



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Análisis de ensayos al transformador de distribución
para el montaje de un truck shop en un proyecto
minero – 2019**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Electricista

AUTOR

Vanesa Virginia PARRA SOTELO

ASESOR

Mg. Alfredo ROCHA JARA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Parra, V. (2025). *Análisis de ensayos al transformador de distribución para el montaje de un truck shop en un proyecto minero – 2019*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Vanesa Virginia Parra Sotelo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46769654
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alfredo Rocha Jara
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08645523
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-0006-9684
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Luis Mark Rudy Ponce Martínez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08117818
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Luis Mejía Olivas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10053479
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Manuel Juan Casas Salazar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06266423
Datos de investigación	
Línea de investigación	No Aplica
Grupo de investigación	No Aplica

Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ica Provincia: Nazca Distrito: San Juan de Marcona Latitud: -15.159 Longitud: -75.130
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019-2020
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

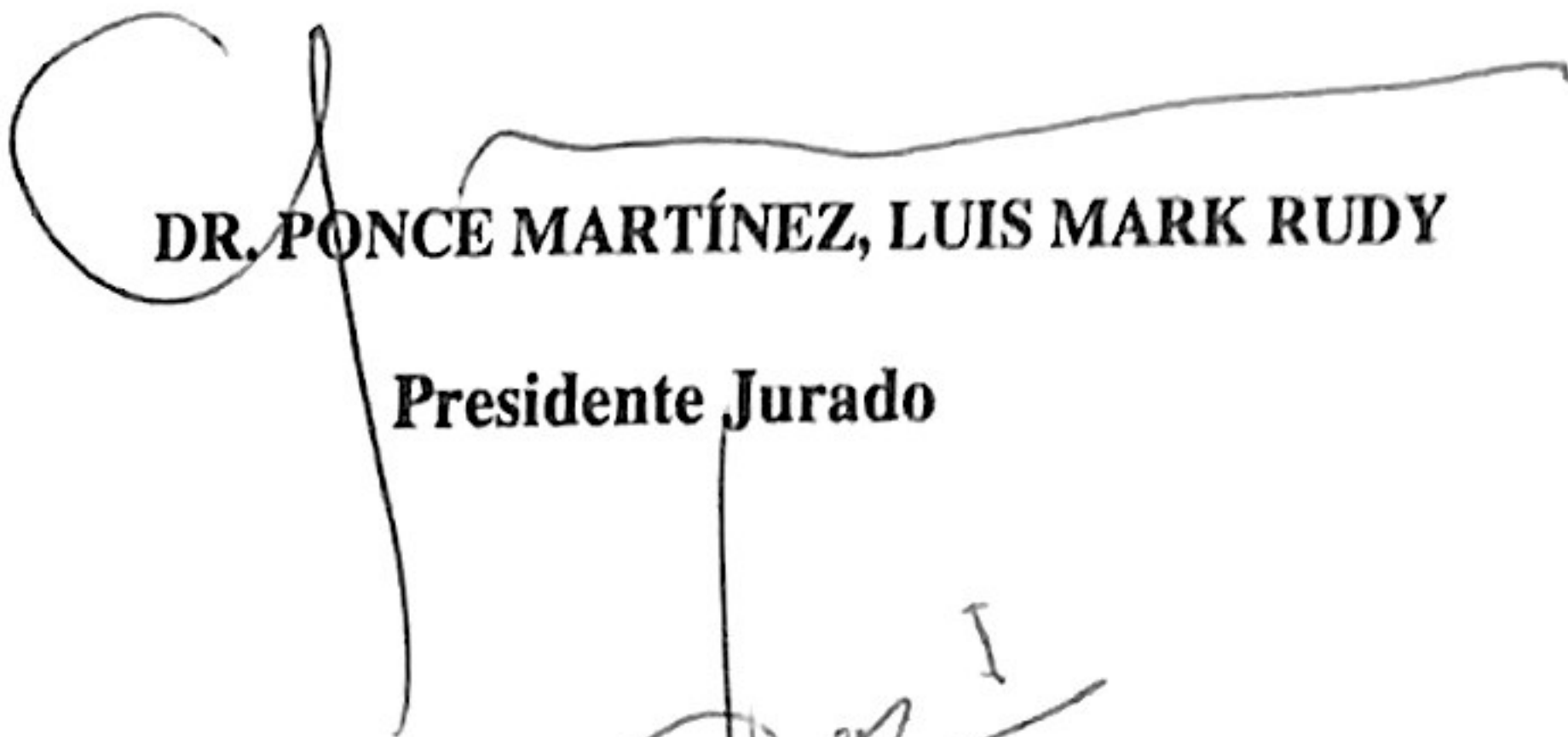
ACTA N°004/FIEE-CTGT/2025

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 14 de abril del 2025, como presidente de Jurado el **DR. PONCE MARTÍNEZ, LUIS MARK RUDY**, integrado por el Miembro de Jurado el **MG. MEJÍA OLIVAS, JOSÉ LUIS**, el Miembro de Jurado **ING. CASAS SALAZAR, MANUEL JUAN** y Miembro Asesor **MG. ROCHA JARA, ALFREDO**.

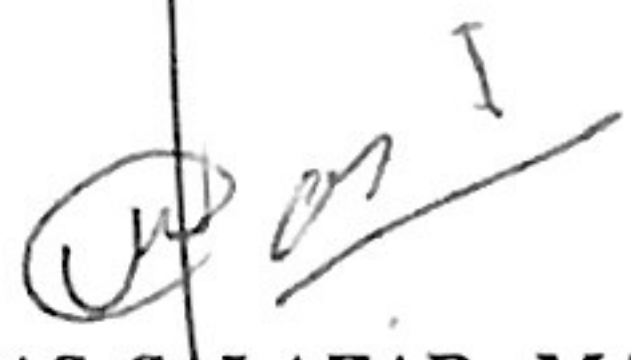
Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional de la Bach. **PARRA SOTELO VANESA VIRGINIA** con código N° **10190033** que para optar el Título Profesional de Ingeniera Electricista sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **ANÁLISIS DE ENSAYOS AL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN PARA EL MONTAJE DE UN TRUCK SHOP EN UN PROYECTO MINERO - 2019**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de *Dieciocho (18)*

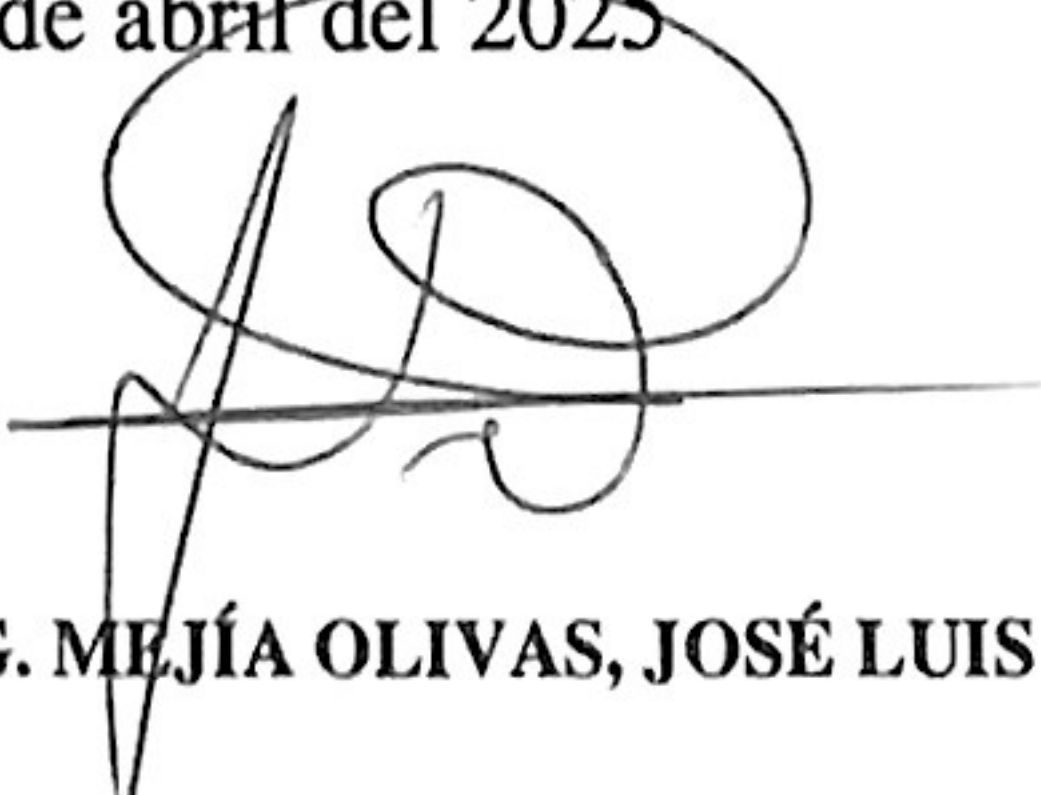
Ciudad Universitaria, 14 de abril del 2025


DR. PONCE MARTÍNEZ, LUIS MARK RUDY

Presidente Jurado


ING. CASAS SALAZAR, MANUEL

Miembro Jurado


MG. MEJÍA OLIVAS, JOSÉ LUIS

Miembro Jurado


MG. ROCHA JARA ALFREDO

Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú, Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **MG. ALFREDO ROCHA JARA** mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional: **ANÁLISIS DE ENSAYOS AL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN PARA EL MONTAJE DE UN TRUCK SHOP EN UN PROYECTO MINERO - 2019**, presentado por el bachiller PARRA SOTELO VANESA VIRGINIA, para optar al título profesional de Ingeniero Electricista. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 14% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 08645523

Nombres y apellidos del asesor:

MG. ALFREDO ROCHA JARA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi papá en el cielo,
a mi madre, a mi hijo que es mi vida entera y a
mis hermanos que siempre me brindan su apoyo
y me alientan a seguir superándome.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme seguir con vida y a mi familia con salud para seguir adelante y demostrar los logros que puedo alcanzar.

A pesar de las adversidades que están pasando en el mundo entero es él quien nos cuida y protege día con día y nos enseña a valorar cada día más su presencia y existencia en cada uno de nosotros.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar el análisis de ensayos al transformador de medida para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019. El tipo de estudio fue aplicado, de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental de corte transversal. La muestra fue un transformador de distribución de aceite que fue usado en el montaje del Truck Shop para un proyecto minero, mientras que los instrumentos aplicados fueron fichas de registros y bibliográficos, como también instrumentos para distintas pruebas de diagnóstico y monitoreo. Estas pruebas fueron de rutina, vacío, impulso, nivel de ruido, calentamiento, configuración de accesorios, análisis del aceite, granallado y pintando, y de estanquidad en frío. En conclusión, en base a los resultados conseguidos, el transformador de medida se encuentra dentro de los límites establecidos por las normativas técnicas, por ello, el transformador de distribución está apto para su puesta en servicio y energización. Se sugirió a la empresa realizar un plan de mantenimiento preventivo para el transformador de distribución en aceite, para aumentar la confianza y continuidad del servicio eléctrico al montaje del Truck Shop, caso contrario existirá la posibilidad que agentes externos perjudiquen la correcta operación del transformador de medida.

.

.

Palabras clave Ensayos, transformador, distribución en aceite, Truck Shop, montaje.

ABSTRACT

The objective of the research was to carry out the analysis of tests on the measurement transformer for the assembly of a Truck Shop in a mining project - 2019. The type of study was applied, with a quantitative approach, descriptive level and non-experimental cross-sectional design. The sample was an oil distribution transformer that was used in the assembly of the Truck Shop for a mining project, while the instruments applied were record and bibliographic sheets, as well as instruments for different diagnostic and monitoring tests. These tests were routine, vacuum, boost, noise level, heating, accessory drying, oil analysis, shot blasting and painting and cold sealing. In conclusion, based on the results obtained, the measurement transformer is within the limits established by the technical regulations, therefore, the distribution transformer is suitable for commissioning and energization. It was suggested that the company carry out a preventive maintenance plan for the oil distribution transformer, to increase the confidence and continuity of the electrical service in the Truck Shop assembly, otherwise there will be the possibility that external agents could harm the correct functioning of the transformer of measurement.

Keywords: Tests, transformer, distribution in oil, Truck Shop, mounting.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
TABLA DE CONTENIDO	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo del informe	1
1.2. Estructura del informe	1
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ	
LA ACTIVIDAD	2
2.1. Institución – Actividad que desarrolla	2
2.2. Periodo de duración de la actividad	2
2.3. Finalidad y objetivos de la entidad	2
2.4. Razón social	3
2.5. Dirección postal	3
2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo	3
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	4
3.1. Organización de la actividad	4
3.1.1. Tipo de investigación	5
3.1.2. Enfoque de investigación	5
3.1.3. Nivel de investigación	5
3.1.4. Diseño de investigación	5
3.1.5. Población	6
3.1.6. Muestra y muestreo	6
3.1.7. Recolección de datos	6
3.1.8. Desarrollo del análisis	6
3.2. Finalidad y objetivos de la Actividad	7

	x
3.2.1. Finalidad	7
3.2.2. Objetivos	7
3.3. Problemática	8
3.3.1. Problema General	8
3.3.2. Problemas Específicos	8
3.3.3. Justificación e importancia de la investigación	8
3.4. Metodología	9
3.4.1 Bases teóricas	10
3.4.2. Marco conceptual	21
3.5. Procedimiento	22
3.6. Resultado de la actividad	22
3.6.1. Pruebas de rutina	23
3.6.2. Pruebas de tangente delta	29
3.6.3. Prueba de impulso	31
3.6.4. Prueba de nivel de ruido	34
3.6.5. Prueba de calentamiento	38
3.6.6. Registro de configuración de accesorios	47
3.6.7. Análisis de aceite	50
3.6.8. Registro de granallado y pintado	53
3.6.9. Registro de prueba de estanquidad en frío	55
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1 Descripción de la implementación	58
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	61
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	64
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS	65
CAPITULO VIII: ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa	4
Figura 2 Prueba de impulso – Fase U	32
Figura 3 Prueba de impulso – Fase U	33
Figura 4 Prueba de impulso – Fase V	34
Figura 5 Curva de calentamiento del aceite	41
Figura 6 Curva de temperatura del arrollamiento en 22900 V	43
Figura 7 Curva de temperatura del arrollamiento en 480 V	46
Figura 8 Triángulo de Duval	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos generales del transformador de distribución en aceite	23
Tabla 2 Medida de relación de transformación	24
Tabla 3 Prueba de vacío	25
Tabla 4 Prueba de corto circuito TAP N° 3	26
Tabla 5 Prueba de aislamiento	26
Tabla 6 Prueba de tensión aplicada	27
Tabla 7 Cálculo de pérdidas en los devanados	27
Tabla 8 Prueba de resistencia	28
Tabla 9 Prueba de tensión inducida	29
Tabla 10 Factor de potencia del bobinado de 22.9 kV	30
Tabla 11 Factor de potencia del bobinado de 0.48 kV	31
Tabla 12 Condiciones de ensayo para prueba de nivel de ruido	35
Tabla 13 Nivel Ruido de Fondo ponderado A, a 0.3m de contorno de cuba (L_{bgA})	35
Tabla 14 Nivel Ruido de Fondo ponderado A, a 0.3m de contorno de cuba (L_{pA0})	36
Tabla 15 Correcciones en prueba de nivel de ruido	36
Tabla 16 Criterio de aceptación del ensayo	38
Tabla 17 Resultado de prueba de nivel de ruido	38
Tabla 18 Resultado final de la temperatura de aceite del transformador	39
Tabla 19 Resultado final de temperatura del cobre del transformador	39
Tabla 20 Registro de calentamiento del aceite del transformador	40
Tabla 21 Calentamiento del cobre en devanado de 22900 V	41
Tabla 22 Temperatura del arrollamiento en 22900 V	42
Tabla 23 Resistencia del devanado de 22900 V	43
Tabla 24 Calentamiento del cobre en 480 V	44
Tabla 25 Temperatura del arrollamiento en 480 V	45
Tabla 26 Resistencia del devanado de 480 V	46
Tabla 27 Accesorios del transformador de distribución en aceite	47

Tabla 28 Pruebas de operación y cableado de los accesorios	48
Tabla 29 Calibración del relé de imagen térmica	49
Tabla 30 Análisis del fluido aislante	50
Tabla 31 Norma de prueba: ASTM D3612	51
Tabla 32 Ratios según IEC 60599	52
Tabla 33 Ratios según Rogers	52
Tabla 34 Ratios según triangulo de Duval	52
Tabla 35 Análisis de PCB en aceite de transformador de distribución	53
Tabla 36 Instrumentos utilizados para registro de granallado y pintado	53
Tabla 37 Registro de granallado	54
Tabla 38 Registro de sistema de pintado – primera capa	54
Tabla 39 Registro de sistema de pintado – segunda capa	55
Tabla 40 Ensayo de adherencia y ensayo perfil de anclaje	55
Tabla 41 Prueba de estanquidad en frío	57

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional comprende un tema importante, siendo el análisis de ensayos de un transformador de distribución, para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero, la investigación es de enfoque cuantitativo, tipo aplicado, con nivel descriptivo, y de diseño no experimental de corte transversal. Los ensayos del transformador son constantes y forman parte del mantenimiento preventivo realizado para poder alargar su vida útil, ya que poseen una entrada de tensión elevada, y a la salida la transforman a niveles de baja tensión, manteniendo prácticamente la misma potencia, debido a la eficiencia elevada que poseen estos equipos.

1.1. Objetivo del informe

Determinar las posibles averías en el transformador de distribución en aceite durante el montaje de un Truck Shop, para que la empresa tenga conocimiento del estado de sus equipos, para evitar algún tipo de accidente, e incluso posible riesgo de incendio.

1.2. Estructura del informe

En el capítulo I se desarrolló la introducción del TSP. En el capítulo II se detalló el lugar en donde se elaboró la actividad; en el capítulo III, se ejecutó la descripción, finalidad y objetivos de la actividad, formulación de problemas, y razones que justifican este TSP, la metodología detallando las bases teóricas y marco conceptual y los procedimientos para realizar el TSP mientras que en el capítulo IV se realiza la discusión de los resultados alcanzados. En el capítulo V se redacta las conclusiones finales tras el desarrollo de la actividad. En el capítulo VI se mencionan las recomendaciones, en el capítulo VII se incluye las referencias bibliográficas, y en el capítulo VIII se enlistan anexos que servirán para un mejor entendimiento del estudio.

CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1. Institución – Actividad que desarrolla

La institución donde se desarrolló la actividad fue la Empresa HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SAC, quien brindó servicios de Ingeniería, Procura y Construcción a la Compañía Minera MARCOBRE SAC en el Proyecto Minajusta.

2.2. Periodo de duración de la actividad

El análisis de ensayos del transformador y el montaje del Truck Shop para la Compañía minera MARCOBRE SAC se desarrolló desde enero 2020 hasta diciembre del mismo año.

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad

La finalidad de la Empresa HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SAC, es ser líder nacional e internacional en consultoría metalúrgica, ingeniería, construcción y gerenciamiento de proyectos para los sectores minero–metalúrgico, oil & gas, infraestructura, energía y saneamiento brindando una gestión innovadora con estándares óptimos de calidad, manejo de riesgos, seguridad, salud en el trabajo, cuidado del medio ambiente, responsabilidad social y conducta ética empresarial en consultoría metalúrgica, ingeniería, construcción y gerenciamiento de proyectos, que nos permita generar mayor valor y satisfacción a nuestros clientes y otros grupos de interés.

2.4. Razón social

La empresa tiene como denominación comercial, HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SOCIEDAD ANÓNIMA CERRADA - HLC S.A.C.

2.5. Dirección postal

La dirección legal de la empresa HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. es en Lima, con dirección postal 15023.

2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo

El profesional a cargo, o responsable del proyecto fue el Ing. Aristóteles Parra Otárola y tiene como correo electrónico, aparao@hlcsac.com.

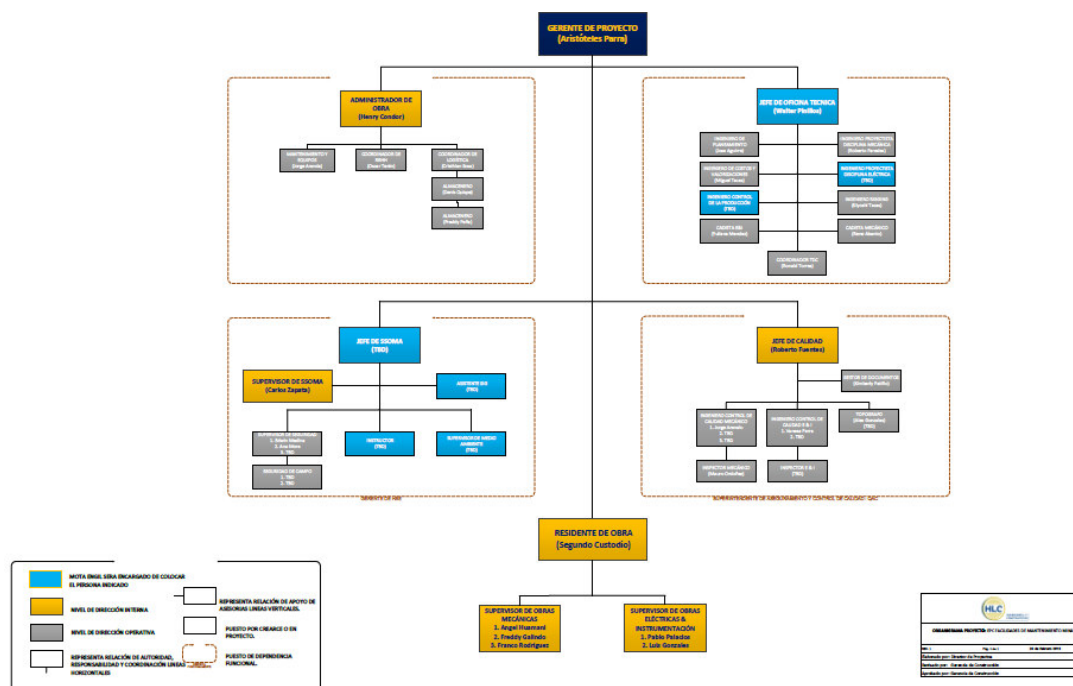
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1. Organización de la actividad

La organización de la Empresa se distribuye en diversas áreas, la cuales son lideradas por el gerente general Aristóteles Parra Otárola, el respectivo organigrama de la empresa se muestra a continuación en la figura 1.

Figura 1

Organigrama de la empresa



Para organizar la actividad se definió la metodología de investigación, y la organización de actividades para desarrollo de análisis.

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, que según Cabezas et al. (2018) este tipo de investigación genera nuevos conocimientos, y pueden tener un uso inmediato en la resolución de un problema en específico.

3.1.2. Enfoque de investigación

El enfoque de estudio fue cuantitativo, ya que se centra en análisis numérico de datos obtenidos a través de encuestas. Hernández et al. (2014) explica que este enfoque recopila datos para demostrar hipótesis, con base en la mensuración numérica y en el análisis estadístico, para implantar pautas de comportamiento y justificar teorías.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel del estudio de este proyecto fue el descriptivo, que de acuerdo con Hernández et al. (2014), este nivel busca especificar propiedades y características fundamentales de algún fenómeno que se estudie, que, además, describe inclinaciones de una población o grupo.

3.1.4. Diseño de investigación

La presente investigación presentó un diseño no experimental de corte transversal, esto se justifica con lo afirmado por Hernández et al. (2014), quienes mencionan que son estudios que se ejecutan sin manipular las variables, es decir solo se analiza a los fenómenos en su contexto natural, así mismo mencionan que los diseños no experimentales transversales son estudios donde se recolecta información en un momento único.

3.1.5. Población

Según Ñaupas et al. (2018) la población es el total de las unidades de estudio (personas, objetos, conglomerados, hechos o fenómenos), que contienen las características requeridas, para ser consideradas como tales. La población del presente estudio estuvo definida por un transformador de distribución en aceite usado en el montaje de un Truck Shop de la Empresa HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SAC.

3.1.6. Muestra y muestreo

Se debe entender que la muestra es un subconjunto finito y representativo que se separa de la población accesible (Arias, 2012). La muestra seleccionada tuvo el mismo tamaño de la población, y fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, Ñaupas et al. (2018) mencionan que en este tipo de muestreo la elección de los sujetos no depende de la probabilidad, sino de las características del estudio y del criterio del investigador en base a la necesidad directamente observada.

3.1.7. Recolección de datos

- Manual de Montaje, Operación y Mantenimiento de Transformador en Aceite de 1200 KVA.
- Ficha técnica de Transformador en Aceite de 1200 KVA.
- Archivos o documentos de ensayos al transformador de distribución en aceite usado para montaje de un Truck Shop.

3.1.8. Desarrollo del análisis

- Inspección visual de parte externa del transformador de distribución de aceite de 1200 KVA usado para montaje de un Truck Shop.
- Análisis de ensayos del transformador de distribución de aceite de 1200 KVA usado para montaje de un Truck Shop.

- Comprobar los resultados del análisis de ensayos del transformador de distribución en aceite de 1200 KVA usado para montaje de un Truck Shop con normas técnicas
- Establecer propuestas de solución para posibles averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 KVA usado para montaje de un Truck Shop.

3.2. Finalidad y objetivos de la Actividad

3.2.1. Finalidad

El propósito de esta investigación es comprobar mediante análisis de ensayos que el transformador de distribución en aceite para el montaje de un Truck Shop se encuentra dentro de los límites establecidos por las normativas técnicas, considerándose apto para su puesta en servicio y energización.

3.2.2. Objetivos

3.2.2.1. Objetivo general

Analizar los ensayos al transformador de distribución en aceite para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero.

3.2.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de ensayos para la verificación de operatividad del transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero.
- Verificar los resultados del análisis de ensayos con las normas técnicas.
- Establecer propuestas de solución contra averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero.

3.3. Problemática

Cuando los parámetros técnicos de un transformador de distribución en aceite para el montaje de un Truck Shop no se encuentra dentro de los límites establecidos en normas técnicas, puede generarse algún tipo de accidente, e incluso posible riesgo de incendio. Por tanto, es necesario tener la seguridad de que un transformador de distribución en aceite cumpla con estándares antes ponerlo en servicio y energizarlo.

3.3.1. Problema General

¿Cómo se realizará el análisis de ensayos al transformador de distribución para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero?

