliente (KVA)}{Pot. nominal trafo (KVA)}$	
	Temperatura de Hot Spot	$\theta_h(t) = \theta_a(t) + \Delta\theta_o(t) + \Delta\theta_g(t)$	IEC 60076
	Velocidad de envejecimiento	$V = 2^{(\theta_h - 98)/6}$	
Transformadores	Acciones que tomar	Matriz de criterios	Razón

Fuente: Documento oficial de la normativa *International Electrotechnical Commission 60076-2*.

### 3.5 Marco Teórico

#### 3.5.1 Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia son esenciales para la transmisión de energía desde la generación hasta el consumo. Es crucial conocer su estado para asegurar un funcionamiento confiable y sin fallos. Reemplazarlos después de una falla o mantenimiento correctivo no siempre es económicamente viable debido a los altos costos y la dependencia de las condiciones de trabajo de cada transformador en diferentes modos de falla [11].



Fig. 4. Transformador de potencia

Nota: Artículo Análisis de fallas en transformadores de potencia y su prevención de la Universidad de El Salvador, 2020.

#### 3.5.2 Partes componentes de un transformador

Los elementos que forman parte de un transformador se dividen en cuatro categorías principales, las cuales incluyen:

a) Circuito magnético (núcleo)

Es la sección integral del transformador diseñada para dirigir el flujo magnético resultante, el cual enlaza magnéticamente los circuitos eléctricos del transformador. Esta parte, comúnmente llamada núcleo, está compuesta por láminas de acero al silicio de grano orientado, caracterizadas por bajas pérdidas y una alta permeabilidad magnética [13].

b) Circuito eléctrico (bobinas)

Las bobinas constituyen la porción que conforma los circuitos eléctricos del transformador, dividiéndose en bobinas primarias y secundarias. Se fabrican en diversas configuraciones y formas según los requisitos del diseño y los materiales conductores empleados, principalmente cobre y aluminio. La función de las bobinas primarias es generar un flujo magnético para inducir una fuerza electromotriz en las bobinas secundarias, facilitando la transferencia de energía eléctrica del primario al secundario [13].

c) Sistema de aislamiento

Los transformadores cuentan con diversos materiales aislantes que, al combinarse, constituyen el sistema de aislamiento. Estos materiales incluyen, entre otros, cartón prensado (pressboard), papel Kraft normal o tratado (insuldur), papel manila y corrugado, cartón prensado de alta densidad, collares de cartón prensado y aislamientos finales, partes laminadas de cartón prensado, así como esmaltes y barnices [13].

d) Tanques herrajes y accesorios

Es necesario alojar los transformadores dentro de un recipiente sellado para preservar el aceite, el cual desempeña la doble función de dieléctrico y refrigerante. El transformador debe mantenerse completamente hermético en un rango de temperatura que va desde -5°C hasta un máximo de 105°C en la parte superior del líquido aislante [13].

### **3.5.3 Curva de Bath para transformadores de potencia**

En la figura N° 2 una curva de Bath que ilustra la vida útil del transformador de potencia, la cual atraviesa tres etapas fundamentales a lo largo de su ciclo de vida.

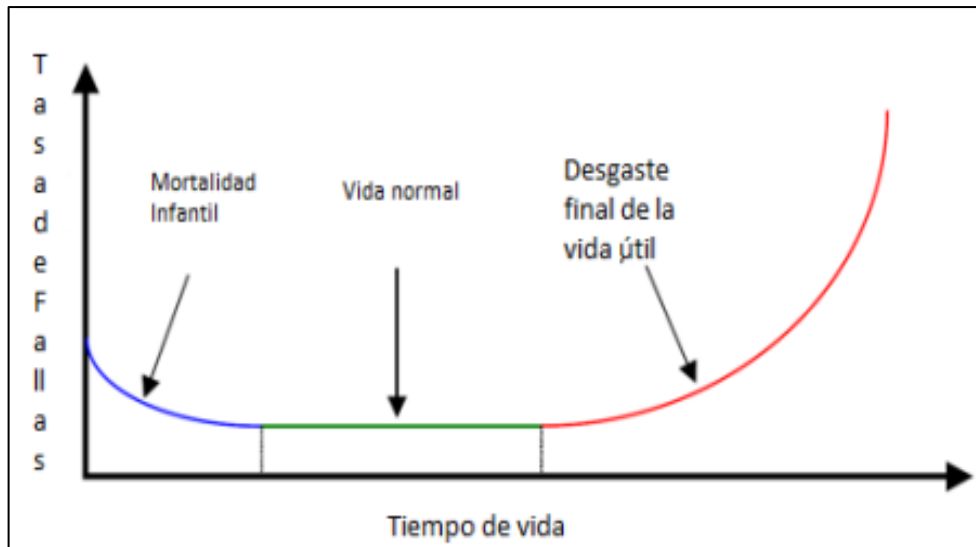


Fig. 5. Curva de Bath para transformador de potencia [12]

Nota: Artículo Análisis de fallas en transformadores de potencia y su prevención de la Universidad de El Salvador, 2020.

### 3.5.4 Falla de transformadores de distribución

Aunque las raíces o causas específicas de las fallas pueden variar de un transformador a otro, aún es posible adoptar un enfoque conceptual para ilustrar los modos generales de falla en los transformadores, que reflejan sus estadísticas características. En la Figura 2.1, los términos "fuerza" y "estrés" se utilizan de manera genérica para abarcar las propiedades y tensiones mencionadas anteriormente. Las fallas ocurren en momentos específicos y representan dos tipos de modos de falla (falla relacionada con el envejecimiento y falla aleatoria) [12].

Respecto a sistemas de distribución óptimos de energía eléctrica, para áreas urbanas, se emplea patrones de comparación, a lo cual se realiza un rediseño de la red de media tensión, tomando como premisa la urbanización, mediante modelos matemáticos de optimización, que mediante heurísticas se finaliza el diseño para su oportuna puesta en marcha y así se optimiza el costo de construcción [14].

#### 3.5.4.1 Descargas parciales

Las descargas parciales surgen como consecuencia de la corona eléctrica, generada por la descomposición del papel aislante. Este fenómeno se produce cuando se dan condiciones que favorecen la ionización del aire alrededor de los puntos débiles o defectos en el papel, dando lugar a pequeñas descargas eléctricas localizadas. Estas descargas parciales pueden tener un impacto significativo en la integridad del aislamiento del transformador y, por lo tanto, comprender su origen y evolución es

esencial para garantizar el funcionamiento confiable del dispositivo a lo largo del tiempo [15].

#### **3.5.4.2 Descargas de baja energía**

Detectables tanto en el aceite como en el papel aislante, se hace referencia en la literatura a la perforación y carbonización del papel como un marcador revelador de este tipo de falla. Durante este proceso, se generan descargas parciales de tipo chisporroteo, dando lugar a la formación de partículas de carbón que se incorporan al aceite del transformador. Este fenómeno no solo indica la presencia de un problema, sino que también destaca la importancia de monitorear de cerca las condiciones del papel y del aceite para prevenir posibles consecuencias adversas en el rendimiento y la vida útil del transformador [15].

#### **3.5.4.3 Descargas de alta energía**

Identificadas tanto en el aceite como en el papel aislante, estas anomalías se traducen en la degradación y carbonización del papel. Este proceso, a su vez, puede provocar daños significativos que llevan a paradas no planificadas en el funcionamiento del transformador. Es crucial abordar prontamente estas condiciones adversas, ya que no solo indican la posibilidad de fallos inminentes, sino que también subrayan la necesidad de implementar medidas preventivas para garantizar la operatividad continua y confiable del dispositivo [15].

#### **3.5.4.4 Fallas térmicas**

Las fallas térmicas se manifiestan en el aceite y el papel a temperaturas inferiores a 300°C, momento en el cual el papel adquiere un tono marrón. A temperaturas superiores a 300°C, el papel experimenta carbonización, y a temperaturas que superan los 700°C, el aceite mineral se carboniza [15].

La temperatura es un factor crucial de funcionamiento de un transformador eléctrico, para su estimación en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral, un procedimiento metodológico es el empleo de regresión con vectores de soporte (RVS), cuyo algoritmo se fundamenta en la teoría de aprendizaje estadístico y forma parte de herramientas de aprendizaje automático su implementación permite estimar con elevada exactitud la temperatura del punto caliente [16].

#### **3.5.4.5 Sobrecalentamiento**

El sobrecalentamiento de los transformadores se manifiesta cuando la temperatura alcanza valores inferiores a 250°C, lo que afecta tanto al aceite como al papel aislante. Este fenómeno puede tener consecuencias perjudiciales para la integridad y el

rendimiento del transformador, ya que las altas temperaturas pueden desencadenar procesos de degradación en estos componentes críticos [15].

#### **3.5.4.6 Relaciones catalíticas**

Las fallas tipo R son poco comunes en las válvulas de muestreo de aceite de transformadores cuando se utiliza acero galvanizado en lugar de agua, o cuando se emplea acero para el tanque que puede oxidarse. Los gases primarios suelen generarse debido a fluctuaciones de temperatura, oscilando entre 90°C y 200°C [15].

### **3.5.5 Técnicas de Diagnóstico de transformadores de potencia**

Las fallas en los transformadores suelen tener orígenes diversos y entrelazados, lo que significa que varios factores pueden converger para generar un solo efecto. Entre las posibles causas de falla se incluyen errores en el diseño o fabricación, daño en los equipos auxiliares del transformador, errores humanos durante los procedimientos de mantenimiento y operación, así como fallos en los circuitos de protección. Además, se observan fallas progresivas, como la deformación de los materiales de aislamiento interno y de los devanados, el deterioro del aislamiento externo debido a condiciones ambientales como viento, nieve, sal o polvo, y daños en la instrumentación que pueden impedir la detección gradual de problemas como fugas de aceite o gas. Dada esta complejidad, las técnicas de diagnóstico de fallas en transformadores de potencia se vuelven esenciales. A continuación, se proporciona una breve descripción de cada una de las técnicas de diagnóstico seleccionadas [11].

Respecto a la capacidad de sobrecarga en los transformadores de potencia, en condiciones de emergencia del sistema eléctrico, fue ampliamente estudiado con procedimientos de cálculo precisos, siendo los valores de temperatura alcanzados en el transformador los únicos parámetros considerados debido a su mayor influencia, además de ello la temperatura ambiente también juega un papel crucial en la determinación de la capacidad de carga de un transformador, para la clasificación del transformador la base de temperatura ambiente promedio de 24 horas es de 30 °C [17].

Además dentro de las técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia eléctrica, ya que estos tienen como función la exportación de energía eléctrica en alta tensión a grandes distancias, su falla puede conllevar al colapso parcial o total del sistema eléctrico, para ello existen muchas técnicas para su mantenimiento y diagnóstico como la técnica de análisis de gases disueltos (DGA), análisis de respuesta en frecuencia (FRA), medición de corrientes de polarización y despolarización (PDC), espectroscopía en el dominio de la frecuencia (FDS) [18].