3.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se realizará el análisis de ensayos para la verificación de operatividad del transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero?
- ¿Cómo se verificarán los resultados del análisis de ensayos con las normas técnicas?
- ¿Cuáles son las propuestas de solución contra averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero?

3.3.3. Justificación e importancia de la investigación

3.3.3.1. Justificación teórica

Mediante la aplicación de teoría y conceptos básicos de análisis de ensayos a transformadores de distribución en aceite, este TSP pretende encontrar la explicación de ciertas averías que se pueden presentar a lo largo de los ensayos, debido a golpes y aceleraciones grandes que suelen ser generados por los movimientos internos bruscos

durante el montaje de un Truck Shop. Los resultados de las posibles averías serán de ayuda teórica para otras investigaciones que presenten las mismas circunstancias en otras empresas del mismo sector.

3.3.3.2. Justificación práctica

A nivel práctico esta investigación se justifica debido al interés que tiene la empresa minera de manejar y garantizar la actividad de sus equipos, es decir su vida útil. Asimismo, es prioridad mantener la eficiencia, y operatividad requerida del Truck Shop o taller de mantenimiento de equipos pesados. Es más, un análisis de ensayos externos evitará ejecutar inspecciones internas en el transformador, después de sucedido un desperfecto, pues son generalmente costosos y conllevan demasiado tiempo, interrumpiendo labores de los operarios en el Truck Shop.

3.3.3.3. Justificación económica

Un análisis de pruebas externas proporcionará a la empresa minera minimizar los costos de mantenimiento, además de minimizar las paradas de producción imprevistas mejorando el rendimiento útil de los equipos adelantándose a posibles problemas, esto permitirá a la empresa obtener las ganancias previstas, anulando pérdidas monetarias.

3.4. Metodología

Para analizar el contexto de funcionamiento de los transformadores de distribución en aceite es necesario realizar ensayos de operatividad priorizando los aspectos de pruebas de rutina, de vacío, de cortocircuito, entre otras pruebas que se detallaran a continuación en bases teóricas

3.4.1 Bases teóricas

3.4.1.1. Antecedentes internacionales

Martínez (2018) en su informe titulado “Diagnóstico de transformadores de corriente y de potencial a partir de la evaluación y análisis de resultados de pruebas” estableció como objetivo la elaboración de un documento que posea la información precisa para diagnóstico correcto de transformadores de tensión y de corriente, en base a los resultados de pruebas. Asimismo, aplicó distintos principios de medición de corrientes y voltajes, operación de transformadores de corriente y voltajes, entre otros; por otro lado, también ejecutó pruebas a los transformadores de instrumentación y tensión. En base a todo lo señalado, mencionó distintas conclusiones, dentro de las cuales destacó las siguientes: los transformadores de tensión inductivos con un nivel de tensión mayor a 115 kV eran especialmente susceptibles a la interferencia electromagnética, y la prueba de magnetismo residual requería una desmagnetización previa al ensayo.

Tolozza (2020) en su estudio denominado “Instructivo de procedimiento para la realización de pruebas a equipos de subestaciones eléctricas transformadores de corriente soportado en plataforma virtual” presentó como finalidad diseñar el instructivo para pruebas a transformadores de corriente en subestaciones eléctricas soportado en una plataforma virtual con los protocolos, procedimientos y análisis sobre cómo se deben realizar las pruebas necesarias a Transformadores de Corriente (CT's) y a otros equipos de patio en subestaciones eléctricas, de acuerdo con las normas Internacionales, Nacionales y recomendaciones dadas por el fabricante. Además, la investigación se fundamentó en la recolección de data a través del manual de pruebas para equipos de subestaciones eléctricas y la investigación tanto bibliográfica como documental. Para el plan de trabajo, estudió la información recolectada, y elaboró protocolos para las pruebas, implementando el manual de procedimiento. Finalmente, el instructivo de pruebas de relés de sobrecorriente elaborado y su posterior implementación desde plataformas digitales postulaba una gran base de aprendizaje en relación al manejo técnico de seguridad tanto personal como ambiental.

Gálvez (2022) en su tesis titulada “Evaluación de transformadores de potencia basado en pruebas eléctricas, pruebas fisicoquímicas y análisis de gases disueltos; basado en

los transformadores del Sistema Central de la empresa de transporte y control de energía eléctrica del Instituto Nacional de Electrificación” señaló que el objetivo fue establecer una guía para la evaluación referida. Para ello, aplicó pruebas fisicoquímicas, pruebas eléctricas y el análisis de gases disueltos en el líquido aislante. Acorde a los resultados y las anomalías encontradas, se presentó un procedimiento para la aplicación de las distintas pruebas mencionadas desde sus límites y cómo se deben desarrollar.

Avendaño (2020) en su tesis denominada “Diseño e implementación del módulo de mando, control y medida de un banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores monofásicos y trifásicos” postula como objetivo diseñar e implementar lo referido previamente, realizó quince guías de laboratorio por prueba y/o práctica, para tener una referencia teórico-práctica de los parámetros eléctricos en el modelo real de un transformador de tensión. Además, se revisan las normas y parámetros en la elaboración de prácticas, la información técnica disponible en el laboratorio y los elementos que se emplearán; asimismo, se inició con un diseño eléctrico, el cual incluía ensayos de vacío, cortocircuito y módulo trifásico, y el diseño mecánico que abarcó la construcción, ensamble y conexión. Finalmente, concluyó que para el desarrollo del diseño es preciso conocer la normas, realizar distintas pruebas y definir los equipos que se requieren. Asimismo, realizó el diseño acorde a las normas existentes que se aplican para las pruebas eléctricas de transformadores secos y las normas de seguridad que se deben tener en cuenta para su correcto funcionamiento.

3.4.1.2. Antecedentes nacionales

Sánchez (2018) en su tesis titulada “Análisis de ensayos a transformadores de medida para puesta en servicio de una Subestación Eléctrica de 138 kv perteneciente al Sistema Interconectado Nacional Zona Sur” indica como objetivo realizar un análisis de pruebas tanto eléctricas como dieléctricas a los transformadores ubicados en la subestación señalada, a fin de demostrar que se encuentran en óptimas condiciones para su energización y posterior puesta en servicio. El área de estudio abarca las provincias de Azángaro, Lampa, Juliaca y Puno, todos ubicados en el departamento de

Puno. Además, se realizaron ensayos a los transformadores empleando el equipo multifuncional CPC 100 – CP TD1, CT ANALYZER de la marca OMICRON y un Analizador de Aislamiento de la marca MEGGER con la finalidad indicar que los datos obtenidos se encuentren dentro de los límites de las normas internacionales que se aplican. Finalmente, se concluye que los resultados se ubican dentro del margen señalado por la normativa y, en consecuencia, los transformadores son aptos.

Huancollo (2018) en su tesis denominada “Análisis y alternativas de solución para evitar averías en transformadores de distribución de 5 kVA a causa de descargas atmosféricas en el distrito de Desaguadero” señala que el objetivo de efectuar el análisis y alternativas de solución para evitarse las distintas averías que se pueden ocasionar en los transformadores mencionados como consecuencias de las descargas atmosféricas de la zona indicada. Se analizan 8 transformadores distribuidos en el distrito de Desaguadero, puesto que presenta un alto índice de averías. Además, se emplea una metodología enfocada en analizar los consumidores de distribución por las concesionarias de energía eléctrica que inicia con la inspección visual en la parte externa del transformador de distribución, seguido de un análisis físico-química y luego una inspección visual en la parte interior del transformador de extinción. Asimismo, se aplican ensayos complementarios en el análisis para presentar unos resultados más certeros. Finalmente, acorde a la amplia gama de pruebas que se realizaron se pudieron identificar las causas de avería, prevenir en algunos casos y comprobar que la inversión en modificaciones disminuye en gran medida los gastos que se realizarían en reparaciones.

Cruz (2020) en su tesis denominada “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” indican como objetivo determinar en qué medida la propuesta señalada influye en las mediciones tomadas para mejorar la calidad del servicio eléctrico de las subestaciones referidas. La investigación es de tipo descriptiva, explicativa y experimental, asimismo, se recolecta información a través de métodos de prueba expuestas en conferencias, manuales de equipo, protocolos de prueba y archivos fuentes. Para el desarrollo, se ejecutan pruebas eléctricas a transformadores de corriente, tensión, capacitivos y combinados. Acorde a lo mencionado, se obtienen resultados confiables y se postula un buen diagnóstico para

la mejora de la calidad de servicio eléctrico brindado desde las subestaciones mencionadas.

3.4.1.3. Teoría

- **Truck Shop:**

Un Truck Shop es centro de estación de servicio destinado para camiones de industrias mineras, pero también incluye lugares donde se encuentran oficinas u hogares temporales de trabajadores, pero básicamente es un taller de mantenimiento. Sin un taller de los camiones o vehículos mineros los procesos y operaciones se detienen por una parte de la flota (Kraljevich, 2023).

- **Transformador de distribución en aceite:**

Utilizado para transportar energía eléctrica alterna desde una fuente de generación hasta algún punto de consumo eléctrico, tiene una tensión elevada en el centro de generación, mientras que luego de un proceso de transformación la tensión se reduce al llegar al punto de consumo. Los transformadores según la cantidad de potencia que maneja se clasifican en transformadores de distribución o transformadores de potencia (Avelino, 2020).

Los transformadores de distribución pueden ser instalados de manera monofásica o trifásica, mientras que sus devanados son sumergidos en aceite o refrigeración natural. Las características de los transformadores de distribución son en general, una frecuencia de 50 Hz u opcionalmente 60Hz, mientras que sus líquidos de refrigeración son aceite mineral, silicona, o aceite vegetal, la diferencia de estos se da en el punto de inflamación siendo $>130\text{ }^{\circ}\text{C}$, $>300\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $>300^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Estos transformadores cumplen con la norma UNE 214128 específica de compañías eléctricas internacionales, y las normas peruanas NTP IEC 60076 y NTP 370.400 para transformadores de distribución y potencia

Los valores de potencia nominal de los transformadores de distribución en aceite varían entre 25 kVA a 5000 kVA. Las tensiones más elevadas de los devanados de alta van desde 3.6 kVA a 52 kV, mientras que la tensión más elevada para el material de los devanados de baja van hasta 1.1 kV (LAYBOX S.L.U., 2019).

Las partes que componen a un transformador de distribución son el núcleo también identificado como circuito magnético, tiene la función de conducir el un flujo magnético, el cual une magnéticamente circuitos eléctricos del transformador. El núcleo está conformado por láminas de acero al silicio con características de baja pérdida y alta permeabilidad magnética, así mismo cada lamina está aislada en ambas caras con el aislante inorgánico “carlite”. Otro de los componentes son las bobinas que conforman el circuito eléctrico del transformador, siendo bobinas primarias y bobinas secundarias, el objetivo de la bobina primaria es crear un flujo magnético que posteriormente permite inducir una fuerza electromotriz en las bobinas secundarias, además de transferir una potencia eléctrica del primario al secundario, gracias al principio de inducción electromagnética (Avelino, 2020).

El tercer componente del transformador es sistema de aislamiento, que está compuesto de materiales aislantes. Este sistema aísla los devanados de un transformador entre ellos y a tierra, pero también aísla a las partes cercanas al núcleo, y a partes de acero que conforma la estructura. El sistema de aislamiento debe soportar tensiones relativamente altas, además de esfuerzos mecánicos y térmicos, asimismo estos aislantes deben contar con la cualidad de prevenir excesivas acumulaciones de calor. Dentro del sistema de aislamiento también se encuentran los aislantes líquidos que bañan a las bobinas, núcleo y también a los materiales aislantes sólidos, este líquido tiene el propósito de brindar rigidez dieléctrica y un enfriamiento eficiente, el líquido mencionado puede ser aceite mineral o vegetal, o silicona. El ultimo componente del transformador de distribución son los tanques herméticos y accesorios, siendo el tanque el que contiene y preserva el aceite, núcleo y bobinas, la temperatura del transformador sellado en el tanque debe encontrarse desde -5°C hasta máximo 105°C en la parte alta del líquido refrigerante; los accesorios más relevantes del transformador de distribución son las boquillas de porcelana, cambiadores de derivaciones o también llamados taps, las terminales de cobre para alta y baja tensión, y válvulas para muestreo de aceite (Avelino, 2020).

- **Ensayos y pruebas:**

Los ensayos y pruebas a los transformadores de distribución en aceite permiten verificar las características eléctricas, asegurando que cumplan con normas nacionales e internacionales, con la finalidad de asegurar una confiabilidad operacional y una vida

útil larga. Algunas normas aplicables a estos ensayos son: la norma nacional NTP 370.002, y las normas internacionales IEC 60076, Y ANSI C57.12 enfocado a pruebas de rutina (EPLI S.A.C., 2023).

- **Relación de transformación:**

Con la prueba de relación de transformación se obtiene la relación entre la cantidad de vueltas del devanado primario y el secundario, con dicha relación se determina si la tensión que es suministrada al transformador es transformada hasta una tensión deseada, dicha relación se obtiene de dividir el número de vueltas del devanado primario entre el número de vueltas del secundario, o también de dividir las tensiones devanado primario con el secundario, estando ambas tensiones de línea a neutro de las fases. Los métodos para hallar dicha relación son: método del voltímetro, método de potenciómetros y el método del transformador patrón (TTR), siendo este último usado de manera más usual. En el TTR se conecta en paralelo dos transformadores el patrón y el de prueba, con la misma relación de transformación, que, al ser excitado con una diferencia en la relación de alguno de ellos, circularla una corriente entre ambos; añadido a estos se conecta un galvanómetro en serie con las bobinas secundarias de los dos transformadores. Cuando se exciten las bobinas primarias y el galvanómetro no detecte una deflexión, se interpreta que ambos transformadores poseen la misma relación de transformación (Hernández et al., 2007).

- **Pruebas de vacío y corto circuito:**

Mediante las pruebas de vacío se determina las pérdidas en el núcleo, estas pérdidas son el total de pérdidas que se ocasionan por histéresis y perdidas por corriente de Foucault que son las corrientes que se encuentran en resistencia al circular por un metal, pero también con esta prueba se obtiene la corriente en vacío del transformador. Para realizar esta prueba se debe aplicar una tensión nominal en la parte de menor tensión del transformador, mientras que el lado de mayor tensión debe encontrarse en circuito abierto (Ingeniería Eléctrica, 2014)

Con el ensayo de cortocircuito se determina las intensidades nominales en los bobinados del transformador de distribución, esta se obtiene al aplicar tensiones pequeñas al primario, y colocando en cortocircuito al secundario mediante un amperímetro. Inicialmente se aplica progresivamente una tensión a través de un

autotransformador regulable, iniciando en cero hasta alcanzar intensidades nominales en ambos bobinados, cuando la tensión aplicada alcanza la intensidad nominal es llamado tensión de cortocircuito (U_{cc}), cabe mencionar que la tensión de cortocircuito supone un valor considerado bajo en relación a la tensión nominal que se aplicó al transformador en estado de carga (Ingeniería Eléctrica, 2014)

- **Prueba de aislamiento:**

Prueba que básicamente se centra en determinar la cantidad de humedad e impurezas que presenta los aislamientos de un transformador. La prueba se realiza posterior al secado del transformador, encontrándose en una temperatura entre 0 a 40 °C, para la prueba se utiliza un medidor de aislamiento a una tensión de mil volts durante en promedio diez minutos, establecer un criterio de aceptación o no de la prueba se rige en normas (Avelino, 2020).

- **Prueba de tensión aplicada:**

Utilizado para verificar que los niveles o cantidad de material aislante en los devanados sean los correctos, con la finalidad de asegurar que el transformador pueda resistir a esfuerzos eléctricos durante su operatividad. Esta prueba se realiza aplicando tensiones a una frecuencia de 60 Hertz por el tiempo de un minuto, la tensión aplicada no debe exceder a un cuarto de la tensión de prueba, dicha tensión de prueba es determina acorde al nivel de aislamiento del transformador de distribución establecido por el IEEE, la tensión aplicada debe ser elevada hasta alcanzar la tensión requerida en un tiempo promedio de 15 segundos, la tensión debe ser suspendida reduciendo de manera gradual hasta alcanzar al menos un cuarto de la tensión máxima que se aplicó no excediendo los 5 segundos. La conexión eléctrica en esta prueba se realiza conectando todas las terminales de un devanado entre sí, el devanado de prueba se une a la terminal de alta tensión de un transformado de prueba, mientras que todos los otros devanados y el tanque se conectan a tierra. Si durante la prueba la corriente se incrementa de manera repentina, se interpreta que existe una falla a tierra o entre los devanados de alta baja tensión (Hernández et al., 2007).

- **Prueba de tensión inducida:**

Tiene como meta verificar si el aislamiento entre las vueltas y secciones de los devanados del transformador de distribución posea un valor de calidad deseado,

además permite verificar los aislamientos entre bobinas y devanados y tierra. La prueba se ejecuta con el doble de la tensión nominal, hasta alcanzar 7200 ciclos, cuando se aplique una tensión del 200%, el flujo debe aumentar a la misma cantidad, por tanto, también se debe aumentar la frecuencia en igual cantidad, entonces si la prueba se realiza en un transformador de 60 Hz, la frecuencia debe ser aumentada hasta los 120 Hz, teniendo la prueba una duración de 60 segundos, aunque este tiempo se modifica en relación a la frecuencia del generador. La prueba tiene como inicio una aplicación de tensión igual o menos a la cuarta parte de la tensión de prueba, y esta se incrementa hasta igualar a la tensión máxima durante un tiempo menor a 15 segundos, para concluir la prueba se debe reducir la tensión de manera gradual hasta niveles iguales a un cuarto de la tensión inducida, esto durante 5 segundos. Esta prueba solo se suspende cuando se detecte una falla, de lo contrario se originaría daños en los aislamientos. La prueba se rechaza si se detecta un incremento brusco en la corriente, ya que significaría fallas en el devanado

- **Cálculo de pérdidas en devanados:**

Las pérdidas en los devanados con carga se originan a causa de efecto Joule, y se puede obtener mediante una prueba de cortocircuito. El cálculo para determinar las pérdidas en los devanados varía en relación a la carga del transformador, y se calcula multiplicando el factor de utilización (F_u) con las pérdidas con carga a potencia nominal (PCC), y también con el factor de pérdidas (EPM, 2019).

$$\text{Pérdida en los devanados} = F_u * PCC * F_{\text{pérdidas}}$$

A su vez, el factor de pérdidas se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$F_{\text{pérdidas}} = 0.7 F_c^2 + 0.3 F_c$$

Donde F_c es el factor de carga que se obtiene al dividir la potencia promedio entre la potencia máxima.

- **Prueba de resistencia:**

Prueba usada para comprobar que las conexiones internas en los devanados se encuentran sujetadas de manera firme, también permite determinar las pérdidas en el cobre. Los métodos usados para esta prueba son el puente de Wheatstone o Kelvin, o el método de caída de tensión. El método Wheatstone presenta mayor sencillez además

de brindar gran exactitud, durante la medición la lectura no se altera por efectos de calentamiento debido a que la corriente de prueba es muy pequeña, los resultados son comparados con resistencias patrón, según norma este método es único para devanados donde la corriente nominal es menor que 1A. Mientras que el método de caída de tensión se realiza conectando el devanado a una fuente de corriente continua, la corriente no debe exceder el 15% de la corriente nominal para no generar sobrecalentamientos, y posterior tomar las medidas de corriente y tensión en el devanado, por ley de Ohm se obtiene la resistencia del devanado en Ohmios (Hernández et al., 2007).

- **Pruebas de tangente delta y factor de potencia del bobinado:**

Este parámetro es una medida de la pérdida de energía en el aislamiento de un transformador de distribución, las pérdidas se deben a factores de contaminación, humedad o por la degradación del aislamiento, las pruebas verifican la capacidad del aislamiento para poder mantener la energía eléctrica evitando la disipación (Wiljanden, 2023).

El factor de potencia de disipación es importante para comprobar que el factor de disipación no varíe con la tensión, a pesar de que no existen variaciones máximas establecidas, es recomendable que se encuentre entre 0.05 y 0.01 durante las pruebas (Wiljanden, 2023).

- **Prueba de impulso:**

Una prueba de impulso permite establecer si el aislamiento del transformador tiene la capacidad de soportar descargas atmosféricas durante su funcionamiento. Los niveles de aislamiento tienen que soportar un patrón de descarga atmosféricas con un tiempo de onda de 1.2 microsegundos que tarda una onda en llegar a su valor pico, y 50 microsegundos el tiempo que tarda la onda en decaer a la mitad del valor máximo, estos disturbios atmosféricos se presentan de tres formas, onda completa, frente de onda, y onda cortada. La prueba de impulso debe ser realizada aplicando estos tres impulsos al transformador, la onda completa permite comprobar que el transformador soportará disturbios en su línea de transmisión; la onda cortada se aplica para verificar que el impulso corta al acercarse al transformador ya que es drenado a tierra; mientras

que la prueba de frente de onda permite predecir cuál será el comportamiento del transformador frente a una descarga atmosférica directa.

La prueba de impulso se realiza mediante un generador de impulsos conformado por capacitores cargados en paralelo, y descargados en serie a través de explosores. La conexión eléctrica para la prueba debe ser realizada en separado para cada terminal de los devanados, por lo que las otras terminales del mismo devanado, y de los otros devanados deben estar conectadas a tierra (Hernández et al., 2007).

- **Prueba de nivel de ruido:**

Los transformadores generan zumbidos durante su operación, estos son generalmente de baja frecuencia entre 100 o 120 Hz, lo cual depende de la alimentación eléctrica. Las fuentes que generan ruidos en un transformador son la magneto estricción, ocasionado por el cambio de dimensiones observado en materiales al ser sometidos a flujo eléctrico variable, también los ruidos pueden ser originados por fuerzas electromagnéticas en los enrollamientos, por ventiladores o por las bombas de aceite. El instrumento para medir los niveles de ruido en un transformador es el sonómetro, para las mediciones de ruido en transformadores se utiliza bandas de frecuencia, ya que los tonos de los ruidos en estos componentes son tonos de frecuencia de cantidad doble a los tonos de la frecuencia eléctrica de alimentación, por lo que los ruidos que no se quiere medir pueden ser bloqueados mediante aplicación de bandas. En general se utiliza diez bandas para detectar niveles de ruido en transformador que trabajen a tensión y corriente signoidal, mientras que ante presencia de armónicos en la tensión y/o corriente se producen frecuencias más altas ocasionando ruidos más altos, por lo que es necesario aumentar las bandas (Melo, 2016).

- **Prueba de calentamiento:**

Esta prueba se utiliza para determinar los calentamientos tanto del aceite como de los devanados alta tensión y baja tensión del transformador, además de verificar su potencia nominal, basándose en la norma IEC 60076-2. Para realizar la prueba se debe garantizar que el transformador cuente con los dispositivos de protección, así mismo 24 horas antes debe colocarse al transformador en un lugar donde la temperatura de los devanados y del aceite sean homogéneas; la medida de temperatura del aire de refrigeración debe ser tomada por al menos tres sensores, la temperatura del aceite

debe ser medido a través de las vainas para termómetros ubicados en la tapa de la cuba, mientras que la temperatura en los devanados es determinada por la medida de resistencias en los mismos. El ensayo inicia alimentando los devanados de alta tensión con corriente continua y a la alimentación trifásica de ensayos, mientras los de baja tensión se conectan en cortocircuito (IMSE, 2016).

- **Análisis de aceite**

Un análisis del aceite es importante para observar el proceso de refrigeración del transformador, ya que el estrés eléctrico o térmico logran ocasionar fallos e incluso reducir la vida útil. El estado del aceite del transformador se obtiene mediante un análisis fisicoquímico dieléctrico, el cual busca comprobar la calidad del aceite, el envejecimiento el papel aislante, o también verificar la humedad en el transformador, mediante este análisis se realiza las pruebas de tensión interfacial para comprobar si existe sedimentación en el aceite, pruebas de índice de neutralización para medir cantidad de ácidos presentes en el aceite, pruebas de fuerza dieléctrica que garantice que el aceite pueda soportar voltajes máximos sin generar fallas, pruebas de agua o humedad ya que si la humedad aumenta la capacidad de aislamiento se reduce, y pruebas de factor de potencia (CDA Ingenieros, 2022).

- **Prueba de estanquidad en frío:**

Esta prueba permite sirve para determinar la confiabilidad mediante pruebas de hermeticidad del aceite del transformador. La finalidad de este procedimiento es comprobar que el transformador pueda mantener su hermeticidad del aceite ante diversas presiones. La prueba inicia drenando el aceite del transformador antes de limpiar tanto el interior como el exterior del transformador para evitar agentes contaminantes durante la prueba, posterior, se realiza una prueba de extracción de aire al vacío con la finalidad de garantizar que el interior del transformador no contenga algún aire, eliminando así el efecto de la presión del aire, seguidamente el transformador es sometido a presiones entre 0.5 y 1.5 bares, esto dependiendo del diseño del transformador, es necesario apoyarse de manómetros de monitoreo para detectar fugas de gas o aceite. Al finalizar la prueba se llena nuevamente el transformador de aceite (SCOTECH, 2024).

3.4.2. Marco conceptual

Circuito eléctrico. El circuito eléctrico está conformado por los devanados primario y secundario. Dichos devanados se fabrican en distintos tipos, dependiendo de las necesidades del diseño (Cevallos, 2010).

Factor de potencia. El factor de potencia (fp) es el término que se define como el ángulo de desfase entre la corriente con respecto al voltaje o viceversa. De igual manera el fp indica la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) (Martínez et al., 2017).

Relación de transformación. La relación de transformación se define como la relación de espiras del devanado primario con respecto al devanado secundario, la relación de corrientes del devanado primario con respecto al devanado primario o la relación de tensión del devanado secundario con respecto al devanado primario (Sánchez, 2018).

Tangente de delta. Es un parámetro dieléctrico muy importante a la hora de evaluar el estado de un sistema de aislación, ya que refiere a las pérdidas dieléctricas que se desarrollan en el volumen de los materiales aislantes (Corrales, 2017).

Transformadores. Son máquinas estáticas que tienen la misión de transmitir, mediante un campo electromagnético alterno, la energía eléctrica de un sistema, con determinada tensión, a otro sistema con tensión deseada (Ras, 1994).

Pruebas de medición de resistencia. Esta prueba tiene como objetivo de verificar la resistencia óhmica de los devanados. Con su aplicación se detectan los falsos contactos y espiras en corto circuito al compararse con los datos de placa o con resultados anteriores (Cevallos, 2010).

Transformadores de distribución. Son aquellos transformadores monofásicos o trifásicos que poseen capacidades entre 5 a 500 kVA (Cevallos, 2010).

Transformadores de potencia. Aquellos transformadores con capacidades mayores a 500 kVA (Cevallos, 2010).

Transformador monofásico. Son transformadores de potencia o distribución, que son conectados a una línea o fase y un neutro o tierra (Cevallos, 2010).

Transformador trifásico. Son transformadores de potencia o distribución, que son conectados a tres línea o fase y pueden estar o no conectados a un neutro común o tierra (Cevallos, 2010).

3.5. Procedimiento

La metodología aplicada para la toma de datos fue la siguiente:

- Primero, se realizó una inspección visual en la parte externa del transformador de distribución, ya que permite identificar posibles daños en los bornes de alta y baja tensión, corrosiones y vaciamiento del tanque de aceite, reconocer la existencia de elementos extraños, así como determinar si el transformador fue reparado años atrás.
- Segundo, se ejecutaron análisis fisicoquímico para definir si hubo una contaminación de aceite, de acuerdo a las normas técnicas vigentes.
- Tercero, una inspección visual interna de los transformadores para reconocer los efectos físicos observables de causa de fallas. También poder conocer los daños no detectables por los ensayos fisicoquímicos.

Una vez conseguido los datos a partir de los instrumentos de medición para las distintas pruebas y análisis, se siguió con digitalizarlo y luego validarlo para el ingreso a la base de datos a través de hojas de cálculo. Después de ello, se empezó al procesamiento de la información, aplicando tablas y gráficos de barras, con el objetivo de organizar, tabular y ordenar los datos (estadística descriptiva); por medio del uso del software Excel.

3.6. Resultado de la actividad

Como primer paso es necesario identificar las características del transformador de distribución en aceite a analizar en el proyecto, a continuación, en la Tabla 1 se muestra estos datos generales.

Tabla 1

Datos generales del transformador de distribución en aceite

Datos generales del transformador de distribución en aceite					
Marca:	EPLIC S.A.C.	kVA:	1200	Tcc a 75°C:	5.96%
N° Serie:	TR2019-02046-01	V AT:	22900	Frecuencia:	60 Hz
Tipo:	TP3O	V BT:	480	Conexión:	Dyn 11
Fase:	3	A AT:	30.25	Grupo:	IV
Año:	2019	A BT:	1443.38	Enfriamiento:	ONAN
Norma:	IEC - 60076	AISL.AT:	24/50/125 kV	Clase térmica.:	A
Altitud:	1000 m.s.n.m.	AISL.BT:	1.1/3/20 kV	TAG:	1636-XFU-0001

Entonces con la Tabla 1 se afirma que el transformador de distribución analizado es trifásico de una potencia de 1200 kVA, con un voltaje en el bobinado de alta tensión (AT) de 22 900 volts, y un voltaje en el bobinado de baja tensión (BT) de 480 volts, con frecuencia de trabajo de 60 Hz, su conexión es Dyn 11, es decir tiene una conexión delta en la bobina AT, y una conexión estrella en el lado BT, y su Temperatura de corto circuito (T_{cc}) es de 75 °C. Mientras que entre sus características de identificación resaltan la marca EPLIC S.A.C. de serie TR2019-02046-01.

Una vez identificado el transformador de distribución a analizar se procede a realizar pruebas necesarias para asegurar un correcto funcionamiento durante su proceso de operación. Las pruebas a realizar son, pruebas de rutina, prueba tangente delta, prueba de impulso, prueba de ruido, prueba de calentamiento, análisis de aceite, registro de granallado y pintado, y un registro de configuración de accesorios del transformador. Los instrumentos utilizados para dichas pruebas fueron un ratiómetro monofásico AECCM Model 8500 Serie: 227328HADV, un megóhmetros digital microprocesado MEGABRAS MIS550e MD-10KVx MR 9134 B, un medidor de resistencia RESISTOMAR BURSTER 2304-V005 Serie 370574, y un Multi Channel Power Meter ZES ZIMMER LMG500 Serie 01680705.

3.6.1. Pruebas de rutina

Posterior a identificar y reconocer las características del transformador de distribución en aceite, se procede a realizar respectivas pruebas de rutina, las cuales son: la relación

de transformación del transformador, prueba en vacío, prueba de cortocircuito, prueba de aislamiento, prueba de tensión aplicada e inducida, cálculo de pérdidas en los devanados y prueba de resistencia.

3.6.1.1. Relación de transformación

Las pruebas de relación de transformación en el transformador de distribución en aceite (Anexo B) brindaron los resultados resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2

Medida de relación de transformación

Medida de relación de trasformación							ERROR DE RELACIÓN % Tolerancia ±0.5%
Pos.	U1	U2	Valor Teórico	Conexión de pruebas			
			K=(U1*√3)/U2	U-V	V-W	W-U	
				u-0	v-0	w-0	
1	24045	480	86.765	86.77	86.77	86.78	0.01
2	23473	480	84.701	84.71	84.71	84.72	0.01
3	22900	480	82.633	82.68	82.68	82.68	0.06
4	22328	480	80.569	80.61	80.61	80.61	0.05
5	21755	480	78.502	78.54	78.53	78.54	0.04

La prueba se realizó para cinco posiciones donde en cada uno se obtuvo un voltaje en el bobinado de alta tensión distinto, siendo estos 24045V, 23473V, 22900V, 22328V, y 21755 V, mientras que el voltaje en el bobinado de baja tensión fue de 480. Aplicando la fórmula para obtener la relación de transformación (K), $K=(U1*\sqrt{3})/U2$, se obtiene la relación teórica (Kt) de cada uno.

La prueba se ejecuta en cada fase del transformador, fase A (U-V), fase B (V-W) y fase C (W-U), los valores obtenidos son las relaciones medidas (Km), los cuales serán comparados con los valores teóricos para obtener el porcentaje de diferencia, que por teoría y norma debe ser menor a $\pm 0.5\%$, para considerarse aceptable y conforme. El porcentaje de diferencia se obtiene con la fórmula $(Kt - Km) / Kt * 100$.

Debido a que todos los porcentajes de diferencia son menores a 0.5% que establece como máximo la IEC 61869 - 5, se interpreta que la relación de transformación del transformador es conforme y aceptable.

3.6.1.2. Prueba de vacío

La prueba de vacío realizada en el transformador de distribución en aceite en conexión estrella arrojó los resultados mostrados en el Anexo B y se resume en la Tabla 3.

Tabla 3

Prueba de vacío

Prueba de vacío								
Tensión (Voltios)	Lecturas				Lectura de vatímetro			Perdida (Vatios)
	U-V	V-W	W-U	Tensión (Promedio)	W1	W2	WT	Resultado
Intensidad (Amp.)	lu	lv	lw	lp	-917.10	2528.90	1611.80	1611.80
	6.8	4.99	6.29	6.03 0.42				

Las lecturas en las tres fases de la bobina de BT, fueron de 482.9 en fase A, 478.9 en fase B y 478.3 en fase, dando un promedio de 480.03 voltios, mientras que las corrientes fueron 6.8 amperios, 4.99 amperios y 6.39 amperios. Los vatímetros brindan las pérdidas en vacío nominales, la lectura del primer vatímetro (W1) entre fase U-V es -917.1, y la lectura del segundo vatímetro (W2) entre fases U-W es 2528.9, siendo una pérdida nominal total de 1611.8 Vatios, ocasionada por histéresis o corrientes parasitas.

3.6.1.3. Pruebas de corto circuito

La Tabla 4 muestra los resultados tras realizar la prueba de corto circuito en el transformador de distribución en aceite, la prueba en si se muestra en el Anexo B.

El voltaje de corto circuito (V_{cc}) es decir cuando el bobinado de alta tensión alcanza la tensión nominal, es de 1357.6 volts, mientras que la corriente de cortocircuito (I_{cc}) es de 30.3 A, mientras que el vatímetro marca una potencia de cortocircuito (P_{cc}) de 6472.3 W, que son las pérdidas nominales en el cobre. Por tanto, la perdida de cortocircuito a 75 °C es de 13580.5 W, mientras que a 25 °C es 11763.6 W.

Tabla 4

Prueba de corto circuito TAP N° 3

Prueba de corto circuito											
Po s.	Tensión		Intensidad		Lectura de Vatímetro			Pérdida de corto circuito		Tensión de corto circuito	
	K= 1.348		K=1.348		K ² = 1.818			[W]		%	
	Lect.	Volt.	Lec t.	Am p.	W1	W2	WT	25°C	75°C	25°C	75°C
1											
2											
3	1007. 03	1357. 6	22.4	30.3	-7604.7	14077	6472.3	11763.6	13580.5	5.93	5.96
4											
5											

3.6.1.4. Prueba de aislamiento

Luego de realizar la prueba de aislamiento en el transformador de distribución en aceite (Anexo B) se recolectaron los datos mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5

Prueba de aislamiento

Prueba de aislamiento		
Aplicación	Lectura (Mega ohm)	VDC
AT - Masa	19500	10000
BT - Masa	15000	1000
AT - BT	95000	10000

La prueba permite establecer cuando es el aislamiento de cada bobina en relación a la carcasa del transformador. La alimentación a la bobina de alta tensión con la masa o carcasa fue de 10000 volts, lo cual brinda un valor de aislamiento AT-Masa de 19500 Megaohmios, mientras que el valor de aislamiento en BT-Masa con una alimentación de 1000 volts fue 15000 Megaohmios. Así mismo la lectura en relación AT-BT fue de 95000 Megaohmios, por tanto, se garantiza una óptima operación de las bobinas debido a que las mediciones son mayores a los 5000 Megaohmios que establece como mínimo ANSI/NETA-ATS.

3.6.1.5. Prueba de tensión aplicada

La prueba de tensión aplicada al transformador de potencia de distribución en aceite arrojó los datos mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6

Prueba de tensión aplicada

Prueba de tensión aplicada			
Aplicación	Tensión de prueba		Resultado
AT - BT y Tierra	50 kV	kV/60seg.	Bien
BT - AT y Tierra	3 kV	kV/60seg.	Bien

La prueba se realizó con una tensión de prueba de 50 kV en la conexión AT-BT y tierra, mientras que para BT-AT y tierra se utilizó 3 kV, en ambos casos se aplicó tensión por un tiempo de 60 segundos o 1 minuto. Dado que no se presentaron complicaciones, los resultados en el transformador fueron exitosos en ambos casos.

3.6.1.6. Cálculo de pérdidas en los devanados

La Tabla 7 resume los resultados obtenidos del cálculo de pérdidas en los devanados del transformador de distribución en aceite (Anexo B).

Tabla 7

Cálculo de pérdidas en los devanados

Cálculo de pérdidas en los devanados						
Resistencia	Conexión	Valor	R. Fase	I. Fase	Watt	Watt 75°C
AT	Delta (D)	3.73333	5.60000	17.47	5125.76	6113.38
BT	Estrella (y)	0.00172	0.00086	1443.38	5368.44	6402.82
Pérdida en resistencia devanados (T. ambiente 25°C) y (T. 75°C)					10494.2	12516.2
Diferencia de pérdidas (T. ambiente) y (T. 75 °C)					1269.38	1064.31
Pérdida total calculada para T. 75°C						13580.51

En la bobina de alta tensión se obtuvo una corriente de fase de 17.47 A, mientras que la corriente en baja tensión fue 1443.38 A, mientras que las resistencias en las bobinas AT y BT fueron 5.6 y 0.00086 Ohmios respectivamente. La pérdida total en los devanados a una temperatura de 75 °C es de 13580.21, la cual se obtuvo luego de

calcular la pérdida en resistencia de devanados del transformador de distribución (12516.2) añadido la diferencia de pérdidas a la misma temperatura (1064.31).

3.6.1.7. Prueba de resistencia

Los resultados de la prueba de resistencia en el transformador de distribución (Anexo B) se ve en la Tabla 8.

Tabla 8

Prueba de resistencia

Prueba de resistencia	
Alta Tensión (Ω)	Baja Tensión (Ω)
R_U-V:3.751	R_U-V:0.00172
R_V-W:3.71	R_V-W:0.00169
R_W-U:3.739	R_W-U:0.00174
R_promedio= 3.7333	R_promedio= 0.00172

Las resistencias de aislamiento de las fases de las bobinas del transformador de distribución son:

En la bobina de alta de tensión (AT)

- Resistencia en fase A (U-V): 3.751 Ohmios
- Resistencia en fase B (V-W): 3.71 Ohmios
- Resistencia en fase C (W-U): 3.739 Ohmios
- Resistencia promedio en AT: 3.7333 Ohmios

En la bobina de baja de tensión (BT)

- Resistencia en fase A (U-V): 0.00172 Ohmios
- Resistencia en fase B (V-W): 0.00169 Ohmios
- Resistencia en fase C (W-U): 0.00174 Ohmios
- Resistencia promedio en AT: 0.00172 Ohmios

3.6.1.8. Prueba de tensión inducida

La Tabla 9 muestra los resultados obtenidos posterior a realizar la prueba de tensión aplicada al transformador de distribución en aceite (Anexo B). Se observa que el resultado de la tensión inducida fue bueno.

Tabla 9

Prueba de tensión inducida

Prueba de tensión inducida								
Tensión de prueba	%	Tensión aplicado	Frecuencia	Tiempo	Intensidad (A)			Resultado
			Hz	s	lu	lv	lw	
960V	100%	960V	120	60	5.489	5.019	6.022	Bien
Perdidas				Rigidez dieléctrica				
	Perdida en el Fe	Perdida en el Cu.	Pérdidas totales	TCC:	Norma	Nº Pruebas	Rigid. Dielec. Prom.	
Obtenidas	1611.8	13580.51	15192.31	5.96	ASTM-D1816	5	55 kV/2mm	
Garantizadas	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	Tipo de aceite: NYNAS			

Para la prueba se aplica el doble de la tensión y el doble de la frecuencia nominal a la bobina de baja tensión (BT), por lo que se aplica una tensión de 960 kV y una frecuencia de 120 Hz, esto durante 60 segundos o 1 minuto. Debido a que no se presentaron complicaciones durante la ejecución se concluye con un resultado óptimo del transformador.

Las pérdidas obtenidas totales tras la prueba en el cobre del transformador fueron de 15192.31. La rigidez dieléctrica promedio en base a la norma ASTM-D1816 fue de 55kV/2mm.

3.6.2. Pruebas de tangente delta

Las pruebas de tangente delta en el transformador de distribución en aceite consta de los cálculos del factor de potencia en el bobinado de 22.9 Kv y en el bobinado de 0.48

kV. El instrumento utilizado para la prueba fue un Termohigrometro, usado para medir temperatura y humedad.

3.6.2.1. Factor de potencia del bobinado

En la Tabla 10 se muestra los resultados del factor de potencia del bobinado de 22 900 V del transformador de distribución en aceite, mientras que la La prueba se realiza en seis modos de prueba, en modo UST sin cable con conexión a tierra aplicando 2 kV brinda un factor de potencia de 0.295 que corregido a la temperatura del transformador (20 °C) se obtiene un factor de potencia corregido de 0.275%, una segunda prueba UST, pero a 12 kV da un factor de potencia corregido de 0.272%, y estando ambos valores por debajo del 1 % se considera un factor de potencia aceptable. Lo mismo se observa en las pruebas en modo GST y GST más tierra (g).

Tabla 11 resumen los resultados del bobinado de 480 kV.

Los valores obtenidos de las pruebas se encuentran dentro del rango recomendado por la IEEE, siendo menores al 0.5% corregido a temperatura de 20 °C, indicando un estado aceptable del aislamiento de los bobinados. Los valores de capacitancia obtenidos son referenciales para realizar comparaciones con pruebas futuras.

Tabla 10

Factor de potencia del bobinado de 22.9 kV

Factor de potencia del bobinado de 22.9 kV							
MODO	TEST (KV)	%PF	Factor Correlación K	%PF Corregido 20°C	Capacitancia	Condición	
1	UST	2	0.295	1.072	0.275	3.144 nF	Aceptable
2	UST	12	0.292	1.072	0.272	3.146 nF	Aceptable
1	GST	2	0.279	1.072	0.26	4.117 nF	Aceptable
2	GST	12	0.282	1.072	0.263	4.120 nF	Aceptable
1	GST (g)	2	0.255	1.072	0.238	0.973 nF	Aceptable
2	GST (g)	12	0.244	1.072	0.228	0.974 nF	Aceptable

La prueba se realiza en seis modos de prueba, en modo UST sin cable con conexión a tierra aplicando 2 kV brinda un factor de potencia de 0.295 que corregido a la temperatura del transformador (20 °C) se obtiene un factor de potencia corregido de

0.275%, una segunda prueba UST, pero a 12 kV da un factor de potencia corregido de 0.272%, y estando ambos valores por debajo del 1 % se considera un factor de potencia aceptable. Lo mismo se observa en las pruebas en modo GST y GST más tierra (g).

Tabla 11

Factor de potencia del bobinado de 0.48 kV

Factor de potencia del bobinado de 0.48 kV							
MODO	TEST (KV)	%PF	Factor Correlación K	%PF Corregido 20°C	Capacitancia	Condición	
1	UST	0.2	0.293	1.072	0.273	3.144 nF	Aceptable
2	UST	0.4	0.295	1.072	0.275	3.146 nF	Aceptable
1	GST	0.2	0.34	1.072	0.317	6.151 nF	Aceptable
2	GST	0.4	0.343	1.072	0.32	6.151 nF	Aceptable
1	GST (g)	0.2	0.39	1.072	0.364	3.005 nF	Aceptable
2	GST (g)	0.4	0.393	1.072	0.367	3.005 nF	Aceptable

La prueba en el bobinado de 0.48 kV o 480 V también consta de seis modos de prueba, en modo GST aplicando 0.2 kV brinda un factor de potencia de 0.34% que corregido a la temperatura del transformador (20 °C) se obtiene un factor de potencia corregido de 0.317%, una segunda prueba GST, pero a 0.4 kV da un factor de potencia corregido de 0.32%, y estando ambos valores por debajo del 1% se considera un factor de potencia aceptable. Lo mismo se observa en las pruebas en modo UST y GST más tierra (g).

Los resultados de las pruebas se encuentran dentro de lo recomendado por la IEC 61869-5, quien establece que si son menores a 0.5% corregido a una temperatura de 20 °C, se concluye como un estado de aislamiento de bobinados óptimo.

3.6.3. Prueba de impulso

Para la prueba de impulso en el transformador de distribución en aceite es necesario analizar las tres fases U, W y V. La prueba en la fase U se muestra en el Anexo C, la prueba en fase W se muestra en el Anexo D, mientras que la prueba de impulso en la fase V, se muestra en el Anexo E.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos de la prueba de impulso en la fase U del transformador mediante un oscilograma, los resultados en fase W se observa en la Figura 3, mientras que los resultados de la prueba de impulso en la Fase V se muestra en la Figura 4. Dentro de todas las pruebas de impulso no se encontraron problemas durante los procesos de aplicación de impulsos de tensión, ya que los impulsos generados por capacitores cargados en paralelo son descargados en serie a través de explosores satisfactoriamente en tiempos óptimos.

Figura 2

Prueba de impulso – Fase U

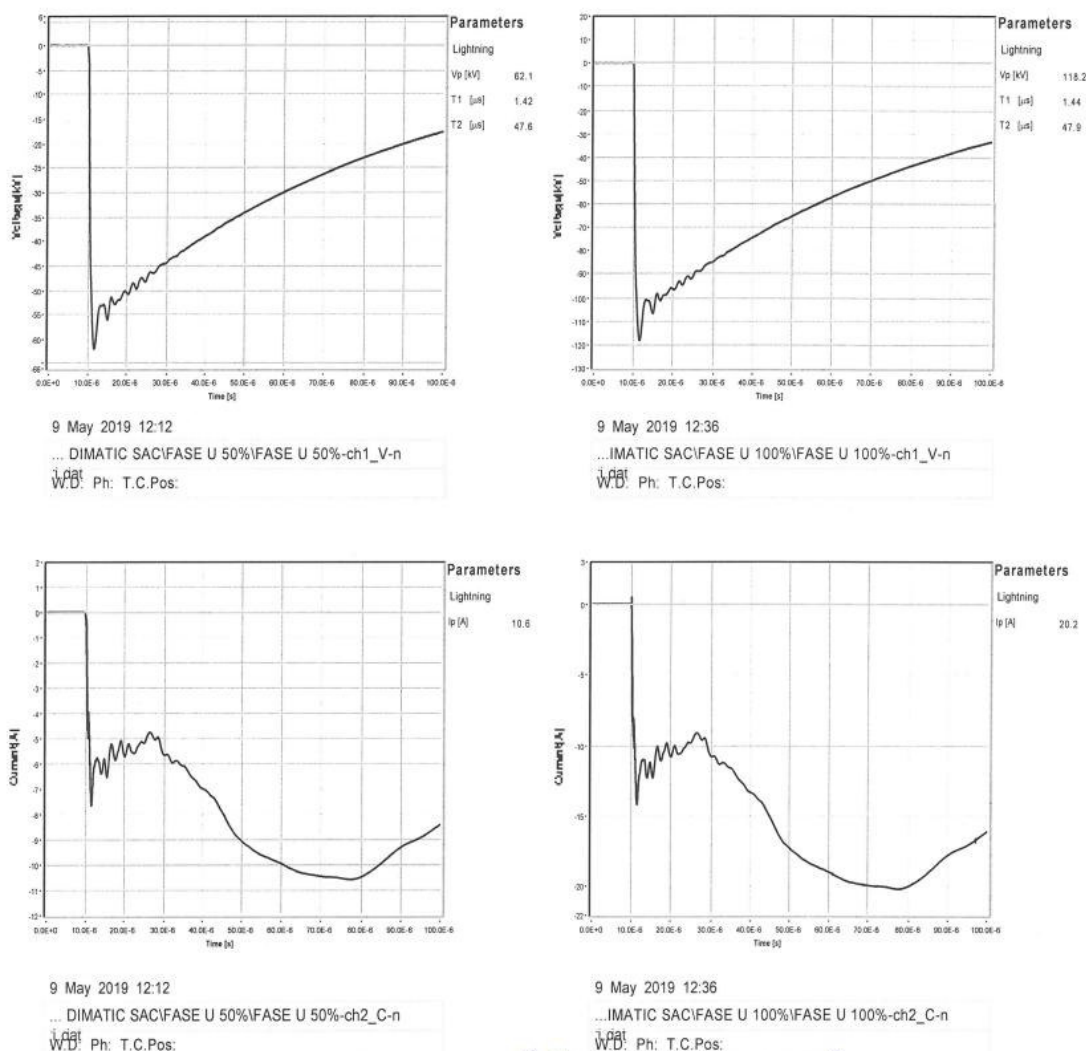
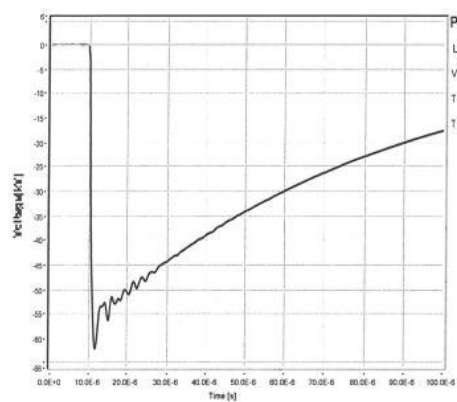


Figura 3

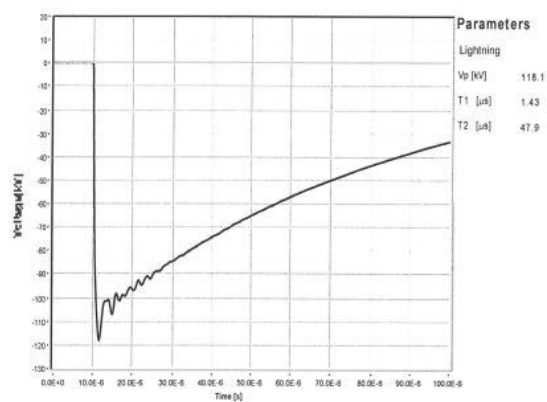
Prueba de impulso – Fase U



9 May 2019 12:54

... DIMATIC SAC\FASE W 50%\FASE W 50%-ch1_V-n

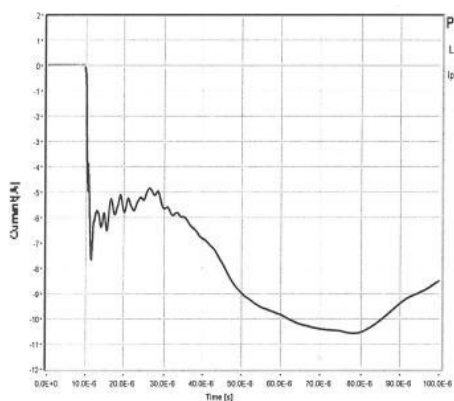
W.D: Ph: T.C.Pos:



9 May 2019 12:56

...IMATIC SAC\FASE W 100%\FASE W 100%-ch1_V-n

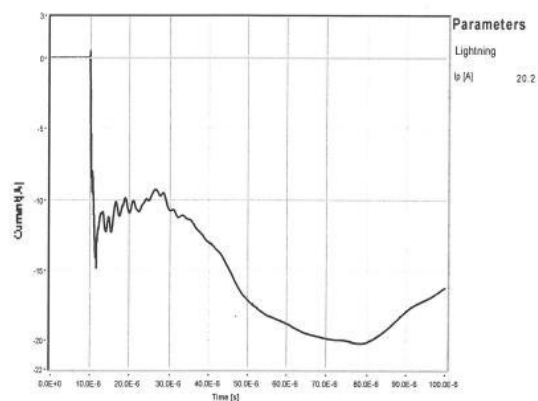
W.D: Ph: T.C.Pos:



9 May 2019 12:54

... DIMATIC SAC\FASE W 50%\FASE W 50%-ch2_C-n

W.D: Ph: T.C.Pos:



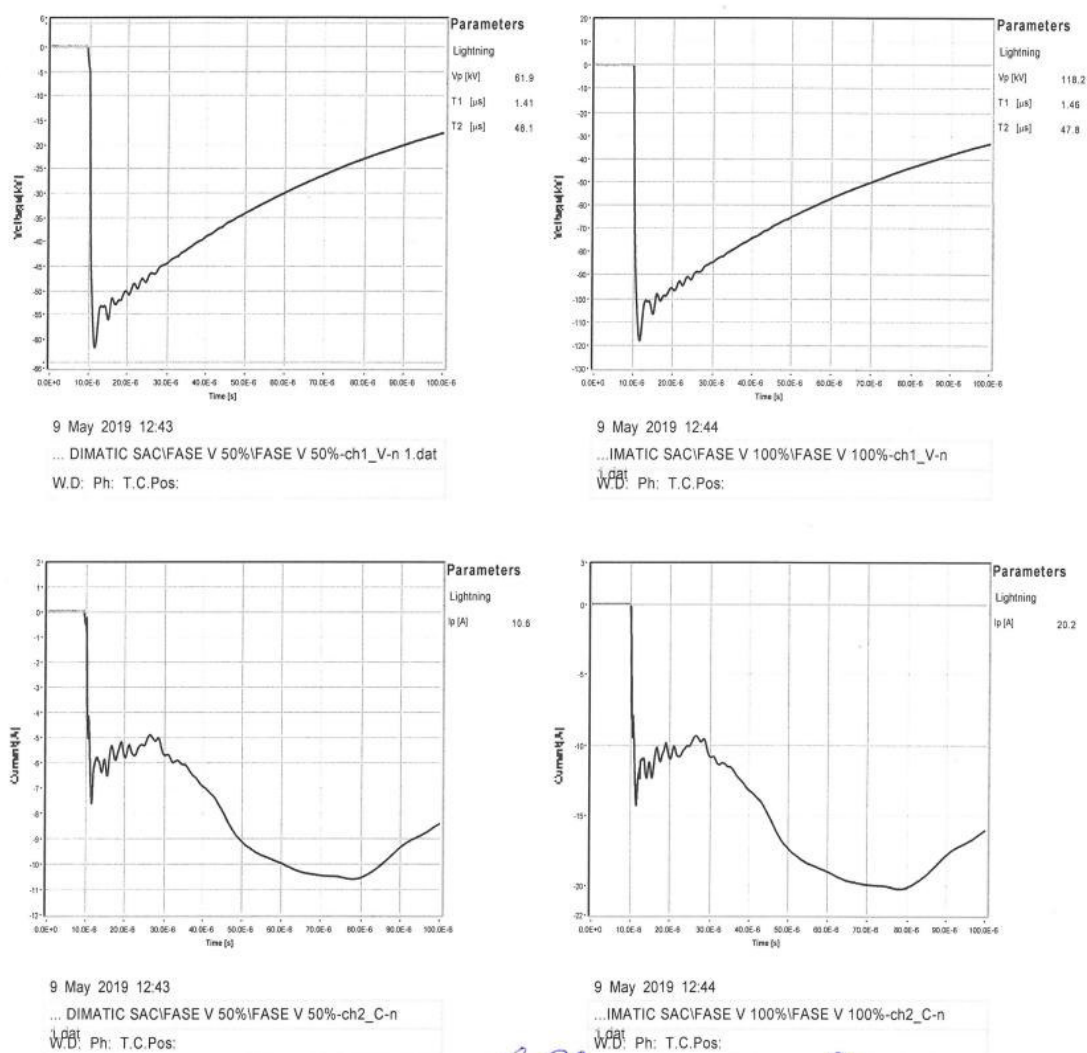
9 May 2019 12:56

...IMATIC SAC\FASE W 100%\FASE W 100%-ch2_C-n

W.D: Ph: T.C.Pos:

Figura 4

Prueba de impulso – Fase V

**3.6.4. Prueba de nivel de ruido**

Mientras que para realizar la prueba de nivel de sonido en el transformador de distribución es necesario primero identificar las condiciones del ensayo, posterior a eso, se procede a analizar el nivel de ruido de fondo ponderado a una distancia del contorno de la cuba. La prueba se muestra en el Anexo F.

Las condiciones del ensayo se resumen en la Tabla 12, mientras que los resultados de las pruebas a una distancia de 0.3 metros del contorno de la cuba se observa en la Tabla 13 y

Tabla **14**, donde L_{bgA} es el Nivel de ruido de fondo ponderado A, y L_{pA0} es el Nivel promedio no corregido de presión acústica ponderado A, realizando la prueba en 12 decisiones de entorno. El instrumento utilizado para la prueba fue un Sonómetro Digital marca EXTECH N° 407768 serie H.243799.

Tabla 12

Condiciones de ensayo para prueba de nivel de ruido

Condiciones del ensayo	
Frecuencia	60 Hz
Posición conmutador	TAP. 3
Área de la superficie de medida	23.5 m ²
Tensión de excitación	480 V
Distancia de medida	0.30 m
Altura del objeto de ensayo	1.92 m
Longitud del entorno prescrito	12.24 m
Separación de los puntos de medida	1.00 m

Tabla 13

Nivel Ruido de Fondo ponderado A, a 0.3m de contorno de cuba (L_{bgA})

Nivel Ruido de Fondo ponderados A, a 0.3 m del contorno de la cuba					
Posición del contorno	Al comienzo del ensayo (dB)	Al final del ensayo (dB)	Posición del entorno	Al comienzo del ensayo (dB)	Al final del ensayo (dB)
1	44.6	43.7	12	46.6	45.7
2	44	43.1	13	-	-
3	49.1	48.1	14	-	-
4	47.7	46.7	15	-	-
5	50.3	49.3	16	-	-
6	47.3	46.4	17	-	-
7	46.9	46	18	-	-
8	43.8	42.9	19	-	-
9	45.8	44.9	20	-	-
10	45.6	44.7	21	-	-
11	44.2	43.3	22	-	-
Media aritmética de la energía, $L_{bgA} =$				46.8	45.85

Tabla 14

Nivel Ruido de Fondo ponderado A, a 0.3m de contorno de cuba (L_{pA0})

Nivel Ruido ponderados A, a 0.3 m del contorno de la cuba					
Posición del contorno	Medición 1 de la Cuba (dB)	Medición 2 de la Cuba (dB)	Posición del contorno	Medición 1 de la Cuba (dB)	Medición 2 de la Cuba (dB)
1	53.1	-	14	-	-
2	50.3	-	15	-	-
3	50.4	-	16	-	-
4	49.6	-	17	-	-
5	53.8	-	18	-	-
6	51.7	-	19	-	-
7	51.9	-	20	-	-
8	49.6	-	21	-	-
9	49.1	-	22	-	-
10	50.2	-	23	-	-
11	50.4	-	24	-	-
12	51.3	-	25	-	-
13	-	-	26	-	-
Media aritmética de la energía, $L_{pAO} =$				51.2	

Obtenidos los valores de las pruebas de nivel de ruido se realizó correcciones para el factor ambiental, y los niveles ponderados A del medio corregido de presión acústica, y el calculado de potencia acústica, esto se observa en la Tabla 15.

Tabla 15

Correcciones en prueba de nivel de ruido

Correcciones	
Valor garantizado (dB) de presión acústica, L_{pA} (dB)	-
Factor de corrección ambiental (debe ser ≤ 7 dB), $K =$	0.69
Nivel ponderado A medio corregido de presión acústica, L_{pA} (dB)	48.53
Nivel ponderado A calculado de potencia acústica, L_{wa} (dB)	63.21

Para interpretar los resultados de la prueba de nivel de sonido es necesario revisar los criterios de aceptación del ensayo, estos criterios son brindados en la Norma IEC 60076-10, estos criterios se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16

Criterio de aceptación del ensayo

Correcciones		
L_{pA0} – el mayor L_{bgA}	Inicial L_{bgA} – final L_{bgA}	Decisión
≥ 8 dB	-	Ensayo aceptado
< 8 dB	< 3 dB	Ensayo aceptado
< 8 dB	> 3 dB	Repetir ensayo
< 3 dB	-	Repetir ensayo

Nota: A no ser que L_{pA0} sea menor que el valor garantizado, en cuyo caso el objeto de ensayo debería considerarse que está comprendido en el nivel garantizado. Esta condición debe registrarse en el informe de ensayo. Tomado de “Transformadores de potencia. Parte 10: Determinación de los niveles de ruido”, de Norma 60076-10, 2017.

Por tanto, obtenido los resultados de la prueba de nivel de ruido del transformador de distribución en aceite, e establecido los criterios de aceptación del ensayo, se concluye que en ensayo es aceptado, debido a que el valor obtenido de L_{pA0} – el mayor L_{bgA} fue 4.39 siendo menor que 8 dB, y el resultado de Inicial L_{bgA} – final L_{bgA} fue menor de 3 dB, esto se resume en la Tabla 17.

Tabla 17

Resultado de prueba de nivel de ruido

Resultado de prueba de nivel de sonido		
L_{pAO} - el mayor L_{bgA}	Inicial L_{bgA} - final L_{bgA}	Decisión
4.39	0.95	Ensayo aceptado
L_{pAO}	Garantizado L_{pA} (dB)	L_{pA} a 0.3m
51.19	-	48.53

3.6.5. Prueba de calentamiento

La prueba de calentamiento realizada al transformador de distribución en aceite (Anexo G) de este trabajo se calculó para el aceite utilizando la Norma IEC-60076 (Tabla 18), y para la prueba en el cobre se analizó en los devanados de 22900 V, y 480 V (La temperatura a calentamiento de cobre en el devanado de 22900 V fue de 30.5 °C en prueba, estando por debajo de lo tolerable (65 °C), así mismo la temperatura del devanado de 480 V fue de 41.7 °C que también encontrándose por debajo de lo tolerable (65 °C), se interpreta los resultados como aceptables y conformes.

Tabla 19).

La temperatura ambiente del aceite del transformador fue de 23.8 °C, por tanto, la temperatura media debe ser 47.6 °C, la temperatura final del aceite en la prueba fue de 62 °C, encontrándose por encima de lo tolerable, pero debido a que la diferencia es menor a 5% se considera aceptable.

Tabla 18

Resultado final de la temperatura de aceite del transformador

Resultado final de la temperatura de aceite	
Norma empleada	IEC - 60076
Temperatura Ambiente	23.8°C
Temperatura final del pozo	62.0°C
Temperatura aceite medio	47.6°C
Calentamiento del aceite	38.2°C
Temperatura Tolerancia a 1000 m.s.n.m.	60.0 °C

La temperatura a calentamiento de cobre en el devanado de 22900 V fue de 30.5 °C en prueba, estando por debajo de lo tolerable (65 °C), así mismo la temperatura del devanado de 480 V fue de 41.7 °C que también encontrándose por debajo de lo tolerable (65 °C), se interpreta los resultados como aceptables y conformes.

Tabla 19

Resultado final de temperatura del cobre del transformador

Resultado final de la temperatura del cobre	
Devanado de 22900V	
Calentamiento del devanado	30.4°C
Temperatura. tolerancia a 1000 m.s.n.m.	65.0°C
Devanado de 480 V	
Calentamiento del devanado	41.7 °C
Temperatura Tolerancia a 1000 m.s.n.m.	65.0°C

3.6.5.1. Calentamiento del aceite

El registro de la prueba de calentamiento del aceite del transformador de distribución se observa en la Tabla 20. La hora de inicio de registro fue a las 5:00 p.m. y finaliza a

3:30 a.m. Donde W. tot representa a las pérdidas totales, T. sup es la temperatura de la aleta superior en °C, T. act.m es la temperatura aceite medio en °C, T. inf representa la temperatura de la aleta inferior en °C, T. amb es la temperatura ambiente en °C, y calent. Es el calentamiento del aceite en °C.

Tabla 20

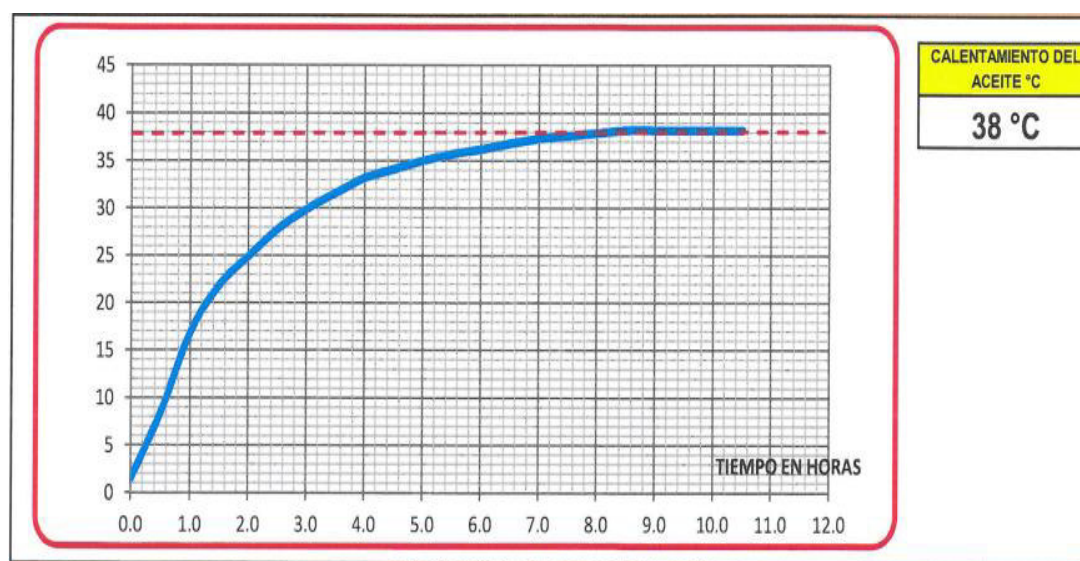
Registro de calentamiento del aceite del transformador

Registro de calentamiento del aceite										
Hora	Volt.	IN	W. total	T° aceite	T° sup	T° act.m	T° inf	T° amb	calent.	tiempo
5:00 p.m.	1519.3	33.58	15186.8	26.3	24.7	24.2	23.6	24.8	1.5	0
5:30 p.m.	1498.5	33.1	15175.6	33.3	30.6	27.8	25	24.8	8.5	0.5
6:00 p.m.	1489.6	32.83	15184.7	41.2	36.1	32.8	29.5	24.3	16.9	1
6:30 p.m.	1481.3	32.66	15169	45.9	39.7	35.6	31.4	24	21.9	1.5
7:00 p.m.	1477.1	32.55	15186	48.9	41.9	38	34.1	24	24.9	2
7:30 p.m.	1470.7	32.37	15181.2	51.8	43.7	40.1	36.4	24	27.8	2.5
8:00 p.m.	1469.4	32.36	15174.7	53.9	46.1	41.8	37.5	24	29.9	3
8:30 p.m.	1466.6	32.28	15152.1	55.6	47.4	43.1	38.8	24	31.6	3.5
9:00 p.m.	1465.9	32.24	15174.5	57.2	48.7	44.2	39.6	24	33.2	4
9:30 p.m.	1464.8	32.22	15178.2	58.1	49.7	44.9	40	24	34.1	4.5
10:00 p.m.	1463.5	32.18	15176.5	59	49.7	45.3	40.8	24	35	5
10:30 p.m.	1463.2	32.17	15176.6	59.7	50.6	45.9	41.2	24	35.7	5.5
11:00 p.m.	1460.7	32.13	15169.9	60.2	50.7	45.9	41.1	24	36.2	6
11:30 p.m.	1459.7	32.12	15169.6	60.7	51.5	46.6	41.6	23.9	36.8	6.5
12:00 a.m.	1459.6	32.1	15160.9	61.1	51.7	46.8	41.8	23.8	37.3	7
12:30 a.m.	1459.1	32.1	15172.3	61.4	51.7	47	42.2	23.8	37.6	7.5
1:00 a.m.	1458.6	32.09	15181.6	61.7	51.7	47.1	42.4	23.8	37.9	8
1:30 a.m.	1456.9	32.07	15162	61.7	52.2	47.4	42.5	23.5	38.2	8.5
2:00 a.m.	1458.8	32.08	15177.8	61.8	52.2	47.3	42.3	23.6	38.2	9
2:30 a.m.	1458.2	32.09	15184.4	61.9	52.7	47.8	42.8	23.7	38.2	9.5
3:00 a.m.	1457.6	32.09	15188.6	62	52.4	47.6	42.8	23.8	38.2	10
3:30 a.m.	1459.3	32.08	15189.3	62	52.3	47.6	42.8	23.8	38.2	10.5
Valores finales		32.08	15189.3	62	52.3	47.6	42.8	23.8	38.2	10.5

Asimismo, se realiza una curva del calentamiento con la finalidad de observar claramente la distribución de la temperatura del aceite a lo largo del tiempo, esto se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Curva de calentamiento del aceite

**3.6.5.2. Calentamiento del cobre en devanado de 22900 V**

La Tabla 21 muestra el registro de la prueba de calentamiento en el cobre del devanado de 22900 V del transformador de distribución.

Tabla 21

Calentamiento del cobre en devanado de 22900 V

Hora	Volt.	IN	W. total	T° aceite	T° sup	T° act.m	T° inf	T° amb	calent.	tiempo
5:10 a.m.	1372.8	30.24	13216	61	51.6	46	40.4	23.3	37.7	0
5:40 a.m.	1375.7	30.23	13419.9	59.1	49.6	44.7	39.7	23.3	35.8	0.5
6:10 a.m.	1375.2	30.23	13423.8	58.8	49.8	44.9	40	23.3	35.5	1
Valores finales		30.23	13424	58.8	49.8	44.9	40	23.3	35.5	1

La Tabla 22 muestra el registro de temperatura de la prueba de calentamiento en el arrollamiento de 22900 V. El registro cuenta con 40 medidas, iniciando en un tiempo de 2 minutos con 55 segundos, y culminando en un tiempo de 6 minutos con 10 segundos.

Asimismo, se realiza un gráfico para visualizar de manera más entendible como se distribuye la temperatura del arrollamiento en 22900 V a lo largo del tiempo analizado (Figura 6).

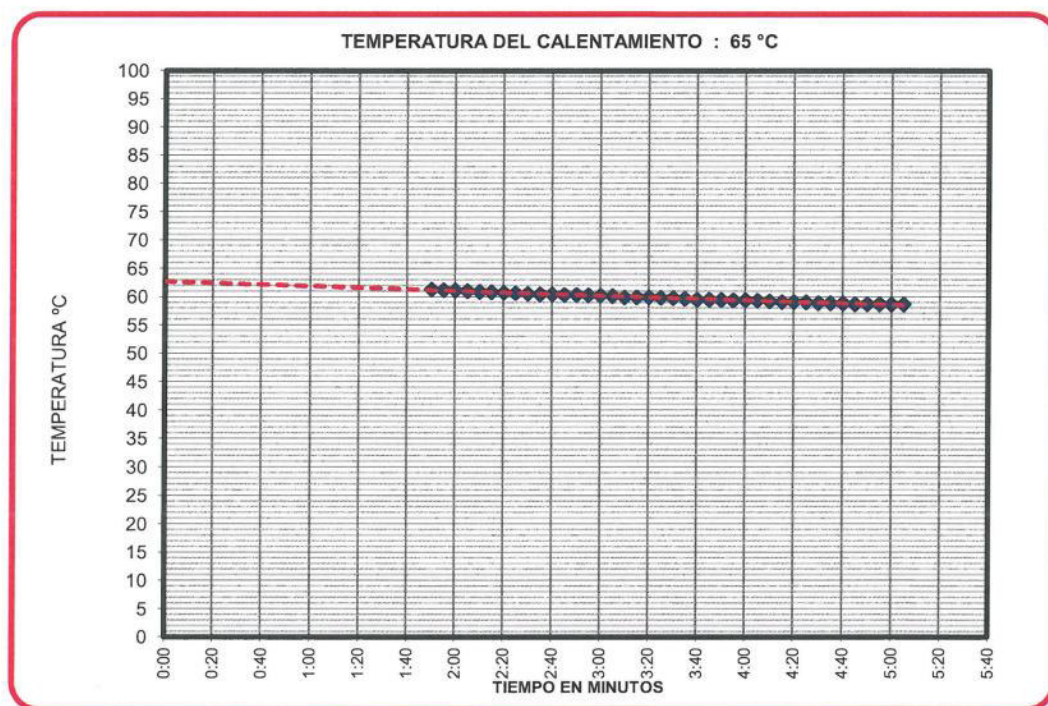
Tabla 22

Temperatura del arrollamiento en 22900 V

Temperatura del arrollamiento en 22900V							
N	Tiempo (mm:ss)	Resistencia (mOhm)	Temperatura	N	Tiempo (mm:ss)	Resistencia (mOhm)	Temperatura
1	02:55	3.961	47.92	21	04:35	3.941	46.43
2	03:00	3.960	47.79	22	04:40	3.940	46.40
3	03:05	3.959	47.73	23	04:45	3.939	46.33
4	03:10	3.958	47.64	24	04:50	3.938	46.22
5	03:15	3.957	47.58	25	04:55	3.937	46.18
6	03:20	3.955	47.47	26	05:00	3.936	46.10
7	03:25	3.955	47.43	27	05:05	3.935	46.05
8	03:30	3.954	47.36	28	05:10	3.934	45.98
9	03:35	3.952	47.27	29	05:15	3.933	45.90
10	03:40	3.951	47.20	30	05:20	3.933	45.86
11	03:45	3.950	47.12	31	05:25	3.932	45.79
12	03:50	3.949	47.05	32	05:30	3.931	45.72
13	03:55	3.948	46.98	33	05:35	3.930	45.66
14	04:00	3.947	46.91	34	05:40	3.929	45.60
15	04:05	3.946	46.83	35	05:45	3.929	45.58
16	04:10	3.945	46.76	36	05:50	3.928	45.50
17	04:15	3.945	43.71	37	05:55	3.927	45.48
18	04:20	3.943	46.62	38	06:00	3.926	45.39
19	04:25	3.943	46.58	39	06:05	3.925	45.33
20	04:30	3.942	46.49	40	06:10	3.924	45.27

Figura 6

Curva de temperatura del arrollamiento en 22900 V



Mientras que los resultados de la prueba de calentamiento en la resistencia en el devanado de 22900 V del transformador de distribución se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23

Resistencia del devanado de 22900 V

Resistencia del devanado de 22900 V			
Temperatura ambiente inicial	30.0 °C	Resistencia inicial	3.7100 Ω
Temperatura ambiente final	23.3 °C	Resistencia final	3.6162 Ω
Cálculo del calentamiento			
	Prueba	Nominal	
Corriente en bobinado	30.2 A	30.3 A	
Temperatura arrollamiento	51.0 °C	-	
Temperatura aceite medio	44.9 °C	-	
Calentamiento cobre aceite medio	6.1 °C	6.1 °C	
Calentamiento aceite medio – aire	-	21.6 °C	
Calentamiento del cobre - aire	-	30.4 °C	
Nota. Incluye la caída térmica	-	2.7 °C	
Calentamiento Cu – aceite medio corregido		8.8 °C	

3.6.5.3. Calentamiento del cobre en devanado de 480 V

La Tabla 24 muestra el registro de la prueba de calentamiento en el cobre del devanado de 480 V del transformador de distribución.

Tabla 24

Calentamiento del cobre en 480 V

Hora	Volt.	IN	W. total	T° aceite	T° sup	T° act.m	T° inf	T° amb	calent.	tiempo
3:30 a.m.	1373.5	30.24	13477	62.2	52.3	47.6	42.8	23.3	38.9	0
4:00 a.m.	1374.4	30.24	13414	62	52	47.4	42.8	23.3	38.7	0.5
4:30 a.m.	1374.2	30.25	13425	61.9	51.8	47	42.2	23.3	38.6	1
5:00 a.m.	1374.4	30.245	13409	61.5	51.7	46.8	41.8	23.3	38.2	1.5
Valores finales		30.25	13409	61.5	51.7	46.8	41.8	23.3	38.2	1.5

La Tabla 25 muestra el registro de temperatura de la prueba de calentamiento en el arrollamiento de 22900 V. El registro cuenta con 40 medidas, iniciando en un tiempo de 1 minuto con 50 segundos, y culminando en un tiempo de 5 minutos con 5 segundos.

Asimismo, se realiza un gráfico para visualizar de manera más entendible como se distribuye la temperatura del arrollamiento en 480 V a lo largo del tiempo analizado (Figura 7).