### 3.5.5.1 Técnica de Análisis de Gases Disueltos (DGA)

El Análisis de Gases Disueltos es una técnica diseñada para examinar los gases generados por fallas incipientes en transformadores sumergidos en aceite. A medida que el transformador experimenta tensiones eléctricas y mecánicas, se producen gases como resultado de la descomposición de materiales aislantes, como papel y aceite. Estos cambios son inmediatos y evidentes, pudiendo incluso indicar fallas en proceso de desarrollo. El diagnóstico mediante DGA establece niveles mínimos aceptables para cada gas, según normativas como la IEEE C57.146 e IEEE C57.104 [11].

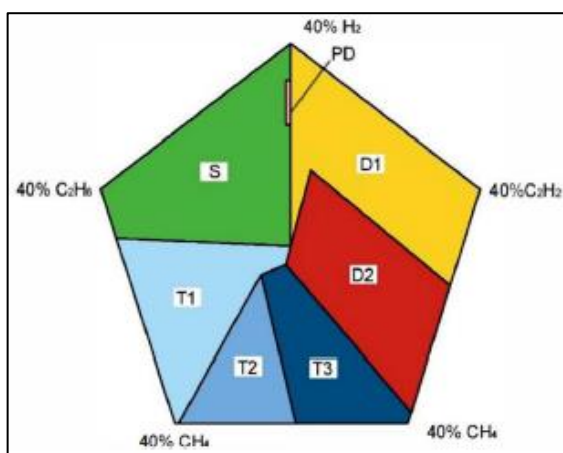


Fig. 6. Pentágono Duval de los 5 gases primarios

Nota: Fuente artículo Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica" de la revista chilena de ingeniería, Ingeniare, vol. 28, no. 2, pp. 184-203, 2020.

### 3.5.5.2 Análisis de Respuesta en frecuencia (FRA)

El Análisis de Respuesta en Frecuencia se emplea principalmente para evaluar la integridad mecánica de los núcleos, devanados y bastidores de presión en transformadores de potencia. Consiste en medir la relación entre la respuesta de señal de un transformador ante un estímulo a lo largo de un amplio rango de frecuencias y comparar estos resultados con mediciones de referencia o fabricación. En este ensayo de respuesta en frecuencia, la metodología consiste en medir magnitudes como impedancia, admitancia y corrientes en los devanados del transformador a lo largo de un rango de frecuencias generalmente comprendido entre 10 Hz y 3 MHz [11].

TABLA 2

## RESUMEN DEL TIPO DE FALLAS DETECTADAS UTILIZANDO FRA

Ítem	Naturaleza del defecto	Detectabilidad
1	Conexión a tierra defectuosa de núcleo	Detectable
2	Pérdida de presión de torque en los devanados	Usualmente no detectable
3	Movimiento del núcleo	Detectable (si es muy severo)
4	Envejecimiento convencional	Detectable (si es muy severo)
5	Envejecimiento convencional	Detectable
6	Espiral corto-circuitado o abiertas	Detectable
7	Estructuras de sujeción rotas	Detectable
8	Espiras flojas	Detectable
9	Colapso parcial de los devanados	Detectable
10	Pandeo de flejes de fijación	Detectable
11	Deformación del devanado circunferencial, inclinación en espiral	Detectable

Fuente: Artículo Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica" de la revista chilena de ingeniería, *Ingeniare*, vol. 28, no. 2, pp. 184-203, 2020.

### 3.5.5.3 Medición de corrientes de polarización y despolarización (PDC)

La prueba PDC, un método de análisis dieléctrico no invasivo y no destructivo, se utiliza para determinar la conductividad y el contenido de humedad en materiales aislantes dentro de un transformador. La medición PDC implica la aplicación de una tensión de corriente continua (DC) al objeto de prueba durante un período específico, que puede variar de 5 minutos a 3 horas según la cantidad de puntos de muestreo requeridos durante la prueba. Después de esta aplicación, se desconecta la fuente de tensión DC, y el objeto de prueba se cortocircuita. Este fenómeno se representa en la Figura 7, donde  $T_P$  y  $T_D$  son los tiempos de polarización y despolarización, respectivamente, y  $U_0$  corresponde a la magnitud de la tensión de polarización aplicada. Las corrientes de carga ( $i_{pol}$ ) y descarga ( $i_{depol}$ ) son influenciadas por las propiedades del material aislante y su estructura geométrica [11].

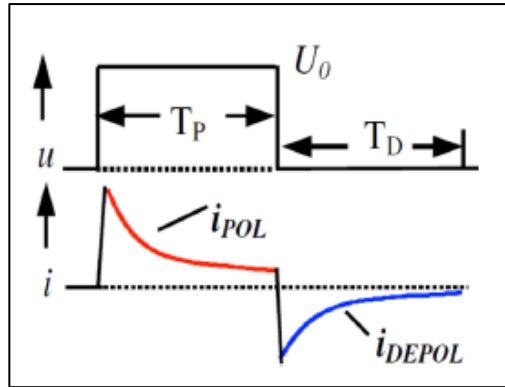


Fig. 7. Corriente de polarización y despolarización con PDC

Nota: Artículo "Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica" de la revista chilena de ingeniería, *Ingeniare*, vol. 28, no. 2, pp. 184-203, 2020.

#### 3.5.5.4 Espectroscopia en el dominio de la frecuencia (FDS)

La prueba de diagnóstico FDS es un método no invasivo que evalúa la condición del aislamiento aceite-papel en transformadores. Aplica una tensión sinusoidal, midiendo la amplitud y fase de la corriente de respuesta para determinar los parámetros capacitivos del sistema aislante. Complementa la prueba PDC, cubriendo rangos de frecuencia diferentes, y detecta fallas como pérdidas, capacitancia y humedad en el aislamiento celulósico. Este enfoque sigue normativas internacionales como la IEC 61620 y se guía por recursos como el brochure 414 de CIGRÉ para su interpretación. La Figura 8 ilustra los factores que afectan la técnica FDS [11].

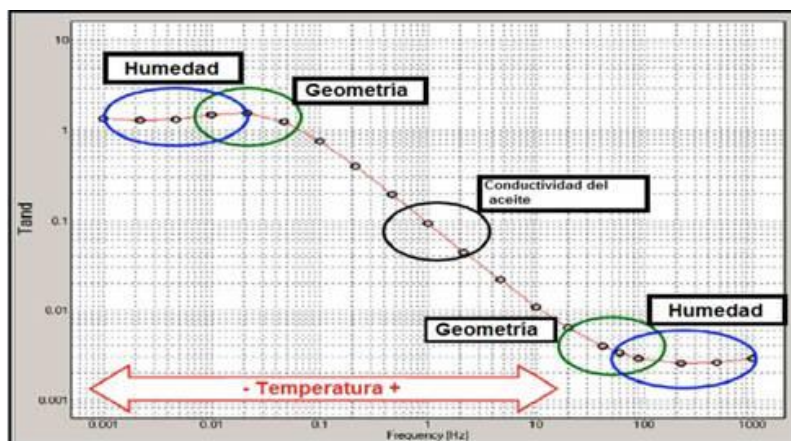


Fig. 8. Influencia de factores físico-químicos del transformador en la técnica de FDS

Nota: Artículo "Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica" de la revista chilena de ingeniería, *Ingeniare*, vol. 28, no. 2, pp. 184-203, 2020.

### 3.5.5.5 Medición de la tensión de recuperación (RVM)

En la técnica de RVM, su objetivo principal es evaluar el estado del aislamiento aceite-papel de un transformador. Esta prueba suele complementar las pruebas de PDC o FDS. En el proceso, al aplicar una tensión de corriente continua al aislamiento, las moléculas se polarizan y orientan hacia el campo eléctrico. Posteriormente, se cierra un interruptor para aplicar un cortocircuito durante un breve periodo, despolarizando parcialmente las moléculas. Al abrir el cortocircuito, se genera una tensión de recuperación en los terminales del aislamiento, influenciada principalmente por la humedad en el sistema papel-aceite del transformador [11].

### 3.5.5.6 Método Termográfico

El método se lleva a cabo principalmente mediante el uso de una herramienta llamada termógrafo infrarrojo (IRT), que es no invasiva y permite evaluar la condición de temperatura, facilitando así un diagnóstico térmico externo de un transformador. La termografía es efectiva para detectar tempranamente problemas como la oxidación de interruptores de alta tensión, conexiones recalentadas, defectos de aislamiento y puntos calientes en bujes, entre otros. En muchos casos, la termografía es útil para identificar la ubicación y evaluar la gravedad de los problemas detectados. La Figura 9 ejemplifica un análisis termográfico para la detección de puntos calientes en un transformador de potencia [11].

La técnica de termografía infrarroja pasiva aplicada a sistemas de detección de fallas es una técnica no invasiva que emplea una cámara mediante la cual detecta la radiación que emite un cuerpo, respecto a su espectro, este puede dividirse en tres regiones de

infrarrojo, cercano (0.75 a 1.5  $\mu\text{m}$ , medio (1.5 a 20  $\mu\text{m}$ ) y lejano(20 a 1000  $\mu\text{m}$ ), la función de las cámaras térmicas consiste en convertir la cantidad de radiación en una aproximación a la temperatura del objeto [19].

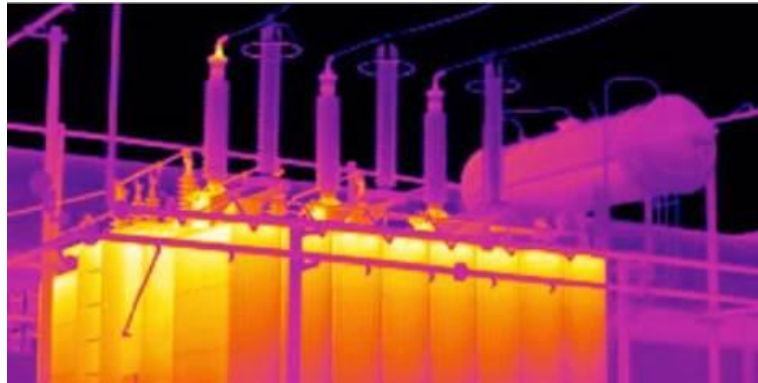


Fig. 9. Detección de puntos calientes en un transformador usando IRT

Nota: Artículo Termografía infrarroja pasiva aplicada a sistemas de detección de la revista Digital Ciencia , vol. 14, no. 2, pp. 28-40, Diciembre 2021.

#### **3.5.5.7 Emisiones acústicas**

Este método implica medir los niveles de sonido para detectar las ondas elásticas generadas por defectos en un material, convirtiéndolas en señales eléctricas a través de sensores piezoeléctricos conectados directamente al transformador. La Emisión Acústica (EA) se utiliza tanto en mediciones fuera de línea como en el lugar donde está instalado el transformador. Las emisiones de ruido provienen principalmente del núcleo por magnetostricción, la corriente en los devanados y equipos externos como ventiladores. Otros factores que pueden causar ruido incluyen descargas estáticas, resonancias y defectos estructurales. La Figura 9 muestra un ejemplo de simulación aplicando esta técnica a un transformador de potencia.