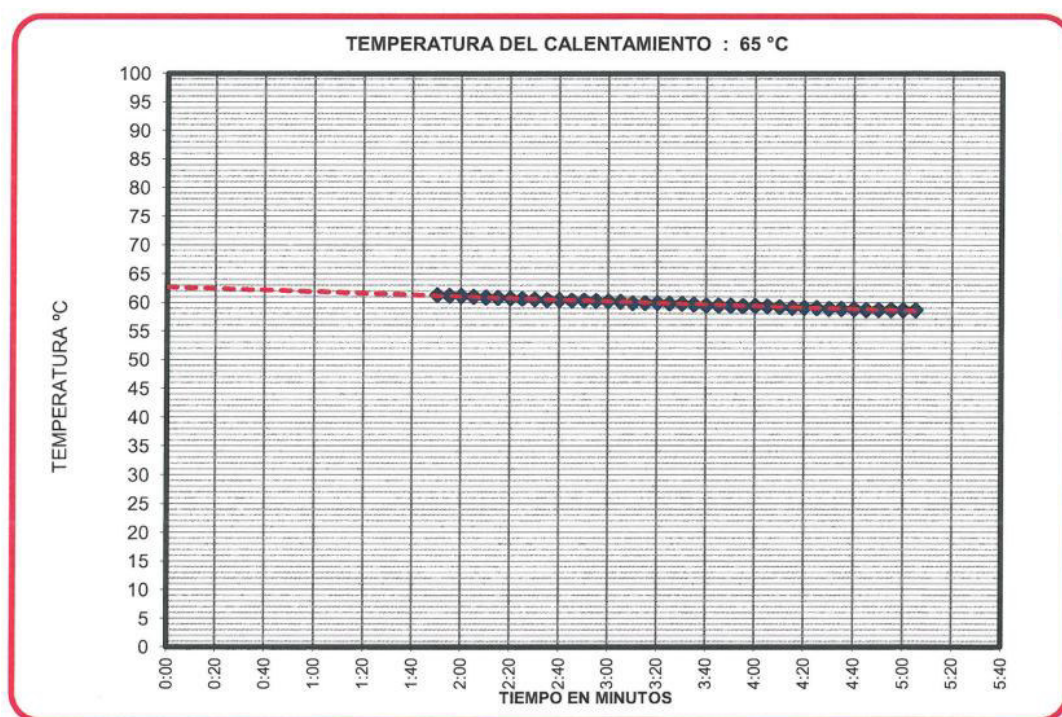
Tabla 25

Temperatura del arrollamiento en 480 V

Temperatura del arrollamiento en 480V							
N	Tiempo (mm:ss)	Resistencia (mOhm)	Temperatura	N	Tiempo (mm:ss)	Resistencia (mOhm)	Temperatura
1	01:50	1.926	61.36	21	03:30	1.916	59.82
2	01:55	1.925	61.21	22	03:35	1.916	59.74
3	02:00	1.925	61.14	23	03:40	1.914	59.57
4	02:05	1.924	61.04	24	03:45	1.914	59.54
5	02:10	1.923	60.94	25	03:50	1.914	59.48
6	02:15	1.923	60.88	26	03:55	1.914	59.44
7	02:20	1.922	60.79	27	04:00	1.914	59.43
8	02:25	1.922	60.68	28	04:05	1.913	59.4
9	02:30	1.921	60.58	29	04:10	1.912	59.26
10	02:35	1.920	60.49	30	04:15	1.912	59.13
11	02:40	1.920	60.47	31	04:20	1.912	59.12
12	02:45	1.920	60.36	32	04:25	1.911	59.07
13	02:50	1.920	60.35	33	04:30	1.910	58.93
14	02:55	1.919	60.27	34	04:35	1.910	58.88
15	03:00	1.919	60.22	35	04:40	1.910	58.84
16	03:05	1.918	60.16	36	04:45	1.909	58.73
17	03:10	1.917	59.94	37	04:50	1.909	58.73
18	03:15	1.917	59.94	38	04:55	1.909	58.71
19	03:20	1.917	59.94	39	05:00	1.909	58.70
20	03:25	1.917	59.90	40	05:05	1.909	58.68

Figura 7

Curva de temperatura del arrollamiento en 480 V



Mientras que los resultados de la prueba de calentamiento en la resistencia en el devanado de 480 V del transformador de distribución se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Resistencia del devanado de 480 V

Resistencia del devanado de 480 V			
Temperatura ambiente inicial	30.0 °C	Resistencia inicial	1.722 Ω
Temperatura ambiente final	23.0 °C	Resistencia final	1.678 Ω
Cálculo del calentamiento			
	Prueba	Nominal	
Corriente en bobinado	30.2 A	30.3 A	
Temperatura arrollamiento	65.0 °C	-	
Temperatura aceite medio	46.8 °C	-	
Calentamiento cobre aceite medio	18.3 °C	18.3 °C	
Calentamiento aceite medio – aire	-	23.5 °C	
Calentamiento del cobre - aire	-	41.7 °C	
Nota. Incluye la caída térmica	-	0.0 °C	
Calentamiento Cu – aceite medio corregido		18.3 °C	

3.6.6. Registro de configuración de accesorios

Los accesorios que conforman el sistema del transformador de distribución en aceite de 1200 KVA analizado se enlista en la Tabla 27, y el protocolo de accesorios se adjunta en el Anexo H.

Tabla 27

Accesorios del transformador de distribución en aceite

Check list de accesorios		
N	Accesorio	Tipo / modelo
1	Termómetro de aceite	OTI – 347 – 00028247/QUALITROL AKM
2	Relé de imagen térmica	WTI – 345 – 00028246/QUALITROL AKM
3	Nivel de aceite	KYS C – B2/ELMEK ABB
4	Válvula de seguridad tipo	VP50/CEDASPE
5	Switch presión y vacío	148 – 0007 – 01/QUALITROL
6	Tarjeta relé de presión súbita	900-300-001
	Relé de presión súbita	910-006-03/QUALITROL
7	Transformador de corriente TC	
8	Unidad de compensación térmica	WTI 35 QUALITROL AKM
9	Hidrotermostato	ALFA/ELECTRIC

3.6.6.1. Pruebas de operación y cableado de accesorios

Se realiza pruebas en los accesorios identificados anteriormente con la finalidad de conocer si se encuentran conformes a las exigencias de operatividad funcional, los resultados de las pruebas se muestran en la Tabla 28, donde el termómetro de aceite en las condiciones de libre (90 °C), alarma (70 °C) y disparo (80 °C) presentaron resultados conformes. El relé de imagen térmica a condiciones de libre (90 °C), alarma (70 °C) y disparo (80 °C) también obtuvieron resultados conformes. Los resultados de los niveles de aceite a temperaturas mínimas y máximas también fueron aceptables. El transformador de corriente 1700/5 A de 15 VA también se encuentra conforme según norma 340.21.

Tabla 28

Pruebas de operación y cableado de los accesorios

Pruebas de operación y cableado de los dispositivos							
Descripción del accesorio	Condición			Borneras tablero	Resultado		
Termómetro de aceite OTI – 347 – 00028247 /QUALITROL AKM	Switch N°1	Libre	90 °C	(NC)	01-02	Conforme	
				(NO)	01-03	Conforme	
	Switch N°2	Alarma	70 °C	(NC)	04-05	Conforme	
				(NO)	04-06	Conforme	
	Switch N°3	Disparo	80 °C	(NC)	07-08	Conforme	
				(NO)	07-09	Conforme	
Relé de imagen térmica WTI – 345 – 00028246 /QUALITROL AKM	Viene de borneras 53-55			(NC)	10-11	Conforme	
	Switch N°1	Libre	95 °C	(NC)	12-13	Conforme	
				(NO)	12-14	Conforme	
	Switch N°2	Alarma	75 °C	(NC)	15-16	Conforme	
				(NO)	15-17	Conforme	
	Switch N°3	Disparo	85 °C	(NC)	18-19	Conforme	
				(NO)	18-20	Conforme	
	Nivel de aceite KYS C – B2/ELMEK ABB	Disparo nivel de aceite mínimo –20°C			(NO)	21-22	Conforme
Disparo nivel de aceite mínimo –20°C			(NO)	23-24	Conforme		
Disparo nivel de aceite mínimo –85°C			(NO)	25-26	Conforme		
Disparo nivel de aceite mínimo –85°C			(NO)	27-28	Conforme		
Válvula de seguridad VP50/CEDASPE	Disparo sobre presión 70 KPA			(NO)	29-30	Conforme	
				(NC)	30-31	Conforme	
	Disparo sobre presión 70 KPA			(NO)	32-33	Conforme	
				(NC)	33-34	Conforme	
Switch presión y vacío 148 – 0007 - 01/QUALITROL	Disparo				(NC)	35-37	Conforme
					(NO)	36-37	Conforme
	Disparo				(NO)	38-40	Conforme
					(NC)	39-40	Conforme
Tarjeta relé de presión súbita 900-300-001 y relé de presión súbita 910-006-03 / QUALITROL	Alimentación 120 VCA			Q2	Conforme		
	Switch N°2		Disparo	(NO)	43-44	Conforme	
	Switch N°3	Alarma	(NC)	45-46	Conforme		
			(NO)	46-47	Conforme		
	Relé de presión súbita	A = negro B = blanco C = verde	(NC)	49-50	Conforme		
			(NO)	48-50	Conforme		

Transformador de corriente TC	1700/5 ^a 15VACL1 Medida	340.21	(NC)	46-47	Conforme
Unidad de compensación térmica WTI 35 QUALITROL AKM	Va a borneras R..I.T. 10-11		(NC)	53-54-55	Conforme
Hidrotermostato ALFA/ELECTRIC	Alimentación caja de neutro 120 VCA		Q1		Conforme
	Configuración de fabrica				
	50% R.H.	30°C			Conforme

3.6.6.2. Calibración del relé de imagen térmica

Los resultados de la calibración del relé de imagen térmica se desarrollan mediante los siguientes criterios: datos de calibración, diferencia de temperatura cobre-aceite medio, temperatura ambiente, cálculos y determinación, y la medición (Tabla 29), los instrumentos utilizados fueron un multímetro digital Fluke 87V serie 95621482, y un ratiómetro monofásico AECMC Model 8500 serie 227328HADV. Los datos de calibración del relé fueron: un transformador de corriente (TC) 1700/5 amperios, con una corriente AT de 1443.38 amperios. La diferencia entre la temperatura media del cobre y aceite fue de 18 °C, mientras que la temperatura ambiente de 20 °C. Por tanto, la primera corriente (I1) se obtiene al dividir la corriente AT entre el valor constante del relé, dando una corriente de 4.245 A; mientras que la segunda corriente del relé termino obtenido de la misma forma dio una corriente de 0.98 A.

Tabla 29

Calibración del relé de imagen térmica

Calibración del relé de imagen térmica		
A. Datos de calibración	D. Cálculos y determinación	E. Medición
IN AT = 1443.38 A TC = 1700 / 5 A Rel. = 340	I1 = IN AT / Rel. I1 = 4.245 A	I1 = 4.25 A
B. ΔT Cobre-aceite medio 18 °C	I2 = gráfico del fabricante (manual TD34, pág. 10)	I2 = 1.00 A
C. Temperatura ambiente 20 °C	I2 = 0.98 A	I3 = 38.000

3.6.7. Análisis de aceite

3.6.7.1. Análisis del fluido aislante

La prueba de análisis físico químico del fluido aislante del transformador de distribución en aceite (Anexo I) brindó los resultados descritos en la Tabla 30, donde cada prueba cumple los respectivos parámetros límites de las normas técnicas.

Tabla 30

Análisis del fluido aislante

Análisis del fluido aislante				
Norma	Prueba	Unidades	Resultados	Límites
D1533	Contenido de agua	ppm	12	20 máx.
D1816	Rigidez dieléctrica	KV/2.0 mm	72	45 mín.
D974	Índice neutralización	mg KOH/g aceite	0.01	0.015 máx.
D971	Tensión interfacial	mN/m	43	38 mín.
D1500	Color	Nº ASTM	< 0.5	1.0 máx.
D1524	Apariencia	-	B y C	B y C
Dónde: B y C: Brillante y Claro, carente de materia y sedimentos				

Los resultados obtenidos después de las pruebas efectuadas brindan un valor de agua en el aceite de 12 ppm, que se encuentra por debajo de un límite máximo de 20 ppm; la cantidad de rigidez eléctrica del aceite fue de 72 KV/2.0mm estando por encima de un mínimo de 45 72 KV/2.0mm; además el aceite presentaba un color menor de 0.5 Nº ASTM siendo menor a un máximo de 1 Nº ASTM. La tensión interfacial del aceite analizado fue 43 mN/m, siendo este dato más a un mínimo de 38 mN/m. Por tanto, con dichos resultados se confirma que el aceite se encuentra dentro de los límites dados por las normas técnicas, entonces el aceite se encuentra en buenas condiciones para el trabajo del transformador.

3.6.7.2. Análisis de gases disueltos en aceite aislante

La norma de prueba ASTM D3612 establece los niveles de los gases disueltos en aceite del transformador de distribución, en unidades de concentración por unidad de

volumen (ppmv), esto se observa en la Tabla 31, mientras que la prueba Cromatográfico se adjunta en el Anexo J.

Tabla 31

Norma de prueba: ASTM D3612

Norma de prueba: ASTM D3612			
Gases detectados	Unidades	Resultados	IEC 60599 Concentraciones típicas
Dióxido de carbono	ppmv	813	14000
Etileno	ppmv	No detectado	280
Acetileno	ppmv	No detectado	20
Etano	ppmv	No detectado	90
Metano	ppmv	No detectado	130
Monóxido de carbono	ppmv	No detectado	600
Hidrogeno	ppmv	No detectado	150
Oxígeno	ppmv	84226	-
Nitrógeno	ppmv	196004	-
Total gases combustibles			0
Total de gases			281043
% Gases combustibles			0%
(*) LT: Ligeras trazas (< 1 ppmv); ND: No detectado			

Los resultados de análisis de gases disueltos en el aceite del transformador de distribución demostraron la cantidad de dióxido de carbono fue 813 ppmv, mientras que los resultados para los gases identificados como etileno, acetileno, etano, metano, monóxido de carbono, hidrogeno fueron nulos, estando todos los mencionados más el dióxido de carbono por debajo de lo establecido por la norma IEC 60599. Por otro lado, la cantidad de oxígeno en el aceite (84226 ppmv) y nitrógeno (196004 ppmv) no tiene una norma de máximo o mínimo que cumplir.

Asimismo, las ratios obtenidas en las pruebas de análisis de aceite del transformador de distribución de esta investigación según IEC 60599 (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**) , fueron nulos, es decir no se detectó presencia de gases combustibles, de la misma manera los ratios obtenidos del análisis de aceite del transformador de distribución de esta investigación según Rogers demostraron que no se detectaron gases combustibles (Tabla 33), los mismos resultados se obtuvo al

analizar los gases combustibles mediante el triángulo de Duval. Estas tres pruebas se muestran en el Anexo K, y se resumen en la Tabla 34.

Tabla 32

Ratios según IEC 60599

Ratios según IEC 60599			
C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6	CO_2 / CO
0.00	0.00	0.00	-

Tabla 33

Ratios según Rogers

Ratios según Rogers		
C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_4/C_2H_6
0.00	0.00	0.00

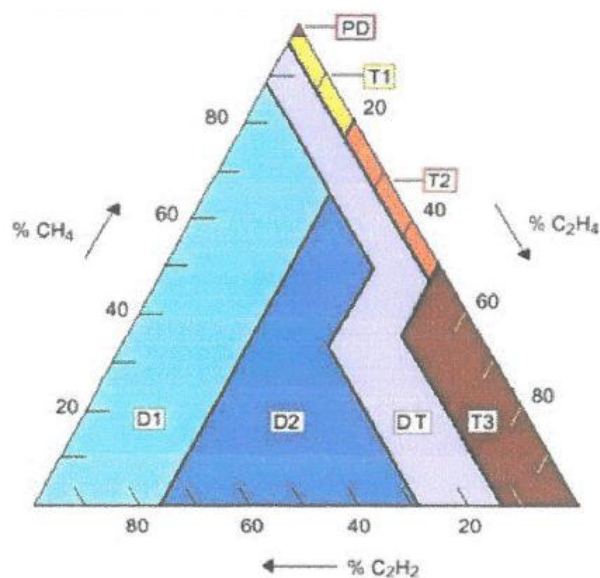
Tabla 34

Ratios según triángulo de Duval

Ratios según triángulo de Duval		
CH_4	C_2H_4	C_2H_2
0.00	0.00	0.00

Figura 8

Triángulo de Duval



Los resultados obtenidos por el análisis de aceite están dentro de los valores esperados., entonces se tomó estos resultados como punto de partida para la evaluación del trabajo del transformador.

En Anexo L se adjunta la carta de no presencia de Bifenilos Policlorados (PCB) en el aceite dieléctrico NYNAS del transformador de distribución de 1200 KVA, dicha prueba fue efectuada bajo las normas ASTM D4059. Los resultados se resumen en la Tabla 35, donde los resultados muestran que se encuentra dentro de lo permitido.

Tabla 35

Análisis de PCB en aceite de transformador de distribución

Análisis de PCB		
Análisis	Método	Resultado
Contenido de PCB	ASTM D 4059-00 (2010)	<1.0 ppm
Contenido de Aroclor 1242	ASTM D 4059-00 (2010)	<1.0 ppm
Contenido de Aroclor 1254	ASTM D 4059-00 (2010)	<1.0 ppm
Contenido de Aroclor 1260	ASTM D 4059-00 (2010)	<1.0 ppm

3.6.8. Registro de granallado y pintado

Los instrumentos utilizados para obtener los registros de granallado y pintado del transformador se enlistan en la Tabla 37 y Tabla 38, en el Anexo L se puede observar el registro de prueba completo.

Tabla 36

Instrumentos utilizados para registro de granallado y pintado

Instrumentos utilizados	
Instrumento	Marca
Medidor de espesor en película seca	Elcometer / Modelo 456/ Serie A456CFBSRC11206
Termómetro infrarrojo	Fluke / Modelo 62 MAX / Serie 23491824
Reloj comparador (Rugosímetro analógico)	Fluke / Modelo 7326STX1 / Serie RMB957
Psicómetro de voleo	Bacharach / Modelo 116C / Serie RMB7326STX1
Probador de adherencia	Elcometer 107 / Modelo F1071322 / Serie 12869-5
Cinta de adherencia (ASTM D3359)	Elcometer
Cinta testigo (Press-O-Film)	Testex

La Tabla 37 muestra el registro de granallado del transformador de distribución en aceite de 1200 KVA para el montaje de un Truck Shop, en esta se observa que el resultado del grado de preparación y el perfil de anclaje (2.5 mils) del análisis del granallado fue conforme.

Tabla 37

Registro de granallado

Registro de granallado	
Preparación Superficial (Granallado)	
Grado de preparación:	SSPC / SP 5
Perfil de anclaje:	2.5 mils
Fecha: 15/04/2019	Resultado: Conforme

Así mismo, a continuación, la Tabla 38 muestra el registro del sistema de pintado del transformador de distribución en aceite de la primera capa de base, mientras, que la Tabla 39 muestra los resultados de la segunda capa de acabado, concluyendo en ambos con un resultado de conformidad.

Tabla 38

Registro de sistema de pintado – primera capa

Registro de sistema de pintado – primera capa							
Primera capa: Base Base Epoxico		Color: verde		Espesor de película seca: 5.49			
Condiciones ambientales:							
T. Superficial	T. Ambiente	HR %	Punto de rocío	Resultado	Fecha	Hora	
22 °C	25 °C	70 %	19 °C	Conforme	15/04/2019	9:10	
Mediciones de espesores de película seca:							
PIEZAS:	SPOT1	SPOT2	SPOT3	SPOT4	SPOT5	SPOT6	PROMEDIO
Tapa	5.5	5.7	5.8	5.3	5.7	5.6	5.60
Cuba / Caja met.	5.2	5.3	5.3	5.2	5.6	5.4	5.33
Aletas / Radiador	5.5	5.5	5.8	5.3	5.5	5.6	5.53
Tanque expansor	-	-	-	-	-	-	-
Cajuelas	5.1	5.5	5.7	5.4	5.8	5.5	5.50

Tabla 39

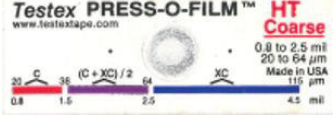
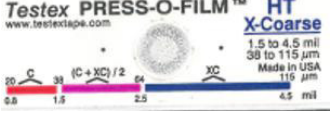
Registro de sistema de pintado – segunda capa

Registro de sistema de pintado – segunda capa							
Segunda capa: Acabado Poliuretano		Color: Ral - 7035		Espesor de película seca: 10.89			
Condiciones ambientales:							
T. Superficial	T. Ambiente	HR %	Punto de rocío	Resultado	Fecha	Hora	
19 °C	22 °C	71 %	20 °C	Conforme	7/05/2019	10:10	
Mediciones de espesores de película seca:							
PIEZAS:	SPOT1	SPOT2	SPOT3	SPOT4	SPOT5	SPOT6	PROMEDIO
Tapa	11.3	11.3	11.5	11.4	11.3	11.5	11.38
Cuba / Caja met.	10.4	10.5	10.6	10.5	10.6	10.7	10.55
Aletas / Radiador	11.4	11.3	11.3	10.9	11.3	11.2	11.23
Tanque expansor	-	-	-	-	-	-	-
Cajuelas	10.4	10.3	10.5	10.2	10.4	10.5	10.38

Durante el análisis de granallado y pintado también se obtuvo resultados de los ensayos de adherencia y ensayos de perfil de anclaje. (Ver Tabla 40)

Tabla 40

Ensayo de adherencia y ensayo perfil de anclaje

Ensayo de adherencia	
ASTM D3359 Tapa: 4B	ASTM D3359 Cuba: 4B
Ensayo perfil de anclaje	
2.5 mils	2.5 mils
	

3.6.9. Registro de prueba de estanquidad en frío

Los resultados de la prueba de estanquidad en frío con nitrógeno del transformador de distribución en aceite obtuvo el resultado de conforme (Tabla 41; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En el Anexo M se muestra el registro de control completo.

Los resultados demuestran que la prueba inició con una presión de nitrógeno de 5 psi a una temperatura fría de 2.3 °C, y posterior a la prueba de estanquidad se demostró que la presión se mantuvo en 5 psi a pesar de que la temperatura subió a 23 °C, concluyendo en un resultado de conformidad.

Tabla 41**Prueba de estanquidad en frío**

Control de calidad										
Registro de prueba de estanquidad en frío										
Código SGE-F-CC-066					Versión: 006					
Cliente: DIMATIC S.A.C.				Serie: TR2019-02046				O/P: 16879		
Potencia: 1.2 MVA				V1: 22.9 kV				V2: 0.48kV		
Medio de prueba: Nitrógeno										
Aplicado a: Transformador terminado										
Instructivo: SGE-P-CC-003 Prueba de estanquidad en frío										
Resultados de prueba de estanquidad en frío										
Últimos 2 dígitos de la Serie	Inicio				Final				Resultado	Observación
	Presión (psi)	Temperatura (°C)	Fecha	Hora	Presión (psi)	Temperatura (°C)	Fecha	Hora		
01	5	2.3	16-05-2019	9:00 a.m.	5	23	16-05-19	2:00 p.m.	Conforme	MVC-006

Con esta prueba de estanquidad en frío, se verifica que el transformador de medida no presenta ningún tipo de filtración de aceite en el estanque, además de no encontrarse deformaciones permanentes.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Descripción de la implementación

Los resultados de la implementación de las pruebas en el transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero para cumplir el primer objetivo de esta investigación, demostraron que el transformador se encuentra óptimo y aceptable para ser puesto en marcha para el montaje de un Truck Shop. Las pruebas que brindaron una respuesta aceptable fueron pruebas de rutina, pruebas de tangente delta, prueba de impulso, prueba de nivel de ruido, prueba de calentamiento, análisis de aceite, prueba de estanquidad en frío, también fue aceptado mediante los registros de granallado pintado, así como también en los registros de configuración de accesorios.

Resultados parecidos fueron obtenidos por Sánchez (2018) quién realizó pruebas y ensayos eléctricos y dieléctricos a transformadores de 138 Kv para asegurar que se encuentre en óptimas condiciones para ponerlo en servicio, los resultados que obtuvo fueron también positivos en esta investigación, concluyendo que los datos obtenidos se encontraban dentro de los límites internacionales; entre las pruebas figuraban, análisis de aislamiento, pruebas de rutina, relación de transformación y factor de potencia. Estas pruebas en transformadores también fueron realizadas en el estudio de Cruz (2020), con la finalidad de establecer si el transformador se encontraba en condiciones óptimas y aceptables para ponerlos en marcha.

En relación al segundo objetivo, el cual está relacionado a la comprobación de resultados de las pruebas en el transformador de distribución en aceite de 1200 kVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero, con las normas técnicas, la presente investigación obtuvo datos o resultados óptimos y aceptables por diversas normas internacionales. Los factores de potencia obtenidos en los diversos modos del

transformador de distribución en aceite de 1200 kVA en el bobinado de 22.9 kV tras la prueba de factor de potencia del bobinado corregido a 20° C fueron, 0.275 en el primer UST con prueba de 2 kV y 0.272 a 12 kV, mientras que en modo GST a 2 kV se obtuvo 0.26, y a 12 kV dio 0.263, situación parecida sucedió al realizar la prueba en el bobinado de 0.48 kV, los resultados de las pruebas se encuentran dentro de lo recomendado por la IEC 61869-5, quien establece que si son menores a 0.5% corregido a una temperatura de 20 °C, se concluye como un estado de aislamiento de bobinados óptimo. También los resultados de la prueba de aislamiento fueron mayores a 5000 Megaohmios que establece la ANSI/NETA-ATS, donde la resistencia de aislamiento en alta tensión-masa, baja tensión-masa, y alta tensión-baja tensión fueron 19500, 15000 y 95000 respectivamente. Para mencionar otro resultado se tiene a los obtenidos por la prueba de relación de transformación donde en 5 posiciones se identificó que los porcentajes fueron menores al 0.5% cumpliendo lo establecido y recomendado por IEC 61869 – 5.

Los resultados de las pruebas en relación a las normas técnicas también concuerdan con el estudio de Sánchez (2018) donde interpretó que los resultados de la prueba de factor de potencia en un transformador eran óptimos y aceptables, ya que el factor de potencia corregido a 20 °C que obtuvo fueron menor al 0.5% recomendado por la IEC 61869-5. También la prueba relación de transformación de su transformador estudiado fueron menores al 0.5% que es lo establecido por IEC 61869 – 5, donde los valores de sus errores varían entre -0.12% a 0.00%. Finalmente, en esta investigación también se identificó que las resistencias de aislamiento del transformador fueron, alta tensión-masa 600 Gigaohmnios, baja tensión-masa 60 Gigaohmnios, y alta tensión-baja tensión 131 Gigaohmnios, dando como conclusión que son aceptables y óptimas según lo establecido por ANSI/NETA-ATS. También Cruz (2020) obtuvo resultados aceptables en la prueba de factor de potencia, ya que sus resultados fueron menor al 0.50.5% recomendado por la IEC 61869-5, estando sus datos obtenidos entre 0.3680% y 0.3772%; los resultados de la prueba de relación de transformación en sus transformado fueron aceptables, tomando como ejemplo un transformador los resultados en sus fases, R (-0.33%, -0.10%, -0.06%, -0.06%), S (-0.25%, -0.14%, -0.08%, -0.04%), y T (-0.25%, -0.14%, -0.06%, -0.04%) se encuentran por debajo del 0.5% que es lo establecido por IEC 61869 – 5.

El último objetivo fue establecer una propuesta de solución contra posibles averías que podrían ocurrir en el transformador de distribución en aceite de 1200 kVA destinado al montaje de un Truck Shop en un proyecto minero. Posterior a establecer que el transformador se encuentra en estado óptimo y aceptado por normas técnicas, se vio necesario brindar una propuesta la cual consiste en inspecciones internas para corroborar los valores obtenidos, también se da la sugerencia de verificar los resultados con las pruebas de aceptación de fábrica con el objetivo de asegurar que el proveedor mande el mismo transformador que se adquirió, y como último punto se sugiere verificar de manera continua el estado de los accesorios como las uniones, pernos y las empaquetaduras, y así evitar vibraciones o derrames de aceite que conlleve a cambiar o sacar de servicio al transformador, así mismo, realizar inspecciones de fugas de aceite.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Tras realizar una serie de pruebas eléctricas en el transformador de distribución en aceite con el fin de conseguir una información segura del estado de su funcionamiento y así poder ampliar su vida útil, entre dichas pruebas figuran: pruebas de rutina, de tangente delta, de impulso, de nivel de ruido, de calentamiento, de configuración de accesorios, análisis de aceite, registro de granallado y pintado y de prueba de estanquidad, cada una con el propósito de garantizar la continuidad del montaje de un Truck Shop para el proyecto minero y adelantarnos ante cualquier falla o colapso del transformador, se logró concluir que:

- Para la prueba de rutina, los valores obtenidos son favorables y se encuentran dentro de los límites de las normas técnicas, tal es caso de la prueba de tensión aplicada y de tensión inducida, como ejemplos.
- Para la prueba de tangente delta, el transformador según el factor de potencia del bobinado de 22.9KV y 0.48KV se encontró una condición aceptable, esto se debe a que se ubican dentro del rango sugerido por la IEEE, menores al 0.5% corregido a temperatura de 20°C, indicando el buen estado del aislamiento de los bobinados. Asimismo, los valores de capacitancia obtenidos son referenciales para ejecutar comparaciones con pruebas futuras.
- De acuerdo a las pruebas de impulso (fase U, W y V), se pudo caracterizar el aislamiento del transformador ante sobretensiones tipo impulso, donde no se identificó ningún problema durante la aplicación de impulsos de tensión de manera normalizada.
- Para la prueba de nivel de ruido, se alcanzó que el nivel ruido de fondo ponderado A fue 51.19 dB y el nivel promedio no corregido de presión acústica ponderado A fue 48.53 dB a 0.3 m del contorno de la cuba del transformador de medida, dando como resultado que el ensayo sea aceptado, convirtiéndolo en un equipo más práctico y seguro.

- Con la prueba de calentamiento, se obtuvo los parámetros térmicos, y las temperaturas de los devanados y aceite del transformador de medida en base a la norma IEC – 60076, donde para el caso del calentamiento del aceite se calculó un valor de 30.4°C y la temperatura tolerancia a 1000 m.s.n.m. fue 60.0°C. Por otro lado, para el calentamiento del devanado de 22900V y 480V se calcularon un valor de 30.4°C y 41.7°C respectivamente y la temperatura tolerancia a 1000 m.s.n.m. fue de 65°C y 65°C correspondientemente.
- Para la prueba de configuración de accesorios, se dividió según los dispositivos al equipo, los cuales fueron los siguientes:
 - ✓ Termómetro de aceite tipo: OTI – 347 – 00028247/QUALITROL AKM
 - ✓ Relé de imagen térmica tipo: WTI – 345 – 00028246/QUALITROL AKM
 - ✓ Nivel de aceite: KYS C – B2/ELMEK ABB
 - ✓ Válvula de seguridad tipo: VP50/ABB
 - ✓ Switch presión y vacío 148 – 0007 – 01/QUALITROL
 - ✓ Tarjeta relé de presión súbita tipo: 909 – 300 – 01 y relé de presión súbita tipo: 910 – 006 – 03/QUALITROL
 - ✓ Transformador de corriente TC
 - ✓ Unidad de compensación térmica WTI 35 QUALITROL AKM
 - ✓ Hidrotermostato alfa/ELECTRIC

De todo de ello, se obtuvieron valores dentro de los límites permisibles definidos por las normas técnicas.

- Para el análisis de aceite, se dividieron en diversos estudios entre ellos tenemos:
 - ✓ Análisis del fluido aislante, se pudo inferir que el fluido se encuentra dentro de los límites dados por las normas técnicas, indicando con ello, que el aceite está en buenas condiciones para el trabajo del transformador.
 - ✓ Análisis cromatográfico, se determinó que los gases generados (CO₂, C₂H₄, C₂H₂, C₂H₆, CH₄, CO, H₂, O₂, N₂) en el aceite se encuentra entre los límites permisibles dado por normas técnicas.

- ✓ Con los Ratios según IEC 60599, no se detectaron presencia alguna de gases combustibles.
- ✓ Con el Triángulo de Duval, no se identificaron presencia alguna de gases combustibles.
- ✓ Con los Ratios de Rogers, no se identificaron presencia alguna de gases combustibles.
- Con el proceso de granallado, se logró dar un tratamiento superficial por impacto, obteniendo un extraordinario nivel de limpieza y, a la vez una correcta terminación superficial de distintas piezas metálicas y no metálicas del transformador de distribución previo al pintado.
- Finalmente, con la prueba de estanquidad en frío, se verificó probables filtraciones de aceite en el estanque, así como posibles deformaciones permanentes, sin embargo, una vez finalizado esta prueba se determinó que el transformador de medida no presento ningún tipo de filtración.

Como propuesta contra las averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 KVA, se establece lo siguiente:

- Como los resultados de las pruebas ejecutadas al transformador fueron favorables y funciona según con las especificaciones y requerimientos internacionales, se sugirió llevar a cabo una inspección interna para poder corroborar los valores conseguidos.
- Se sugiere verificar los resultados obtenidos con las pruebas de aceptación de fábrica (FAT), para garantizar que el proveedor este enviando el mismo equipo que la empresa minera ha adquirido y verificar que el transformador trabaje adecuadamente, cumpliendo con todas las especificaciones determinadas por la empresa minera.
- Se sugiere verificar el estado óptimo de accesorios como pernos, uniones y empaquetaduras, para evitar vibraciones, derrames de aceite, lo cual generaría sacar de servicio al equipo. De igual modo, inspeccionar la ausencia de fugas de aceite, para la adecuada operación del equipo.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Se recomienda que la empresa minera, después de saber los resultados del presente trabajo de investigación, debe realizar un plan de mantenimiento preventivo (PMP) para el transformador de distribución en aceite, con el fin de aumentar la confianza y continuidad del servicio eléctrico al montaje del Truck Shop, ya que de lo contrario habrá la posibilidad que los agentes externos perjudiquen la correcta operación del transformador de medida.

Se sugiere efectuar la inspección de limpieza para una correcta realización de nuevas pruebas eléctricas y dieléctricas al transformador distribución según el PMP, para evaluar las condiciones en las que se encuentran y poder tener un historial de pruebas. De igual forma, realizar una verificación del montaje electromecánico para demostrar si el equipo se encuentra en óptimas condiciones.

Se recomienda a la empresa minera poner en acción las soluciones y propuestas elaboradas en este trabajo para evitar la presencia de averías en el transformador de medida. Además, realizar una inspección visual a sus componentes para descartar daños físicos.

CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. (S. edición, Ed.) Caracas: Episteme.
https://www.researchgate.net/publication/27298565_El_Proyecto_de_la_Investigacion_Introduccion_a_la_Metodologia_Cientifica
- Avelino, P. (2020). *Transformadores de distribución. Teoría, cálculo, construcción y pruebas*. Editorial Reverté.
<https://es.scribd.com/document/533477118/Transformadores-de-Distribucion>
- Avendaño, C. (2020). *Diseño e implementación del módulo de mando, control y medida de un banco de prácticas y pruebas eléctricas para transformadores monofásicos y trifásicos*. Universidad Antonio Nariño.
<http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/3087>
- Cabezas, E., Naranjo, D., y Torres, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí.
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15424/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CDA Ingenieros. (5 de septiembre de 2022). *Análisis de aceite de transformadores*. Obtenido de Análisis Fisicoquímico Dieléctrico En El Aceite Del Transformador: <https://cda-ingenieros.com/analisis-de-aceite-de-transformadores/>
- Cevallos, J. (2010). *Diseño de un laboratorio de pruebas para transformadores de distribución para la empresa Electrica Regional del Sur S.A. - Loja*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/979/17/UPS-CT001653.pdf>

- Corrales, R. (2017). *Aplicación de la prueba de descargas parciales al Generador Hidráulico de 85 MW de la Central Hidroeléctrica Urrá I*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2689/1/TGT_1308.pdf
- Cruz, R. (2020). *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*. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica del Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3507>
- EPLI S.A.C. (2023). *Transformadores de Distribución y Potencia en Aceite*. <https://www.epli.com.pe/userfiles/files/CATALOGO%20DE%20TRANSFORMADORES%20DE%20DISTRIBUCION%20Y%20POTENCIA%20EN%20ACEITE.pdf>
- EPM. (Agosto de 2019). *Guía metodológica cálculo de pérdidas de energía*. https://www.essa.com.co/site/Portals/clientes/Norma_Tecnica_Vigente/Normas_Complementarias_Diseño/GM-02%20GUIA%20METODOLOGICA%20CALCULO%20DE%20PERDIDAS%20DE%20ENERGIA.pdf
- Galvez, J. (2022). *Evaluación de transformadores de potencia basado en pruebas eléctricas, pruebas fisicoquímicas y análisis de gases disueltos; basado en los transformadores del Sistema Central de la empresa de transporte y control de energía eléctrica del Instituto Nación*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/16578/>
- Hernández, A., Ledesma, R., y Perera, E. (2007). *Manual de pruebas a Transformadores de Distribución*. México: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10577/77.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición ed.). Mc Graw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Huancollo, B. (2018). *Análisis y alternativas de solución para evitar averías en transformadores de distribución de 5 kVA a causa de descargas atmosféricas en el distrito de Desaguadero*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9118>
- IMSE. (16 de junio de 2016). *Ensayos de calentamiento en transformadores*. Obtenido de Ingeniería de Máquinas y Sistemas Eléctricos: <https://imseingenieria.blogspot.com/2016/06/ensayos-de-calentamiento-en.html>
- Ingeniería Eléctrica. (9 de diciembre de 2014). *Ensayos del Transformador*. <https://ingenieriaelectricafravedsa.blogspot.com/2014/12/ensayos-transformador.html>
- Kraljevich, F. (noviembre de 2023). *Truck Shop*. https://issuu.com/ich_mkt/docs/had_82
- LAYBOX S.L.U. (2019). *Transformadores de distribución*. <http://laybox.com/wp-content/uploads/2020/01/laybox2019.pdf>
- Martínez, E. (2018). *Diagnóstico de transformadores de corriente y de potencial a partir de la evaluación y análisis de resultados de pruebas*. Informe de Pasantía. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13854>
- Martínez, J., Gómez, J., Matínez, D., y Vargas, C. (2017). Análisis de factor de potencia en variadores de velocidad conectados a un sistema eléctrico. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 1(1), 1-7. https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num1/ECORFAN_Revista_de_Ingenieria_Electrica_VI_NI_1.pdf
- Melo, L. (noviembre de 2016). *Medición de ruido en transformadores de Potencia*. Obtenido de Ingeniería Eléctrica: https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie315_melo_medicion_ruido.pdf
- Norma 60076-10. (2017). *Transformadore de potencia. Parte 10: Determinación de los niveles de ruido*. Norma Española.

- Ñaupas, H., Valdivia , M., Palacios, J., y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación. Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá: Ediciones de la U. <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>
- Ras, E. (1994). *Transformadores de potencia de medida y protección*. Barcelona: MARCOMBO, S.A. <https://dotorresg.files.wordpress.com/2011/12/transformadores-de-potencia-de-medida-y-de-proteccion.pdf>
- Sánchez, Y. (2018). *Análisis de ensayos a transformadores de medida para puesta en servicio de una Subestación Eléctrica de 138 kv perteneciente al Sistema Interconectado Nacional Zona Sur*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8850>
- SCOTECH. (20 de mayo de 2024). *¿Cómo realizar pruebas de estanqueidad en transformadores?* <http://es.scotech-electrical.com/info/how-to-conduct-sealing-tests-on-transformers-98959346.html>
- Tolosa, F. (2020). *Instructivo de procedimiento para la realización de pruebas a equipos de subestaciones eléctricas transformadores de corriente soportado en plataforma virtual*. Tesis de Licenciatura. Universidad Antonio Nariño. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2423>
- Wiljanden, T. (14 de marzo de 2023). *La importancia del ensayo de tangente delta en transformadores a 1 Hz*. <https://testing.com.sv/la-importancia-del-ensayo-de-tangente-delta-en-transformadores-a-1-hz/>

CAPITULO VIII: ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	Enfoque: Cuantitativo.
¿Cómo se realizará el análisis de ensayos al transformador de medida para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019?	Analizar los ensayos al transformador de distribución en aceite para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019.	El análisis de ensayos permite la verificación de operatividad y el buen estado del transformador de medida para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019.	X = Análisis de ensayos X.1 = Pruebas de rutina - X.1.1. Medida de la relación de transformación - X.1.2. Prueba de vacío - X.1.3. Prueba de corto circuito TAP N° 3 - X.1.4. Prueba de aislamiento - X.1.5. Prueba de tensión aplicada - X.1.6. Cálculo de pérdidas en los devanados - X.1.7. Prueba de resistencia - X.1.8. Prueba de tensión inducida X.2 = Prueba de tangente delta - X.2.1. Factor de potencia del bobinado de 22.9 kV - X.2.2. Factor de potencia del bobinado de 0.48 kV X.3 = Prueba de impulso	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de investigación: Descriptiva - Explicativa Diseño: No experimental - Transversal Población: Está conformado por 1 transformador de distribución en aceite de 1.2 MVA empleado para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019. Muestra: Tiene el mismo tamaño de la población. Asimismo, la técnica de muestreo fue no probabilístico por conveniencia. Técnicas de recolección de datos:
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS			
¿Cómo se realizará el análisis de ensayos para la verificación de operatividad del transformador de distribución en aceite de 1200KVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019? ¿Cómo se verificarán los resultados del análisis de ensayos con las normas técnicas? ¿Cuáles son las propuestas de solución contra las averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 KVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019?	- Realizar el análisis de ensayos para la verificación de operatividad del transformador de distribución en aceite de 1200 KVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019. - Verificar los resultados del análisis de ensayos con las normas técnicas. - Establecer las propuestas de solución contra las averías en el transformador de distribución en aceite de 1200 KVA para el montaje de un Truck Shop en un proyecto minero - 2019.			

			• X.3.1. Fase U • X.3.2. Fase W • X.3.3. Fase V X.4. = Prueba de nivel de ruido • X.4.1. Nivel Ruido de Fondo ponderados A, a 0.3 m del contorno de la cuba • X.4.2. Nivel Ruido de Fondo ponderados A, a 0.3 m del contorno de la cuba X.5 = Prueba de calentamiento • X.5.1. Calentamiento del aceite • X.5.2. Calentamiento del cobre en: 480V • X.5.3. Calentamiento del cobre en: 22900V X.6 = Registro de configuración de accesorios • X.6.1. Check list de los accesorios • X.6.2. Pruebas de operación y cableado de los dispositivos • X.6.3. Calibración del relé de imagen térmica	Observación y análisis documental. Instrumentos de recolección de datos: Fichas de registros de datos y fichas bibliográficas. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información Para el procesamiento de datos se utilizará el software de Microsoft Excel; permitiendo la construcción de tablas y gráficos, facilitando la interpretación de los mismos.
--	--	--	--	--

			X.7 = Análisis del aceite • X.7.1. Análisis del fluido aislante • X.7.2. Norma de prueba: ASTM D3612 • X.7.3. Análisis de gases disueltos en el aceite aislante X.8 = Registro de granallado y pintado • X.8.1. Preparación superficial (Granallado) • X.8.2. Sistema de pintado • X.8.3. Instrumentos • X.8.4. Ensayo de adherencia • X.8.5. Ensayo perfil de anclaje X.9 = Registro de prueba de estanquidad en frío • X.9.1. Presión • X.9.2. Temperatura VARIABLE DEPENDIENTE	
--	--	--	---	--

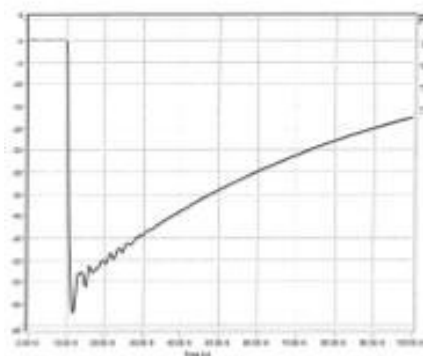
			Y = Transformadores de medida Y.1. Transformador de distribución en aceite • Y.1.1. Potencia • Y.1.2. Nivel de aislamiento • Y.1.3. Frecuencia • Y.1.4. Refrigeración • Y.1.5. Clase de aislamiento • Y.1.6. Aceite mineral dieléctrico	
--	--	--	--	--

Anexo B: Prueba de relación de transformación

EPLI S.A.C.		SALA DE PRUEBAS				CÓDIGO SDE-F-SP-001	
		PRUEBAS DE RUTINA ACEITE M.R.				VERSIÓN 003	
PROTOCOLO DE PRUEBAS:		CLIENTE:		DINAMIC S.A.C.			
TRANSFORMADOR TRIFÁSICO EN ACEITE		MARCA		EPLI S.A.C.			
N° SERIE		TR2019-02046-01		kVA		1200	
TIPO		TP30		V		22900	
FASE		3		A		480	
AÑO		2019		AISL. AT		24 / 50 / 125 kV	
NORMA		IEC - 60076		AISL. BT		1.9 / 3 / 20 kV	
ALTITUD		1000 m.s.n.m.				TAG	
						1035-AFU-0001	
1-MEDIDA DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN							
Pos	U1	U2	Valor Teórico		Cálculo de Pruebas		ERROR DE RELACIÓN %
			K=U1~(3)U2	U-V	V-W	W-U	
				u-o	v-o	w-o	Tolerancia ±0.5%
1	24046	480	95.765	86.77	86.77	86.78	0.01
2	23473	480	84.701	84.71	84.71	84.72	0.01
3	22900	480	82.035	82.60	82.65	82.68	0.06
4	22326	480	80.569	80.61	80.61	80.61	0.05
5	21755	480	78.552	78.54	78.53	78.54	0.04
2-PRUEBA DE VACÍO							
LECTURAS				LECTURA DE VATÍMETRO			PERDIDAS
Tensión (Volts)				W1			W2
Intensidad (Amp.)				WT			Resultado
Tensión (Volts)				W1			W2
Intensidad (Amp.)				WT			Resultado
3-PRUEBA DE CORTO CIRCUITO TAP N° 3							
Tensión		Intensidad		LECTURA DE VATÍMETRO		PERDIDA DE CORTO CIRCUITO	
R = 1.348		R = 1.348		R² = 1.818		Tensión de Corto Circuito	
Pos	Leat	Vol	Leat	Am	W1	W2	WT
1							
2							
3	1007.59	1357.83	22.44	30.25	7004.70	14577.03	5472.30
4							
5							
4-PRUEBA DE AISLAMIENTO							
Aplicación		Lectura (Mv/m)		VDC		RESULTADO	
AT - Masa		15000		10000		BEN	
BT - Masa		15000		1500		BEN	
AT - BT		95000		10000		BEN	
5-PRUEBA DE TENSION APLICADA							
Aplicación		Tensión de Prueba		RESULTADO			
AT - BT y Tierra		50 kV		BEN			
BT - AT y Tierra		3 kV		BEN			
TRANSF. PATRÓN PARA PRUEBA (RELACIÓN 0.95/280KV)							
CÁLCULO DE PERDIDAS EN LOS DEVANADOS TAP N° 3 (CONDICIÓN NOMINAL)							
RESISTENCIA	GRUPO	VALOR	R FASE	WATT	WATT 75°C	6-PRUEBA DE RESISTENCIA	
AT	D	3.73533	5.60000	17.47	5125.76	8113.38	A.T(2)
BT	y	0.00172	0.05000	1443.36	5366.44	8402.82	B.T(2)
PERD. EN RESISTENCIA DEVANADOS (T.AMB.) Y (T. 75 °C)				10494.20		12516.20	R. V-W 3.71
DIFERENCIA DE PERDIDAS (T.AMBIENTE) Y (T. 75 °C)				1209.38		1564.31	R. V-W 3.71
PERDIDA TOTAL CALCULADA PARA TEMPERAT. 75 °C				13603.58		1564.31	R. W-U 3.739
7-PRUEBA DE TENSION INDUCIDA							
TENSION DE PRUEBA	PERCENTAJE	TENSION APLICADO	FRECUENCIA	TIEMPO	INTENSIDAD(A)		RESULTADO
980 V	100%	980 V	120	60	5.489	5.019	5.022
8-PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA							
Perd. Fc		Perd. en el Cl.	Perdidas totales	TCC	NORMA	N° PRUEBAS	ROD. DIELEC. FROM
OBTENIDAS	1511.80	13690.51	15192.31	5.98	ASTM-D1818	5	55 kV/2mm
GARANTIZADAS		NO TIENE	NO TIENE	NO TIENE	TIPO DE ACEITE: NYNAS		
OBSERVACIONES				INSTRUMENTOS DE LABORATORIO			
				1- RATIOMETRO MONOFASICO AECME MODEL 9008 Serie: 22738NAD5			
				2- Megohmetro Digital Monophasico MEGABRAS MB500x MG-1000x MR 9134 B			
				3- MEDIDOR DE RESISTENCIA RESISTOMAT BURSTER 2304-0025 Serie: 370574			
				4- WATT CHANNEL POWER METER ZCS ZEMEX-UN250 Serie: 21880755			
INSPECCION	Tec. Denis Rivera G.	APROBADO	Eugenio Pazos Salazar		CLIENTE	Dinamico S.A.C.	
EMPRESA	EPLI S.A.C.	FIRMA	Eugenio Pazos Salazar		EMPRESA	Dinamico S.A.C.	
FECHA	13/05/2019	FIRMA	Eugenio Pazos Salazar		FIRMA	Dinamico S.A.C.	
CLIENTE		CLIENTE	Eugenio Pazos Salazar		CLIENTE	Dinamico S.A.C.	
EMPRESA		EMPRESA	EPLI S.A.C.		EMPRESA	Dinamico S.A.C.	
FIRMA		FIRMA	EPLI S.A.C.		FIRMA	Dinamico S.A.C.	

Anexo C: Prueba de impulso – Fase U

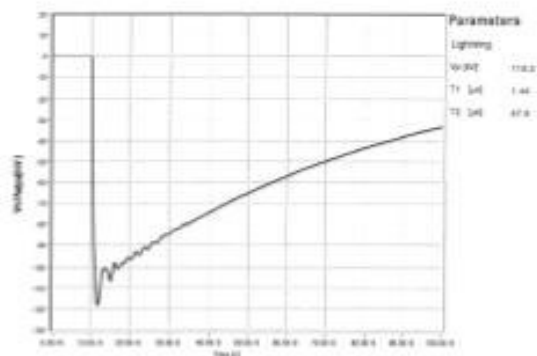
TEST REPORT		Passoni&Villa Experts in High Voltage	
Impulse Voltage Test Oscillograms		Testing Department: EPLI S.A.C.	Printed: 3 Jun 2019 12:01
Data Object: 1250KVA 22.9kV 40KV Dyn11 60Hz 1000 m.s.s.m.		Commission: Tec Davis Rivera	
Type: TP30	Serial Number: TR2019-02045-01		BL: 125 [kV]
CLIENTE: DIMATIC S.A.C. TAG:1536-XFU-0001		FASE U	



9 May 2019 12:12

DIMATIC SAC/FASE U 50%FASE U 50%-ch1_V-n

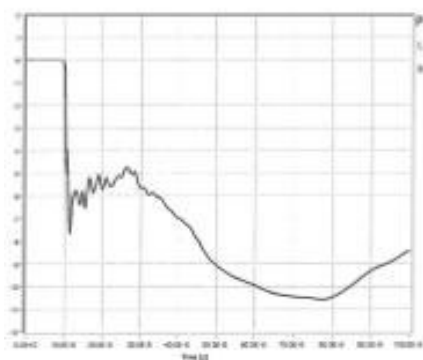
W.D: Ph: T.C.Poz



9 May 2019 12:36

DIMATIC SAC/FASE U 100%FASE U 100%-ch1_V-n

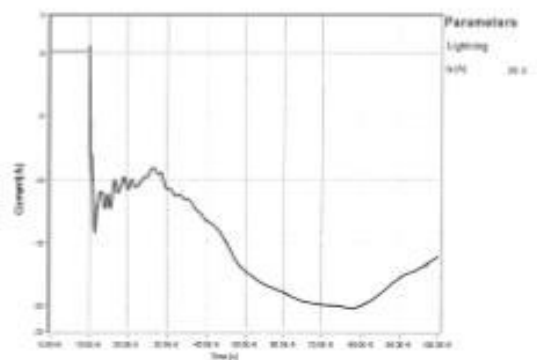
W.D: Ph: T.C.Poz



9 May 2019 12:12

DIMATIC SAC/FASE U 50%FASE U 50%-ch2_C-n

W.D: Ph: T.C.Poz



9 May 2019 12:36

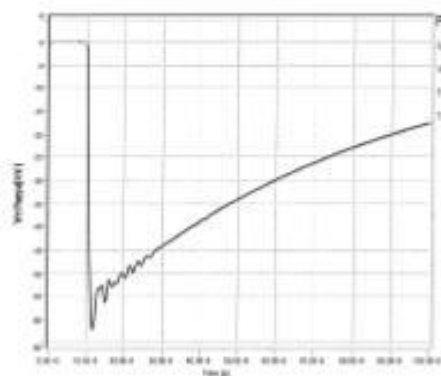
DIMATIC SAC/FASE U 100%FASE U 100%-ch2_C-n

W.D: Ph: T.C.Poz

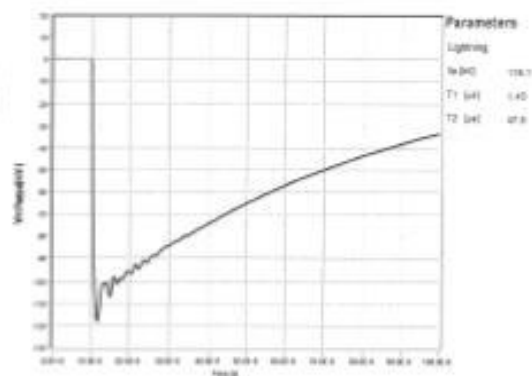
 Eugenio Pozos Salazar CIP 130388 Jefe de Sala de Pruebas EPLI S.A.C.		 R. Claudio A. Dimatic SAC
Assistant	Chief	Customer
Data Acquisition System by PASSONI & VILLA - MILAN - ITALY		