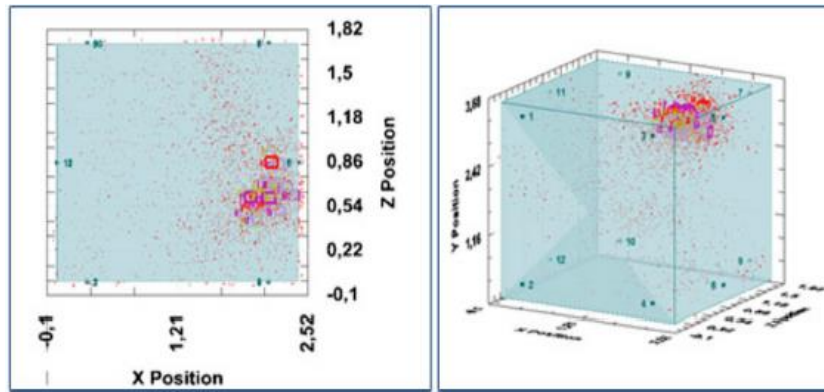


Fig. 10. Simulación en pruebas de emisiones acústicas

Nota: Artículo Termografía infrarroja pasiva aplicada a sistemas de detección de la revista Digital Ciencia , vol. 14, no. 2, pp. 28-40, Diciembre 2021.

### 3.5.6 Análisis de sobrecargas por criterios y Normativas

#### 3.5.6.1 Factor de Utilización (FU)

Evalúa la proporción entre la demanda máxima que utiliza el transformador durante un intervalo específico y su capacidad nominal de potencia. Esta métrica proporciona información crucial sobre la eficiencia y el rendimiento del transformador en situaciones de alta demanda, permitiendo a los ingenieros y profesionales evaluar la capacidad operativa del dispositivo en condiciones diversas y adaptar en consecuencia las estrategias de gestión energética.

#### 3.5.6.2 Temperatura de Hot Spot (HS)

Corresponde a la temperatura más elevada alcanzada por los devanados del transformador durante un intervalo de tiempo específico. Este dato es esencial para monitorear y gestionar la operación del transformador, ya que permite evaluar la capacidad del dispositivo para disipar el calor generado durante su funcionamiento. El conocimiento de la temperatura máxima de los devanados es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo y prevenir posibles problemas relacionados con el sobrecalentamiento del transformador.

#### 3.5.6.3 Velocidad de envejecimiento (v)

Se refiere a la reducción en la duración operativa efectiva del transformador como consecuencia del estrés provocado por situaciones de sobrecarga. Este fenómeno puede tener un impacto significativo en la vida útil del dispositivo, ya que la exposición continua a niveles de carga superiores a los recomendados puede acelerar el desgaste de sus componentes internos y comprometer su rendimiento a largo plazo. La comprensión de este acortamiento de vida útil debido al estrés por sobrecarga es esencial para

implementar estrategias de gestión y mantenimiento que optimicen la operación del transformador y prolonguen su vida útil de manera eficiente.

### 3.5.6.4 Matriz de criterio para evaluar un transformador

Aplicar esta regla cuando el transformador ha estado operando dentro de su tiempo de vida útil (25 años).

FU	HS	v	Acción		
≥105%	≥110 °C	> 1	Se atiende sobrecarga.		
		≤ 1	Se inspecciona y se verifica estado del transformador.	Buen estado	Se registra como inversión postergada.
		Mal Estado		Se atiende sobrecarga.	
	<110 °C		Se registra como inversión postergada.		
<105%			No aplica		

Fig. 11. Matriz de criterios de evaluación del transformador

Nota: Documento oficial de la normativa *International Electrotechnical Commission 60076-2*

En caso el transformador supere los 25 años, se deberá aplicar el mismo criterio del cuadro anterior, considerando en el cálculo del Hot Spot y del factor V, un delta de temperatura de 2°C por cada cinco (05) años de operación posterior a su vida útil.

TABLA 3

#### EVALUACIÓN DE TRANSFORMADORES QUE SUPEREN LOS 25 AÑOS.

Edad del transformador	Temperatura cálculo
< 25 años	Temp. Amb.
<25-30]	Temp. Amb. + 2°C
<30-35]	Temp. Amb. + 4°C
<35-40]	Temp. Amb. + 6°C
<40-45]	Temp. Amb. + 8°C
<45 a más]	Temp. Amb. + 10°C

Fuente: Documento oficial de la normativa *International Electrotechnical Commission 60076-2*

#### Excepciones:

Se exceptúan del análisis de Hot Spot, los FU máximos registrados en temporadas de Navidad y Año nuevo, por ser comportamientos atípicos, de corta duración, y no representativos. Proyectar estos FU registrados, puede conllevar al error y

subvaloración de la vida útil del transformador. Se deberá realizar el análisis de HS y factor  $v$ , considerando el FU inmediato inferior a los valores registrados en Navidad y Año Nuevo.

**Se debe solicitar autorización a jefatura para exceptuar estos casos.**

p.ej. SED 2296 (Mediciones registradas desde 01/12/2018 hasta el 24/03/2019):

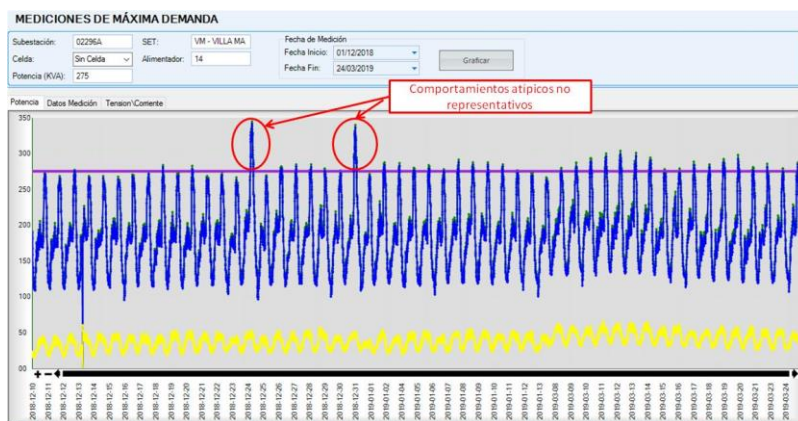


Fig. 12. Comportamientos atípicos no representativos

Nota: Datos de lectura del transformador en la SED 02296A, obtenidos mediante un medidor totalizador y visualizados por intermedio del Software Explorer

Se establece una periodicidad de un año para la revisión de la presente directiva donde se debe revisar y actualizar las temperaturas de ambiente en los diferentes tipos de subestación y los criterios para la inspección del transformador.

Los jefes de Departamento son responsables que la presente directiva se difunda, se implemente, se cumpla, y se incorpore en las normas que sean necesarias, debiendo conservar los archivos que respalden la difusión efectuada

Cualquier situación adicional no contemplada en la presente Directiva y con objeto de su cumplimiento, será consultada previamente a la Jefatura o Subgerencia de ingeniería y Construcción Distribución.

### 3.5.6.5 Criterio para el cálculo de FU:

Usamos la siguiente fórmula:

$$FU = \frac{MD (KVA) + Pot. Diseño Cliente (KVA)}{Pot. Nominal Transformador (KVA)} \quad (1)$$

MD máx. Año: Es el valor máximo de potencia consumida en los últimos 12 meses.

La información se obtiene del Explorador LDS/Módulo Técnico Integrado (STI)/Análisis Carga de transformadores:

Año	Mes	Kardex	Celda	Pot. Inst. (kva)	Energía (kwh)	Máx. Dem (kva)	F.U.(%)	Cientes SED	Factor Carga
2019	01	44001773		160.00	69083.11	167.86	104.91	146	0.68
2018	12	44001773		160.00	67685.90	164.16	102.60	146	0.67
2018	11	47000158		160.00	66337.83	162.95	101.84	145	0.66
2018	10	47000158		160.00	62577.70	165.61	103.51	145	0.66
2018	09	47000158		160.00	60971.64	128.44	80.28	131	0.69
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2018	02	47000158		160.00	73951.35	155.79	97.37	188	0.69
2018	01	47000158		160.00	74843.32	157.67	98.54	188	0.69

Máxima Demanda en los últimos 12 meses

Fig. 13. Explorador de análisis de carga del transformador

Nota: Registro de lecturas mensuales del transformador en la SED 02296A, obtenidos mediante un medidor totalizador y visualizados por intermedio del Software Explorer.

### 3.5.6.6 Criterio para el cálculo de HS:

Descargar las mediciones desde el Módulo Técnico Integrado (STI)/Análisis Carga de transformadores/Datos Medición y realizar el cálculo de Hot Spot con el Excel de cálculo.

	Tensión R (V)	Tensión S (V)	Tensión T (V)	Corriente R (A)	Corriente S (A)	Corriente T (A)	Pot. Activa (kw)	Pot. Reactiva (kvar)	Pot. Aparente (kva)	Factor Pot.	Pot. Nominal	Corr. Nominal	Tens. Mín.	Tens. Máx.
00:00	0.00	226.37	225.9	272.84	299.84	0.00	104.32	22.02	106.62	0.98	160.00	402.00	209.00	231.00
00:15	0.00	225.98	225.6	269.08	289.56	0.00	101.44	20.88	103.57	0.98	160.00	402.00	209.00	231.00
00:30	0.00	225.95	225.8	265.16	289.80	0.00	100.34	20.81	102.48	0.98	160.00	402.00	209.00	231.00
00:45	0.00	225.95	225.5	261.84	278.04	0.00	98.75	22.53	101.29	0.97	160.00	402.00	209.00	231.00

Fig. 14. Datos de medición para el cálculo de Hot Spot

Nota: Descarga de datos de medición del día crítico de cada mes, mediante el Software Explorer.

Para el análisis, se deberá considerar el perfil de las temperaturas indicadas según las curvas de medición registradas para cada tipo de SED.

### 3.5.6.7 Criterio para la inspección del transformador en campo:

Evidenciar con registro fotográfico los derrames de aceite, presencia de corrosión en la cuba, estado de bujes.



Fig. 15. Inspección visual – Detección de derrame de aceite.

El registro de fotografías de las SED's inspeccionadas deberán guardarse en la carpeta compartida del Disco I, (ruta: i/proyecto/inspección seds).

### 3.5.6.8 Comportamiento del Hot Spot y factor “v” según variación de la temperatura:

Para mostrar la correlación entre el Hot Spot y del factor “v”, se muestra el siguiente cuadro y la curva relacionada:

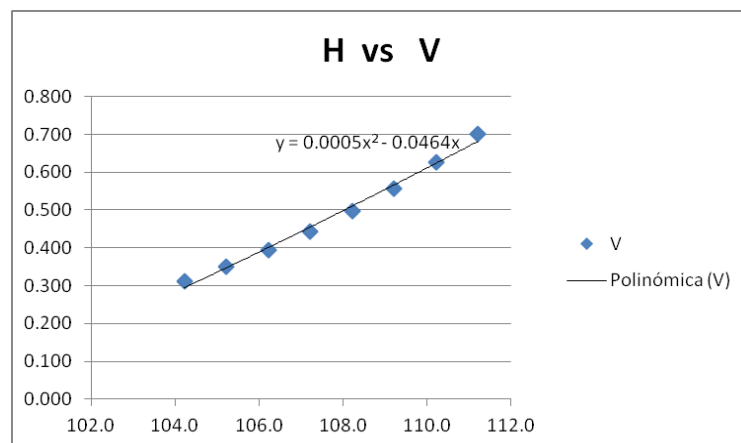


Fig. 16. Relación del análisis Host Spot y de envejecimiento

Nota: Grafica obtenida con los datos de la Tabla IV.

TABLA 4

COMPARACIÓN DE HOT SPOT Y V

Temperatura cálculo	H (°C)	v
Temp. Amb.	104.2	0.313
Temp. Amb. + 1°C	105.2	0.351
Temp. Amb. + 2°C	106.2	0.394
Temp. Amb. + 3°C	107.2	0.442
Temp. Amb. + 4°C	108.2	0.496
Temp. Amb. + 5°C	109.2	0.517
Temp. Amb. + 6°C	108.2	0.556
Temp. Amb. + 7°C	109.2	0.591

Fuente: Datos obtenidos al simular las mediciones del transformador y variando las temperaturas leídas en la SED.

### 3.6 Análisis situacional del transformador de la SED 03386A

#### 3.6.1 Análisis de sobrecarga de la subestación

Verificamos el estado de sobrecarga de los 12 últimos meses, estos datos los obtenemos por medio del medidor instalado en la subestación el cual registra el comportamiento de la carga.

Año	Mes	Kardex	Celda	Pot. Inst. (kva)	Energía (kwh)	Máx. Dem. (kva)	F.U.(%)
2024	01	41000025		250.00	0.00	270.13	108.05
2023	12	41000025		250.00	99511.72	308.94	123.58
2023	11	41000025		250.00	93184.95	270.16	108.06
2023	10	41000025		250.00	88378.67	258.24	103.29
2023	09	41000025		250.00	88518.00	270.94	108.38
2023	09	41000025		250.00	0.00	262.17	104.87
2023	08	41000025		250.00	89002.00	251.64	100.66
2023	07	41000025		250.00	91494.28	253.39	101.36
2023	06	41000025		250.00	93541.07	268.62	107.45
2023	05	41000025		250.00	99522.93	264.13	105.65
2023	04	41000025		250.00	102624.68	287.51	115.01
2023	03	41000025		250.00	100765.51	299.49	119.80
2023	02	41000025		250.00	95103.10	286.62	114.65
2023	01	41000025		250.00	24421.50	282.83	113.13

Sobrecarga no considerada en el análisis debido a que se trata de mediciones atípicas generadas por festividades.

Sobrecarga considerada en el análisis, por ser la mayor de los 12 meses. Para el cálculo de las variables, FU proyectado, Hot -Spot y V se consideran los datos obtenidos en el mes y día que se registró esta máxima sobrecarga.

Fig. 17. Datos de sobrecarga de los últimos 12 meses

#### 3.6.2 Datos del transformador

Se pone en manifiesto los datos del transformador, Kardex N°41000025, potencia nominal 250KVA, tipo de conexión DYN5, relación de transformación 10000/230 Voltios, último mantenimiento 8/11/2012.

a) Transformador	
01.- Celda	Sin Celda
02.- Núm. Kárdex	41000025
03.- Pot. Nominal	250
04.- Fase	TRIFASICO
05.- Tipo Conex.	TRIFASICO
06.- Tap	3
07.- Ult. Actualización	08/11/2012
08.- Relación de Transformación	10/0.23
09.- Tensión primaria (V)	10 KV
10.- Tensión secundaria (V)	230 V
11.- Descripción	DE POTENCIA TRIF.CONV. 250KVA 10/0.23KV
12.- Grupo de conexión	DYN5
13.- Tipo de transformador	

Fig. 18. Características del transformador

Nota: Base de datos del Software Explorer.

### 3.6.3 Datos de la subestación

Se presenta a continuación los datos de la subestación, número 03386, tipo aérea, sub tipo biposte, para servicio público, subestación de alta tensión (SET) Lurín y en servicio desde 1982.

Subestación	03386A	Fecha Medición	20/01/2024
Zona	ZS	SubTipo	BIPOSTE
SET	L - LURI	Tipo Conexión	TRIFASICO
Alimentador	04	Potencia (KVA)	250
		Fase	TRIFÁSICO
Dirección	J. DIAZ VELASQUEZ MZ. K.LT. 2 LURIN	Estado	EN SERVICIO
Distrito	LURIN	Serv. Desde	12/08/1982

Fig. 19. Datos de la subestación

Nota: Base de datos del Software Explorer.

### 3.6.4 Datos del medidor

A continuación, se muestra los datos del medidor, para conocer el comportamiento de la carga a lo largo del mes de abril del año 2023, mes en el que se registró la máxima sobrecarga del transformador, el cual realiza mediciones de la subestación a lo largo de todo el año, registrando mediciones cada 15 minutos.

Suministro	Medidor	Celda	Modelo	Marca	Fecha Instalación	Cte.
1366473	5533988		JBDEM01	EMH	25/11/2020	150.0...

Fig. 20. Datos del medidor

Nota: Datos del medidor totalizador, con el cual se realizó el registro de mediciones del transformador, obtenidos de la base de datos del Software Explorer.

### 3.6.5 Mediciones de demanda de energía eléctrica

A continuación, se evidencia los registros de medición de la carga, medición de la subestación, donde los picos de sobrecarga quieren decir que el transformador esta sobrecargado

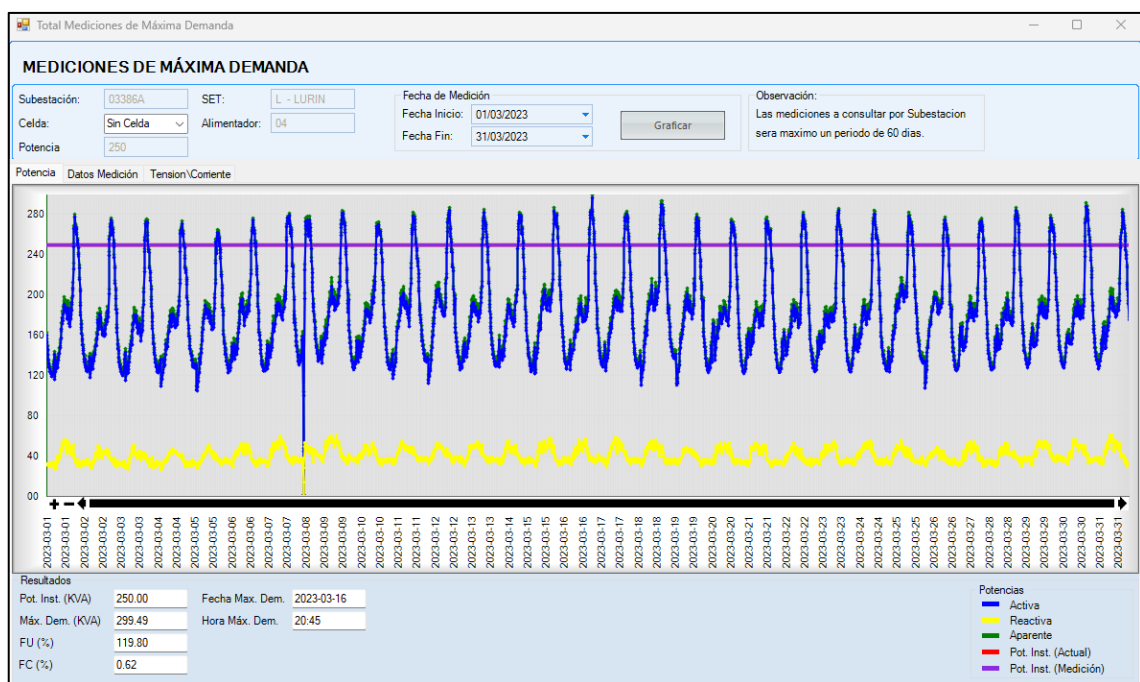


Fig. 21. Picos de sobrecarga del transformador

Nota: Mediciones del transformador y comportamiento de su demanda a lo largo del mes crítico, obtenidos de la base de datos del Software Explorer.

## 3.7 Cálculo de Hot – Spot y V

### 3.7.1 Criterio de antigüedad

Para realizar el correcto cálculo de Hot-Spot y V, se debe considerar el siguiente criterio; si el transformador tiene más de 25 años en funcionamiento, se debe sumar 2°C a la temperatura ambiente destinada para los cálculos, el incremento de 2°C continua por cada 5 años pasados los 25 años tal como se indica en la tabla 4.

### 3.7.2 Datos de los movimientos del transformador eléctrico

El transformador fue fabricado en el año de 1993, sin embargo, comenzó su operación en el año de 1996 en la subestación de distribución 04955A y pasó a la subestación 03386A en el año 2012. Esto quiere decir, que lleva aproximadamente 28 años en operación por lo cual se debe considerar 2°C adicionales a la temperatura ambiente.

Nro. Kardex	Número de Matrícula	Número de Factura	N° Fábrica	Marca	N° de fases	Año Fabricación	Potencia nominal (kVA)	Relación de Transformación	Tensión primaria (V)	Descripción	Grupo de conexión	Tipo de Ubicación de Transformador	Última Fec. Análisis ANALYZER	Último Resultado ANALYZER
41000025	5824134		19682	ABB	TRIFASICO	1993	250	10/0.23	10 KV	DEPOTENCIA.	DYN5		05/02/2009	15.9

Fig. 22. Año de fabricación del transformador

Nota: Base de datos del Software Explorer.

Nro Movimiento	Fecha Movimiento	Estado Movimiento	Motivo Movimiento	Ubicación Origen	Ubicación Destino	Guía Almacén	Tipo de Trabajo	Código de Trabajo
14	08/11/2012	EJECUTADO	PARA STOCK (DEVOLUCIÓN)	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	SED 03386A		SST	1140439
13	12/11/2012	EJECUTADO	PARA INSTALACIÓN EN EL TERRE	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	SED 03386A		SST	1140439
12	01/11/2012	EJECUTADO	PARA INSTALACIÓN EN EL TERRE	ALMACEN 083	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	9060045303	SST	1140439
11	19/09/2012	EJECUTADO	PARA STOCK (DEVOLUCIÓN)	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	ALMACEN 083		SST	1103186
10	20/09/2012	EJECUTADO	PARA STOCK (DEVOLUCIÓN)	SED 04656A	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.		SST	1103186
9	19/09/2012	EJECUTADO	PARA INSTALACIÓN EN EL TERRE	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	SED 04656A		SST	1103186
8	17/09/2012	EJECUTADO	PARA INSTALACIÓN EN EL TERRE	ALMACEN 083	CONTRATISTA 20268244515 - ALVIMAR S.A.C.	9060044515	SST	1103186
7	17/09/2012	EJECUTADO	PARA TRANSFERENCIA ENTRE AL	ALMACEN 083 - 40220	ALMACEN 083 - 40122			
6	25/05/2012	EJECUTADO	PARA TRANSFERENCIA ENTRE AL	ALMACEN 081 - 40220	ALMACEN 083 - 40220			
5	18/05/2012	EJECUTADO	PARA TRANSFERENCIA ENTRE AL	ALMACEN 083 - 40220	ALMACEN 081 - 40220			
4	17/05/2012	EJECUTADO	PARA STOCK (DEVOLUCIÓN)	CONTRATISTA 20505570490 - Transmision y Distribuc	ALMACEN 093	20331898008	SST	1094683
3	17/05/2012	EJECUTADO	PARA STOCK (DEVOLUCIÓN)	SED 04955A	CONTRATISTA 20605570490 - Transmision y Distribuc		SST	1094683
2	13/09/1999	EJECUTADO		SED 04955A	SED 04955A			
1	13/02/1996	EJECUTADO	CONTROL INTERNO (MIGRACION)	STOCK KARDEX (MIGRACION)	SED 04955A			

Figura 23. Movimientos del transformador desde su puesta en marcha

Nota: Base de datos del Software Explorer

### 3.7.3 Determinación de la potencia de diseño de un nuevo cliente.

Lo siguiente es determinar la potencia nueva a ingresar, esto si deseamos realizar el análisis de sobrecarga para el ingreso de nuevos clientes, en este caso tenemos que existe un nuevo cliente por atender dentro del radio de acción de la subestación analizada. El cliente solicita un suministro nuevo de 4kW (potencia contratada), sin embargo dentro de la concesión de Luz del Sur se ha realizado el análisis de consumo histórico de los clientes para lo cual se ha determinado que, para nuevos suministros destinados a viviendas se considere un factor de diseño de 0.15, por lo tanto para el análisis de sobrecarga se considera una potencia de diseño de 0.60kW(0.15\*4kW).