Anexo D: Prueba de impulso – Fase W

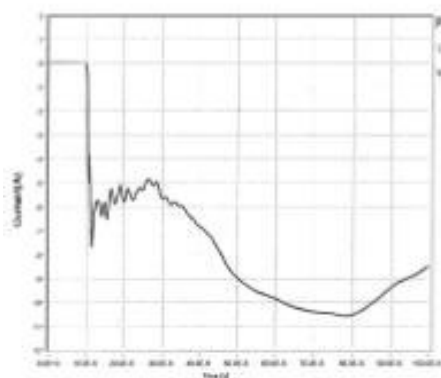
TEST REPORT		Passoni&Villa Experts in High Voltage	
Impulse Voltage Test Oscillograms		Testing Department: EPLI S.A.C.	Printed: 3 Jun 2019 12:03
Data Object: 1200KVA 22.9/0.48KV Dyn11 60Hz 1000 m.s.m.m		Commission: Tec. Devis Rivera	
Type: TP30		Serial Number: TR2019-02048-01	BL: 125 [kV]
CLIENTE: DIMATIC S.A.C. TAG:1836-XFU-0001		FASE W	



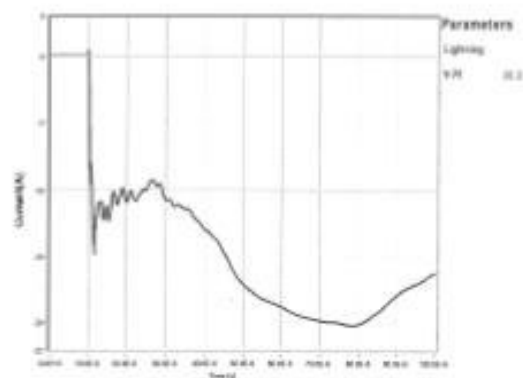
9 May 2019 12:54
...DIMATIC SAC/FASE W 50%/FASE W 50%-ch1_V-n
W.D. Ph: T.C.Pos



9 May 2019 12:56
...DIMATIC SAC/FASE W 100%/FASE W 100%-ch1_V-n
W.D. Ph: T.C.Pos



9 May 2019 12:54
...DIMATIC SAC/FASE W 50%/FASE W 50%-ch2_C-n
W.D. Ph: T.C.Pos

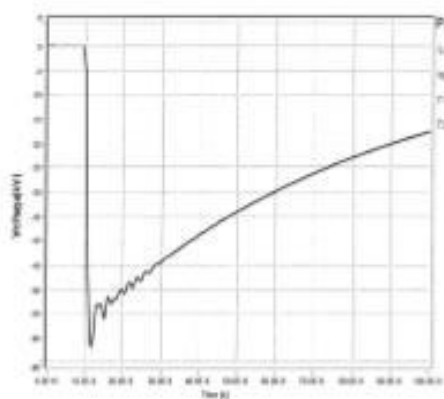


9 May 2019 12:56
...DIMATIC SAC/FASE W 100%/FASE W 100%-ch2_C-n
W.D. Ph: T.C.Pos

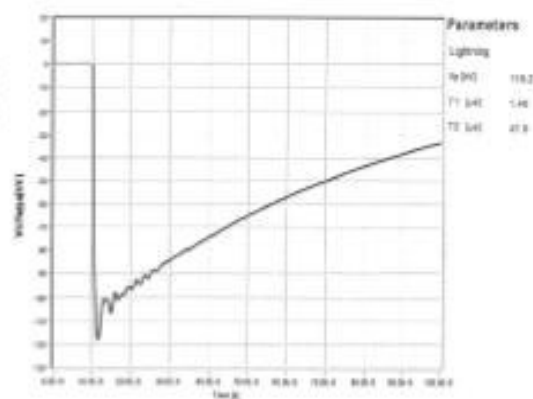
 Eugenio Pizarro Salazar CIP 130389 Jefe de Sala de Pruebas EPLI S.A.C.		 W. Chander A. Dimatic SAC
Assistant	Chief	Customer
Data Acquisition System by PASSONI & VILLA - MILAN - ITALY		

Anexo E: Prueba de impulso – Fase V

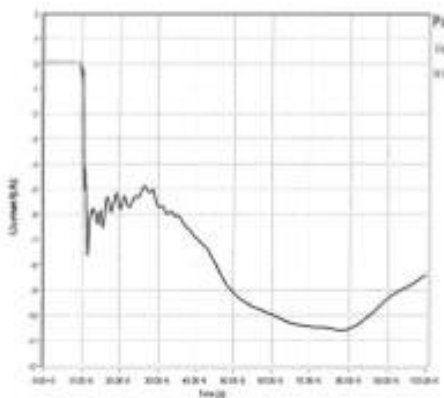
TEST REPORT		Passoni&Villa	
		Experts in High Voltage	
Impulse Voltage Test Oscillograms		Testing Department: EPLI S.A.C.	
Data Object: 1200KVA 22.9kV 48kV Dyn11 60Hz 1000 m.s.s.m.		Commission: Tec. Delvis Rivera	
Type: TP30		Serial Number: TR2019-02045-01	BIL: 125 (kV)
CLIENTE: DIMATIC S.A.C.		FASE V	
TAG 1636-KFU-0001			



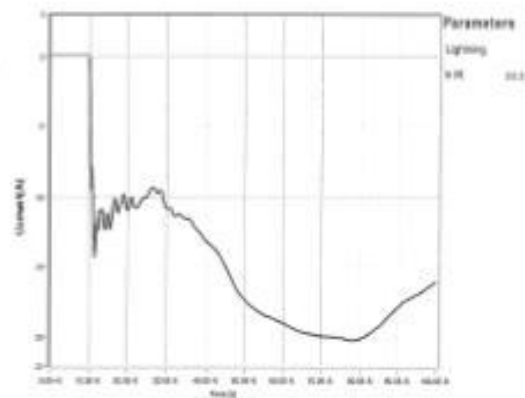
9 May 2019 12:43
 DIMATIC SAC/FASE V 50%/FASE V 50%-ch1_V-n 1 dal
 W.D. Ph: T.C.Pos



9 May 2019 12:44
 DIMATIC SAC/FASE V 100%/FASE V 100%-ch1_V-n
 W.D. Ph: T.C.Pos



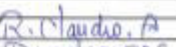
9 May 2019 12:43
 DIMATIC SAC/FASE V 50%/FASE V 50%-ch2_C-n
 W.D. Ph: T.C.Pos



9 May 2019 12:44
 DIMATIC SAC/FASE V 100%/FASE V 100%-ch2_C-n
 W.D. Ph: T.C.Pos

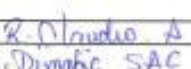
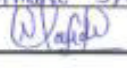
 Egecio Pazos Salazar CIP 130989 Jefe de Sala de Pruebas EPLI S.A.C.		 Claudio A. Dimatic SAC
Assistant:	Chief:	Customer:
Data Acquisition System by PASSONI & VILLA - MILAN - ITALY		

Anexo F: Prueba de nivel de ruido

 EPLI S.A.C. 				SALA DE PRUEBAS DE POTENCIA	
PROTOCOLO DEL ENSAYO DEL NIVEL DE RUIDO					
Marca:		EPLI S.A.C.		DIMATIC S.A.C.	
Serie:		TR2019-0204601		1200 KVA	
Norma:		CEI 60076-10		Relación:	
				22900 / 480 V	
CONDICIONES DEL ENSAYO :					
Frecuencia :		60 HZ		Dist. de medida	
				0.30 m	
Posic. Conmutador :		TAP. 3		Altura del objeto de ensayo	
				1.92 m	
Área de la superficie de medida :		23.5 m ²		Longitud del contorno prescrito	
				12.24 m	
Tensión de Excitación.		480 V		Separación de los puntos de medida	
				1.00 m	
Nivel Ruido de Fondo ponderados A, a 0.3 m del contorno de la cuba					
Posición del Contorno	Al comienzo del ensayo (dB)	Al final del ensayo (dB)	Posición del Contorno	Al comienzo del ensayo (dB)	Al final del ensayo (dB)
1	44.6	43.7	12	46.6	45.7
2	44.0	43.1	13		
3	49.1	48.1	14		
4	47.7	46.7	15		
5	50.3	49.3	16		
6	47.3	46.4	17		
7	46.9	46.0	18		
8	43.8	42.9	19		
9	45.8	44.9	20		
10	45.6	44.7	21		
11	44.2	43.3	22		
Media aritmética de la energía, L_{eqA}				46.80	45.85
Nivel de Ruido ponderados A del Ensayo a 0.3m del contorno de la cuba.					
Posición del Contorno	Medición 1 de la Cuba (dB)	Medición 2 de la Cuba (dB)	Posición del Contorno	Medición 1 de la Cuba (dB)	Medición 2 de la Cuba (dB)
1	53.1		14		
2	50.3		15		
3	50.4		16		
4	49.6		17		
5	53.6		18		
6	51.7		19		
7	51.9		20		
8	49.6		21		
9	49.1		22		
10	50.2		23		
11	50.4		24		
12	51.3		25		
13			26		
Media aritmética de la energía, L_{eqA}				51.2	
INSTRUMENTO : SONOMETRO DIGITAL MARCA EXTECH N° 407766 serie: H 243799					
Inspector:	Tec. Pedro Fajen S.	Aprobado:		Ciente:	
Empresa:	EPLI S.A.C.	Empresa:	Edgardo Pazos Salazar	Empresa:	Dimatic S.A.C.
Fecha:	13/05/2019	Firma:	en blanco	Firma:	en blanco
Aprobado:		Ciente:	Jefe de Sala de Pruebas	Ciente:	
Empresa:		Empresa:	EPLI S.A.C.	Empresa:	
Firma:		Firma:		Firma:	

EPLI S.A.C.		SALA DE PRUEBAS DE POTENCIA Pag. 2 de 2	
PROTOCOLO DEL ENSAYO DEL NIVEL DE RUIDO			
Marca:	EPLI S.A.C.	Ciente:	DIMATIC S.A.C.
Serie:	TR2018-0204601	Potencia:	1200 KVA
Norma:	CEI 60075-10	Relación:	22900 / 480 V
CONDICIONES DEL ENSAYO :			
Frecuencia:	60 HZ	Dist. de medida:	0.30 m
Posic. Conmutador:	TAP 3	Altura del objeto de ensayo:	1.92 m
Área de la superficie de medida:	23.5 m ²	Longitud del contorno prescrito:	12.24 m
Tensión de Excitación:	480 V		
Valor garantizado (dB) de presión acústica, L _{pA} (dB)		-	
Factor de corrección ambiental (debe ser ≤ 7 dB), X =		0.69	
Nivel ponderado A medio corregido de presión acústica, L _{pA} (dB)		48.53	
Nivel ponderado A calculado de potencia acústica, L _{pA} (dB)		63.21	
TABLA 2			
CRITERIO DE ACEPTACIÓN DEL ENSAYO			
L _{pAO} - el mayor L _{pA}	Inicial L _{bgA} - final L _{bgA}	Decisión	
≥ 8 dB	-	Ensayo aceptado	
< 8 dB	< 3 dB	Ensayo aceptado	
< 8 dB	> 3 dB	Repetir ensayo	
< 3 dB	-	Repetir ensayo	
NOTA - A no ser que L _{pAO} sea menor que el valor garantizado, en cuyo caso el objeto de ensayo debería considerarse que está comprendido en el nivel garantizado. Esta condición debe registrarse en el informe de ensayo.			
Este cuadro está dado en la norma CEI 60075-10			
Resultado de la Prueba			
L _{pAO} - el mayor L _{pA}	Inicial L _{bgA} - final L _{bgA}	Decisión	
4.39	0.95	Ensayo aceptado	
L _{pAO}	GARANTIZADO L _{pA} (dB)	L _{pA} a 93m	
51.19	-	48.53	
NOTA: L _{bgA} : Nivel de ruido de fondo ponderado A L _{pAO} : Nivel promedio no corregido de presión acústica ponderado A.			
INSTRUMENTO: SONOMETRO DIGITAL MARCA EXTECH N° 407768 serie: H.243799			
Inspector:	Tec. Pedro Faleo S.	Aprobado:	Ciente:
Empresa:	EPLI S.A.C.	Empresa:	Empresa:
Fecha:	13/05/2019	Firma:	Firma:
Aprobado:	Ciente: Jefe de Sala de Pruebas	Ciente:	Ciente:
Empresa:	Empresa: EPLI S.A.C.	Empresa:	Empresa:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

Anexo G: Prueba de nivel de ruido

 EPLI S.A.C.				SALA DE PRUEBAS SGE - F - SP - 003 Version 02 Pag. 1	
PROTOCOLO DE CALENTAMIENTO DE TRANSFORMADOR EN ACEITE					
CLIENTE:	DIMATIC S.A.C				
Nº SERIE	TR2019-02046-01	KVA.	1200	CONEXIÓN	Dyn11
TAG	1836-XFU-0001	V	22900	NORMA	IEC - 60076
TIPO	TP30	A	480	FRECUENCIA	60 Hz
FASES	3		30.25	ENFRIAMIENTO	ONAN
ALTITUD	1000 m s.n.m.		1443.38	CL. TERMICA	A
PERDIDAS FIERRO		:	1611.80 W		
PERDIDAS COBRE		:	13580.51 W		
PERDIDAS TOTALES		:	15192.31 W		
RESULTADO FINAL DE LA TEMPERATURA DE ACEITE					
NORMA EMPLEADA		:	IEC - 60076		
TEMP. AMBIENTE		:	23.8 °C		
TEMP. FINAL DEL POZO		:	62.0 °C		
TEMP. ACEITE MEDIO		:	47.6 °C		
CALENTAMIENTO DEL ACEITE		:	38.2 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
RESULTADOS FINALES DE LA TEMPERATURA DEL COBRE					
DEVANADO DE 22900 V					
CALENTAMIENTO DEL DEVANADO		:	38.4 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
DEVANADO DE 480 V					
CALENTAMIENTO DEL DEVANADO		:	41.7 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
TEMP. TOLERANCIA A 1000 mm		:	65.0 °C		
INSPECCION	Tec. Pedro Faten S.	APROBADO		INSPECCION	
EMPRESA	EPLI S.A.C.	EMPRESA	Eugenio Pazos Salazar CIP 130389 Jefe de Sala de Pruebas EPLI S.A.C.	EMPRESA	Dimatic SAC 
FECHA INICIO	13/05/2019	FIRMA		FIRMA	
FECHA FINAL	14/05/2019	FIRMA		FIRMA	
INSPECCION		APROBADO		INSPECCION	
EMPRESA		EMPRESA		EMPRESA	
FIRMA		FIRMA		FIRMA	

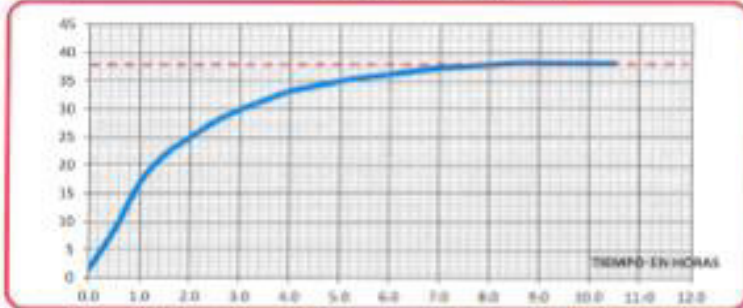

EPL S.A.C.

SALA DE PRUEBAS
 SOG: F-1-003
 Versión 02
Pág. 2

CALENTAMIENTO DEL ACEITE

HORA	VOLT	IP	W TOT	T ACEITE	T SUP	T ACT M	T INF	T AMB	CALENT	TIEMPO
05:00 p.m.	1019.27	33.58	15185.8	26.3	24.7	24.2	23.6	24.0	1.8	0.9
05:30 p.m.	1400.53	33.15	15175.8	32.3	30.8	27.8	25.0	24.8	8.8	0.9
06:00 p.m.	1400.59	32.83	15184.7	41.2	36.1	32.8	29.6	24.3	16.8	1.0
06:30 p.m.	1401.26	32.94	15188.0	46.9	39.7	35.8	31.4	24.0	21.8	1.5
07:00 p.m.	1477.14	32.93	15188.0	46.9	41.8	38.8	34.1	24.0	24.8	2.0
07:30 p.m.	1470.70	32.37	15181.2	51.8	43.7	40.1	36.4	24.0	27.8	3.8
08:00 p.m.	1469.39	32.38	15174.7	53.9	46.1	41.8	37.8	24.0	29.9	3.0
08:30 p.m.	1468.55	32.28	15182.1	56.8	47.4	43.1	38.9	24.0	31.8	3.5
09:00 p.m.	1468.97	32.24	15174.6	57.2	48.7	44.2	39.8	24.0	33.2	4.0
09:30 p.m.	1464.80	32.22	15178.2	58.1	49.7	44.8	40.0	24.0	34.1	4.5
10:00 p.m.	1463.46	32.18	15176.5	58.0	49.7	45.3	40.8	24.0	35.0	5.0
10:30 p.m.	1463.21	32.17	15176.8	58.7	50.6	45.9	41.2	24.0	35.7	5.5
11:00 p.m.	1462.74	32.13	15169.9	60.2	52.7	46.9	41.1	24.0	36.2	6.0
11:30 p.m.	1459.73	32.12	15169.6	60.7	51.5	46.8	41.6	23.9	36.8	6.5
12:00 a.m.	1459.56	32.10	15160.9	61.1	51.7	46.8	41.8	23.8	37.3	7.0
12:30 a.m.	1459.26	32.10	15172.3	61.4	51.7	47.0	42.2	23.8	37.6	7.5
01:00 a.m.	1458.65	32.08	15181.8	61.7	51.7	47.1	42.4	23.8	37.6	8.0
01:30 a.m.	1458.99	32.07	15182.0	61.7	52.2	47.4	42.5	23.8	38.3	8.5
02:00 a.m.	1458.8	32.08	15177.8	61.8	52.2	47.3	42.3	23.8	38.2	9.0
02:30 a.m.	1458.2	32.04	15184.4	61.8	52.7	47.8	42.8	23.7	39.2	9.5
03:00 a.m.	1457.6	32.09	15188.6	62.0	52.4	47.8	42.8	23.8	39.2	10.0
03:30 a.m.	1459.3	32.04	15189.3	62.0	52.3	47.8	42.8	23.8	39.2	10.5
VALORES FINALES		32.08	15188.38	62.00	52.30	47.4	42.8	23.8	39.2	10.50

CURVA DE CALENTAMIENTO DEL ACEITE



CALENTAMIENTO DEL ACEITE °C
38 °C

CALENTAMIENTO DEL COBRE EN 120V

HORA	VOLT	IP	W TOT	T ACEITE	T SUP	T ACT M	T INF	T AMB	CALENT	TIEMPO
03:30 a.m.	1373.46	30.24	13477	40.2	32.3	47.8	40.8	23.3	38.9	8.00
04:00 a.m.	1374.41	30.24	13414	40.2	32.0	47.4	40.8	23.3	38.7	8.50
04:30 a.m.	1374.25	30.25	13425	41.9	31.8	47.8	42.2	23.3	38.6	1.00
05:00 a.m.	1374.44	30.24	13414	41.2	31.7	46.8	41.8	23.3	38.2	1.50
VALORES FINALES		30.25	13425	41.9	31.7	46.8	41.8	23.3	38.2	1.50

CALENTAMIENTO DEL COBRE EN 220V

HORA	VOLT	IP	W TOT	T ACEITE	T SUP	T ACT M	T INF	T AMB	CALENT	TIEMPO
05:10 a.m.	1372.78	30.24	13216.2	41.0	31.80	48.0	41.4	23.3	37.7	0.88
05:40 a.m.	1375.87	30.23	13819.6	56.1	49.6	44.7	38.7	23.3	35.8	0.55
06:10 a.m.	1375.75	30.23	13423.8	58.8	49.8	44.8	40.0	23.3	35.5	1.00
VALORES FINALES		30.23	13424	58.8	49.8	44.8	40.0	23.3	35.5	1.00

W TOT
 T SUP
 T ACT M
 T INF
 T AMB
 CALENT

PERIODOS TOTALES
 TEMPERATURA ALETA SUPERIOR
 TEMPERATURA ACEITE MEDIO
 TEMPERATURA ALETA INFERIOR
 TEMPERATURA AMBIENTE
 CALENTAMIENTO DEL ACEITE

15 15 15 15 15 15

INSPECCION	Tec. Pedro Falco S.	APROBADO
EMPRESA	EPL S.A.C.	EMPRESA
FECHA INICIO	13/05/2019	FIRMA
FECHA FINAL	14/05/2019	FIRMA
APROBADO		INSPECCION
EMPRESA		EMPRESA
FIRMA		FIRMA

INSPECCION	R. Claudio P.	INSPECCION
EMPRESA	Simpatizantes	EMPRESA
FIRMA		FIRMA
FECHA INICIO		FECHA INICIO
FECHA FINAL		FECHA FINAL
APROBADO		APROBADO
EMPRESA		EMPRESA
FIRMA		FIRMA

EPL S.A.C.				SGE - F - CG - 033 VERSION 04			
				Pag. 3			
TEMPERATURA DEL ARROLLO EN 48V							
N°	Tiempo (min:seg)	Resistencia (mΩ)	Temperatura	N°	Tiempo (min:seg)	Resistencia (mΩ)	Temperatura
1	01:50	1.928	81.26	21	03:30	1.910	59.82
2	01:56	1.925	81.21	22	03:36	1.910	59.74
3	02:00	1.925	81.14	23	03:40	1.914	59.57
4	02:05	1.924	81.04	24	03:45	1.914	59.54
5	02:10	1.923	80.96	25	03:50	1.914	59.48
6	02:15	1.923	80.86	26	03:55	1.914	59.44
7	02:20	1.922	80.79	27	04:00	1.914	59.42
8	02:25	1.922	80.88	28	04:05	1.913	59.40
9	02:30	1.921	80.58	29	04:10	1.912	59.28
10	02:35	1.920	80.49	30	04:15	1.912	59.13
11	02:40	1.920	80.47	31	04:20	1.912	59.12
12	02:45	1.920	80.36	32	04:25	1.911	59.07
13	02:50	1.920	80.35	33	04:30	1.910	58.93
14	02:55	1.919	80.27	34	04:35	1.910	58.85
15	03:00	1.919	80.22	35	04:40	1.910	58.84
16	03:05	1.918	80.16	36	04:45	1.909	58.73
17	03:10	1.917	80.04	37	04:50	1.909	58.73
18	03:15	1.917	80.04	38	04:55	1.909	58.71
19	03:20	1.917	80.04	39	05:00	1.909	58.70
20	03:25	1.917	80.00	40	05:05	1.909	58.60
TEMPERATURA DEL CALENTAMIENTO - 48 °C							
RESISTENCIA DEL BORNADO DE ARRE							
Temperatura ambiente inicial		30 °C	Resistencia inicial		1.722 mΩ		
Temperatura ambiente final		23 °C	Resistencia final		1.878 mΩ		
CALCULO DEL CALENTAMIENTO							
		PRUEBA	NOMINAL				
CORRIENTE EN BORNADO		30.3 A	30.3 A				
TEMP. ARROLLO		65.8 °C	-				
TEMP. ACEITE MEDIO		46.8 °C	-				
CALENT. COBRE ACEITE MEDIO		18.3 °C	18.3 °C				
CALENT. ACEITE MEDIO - AIRE		-	23.8 °C				
CALENT. DEL COBRE - AIRE		-	41.7 °C				
NOTA: Incluye la caída térmica		-	8.0 °C				
CALENT. Cu - Aceite Medio Corregido		-	18.3 °C				
INSPECCION EMPRESA	Tec. Pablo Fuen S.	APROBADO EMPRESA		INSPECCION EMPRESA			
FECHA INICIO	13/05/2019	FIRMA	Eugenio Pazos Salazar	FIRMA			
FECHA FINAL	14/05/2019	APROBADO EMPRESA	CIF 130380	INSPECCION EMPRESA			
INSPECCION EMPRESA		EMPRESA	Jefe de Sala de Pruebas EPL S.A.C.	EMPRESA			
FIRMA		FIRMA		FIRMA			

EPILSA C				SGE - P - CC - 003 VERSION 04			
Pag. 4							
TEMPERATURA DEL ARROLLAMIENTO EN CORRIENTE							
N°	Tiempo (minutos)	Potencia (Watt)	Temperatura	N°	Tiempo (minutos)	Potencia (Watt)	Temperatura
1	03:00	3.891	47.00	21	04:30	3.841	46.40
2	03:00	3.890	47.15	22	05:00	3.840	46.50
3	03:00	3.890	47.70	23	05:45	3.830	46.30
4	03:00	3.898	47.84	24	06:00	3.830	46.20
5	03:00	3.897	47.98	25	06:15	3.827	46.10
6	03:00	3.898	47.47	26	06:45	3.806	46.70
7	03:00	3.895	47.43	27	06:55	3.810	46.00
8	03:30	3.894	47.36	28	07:10	3.808	45.80
9	03:30	3.892	47.77	29	07:15	3.810	45.90
10	03:40	3.891	47.30	30	07:20	3.800	45.80
11	03:45	3.890	47.12	31	07:25	3.802	45.70
12	03:50	3.849	47.80	32	07:30	3.801	45.70
13	03:55	3.848	46.80	33	07:35	3.800	45.60
14	04:00	3.847	46.81	34	07:40	3.808	45.60
15	04:05	3.845	46.87	35	07:45	3.809	45.50
16	04:10	3.845	46.70	36	07:50	3.808	45.50
17	04:15	3.845	46.71	37	07:55	3.807	45.48
18	04:20	3.843	46.52	38	08:00	3.805	45.38
19	04:25	3.843	46.50	39	08:05	3.804	45.30
20	04:30	3.843	46.40	40	08:10	3.803	45.27

TEMPERATURA DEL CALENTAMIENTO : 21 °C

RESISTENCIA DEL DESARROLLO DE CORRIENTE			
Temperatura ambiente inicial	20.0 °C	Resistencia inicial	0.7160 Ω
Temperatura ambiente final	21.3 °C	Resistencia final	0.6162 Ω