**DPHC.3447655**  
**EXP-638847-BT**

Lima, 19 de abril de 2023

Lurin

**Referencia: DOTACIÓN DE 1 SUMINISTRO NUEVO MONOFÁSICO SUBTERRÁNEO DE 4,00 KW EN TARIFA BT5B**

De nuestra consideración:

En atención a la solicitud de la referencia, para el predio ubicado en del distrito de Lurin, le alcanzamos el siguiente presupuesto:

**Presupuesto N° 1 Suministro nuevo**

Cant.	Subtipo	DESCRIPCIÓN	Precio Unitario (S/)	Total (S/)
1,00	C1.2	Conexión monof.subterránea mayor a 3kW hasta 10kW - BT5B		
1,00		Murete para caja tipo LR		
1,20		Rotura y reparación de vereda en baja tensión 10cm espesor 175 kg/cm2 con afirmado		
		Total		

Total Presupuesto (S/)	
I.G.V. (18,00%) (S/)	
<b>TOTAL POR PAGAR (S/)</b>	

**Importante:**

Para el pago del presupuesto, deberá cumplir los **Requisitos para el pago del presupuesto indicados en el presente documento**, los cuales podrá presentarlos mediante el siguiente enlace:

<https://www.luzdelsur.com.pe/misconexiones/> Opción: **Seguimiento de solicitudes.**

Una vez verificado el cumplimiento recibirá un correo electrónico informando que su presupuesto queda habilitado para la cancelación a través del mismo enlace en nuestra página web.

De acuerdo con la información presentada por el solicitante, la dirección del predio a atender, así como su ubicación, es el indicado en el croquis incluido como Anexo 1 del presente presupuesto.

La conexión eléctrica se efectuará en todo el frente de la fachada, visto el lote desde la vía pública tal como se muestra en el croquis incluido en el Anexo 1. El pago del presente presupuesto confirmará que el cliente conoce y acepta la ubicación mencionada. De requerirse alguna variación

Av. Pedro Miotta 400  
San Juan de Miraflores, Lima, Perú  
Teléfonos : 51 (1) 271-9000 • 271-9090  
central@luzdelsur.com.pe  
www.luzdelsur.com.pe

Página 1 de 5

Fig. 24. Solicitud de potencia requerida por el nuevo cliente

Nota: Base de datos del Software Explorer

### 3.7.4 Mediciones de temperatura en la subestación

Para continuar con los cálculos se deben obtener las mediciones de temperatura en la subestación. Para ello se ha realizado las muestras de temperaturas en los diferentes distritos de Lima y en los distintos tipos de subestaciones, obteniendo promedios de temperaturas para cada tipo de subestación.

Como el objeto de estudio es una subestación aérea, se consideran las temperaturas registradas en el cuadro:

TABLA 5

REGISTRO DE TEMPERATURAS DE TIPOS DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Puntos	Tipos de subestación eléctrica de distribución					
	Aérea	Convencional a nivel	Pedestal a nivel	Convencional subterráneo	Pedestal Subterránea	Bóveda
Horas	°C	°C	°C	°C	°C	°C
00:15	22.5	23.6	23.3	26.3	30.3	32.3
00:30	22.1	23.5	24.2	25.4	30.6	31.9
00:45	21.8	23.4	24.6	25.4	30.6	32.4
01:00	22.3	23.4	24.3	25.8	30.5	34.1
01:15	21.9	23.5	23.6	25	30.7	33
01:30	21.6	23.4	23.1	25.1	30.7	33.5
01:45	21.7	23.4	23.3	24.9	30.5	35.1
02:00	21.5	23.3	23.1	25	30.5	32.4
02:15	21.8	23.2	23.1	24.8	30.4	31.6
02:30	21.4	23.1	23.1	24.6	30.5	32.6
02:45	21.8	23.2	22.4	24.9	30.4	29.3
03:00	21.5	23	23.5	24.7	30.3	30.3
03:15	21.9	22.9	23	24.2	30.1	29.8
03:30	21.2	22.9	22.9	24.2	30.2	29.8
03:45	21.1	22.9	23.1	24.1	30.4	28.9
04:00	20.5	23.3	22.9	24.2	30.3	28.9
04:15	20.4	23.4	22.3	24.4	30.2	29.8
04:30	20.1	23.1	23	24.4	30.2	29.5
04:45	20.4	22.5	22.1	24.3	30.1	28.1
05:00	19.9	22.4	22.9	24.2	30.1	28.8
05:15	19.7	22.4	22.6	24	29.9	28.2
05:30	19.5	22.4	22.3	24	29.9	27.4
05:45	19.4	22.4	22.3	24.5	30	27.3
06:00	20.5	22.2	23	25.2	30	28.3
06:15	19.6	22.1	22	25.3	30	28
06:30	19.7	22.1	22.4	24.5	29.8	28
06:45	19.8	22.2	22.3	24.3	29.9	28.5
07:00	20	22.3	21.8	24.4	30	28.3
07:15	20.4	22.3	22.7	24.7	30	27.9
07:30	20.3	22.4	23.1	24.8	29.9	27.6
07:45	20.6	22.5	23.1	24.8	29.7	28
08:00	21.3	22.7	23.7	25.5	29.9	28.9
08:15	23.1	23.4	24.2	25.7	29.7	27.8
08:30	23.8	23.7	25.3	25.9	29.8	26.8
08:45	23.5	23.7	26.1	26.4	29.9	27.5

09:00	23.9	24.3	26.5	27.4	30	28.8
09:15	24.5	24.7	26.8	28.4	30.1	29
09:30	25.8	25.3	27.7	29.5	30.1	29.2
09:45	26.1	25.6	28.4	29.5	30.2	29.2
10:00	26.9	26	29	30.6	30.4	28.6
10:15	27.1	26.5	29.3	31.3	30.4	30.4
10:30	27.6	26.6	29.9	31.3	30.5	28.5
10:45	28.1	27.1	30	32.2	30.4	29.3
11:00	28.1	27.1	30.2	31.8	30.7	28.7
11:15	29.7	27.7	30.8	31	30.7	29.9
11:30	30.3	28.1	30.9	30.8	30.9	29.8
11:45	30.9	28.3	31	30.7	30.8	30.2
12:00	30.9	28.4	31.4	30.9	30.9	30.8
12:15	31.9	28.5	31.7	31.1	30.9	43.7
12:30	31.3	28.6	32	31.5	31.1	46
12:45	31.6	28.9	32	32.2	30.9	47.8
13:00	33.3	29.2	32.3	32.9	30.8	48.6
13:15	32.5	28.2	32.4	33	30.6	49.2
13:30	32.1	28.2	32.8	33.1	30.9	48.3
13:45	32.1	28.4	32.4	33.9	30.8	46.8
14:00	32.4	28.4	32.1	33.5	30.4	46.4
14:15	32.5	28.3	31.7	33.4	30.5	43.5
14:30	31.9	28.3	32	33.6	30.8	42.9
14:45	31.6	28.3	30.9	33.4	31.8	41.2
15:00	31.4	28.1	30.7	32.8	31.7	38.4
15:15	31.8	28.3	30.1	33.8	31.9	39
15:30	30.7	28.1	30.3	35.5	32	37.4
15:45	30.9	28	30	34.6	31.6	37.9
16:00	30.5	27.7	30.1	34.3	31.9	37.4
16:15	30	27.5	29.3	34.2	32.2	36.3
16:30	30.6	27.3	29.7	34.5	32.1	35.5
16:45	29	27.1	29.4	34.6	32	34.5
17:00	27.4	26.8	29.1	34.8	31.5	34.5
17:15	28	26.5	28.6	34.2	31.6	34.3
17:30	27.4	26.4	28.4	32.5	31.6	33.7
17:45	26.5	26.3	27.7	31.8	31.3	33
18:00	26	26.1	27.7	31.4	31.3	33.3
18:15	24.3	25.9	27.1	31.3	31.4	34.4
18:30	23.9	26	27.1	30.8	31.2	32.6
18:45	23.7	25.8	27.1	29.6	31.3	32.7
19:00	23.4	25.6	26.6	31.1	31.1	32.9
19:15	23.3	25.2	26	30.5	31	32
19:30	22.9	25.2	26	29.9	30.9	31.6
19:45	22.7	25	26.2	28.7	31.1	31.3
20:00	22.8	25.1	24.4	28.7	30.9	30.6
20:15	22.9	25.1	24.5	27.7	30.9	33.1

20:30	23.5	25.1	25.4	27.8	31	31.9
20:45	22.8	24.8	25.3	27.8	30.8	33
21:00	22.5	24.9	25.1	28.5	30.7	31.9
21:15	22.6	24.8	24.7	28.9	30.9	32.3
21:30	22.1	24.6	24.7	28.2	30.7	31.1
21:45	22.1	24.5	24.9	27.3	30.8	32
22:00	22.2	24.3	24.8	28.2	30.8	32.9
22:15	22.1	24.2	24.7	27.9	30.8	35.7
22:30	22	24.2	24.8	27.8	30.7	36.5
22:45	22.3	24.5	24.7	26.1	30.7	33.3
23:00	21.9	24.5	24.8	25.8	30.8	33.1
23:15	22.2	24.4	25	25.6	30.6	34.4
23:30	21.8	24.2	25.1	25.3	30.5	32.5
23:45	21.8	24.1	23.7	25.8	30.7	32
00:00	21.8	23.6	24.2	26.6	30.6	32.1

Fuente: Base de datos del Software Explorer

### 3.7.5 Mediciones de la subestación referente al máximo factor de utilización

El siguiente paso, es obtener los datos de medición de la subestación del día en el que se registró el máximo FU del transformador. Para ello se descarga la información del medidor.

TABLA 6

MEDICIONES DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN ELECTRICA DE DISTRIBUCIÓN 03386A

Horas	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kvar)	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Instalada (KVA)	Factor de Utilización
00:15	178.92	35.1	182.33	250	72.93%
00:30	170.16	35.22	173.77	250	69.51%
00:45	164.94	34.92	168.6	250	67.44%
01:00	158.16	34.2	161.82	250	64.73%
01:15	153.3	38.28	158.01	250	63.20%
01:30	148.92	36.12	153.24	250	61.30%
01:45	144.54	36.78	149.15	250	59.66%
02:00	137.4	35.16	141.83	250	56.73%
02:15	136.5	35.22	140.97	250	56.39%
02:30	133.86	36.9	138.85	250	55.54%
02:45	132.24	35.76	136.99	250	54.80%
03:00	131.52	35.34	136.19	250	54.48%
03:15	126.54	33.96	131.02	250	52.41%
03:30	127.56	36.06	132.56	250	53.02%
03:45	126.96	36.18	132.01	250	52.80%
04:00	133.08	37.44	138.25	250	55.30%
04:15	132.84	35.94	137.62	250	55.05%
04:30	134.1	37.8	139.33	250	55.73%
04:45	133.62	38.52	139.06	250	55.62%
05:00	131.16	35.7	135.93	250	54.37%
05:15	134.28	34.14	138.55	250	55.42%

05:30	141.9	33.78	145.87	250	58.35%
05:45	150.3	37.02	154.79	250	61.92%
06:00	126	31.8	129.95	250	51.98%
06:15	135.54	33	139.5	250	55.80%
06:30	135.84	30.84	139.3	250	55.72%
06:45	138.72	31.56	142.26	250	56.90%
07:00	138.96	32.76	142.77	250	57.11%
07:15	142.08	35.7	146.5	250	58.60%
07:30	146.16	41.22	151.86	250	60.74%
07:45	145.2	39.36	150.44	250	60.18%
08:00	144.78	38.1	149.71	250	59.88%
08:15	145.62	36.84	150.21	250	60.08%
08:30	145.86	37.32	150.56	250	60.22%
08:45	156.9	43.08	162.71	250	65.08%
09:00	158.28	46.98	165.11	250	66.04%
09:15	157.02	41.76	162.48	250	64.99%
09:30	160.44	39.06	165.13	250	66.05%
09:45	164.04	44.28	169.91	250	67.96%
10:00	170.22	49.14	177.17	250	70.87%
10:15	166.92	47.22	173.47	250	69.39%
10:30	163.62	43.26	169.24	250	67.70%
10:45	167.94	44.58	173.76	250	69.50%
11:00	165.42	42.36	170.76	250	68.30%
11:15	171.66	45	177.46	250	70.98%
11:30	179.4	47.52	185.59	250	74.24%
11:45	183.48	55.98	191.83	250	76.73%
12:00	188.94	53.16	196.28	250	78.51%
12:15	186.36	50.52	193.09	250	77.24%
12:30	181.26	46.68	187.17	250	74.87%
12:45	183.84	49.8	190.47	250	76.19%
13:00	187.62	51.9	194.67	250	77.87%
13:15	188.76	51.36	195.62	250	78.25%
13:30	192	51.54	198.8	250	79.52%
13:45	180.66	47.4	186.77	250	74.71%
14:00	179.04	46.08	184.87	250	73.95%
14:15	175.68	44.46	181.22	250	72.49%
14:30	176.52	46.56	182.56	250	73.02%
14:45	173.64	45.48	179.5	250	71.80%
15:00	177.42	50.46	184.46	250	73.78%
15:15	178.02	54.06	186.05	250	74.42%
15:30	174.72	51.18	182.06	250	72.82%
15:45	175.38	49.86	182.33	250	72.93%
16:00	176.04	51.6	183.45	250	73.38%
16:15	174.9	50.22	181.97	250	72.79%
16:30	181.2	56.82	189.9	250	75.96%
16:45	188.7	57.3	197.21	250	78.88%
17:00	187.08	56.22	195.34	250	78.14%
17:15	177.9	46.02	183.76	250	73.50%
17:30	183.6	47.58	189.67	250	75.87%
17:45	187.26	47.94	193.3	250	77.32%
18:00	188.58	42.3	193.27	250	77.31%
18:15	195.84	38.34	199.56	250	79.82%
18:30	234.12	43.56	238.14	250	95.26%
18:45	252.12	39.72	255.23	250	102.09%
19:00	260.04	36.72	262.62	250	105.05%
19:15	264.96	36	267.39	250	106.96%

19:30	276.18	39.6	279	250	111.60%
19:45	279.54	38.94	282.24	250	112.90%
20:00	282.24	36.96	284.65	250	113.86%
20:15	280.56	35.64	282.81	250	113.12%
20:30	283.26	36.3	285.58	250	114.23%
20:45	297.06	38.1	299.49	250	119.80%
21:00	283.26	35.04	285.42	250	114.17%
21:15	282.54	37.44	285.01	250	114.00%
21:30	274.44	37.68	277.01	250	110.80%
21:45	271.08	35.76	273.43	250	109.37%
22:00	260.94	34.62	263.23	250	105.29%
22:15	255.9	35.7	258.38	250	103.35%
22:30	250.14	36.42	252.78	250	101.11%
22:45	237.84	37.32	240.75	250	96.30%
23:00	220.74	33.3	223.24	250	89.30%
23:15	212.04	33.96	214.74	250	85.90%
23:30	205.26	36.06	208.4	250	83.36%
23:45	194.34	37.08	197.85	250	79.14%
00:00	183.72	34.68	186.96	250	74.78%

Fuente: Base de datos del Software Explorer

Con los datos obtenidos pasamos a realizar los cálculos considerando lo siguiente:

### 3.7.6 Consideraciones adicionales

- El perfil de carga se trata del comportamiento de la carga del cliente.
- La potencia de diseño es la calculada según la potencia contratada del cliente
- La antigüedad del transformador es considerado según la fecha de operación

Con los datos obtenidos pasamos a realizar los cálculos considerando lo siguiente:

03386A	Aérea
Potencia actual (KVA)	250
Fu Medido (por Ctról Técnico)	119.80
Fu Max 12 meses	119.80
Perfil de carga	Residencial 1
Potencia de diseño (kW)	0.6
Antigüedad de trafo	< 25-30] años

Fig. 25. Datos para condiciones adicionales

### 3.7.7 Medición del consumo de energía en kW por clientes

A continuación se gráfica el comportamiento de la carga del nuevo cliente, teniendo en cuenta el tipo de carga, siendo esta una carga residencial 1, para una vivienda unifamiliar.

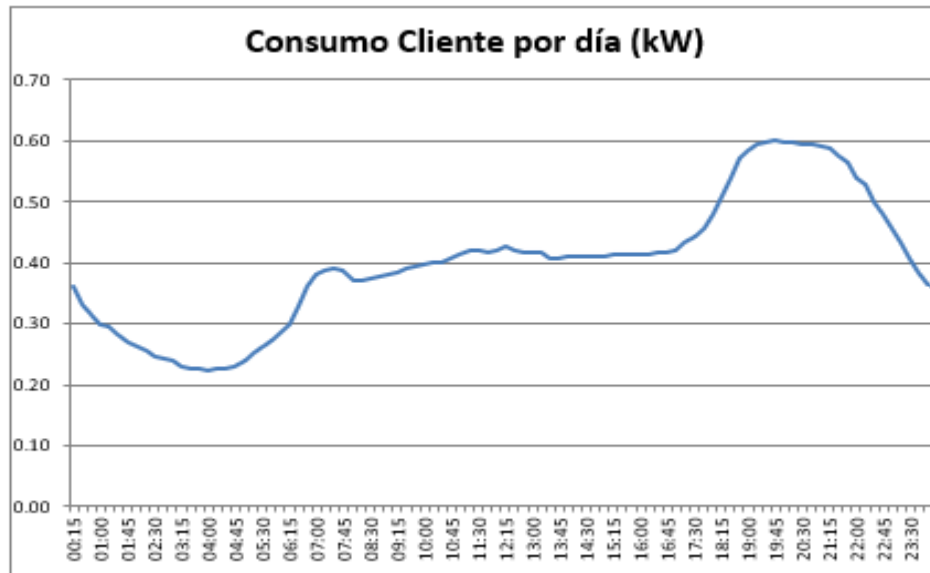


Fig. 26. Comportamiento de la carga nueva a ingresar

Nota: Base de datos del Software Explorer

### 3.7.8 Comportamiento de la temperatura ambiental

A continuación se describe el comportamiento de la temperatura ambiente en una subestación aérea, los valores han sido registrados por equipos especializados instalados en distintas subestaciones aéreas de toda la zona de concesión, teniendo como resultado la siguiente gráfica:

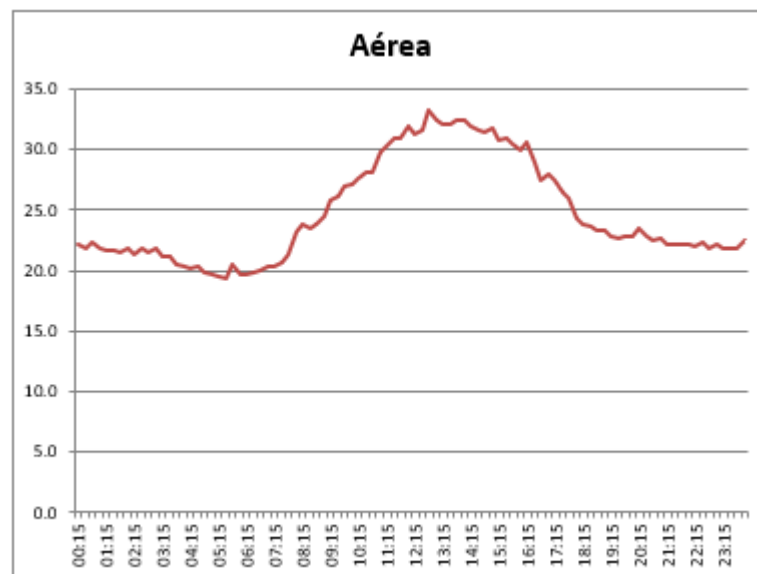


Fig. 27. Comportamiento de la temperatura ambiente en una subestación aérea

Nota: Base de datos del Software Explorer

### 3.7.9 Parámetros del transformador de potencia

A continuación, se aprecian los parámetros considerados para transformadores de potencia utilizados en distribución, estos valores basados en la normativa IEC 60076.

Parámetros de transformador de potencia:		
$H_{gr}$	23	Hot-spot to top-oil temperature difference at rated current
R	5	Ratio of load losses to no-load losses at rated current
y	1.6	Winding-temperature exponent
x	0.8	Oil-temperature exponent
$\Delta\theta_{or}$	55	Top-oil temperature rise at rated current for ONAN and ONAF cooling
$\theta_{hr}$	98	Nominal hot-spot temperature for unity ageing rate (98 °C, 110 °C, ...)
$\tau_o$	3	Oil time constant (hours):

Fig. 28. Parámetros de cálculo del transformador

Nota: Documento oficial de la normativa *International Electrotechnical Commission 60076-2*.

### 3.7.10 Resultados de cálculos para Hot- Spot

A continuación se puede verificar los resultados de los cálculos, pudiendo observar la temperatura máxima de Hot-Spot y la velocidad de envejecimiento para esta temperatura.

RESULTADOS		
V	Daily loss of life	0.448
$\theta_h(\max)$	Hot-spot temperature	108.1
$\theta_o(\max)$	Top-oil temperature	80.6
$\theta_h(\min)$	Hot-spot temperature	61.3
$\theta_o(\min)$	Top-oil temperature	52.8
Máx. Temp. Amb. Interior		35.3

Fig. 29. Resultados de cálculos

Nota: Resultados obtenidos al simular las fórmulas de la Tabla 1, con los datos de medición descargados del Software Explorer.

### 3.7.11 Análisis Hot- Spot

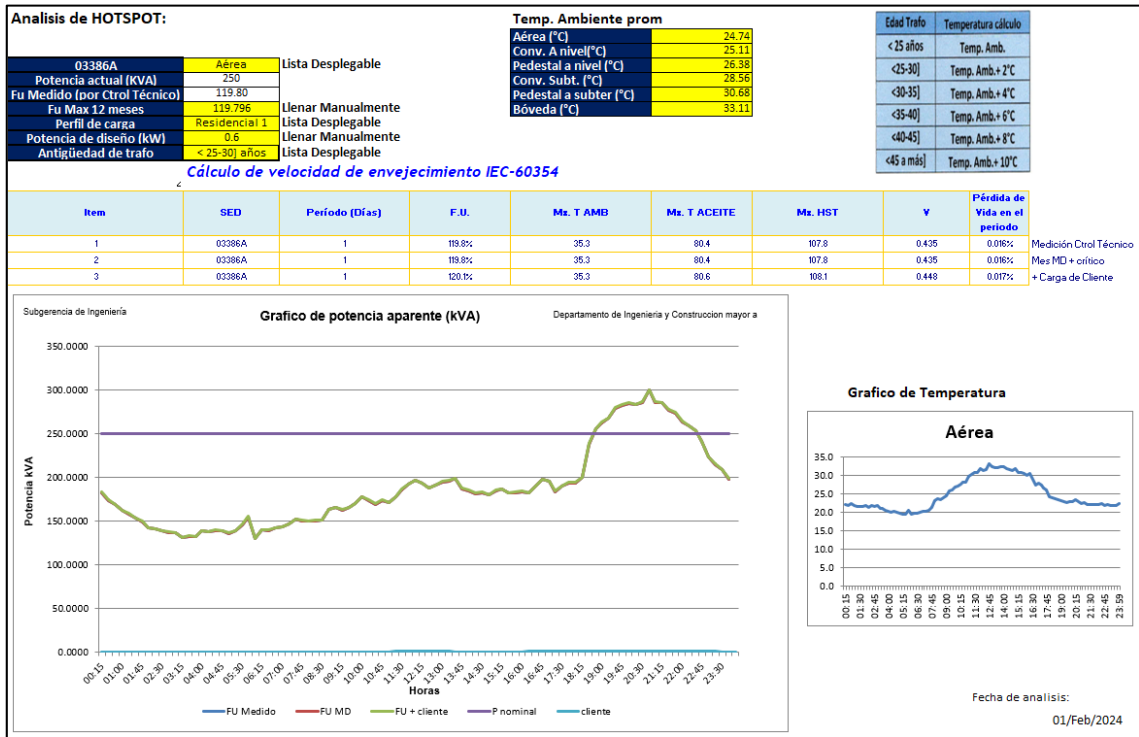


Fig. 30. Resultados del análisis Hot- Spot

Nota: Dashboard de Excel utilizado para simular las fórmulas con los datos de medición.

### 3.7.12 Resultados

Los resultados son los siguientes:

- Tras el ingreso del nuevo cliente, se observa que el factor de utilización final asciende a un 120.1%, lo cual, según un análisis inicial, se considera una sobrecarga crítica para el transformador. Esta situación plantearía la necesidad de llevar a cabo reformas sustanciales en las redes antes de poder brindar servicio al cliente. No obstante, al considerar detenidamente los resultados obtenidos a través de los cálculos realizados, se puede descartar la opción de realizar reformas sustanciales en las redes. Este hallazgo resulta significativo, ya que sugiere que, a pesar del elevado factor de utilización, es factible atender al nuevo cliente sin necesidad de realizar modificaciones sustanciales en la infraestructura eléctrica existente. Esto no solo representa un ahorro considerable en términos de recursos y tiempo, sino que también demuestra la eficacia de las estrategias de gestión y planificación del servicio eléctrico ante situaciones de sobrecarga aparentemente crítica.

- La máxima temperatura ambiente considerada es de 35.3°C, tomando en cuenta los 2°C adicionales debido a la antigüedad del transformador, el cual ha estado en operación desde 1996 y ha atravesado diversas subestaciones antes de ser utilizado en la Subestación Eléctrica de Distribución 03386A. Este hallazgo resalta la influencia del tiempo de servicio y las condiciones operativas previas en el rendimiento térmico del transformador. Asimismo, subraya la importancia de evaluar no solo las condiciones actuales, sino también el historial y el entorno operativo previo para comprender plenamente el comportamiento térmico de los equipos eléctricos a lo largo del tiempo.
- La máxima temperatura de Hot – Spot obtenida es de 108.1°C. Este resultado indica que, con la carga adicional del cliente, la temperatura máxima en el devanado se mantiene por debajo de lo estipulado por la normativa IEC 60076, incluso durante un periodo de tiempo reducido. En consecuencia, se puede concluir que el transformador opera dentro de parámetros normales. Este hallazgo es significativo, ya que demuestra que, a pesar de la carga adicional, el transformador es capaz de mantener niveles seguros de temperatura en el devanado, cumpliendo con los estándares establecidos. Esta información respalda la viabilidad y seguridad de la operación del transformador ante condiciones de carga adicionales, lo cual tiene implicaciones relevantes para la planificación y gestión del servicio eléctrico.
- La velocidad de envejecimiento V es de 0.448. Este valor indica que el transformador se encuentra dentro de los rangos óptimos de envejecimiento, lo que sugiere que sus componentes internos no se ven afectados por la operación bajo sobrecarga. Este resultado es significativo, ya que demuestra la capacidad del transformador para mantener su integridad y desempeño a pesar de operar en condiciones de carga elevada. Estos hallazgos respaldan la robustez y fiabilidad del equipo, lo cual tiene implicaciones importantes en términos de seguridad operativa y vida útil del transformador. Asimismo, subraya la eficacia de las estrategias de gestión de carga y mantenimiento para preservar la salud y el rendimiento del equipo a lo largo del tiempo.
- Debido a que la temperatura de Hot-spot es inferior a 110°C y la velocidad de envejecimiento (V) es menor a 1, según la matriz de inversión, no se considera necesario el reemplazo del transformador. Esto se debe a que el equipo puede funcionar de manera óptima incluso bajo la sobrecarga que se presenta durante un periodo de tiempo limitado. Este hallazgo tiene como resultado una postergación en la inversión de un nuevo transformador, lo cual permite una atención más ágil al cliente, evitando gastos que no serían rentables en este momento. Esta conclusión resalta la importancia de realizar evaluaciones detalladas basadas en datos concretos, ya que permite tomar decisiones fundamentadas en el mantenimiento y reemplazo de equipos. Asimismo, subraya la capacidad del transformador para adaptarse a condiciones operativas desafiantes de

manera temporal, lo que representa un beneficio tanto para la empresa como para los clientes al evitar interrupciones innecesarias en el servicio. Este resultado respalda la eficiencia en la gestión de activos y recursos, garantizando una atención oportuna y eficaz a las necesidades del cliente.

## CAPITULO IV: REFLEXIÓN CRÍTICA DE LA EXPERIANCIA

### 4.1. Aporte a la institución

La realización de un exhaustivo análisis de sobrecarga en transformadores de distribución, en concordancia con la normativa IEC 60076, representa una herramienta fundamental para comprender y evaluar el impacto de la sobrecarga en los transformadores ubicados en la zona sur de Lima. A través de este análisis, se llevan a cabo cálculos precisos para estimar la temperatura máxima del devanado, comúnmente conocida como "Hot-Spot", lo que a su vez permite obtener la velocidad de envejecimiento del aislamiento (V). Estos datos resultan esenciales para establecer los criterios de evaluación de la sobrecarga en un transformador específico, brindando una visión detallada sobre su desempeño y vida útil potencial.

Al profundizar en el análisis de sobrecarga de los transformadores, se abre la posibilidad de evaluar el ingreso de nuevos clientes sin la necesidad de realizar cambios sustanciales en las redes eléctricas existentes, tales como el reemplazo de transformadores o la instalación de nuevas subestaciones. Esta capacidad para integrar nuevos clientes sin alterar significativamente la infraestructura existente resulta fundamental para garantizar una atención ágil y eficiente, alineada con los plazos estipulados por la normativa correspondiente. Asimismo, este enfoque permite evitar inversiones innecesarias o injustificadas en las redes eléctricas, contribuyendo así a un manejo más eficiente y rentable de los activos de la empresa.

El área de proyectos emplea el análisis de sobrecarga de transformadores conforme a la normativa IEC 60076, lo que resulta en una mayor cantidad de clientes atendidos dentro de plazos más breves que los inicialmente previstos. Este enfoque no solo incrementa los ingresos por utilidades, sino que también facilita la evaluación de la justificación de los proyectos de inversión. Al determinar con mayor precisión la sobrecarga crítica de un transformador, el área de proyectos puede asignar de manera eficiente los recursos a las subestaciones de mayor criticidad, permitiendo así que los recursos restantes se utilicen para la atención oportuna de los clientes.

## CONCLUSIONES

- En primer lugar, es evidente que la cantidad de subestaciones en servicio dentro de la zona de concesión es significativa, con un total de 8463 subestaciones. De estas, 463 subestaciones se encuentran sobrecargadas en intervalos reducidos, lo que indica una situación que requiere atención y análisis detallado. La capacidad para analizar esta sobrecarga dentro de los parámetros establecidos por la norma IEC 60076 es un factor crucial que permite evaluar con precisión la situación y tomar medidas adecuadas. La aplicación del criterio de criticidad revela que un porcentaje considerable de las subestaciones sobrecargadas requieren un análisis más profundo, específicamente el 57.6% de ellas. Este análisis detallado por Hot-Spot y V permite identificar aquellas subestaciones que se encuentran en estado crítico y que requieren un aumento significativo de potencia, específicamente 13 subestaciones con una sobrecarga crítica que requiere la atención prioritaria de inversión.
- La inversión promedio requerida para cada subestación que presenta un transformador sobrecargado se estima en aproximadamente 15 mil dólares, aunque este valor puede variar según las condiciones específicas de cada subestación. Es importante destacar que, gracias a los análisis realizados, se logró evitar una inversión no justificada de 6.75 millones de dólares para las 450 subestaciones sobrecargadas restantes que no se encuentran en estado crítico. Esta optimización en la toma de decisiones representa un impacto significativo tanto desde el punto de vista económico como operativo, demostrando la eficacia del análisis detallado y la importancia de tomar decisiones informadas.
- Finalmente, es importante considerar la mejora en los plazos de atención. Se estima que anualmente se gestionan aproximadamente 1,614 clientes clasificados como expansión sustancial de redes, quienes son atendidos en un promedio de 54 días. Sin embargo, solo el 3% de estos clientes requieren una verdadera expansión sustancial de redes. El resto es atendido en plazos menores debido a que la sobrecarga de los transformadores involucrados no se considera crítica.

## RECOMENDACIONES

- Para el análisis adecuado de la sobrecarga de un transformador se debe tener en consideración el mes de criticidad, ya que como se indica para el análisis se debe de tomar los valores del mes crítico, sin embargo se deben obviar los meses con mediciones atípicas, como lo pueden ser el mes de diciembre, ya que en muchos de los casos solo presenta picos por festividades, así como también un mes donde se efectuó un corte programado o imprevisto de la red de media tensión, ya que estos cortes generan picos de demanda al realizar la reconexión de la red en media tensión.
- Para determinar la criticidad de la sobrecarga y la prioridad de atención a dicha sobrecarga, se debe tener en cuenta los factores externos, como lo son la ubicación de la subestación, por ejemplo, si se detecta que el transformador de una SED cercana a la condominios de playa presenta una sobrecarga crítica y se está próximo a llegar a los meses de verano, dicha SED debe ser atendida con prioridad debido a su alta probabilidad de fallar durante los meses de verano, que son los meses en los que la demanda se incrementa en las zonas de playa.
- Para la evaluación de la sobrecarga de los transformadores de distribución cuando se requiere ingresar un nuevo cliente, se debe tener en cuenta el tipo de carga que representa dicho cliente, ya que las cargas unifamiliares o multifamiliares no representan una carga elevada, sin embargo existen casos específicos de clientes que solicitan cargas para viviendas pero son destinadas a otras finalidades, como carga de taller, minimarket, restaurantes, entre otros. Para ellos se debe realizar una indagación minuciosa del tipo de carga a atender, teniendo en cuenta la fachada del predio, su ubicación y los consumos promedio de la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

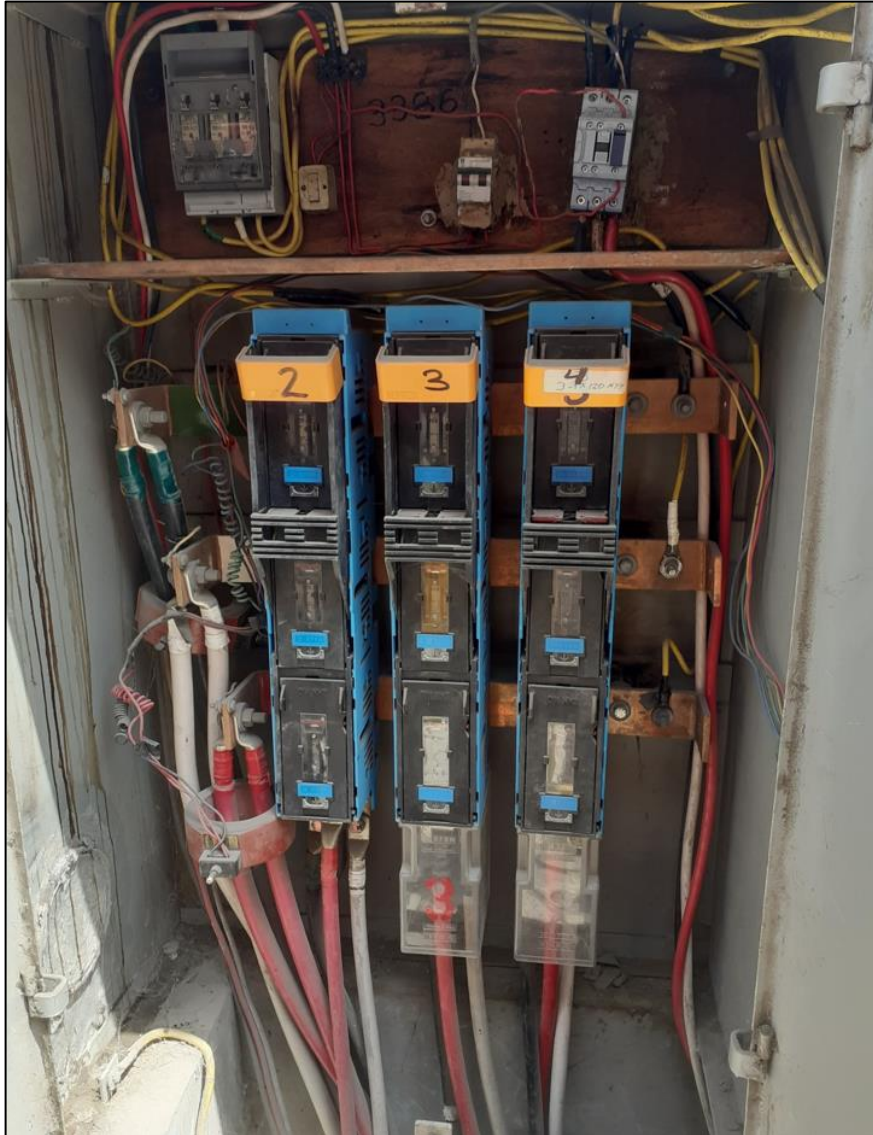
- [1] Hinojosa Torrico, M. J. (n.d.). *Electric Listas Estudio de Sobrecarga de Transformadores de Potencia Febrero 2001*.
- [2] Qianqian Fu, *Determinación de la máxima sobrecarga admisible de corta duración en un transformador*, [Trabajo de fin de grado], Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2015.
- [3] R. J. Rodríguez Naranjo, *Determinación de temperaturas significativas de un transformador de potencia durante sobrecargas*, [Trabajo de fin de grado], Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2014.
- [4] P. N. Caballero Romero & K. P. Pizarro Osorio, *Análisis comparativo de los materiales utilizados en transformadores de distribución sumergidos en aceite vegetal*, [Trabajo de titulación], Universidad de la Costa, Barranquilla, 2017.
- [5] E. Sierra, A. Basulto y J. Planos, “Estimación temprana de la pérdida de vida útil de transformadores de distribución”, *Energética*, n°47, pp. 01-09, 2016.
- [6] D. F. Martínez, A. Céspedes y D. F. García, Artist, *Evaluación de Modelos Térmicos usados para Estimar la Temperatura del Punto Caliente en Transformadores de Distribución*, [Art]. Universidad del Valle, 2019
- [7] R. Figueroa y D. Villaquiran, Artists, *Medidas para aumentar la eficiencia energética en los sistemas de iluminación*. [Art]. Universidad Simón Bolívar, 2023.
- [8] L. Rymer, «Electricaplicada,» 10 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.electricaplicada.com/capacidad-de-sobrecarga-para-transformadores-secos/>.
- [9] A. Camarena, Artist, *Recalibración de los ajustes de protección debido al incremento de la demanda del sistema eléctrico Huanta Zona Urbana A4009 y A4010*. [Art]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022.
- [10] R. Cruz, Artist, *Propuesta e implementación de un procedimiento de pruebas eléctricas a transformadores de medida de las subestaciones eléctricas de transmisión de 60kV de Luz del Sur*. [Art]. Universidad Tecnológica del Perú, 2020.
- [11] J. Zorrilla, A. Céspedes and D. García, "Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica," *Ingeniare. revista chilena de ingeniería*, vol. 28, no. 2, pp. 184-203, 2020.

- [12] J. Hernández y D. Guidos, Artists, *Análisis de fallas en transformadores de potencia y su prevención*. [Art]. Universidad de el Salvador, 2020.
- [13] P. Avelino, *Transformadores de distribución: Teoría, cálculo, construcción y pruebas*, 2020.
- [14] L. Amaya and M. Campaña, "Diseño Óptimo de Redes Eléctricas de Distribución Mediante Modelos de Optimización," *Scielo*, vol. 25, no. 1, 30 Diciembre 2022.
- [15] A. De la Torre, Artist, *Análisis de fallas en transformadores de potencia de centrales de generación eléctrica*. [Art]. 2021.
- [16] A. Cerón, R. Lozano, G. Aponte and A. Romero, "Estimación de la temperatura de punto caliente en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral utilizando regresión con vectores de soporte," *Scielo*, vol. 31, no. 4, Agosto 2020.
- [17] F. Arias and A. Freire, "Comportamiento de Temperaturas Top Oil y Hot Spot en Transformadores Sumergidos en Aceite Mediante el Ingreso de Carga de Vehículos Eléctricos," *Revista Ingenio*, vol. 5, no. 2, pp. 76-85, Diciembre 2022.
- [18] J. Zorrilla, A. Céspedes and D. García, "Técnicas para el diagnóstico de transformadores de potencia: Una revisión crítica," *Scielo*, vol. 28, no. 2, Junio 2020.
- [19] C. Espinoza and F. Díaz, "Termografía infrarroja pasiva aplicada a sistemas de detección de fallas: una revisión," *Digital Ciencia*, vol. 14, no. 2, pp. 28-40, Diciembre 2021.
- [20] F. Vargas, Artist, *Análisis de cargabilidad y pérdida de vida útil de los transformadores de 500/230kV, instalados en el sistema Nacional Interconectado*. [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, 2023.
- [21] J. Montejo, E. Sierra and R. Contreras, "Determinación de la causa raíz de fallas en transformadores de distribución," *Ingeniería Energética*, vol. 3, no. 44, pp. 1-10, 25 Septiembre 2023.
- [22] J. Suárez, Artist, *Análisis de las propiedades eléctricas de aceites vegetales y minerales utilizados en transformadores de distribución*. [Art]. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [23] J. Villar, Artist, *Evaluación de ventajas técnicas por la inclusión a la norma técnica peruana el análisis de respuesta en frecuencia para el diagnóstico de transformadores de potencia*. [Art]. Universidad Continental, 2019.

- [24] B. Cervantes, Artist, *Programa de cálculo para la velocidad de envejecimiento de los transformadores convencionales en el sector de distribución típico I, Miraflores*. [Art]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2022.
- [25] D. Delgado y M. Mitma, Artists, *Optimización del sistema eléctrico de protección para incrementar la confiabilidad de la subestación tipo superficie, ubicado en la Compañía Estrella del Perú S.A.C., Distrito Ate, Lima*. [Art]. Universidad Nacional del Callao, 2021.
- [26] N. Céspedes, Artist, *Planeamiento óptimo del sistema de utilización M.T. para la eficiencia energética en la fábrica de ladrillos cerámicos, Huánuco-2020*. [Art]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022.
- [27] J. Saldivar, Artist, *Estudio de niveles de eficiencia en transformadores de distribución en función del perfil de carga*. [Art]. Tecnológico de Monterrey, 2018.
- [28] Y. Tuesta, *Metodología de cálculo de la vida útil remanente basada en la degradación del aislamiento para predicción de fallas en transformadores de distribución*, [Trabajo de Titulación], Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2020.
- [29] D. Romani, *Análisis de la temperatura interna de los transformadores para aumentar la capacidad de carga de las subestaciones eléctricas de distribución secundaria*, [Trabajo de Titulación], Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2021.

## ANEXOS

**Anexo 01: Tablero de la SED 03386A, circuitos derivados.**



**Anexo 02: Subestación biposte 03386A**