CALCULO DEL CALENTAMIENTO			
CORRIENTE EN BOBINADO TEMP. ARROLLAMIENTO TEMP. ACEITE MEDIO CALENT. CORRIENTE ACEITE MEDIO CALENT. ACEITE MEDIO - AIRE CALENT. DEL COBRE - AIRE NOTA: Incluye la caída térmica CALENT. Co - Aceite Medio Completo	POTENCIA	NOMINAL	
	30.7 A	30.3 A	
	41.6 °C	-	
	46.5 °C	-	
	4.1 °C	6.1 °C	
	-	21.6 °C	
	-	30.4 °C	
	2.7 °C		
	8.6 °C		

INSPECCION EMPRESA	Yos. Pedro Pablo S.	APROBADO EMPRESA	Eugenio Pedro Salazar
FECHA INICIO	13/05/2019	FIRMA	
FECHA FINAL		APROBADO	Jefe de Sala de Pruebas
INSPECCION EMPRESA		FIRMA	EPILSA C
FIRMA		FIRMA	

Anexo H: Protocolo de accesorios

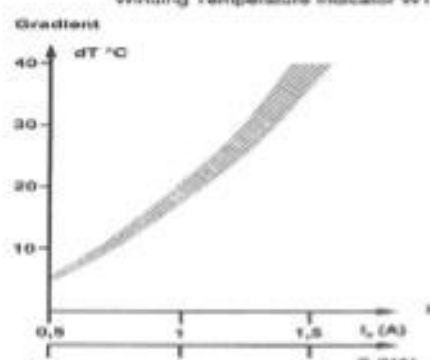
		SALA DE PRUEBAS				CLIENTE	
		PROTOCOLO DE ACCESORIOS				EPLI S.A.C.	
						Página 1	
CLIENTE:	DMATIC S.A.C.						
MARCA:	EPLI S.A.C.	VIA:	100	FASE:	3		
TIPO:	1000		1000	PRESION:	100 Kg		
Nº DEPIE:	10000000000000000000		1000	CONEXION:	1000		
ANO:	2018		1000	REFRIGERACION:	1000		
NORMA:	ISO 9001		1000	1000	1000		
AL TITULO:	10000000000000000000		1000	1000	1000		
C. DESCRIPCION DE LOS ACCESORIOS							
1.1.- TERMOMETRO DE ACEITE TIPO: OT-347-00000000000000000000 / QUALITROL ARM 1.2.- RELE DE IMAGEN TERMICA TIPO: WT-345-00000000000000000000 / QUALITROL ARM 1.3.- NIVEL DE ACEITE: KYS G-82 / ELMER ADS 1.4.- VALVULA DE SEGURIDAD TIPO: VPSA / CEDASPE 1.5.- SWITCH PRESION Y VACIO 148-00000000000000000000 / QUALITROL				1.6.- TARJETA RELE DE PRESION SUBITA TIPO: 999-00000000000000000000 / QUALITROL 1.7.- TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TC 1.8.- UNIDAD DE COMPENSACION TERMICA WTS DE QUALITROL 1.9.- HIGROTHERMOSTATO ALFA / ELECTRIC			
C. PRUEBAS DE OPERACION Y CAMBIO DE LOS DISPOSITIVOS							
DESCRIPCION DEL EQUIPO		CONDICION		SOLUCION DEL TABLERO		RESULTADO	
1.1.-	TERMOMETRO DE ACEITE TIPO: OT-347-00000000000000000000 / QUALITROL ARM	SWITCH N°1	LIBRE	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
		SWITCH N°2	ALARM	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
		SWITCH N°3	DISPARE	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
		SWITCH N°4	DISPARE	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
1.2.-	RELE DE IMAGEN TERMICA TIPO: WT-345-00000000000000000000 / QUALITROL ARM	VENE DE BORNES 1000		(NO)	01-02	CONFORME	
		SWITCH N°1	LIBRE	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
		SWITCH N°2	ALARM	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
		SWITCH N°3	DISPARE	100 °C	(NO)	01-02	CONFORME
1.3.-	NIVEL DE ACEITE: KYS G-82 / ELMER ADS	DISPARE	NIVEL ACEITE MÍNIMO 100	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	NIVEL ACEITE MÍNIMO 200	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	NIVEL ACEITE MÍNIMO 300	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	NIVEL ACEITE MÍNIMO 400	(NO)	01-02	CONFORME	
1.4.-	VALVULA DE SEGURIDAD TIPO: VPSA / CEDASPE	DISPARE	SUBIDA PRESION 1000	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	SUBIDA PRESION 2000	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	SUBIDA PRESION 3000	(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE	SUBIDA PRESION 4000	(NO)	01-02	CONFORME	
1.5.-	SWITCH PRESION Y VACIO 148-00000000000000000000 / QUALITROL	DISPARE		(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE		(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE		(NO)	01-02	CONFORME	
		DISPARE		(NO)	01-02	CONFORME	
1.6.-	TARJETA RELE DE PRESION SUBITA TIPO: 999-00000000000000000000 / QUALITROL	ALIMENTACION 100 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		SWITCH N°1	DISPARE	(NO)	01-02	CONFORME	
		SWITCH N°2	ALARM	(NO)	01-02	CONFORME	
		SWITCH N°3	DISPARE	(NO)	01-02	CONFORME	
1.7.-	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE TC	VOLTAJE 100 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		VOLTAJE 200 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		VOLTAJE 300 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		VOLTAJE 400 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
1.8.-	UNIDAD DE COMPENSACION TERMICA WTS DE QUALITROL	VENE DE BORNES 1000		(NO)	01-02	CONFORME	
		VENE DE BORNES 2000		(NO)	01-02	CONFORME	
		VENE DE BORNES 3000		(NO)	01-02	CONFORME	
		VENE DE BORNES 4000		(NO)	01-02	CONFORME	
1.9.-	HIGROTHERMOSTATO ALFA / ELECTRIC	ALIMENTACION 100 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		ALIMENTACION 200 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		ALIMENTACION 300 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
		ALIMENTACION 400 VAC		(NO)	01-02	CONFORME	
SECCION DE TABLERO							
BORNES 100		BORNES 200		BORNES 300		BORNES 400	
CONFORME		CONFORME		CONFORME		CONFORME	
NOVEDAD	Quinta Revisión	APROBADO	Edgardo Matos Salazar				CLIENTE
FECHA	10/01/2018	FECHA	10/01/2018				FECHA
APROBADO		APROBADO	Jefe de Sala de Pruebas				CLIENTE
EMPRESA	EPLI S.A.C.	EMPRESA	EPLI S.A.C.				EMPRESA
FECHA		FECHA					FECHA

		SALA DE PRUEBAS		CÓDIGO	
		PROTOCOLO DE ACCIONES		SDE-F-01-018	
				VULNERACIÓN	
				01	
				Página 2	

CLIENTE: EPUSAC					
MARCA	EPUSAC	IVA	00%	PAÍSES	3
TIPO	TP50	9	0000	FRECUENCIA	50
N° SERIE	TR219-00040-01		460	CONEXIÓN	Dist
MVO	2018	A	36.204	REFRIGERACIÓN	OMAR
NORMA	ISO 9001:2015		144.015	TAG	1518 - XPL-0001
ALTIUD	1000 M.S.N.M.	ASL 47	25/10/12040	ASL 51	11/13/20KV

2.- CALIBRACIÓN DEL RELÉ DE MAGNÉTICA					
A.- DATOS DE CALIBRACIÓN INAT = 1440.38 A TC = 1780.1 S.A. Rel = 345 B.- ΔT CORRECCIÓN MEDIO °C 15 °C C.- TEMPERATURA AMBIENTE 20 °C		D.- CALCULAR Y DEFINIR IT = 36.47 (Rel) G = 0.001 (caliente) 0.001 (frio) IT = 4.245 A G = 0.36 A		E.- MEDICIÓN IT = 4.25 A G = 0.36 A ITT = 0.36 A	

MANUAL/MANUEL
Winding Temperature Indicator WTI Series 35



Guideline for adjustment of heating current.
Keep cover mounted, feed a stable current and wait 45 min. before reading winding temperature.

Gradient °C for bulb type 11, 12, 15 and 18											
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Oil temp. 30°C	0.72	0.79	0.86	0.92	0.99	1.04	1.10	1.15	1.21	1.26	1.31
Oil temp. 60°C	0.71	0.78	0.85	0.91	0.97	1.03	1.08	1.14	1.19	1.24	1.29

Heating Current Amp. I_h ±5%

QUALITROL

COPIAS DE LABORATORIO	
1.- MULTIMETRO DIGITAL FLUKE 57V serie 9921462	
2.- PATÓMETRO MONOPUNTO APCAC MODELO 9108 Serie 227308-020	
OBSERVACIONES	
Para la calibración del Termómetro y R.I.T. se asume la T. ambiente en fábrica = 20°C y será ajustado por el cliente, asumiendo la temperatura en sitio para su calibración final.	
INSPECCIÓN EMPRESA: DELTA RIVIERA GUATEMALA FECHA: 18/05/2018	APROBADO: Eugenio Pazos Salazar CIP 130369 Jefe de Sala de Pruebas EPUSAC
APROBADO EMPRESA: EPUSAC FECHA: 18/05/2018	CLIENTE: EPUSAC EMPRESA: EPUSAC FECHA: 18/05/2018

Anexo I: Prueba análisis físico químico de aceite

	LABORATORIO FÍSICO - QUÍMICO		CÓDIGO SGE-F-LF-03																																			
	RESULTADOS E INFORME DE ANÁLISIS FCO - QCO DE ACEITE MINERAL		VERSIÓN 005																																			
N° 19 - 088																																						
<table border="0"> <tr> <td>EMPRESA:</td> <td>DMATIC S.A.C.</td> <td>FECHA:</td> <td>24/05/2019</td> </tr> <tr> <td>NRO SERIE:</td> <td>TR2019-02046-01</td> <td>CANTIDAD DE FLUIDO:</td> <td>348.9 Gal.</td> </tr> <tr> <td>FABRICANTE:</td> <td>EPLI SAC</td> <td>TIPO DE FLUIDO:</td> <td>ACEITE MINERAL</td> </tr> <tr> <td>AÑO FABRICACIÓN:</td> <td>2019</td> <td>MARCA DEL FLUIDO:</td> <td>NYNAS</td> </tr> <tr> <td>POTENCIA:</td> <td>1 200 KVA</td> <td>EXTRACCIÓN:</td> <td>14/05/2019</td> </tr> <tr> <td>TENSIÓN:</td> <td>22.9 / 0.48 KV</td> <td>OTROS:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EN SERVICIO?:</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				EMPRESA:	DMATIC S.A.C.	FECHA:	24/05/2019	NRO SERIE:	TR2019-02046-01	CANTIDAD DE FLUIDO:	348.9 Gal.	FABRICANTE:	EPLI SAC	TIPO DE FLUIDO:	ACEITE MINERAL	AÑO FABRICACIÓN:	2019	MARCA DEL FLUIDO:	NYNAS	POTENCIA:	1 200 KVA	EXTRACCIÓN:	14/05/2019	TENSIÓN:	22.9 / 0.48 KV	OTROS:		EN SERVICIO?:	NO									
EMPRESA:	DMATIC S.A.C.	FECHA:	24/05/2019																																			
NRO SERIE:	TR2019-02046-01	CANTIDAD DE FLUIDO:	348.9 Gal.																																			
FABRICANTE:	EPLI SAC	TIPO DE FLUIDO:	ACEITE MINERAL																																			
AÑO FABRICACIÓN:	2019	MARCA DEL FLUIDO:	NYNAS																																			
POTENCIA:	1 200 KVA	EXTRACCIÓN:	14/05/2019																																			
TENSIÓN:	22.9 / 0.48 KV	OTROS:																																				
EN SERVICIO?:	NO																																					
Servicio efectuado: <i>Análisis del fluido aislante.</i> <table border="1"> <thead> <tr> <th>NORMA</th> <th>PRUEBA</th> <th>UNIDADES</th> <th>RESULTADOS</th> <th>LÍMITES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D1533</td> <td>Contenido de agua</td> <td>ppm</td> <td>12</td> <td>20 máx.</td> </tr> <tr> <td>D1816</td> <td>Rigidez Dieléctrica</td> <td>KV/2.0 mm</td> <td>72</td> <td>45 mín.</td> </tr> <tr> <td>D974</td> <td>Índice Neutralización</td> <td>mg KOH/g aceite</td> <td>0.01</td> <td>0.015 máx.</td> </tr> <tr> <td>D971</td> <td>Tensión Interfacial</td> <td>mN/m</td> <td>43</td> <td>38 mín.</td> </tr> <tr> <td>D1500</td> <td>Color</td> <td>N° ASTM</td> <td>< 0.5</td> <td>1.0 máx.</td> </tr> <tr> <td>D1524</td> <td>Apariencia</td> <td>-</td> <td>B y C</td> <td>B y C</td> </tr> </tbody> </table> (*) B y C = Brillante y Claro, carente de materia y sedimentos.				NORMA	PRUEBA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITES	D1533	Contenido de agua	ppm	12	20 máx.	D1816	Rigidez Dieléctrica	KV/2.0 mm	72	45 mín.	D974	Índice Neutralización	mg KOH/g aceite	0.01	0.015 máx.	D971	Tensión Interfacial	mN/m	43	38 mín.	D1500	Color	N° ASTM	< 0.5	1.0 máx.	D1524	Apariencia	-	B y C	B y C
NORMA	PRUEBA	UNIDADES	RESULTADOS	LÍMITES																																		
D1533	Contenido de agua	ppm	12	20 máx.																																		
D1816	Rigidez Dieléctrica	KV/2.0 mm	72	45 mín.																																		
D974	Índice Neutralización	mg KOH/g aceite	0.01	0.015 máx.																																		
D971	Tensión Interfacial	mN/m	43	38 mín.																																		
D1500	Color	N° ASTM	< 0.5	1.0 máx.																																		
D1524	Apariencia	-	B y C	B y C																																		
Conclusiones Los resultados obtenidos después de las pruebas efectuadas se encuentran dentro de los límites dados por las normas técnicas. Indicando con ello, que el aceite se encuentra en buenas condiciones para el trabajo del transformador. Recomendaciones A fin de llevar un buen seguimiento de las condiciones del aceite, se recomienda realizar un nuevo análisis Físico Químico dentro de doce meses.																																						
 Erica Milla Cano Jefe de Laboratorio Físico Químico EPLI S.A.C. info@epli.com.pe Móvil : 9810 84341																																						
 OFICINA PRINCIPAL: Jr. Taragoto 1157 - Breña (Alt. Cuadra 11 Av. Tingo María) info@epli.com.pe / sciente@epli.com.pe www.epli.com.pe																																						

Anexo J: Análisis Cromatográfico

	LABORATORIO FÍSICO - QUÍMICO		CÓDIGO SGE-F-LF-05																																																				
	RESULTADOS E INFORME DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO		VERSIÓN 007																																																				
19 - 092																																																							
1 de 3																																																							
<table border="0"> <tr> <td>EMPRESA:</td> <td>DIMATIC S.A.C.</td> <td>FECHA:</td> <td>24/05/2019</td> </tr> <tr> <td>NRO SERIE:</td> <td>TR2019- 02046-01</td> <td>CANTIDAD DE FLUIDO:</td> <td>348.9 Gal.</td> </tr> <tr> <td>FABRICANTE:</td> <td>EPLI S.A.C.</td> <td>TIPO DE FLUIDO:</td> <td>ACEITE MINERAL</td> </tr> <tr> <td>AÑO FABRICACIÓN:</td> <td>2019</td> <td>MARCA DEL FLUIDO:</td> <td>NYNAS</td> </tr> <tr> <td>POTENCIA:</td> <td>1 200 KVA</td> <td>EXTRACCIÓN:</td> <td>14/05/2019</td> </tr> <tr> <td>TENSIÓN:</td> <td>22.9 / 0.48 KV</td> <td>OTROS:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EN SERVICIO?:</td> <td>NO</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				EMPRESA:	DIMATIC S.A.C.	FECHA:	24/05/2019	NRO SERIE:	TR2019- 02046-01	CANTIDAD DE FLUIDO:	348.9 Gal.	FABRICANTE:	EPLI S.A.C.	TIPO DE FLUIDO:	ACEITE MINERAL	AÑO FABRICACIÓN:	2019	MARCA DEL FLUIDO:	NYNAS	POTENCIA:	1 200 KVA	EXTRACCIÓN:	14/05/2019	TENSIÓN:	22.9 / 0.48 KV	OTROS:		EN SERVICIO?:	NO																										
EMPRESA:	DIMATIC S.A.C.	FECHA:	24/05/2019																																																				
NRO SERIE:	TR2019- 02046-01	CANTIDAD DE FLUIDO:	348.9 Gal.																																																				
FABRICANTE:	EPLI S.A.C.	TIPO DE FLUIDO:	ACEITE MINERAL																																																				
AÑO FABRICACIÓN:	2019	MARCA DEL FLUIDO:	NYNAS																																																				
POTENCIA:	1 200 KVA	EXTRACCIÓN:	14/05/2019																																																				
TENSIÓN:	22.9 / 0.48 KV	OTROS:																																																					
EN SERVICIO?:	NO																																																						
NORMA DE PRUEBA: ASTM D3612 <table border="0"> <thead> <tr> <th>Gases Detectados</th> <th>Unidades</th> <th>Resultados</th> <th>IEC 60599 Concent. típicas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO₂</td> <td>Dióxido de Carbono</td> <td>ppmv</td> <td>14 000</td> </tr> <tr> <td>C₂H₄</td> <td>Etileno</td> <td>ppmv</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>C₂H₂</td> <td>Acetileno</td> <td>ppmv</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>C₂H₆</td> <td>Etano</td> <td>ppmv</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>Metano</td> <td>ppmv</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>Monóxido de Carbono</td> <td>ppmv</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>H₂</td> <td>Hidrógeno</td> <td>ppmv</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>O₂</td> <td>Oxígeno</td> <td>ppmv</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>N₂</td> <td>Nitrógeno</td> <td>ppmv</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total Gases Combustibles</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total de Gases</td> <td>281043</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">% Gases Combustibles</td> <td>0%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> LT= Ligeras Trazas (< 1ppmv) ND= No Detectado				Gases Detectados	Unidades	Resultados	IEC 60599 Concent. típicas	CO ₂	Dióxido de Carbono	ppmv	14 000	C ₂ H ₄	Etileno	ppmv	280	C ₂ H ₂	Acetileno	ppmv	20	C ₂ H ₆	Etano	ppmv	90	CH ₄	Metano	ppmv	130	CO	Monóxido de Carbono	ppmv	600	H ₂	Hidrógeno	ppmv	150	O ₂	Oxígeno	ppmv	-	N ₂	Nitrógeno	ppmv	-	Total Gases Combustibles		0		Total de Gases		281043		% Gases Combustibles		0%	
Gases Detectados	Unidades	Resultados	IEC 60599 Concent. típicas																																																				
CO ₂	Dióxido de Carbono	ppmv	14 000																																																				
C ₂ H ₄	Etileno	ppmv	280																																																				
C ₂ H ₂	Acetileno	ppmv	20																																																				
C ₂ H ₆	Etano	ppmv	90																																																				
CH ₄	Metano	ppmv	130																																																				
CO	Monóxido de Carbono	ppmv	600																																																				
H ₂	Hidrógeno	ppmv	150																																																				
O ₂	Oxígeno	ppmv	-																																																				
N ₂	Nitrógeno	ppmv	-																																																				
Total Gases Combustibles		0																																																					
Total de Gases		281043																																																					
% Gases Combustibles		0%																																																					
 Erica Millia Cano Jefe de Laboratorio Físico Químico EPLI S.A.C. labfo@epli.com.pe Móvil: 981 084341																																																							
 OFICINA PRINCIPAL: Jr. Tarapoto 1157 - Breña (Alt. Cuadro 11 Av. Tingo María) info@epli.com.pe / sciente@epli.com.pe www.epli.com.pe																																																							

Anexo K: Prueba de Ratios – Análisis Cromatográfico

	LABORATORIO FÍSICO - QUÍMICO	CÓDIGO BGE-F-LF-05
	RESULTADOS E INFORME DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO	VERSIÓN 007

19-092 / TR2019-02046-01

2 de 3

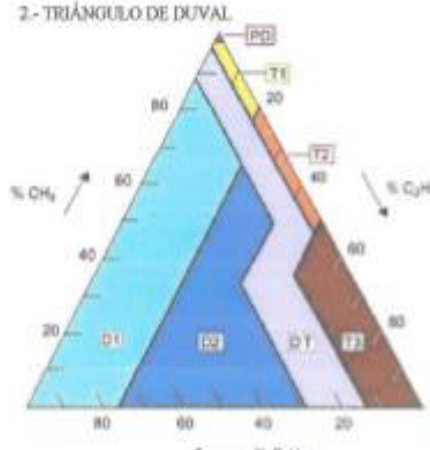
Servicio efectuado: *Análisis de gases disueltos en el aceite aislante*

1.- RATIOS SEGÚN IEC 60599

No se ha detectado presencia de gases combustibles.

C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	CO ₂ /CO
0.00	0.00	0.00	-

2.- TRIÁNGULO DE DUVAL



CH ₄	0	0.0	%
C ₂ H ₄	0	0.0	%
C ₂ H ₂	0	0.0	%

No se ha detectado presencia de gases combustibles.

3.- RATIOS DE ROGERS

No se ha detectado presencia de gases combustibles.

C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
0.00	0.00	0.00


Erica Milia Cano
 Jefe de Laboratorio Físico Químico
 EPLI S.A.C.

info@epli.com.pe
 Móvil : 981 084341



OFICINA PRINCIPAL: Jr. Tarapoto 1157 - Breña (Alt. Cuadra 11 Av. Tingo María)
info@epli.com.pe / cliente@epli.com.pe www.epli.com.pe

	LABORATORIO FÍSICO - QUÍMICO	CÓDIGO BGE-F-LF-05
	RESULTADOS E INFORME DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO	VERSIÓN 007
19-092 / TR2019-02046-01 3 de 3		
Servicio efectuado: <i>Análisis de gases disueltos en el aceite aislante.</i> Conclusiones: Los resultados obtenidos están dentro de los valores esperados. Se tomará este análisis como punto de partida para la evaluación del trabajo del transformador. Recomendaciones: A fin de llevar un buen seguimiento del trabajo del transformador, se recomienda realizar un nuevo análisis de gases disueltos dentro de doce meses.		
 Erica Mila Cano Jefe de Laboratorio Físico Químico EPLI S.A.C. info@epli.com.pe Móvil: 981 084341		
 OFICINA PRINCIPAL: Jr. Tarapoto 1157 - Breña (Alt. Casare 13 Av. Tingo María) info@epli.com.pe / cliente@epli.com.pe www.epli.com.pe		

Anexo L: Prueba de presencia de Bifenilos Policlorados



Lima, 24 de Mayo del 2019

CARTA DE NO PRESENCIA DE PCB (BIFENILOS POLICLORADOS),
EN EL ACEITE DIELECTRICO

Señores
DIMATIC S.A.C.
Presente.

Carta N°025-2019

Estimados señores:

Por medio de la presente les informamos lo siguiente:

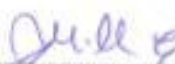
EPLI SAC., garantiza que el producto entregado: Aceite NYNAS no contiene PCB (Bifenilos policlorados), determinado por los análisis realizados en los laboratorios de SGS OIL, GAS AND CHEMICALS - PERÚ, efectuado bajo la norma **ASTM D4059** (Se adjunta Certificado de Análisis - Reporte: AT 1900391.001).

El mismo aceite que se encuentra en el interior de vuestro transformador:

- TR2019-02046-01: 1 200 KVA

Aprovechamos la oportunidad para reiterarles nuestro aprecio personal.

Atentamente


Erica Milla Cano
Jefe de Laboratorio Física Química
EPLI S.A.C.

 LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON REGISTRO N° LE – 002			
FECHA DE IMPRESIÓN: 18/02/2019			
SGS CH, Gas and Chemicals Av. Javier Freyre 3546, Calle 1 Perú PO Box 27-0125 I (51-1) 517 1000 F (51-1) 575 4080 www.pe.sgs.com		EPL S.A.C. JR. TARAPOTO NRO. 1157 - BREÑA - LIMA	
Informe de Ensayo con Valor Oficial: AT1900391.001			
CLIENTE ORDEN NO :	605750-S	SGS ORDEN NO :	-
CLIENTE ID :	ACEITE TRANSFORMADOR	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO :	Acetate Transformador
LOCALIDAD :	CALLAO	ORIGEN ID :	180241119
ORIGEN DE LA MUESTRA :	Corno de suministro	MUESTREO POR :	Químico
TIPO DE MUESTRA :	Tal como fue presentado	RECIBIDO :	13/02/2019
MUESTREO :	21/01/2019	COMPLETADO :	18/02/2019
ANALIZADO :	18/02/2019	CANTIDAD :	180 ML
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA :	BOTELLA DE VIDRIO AMSAR		
COMENTARIO MUESTRA :	DESCARGA DE ACEITE / NYNAS LIBRE / TIPO MINERAL / MARCA NYNAS / SERIE BATCH 70-T423-181110		
ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADO	UNITS
Concentración de PCB's	ASTM D 4059 - 00 (2010)	<0.2	ppm
Concentración de Acetato 1242	ASTM D 4059 - 00 (2010)	<0.2	ppm
Concentración de Acetato 1254	ASTM D 4059 - 00 (2010)	<0.2	ppm
Concentración de Acetato 1260	ASTM D 4059 - 00 (2010)	<0.2	ppm
FORMA AUTORIZADA  YSABEL C. IMBILENCIA PINTO Supervisora del Laboratorio OGC CIP 87792			
1802201811410000002000		Página 1 / 1	
		OGC-ES_REPORT_HLOGO-2013-05-05/V18	
Este documento es emitido por la Corporación SGS sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página: http://www.sgs.com.pe/Forms-and-Conditions.aspx . Son igualmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de honorarios y protección de datos en dichas Condiciones Generales de Servicio, ya referenciadas en este certificado. En tanto, se le informa y se ruega por las disposiciones sobre el control de la muestra, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización expresa de SGS del Perú S.A.C. Los resultados de los ensayos efectuados en el laboratorio, son válidos y confiables y no están sujetos a ninguna certificación de conformidad, con fines de producción o como sustituto del sistema de gestión de la calidad que se practica. La compañía es responsable del origen y estado de los datos de las muestras que se le entregan. Lima, Perú, 18/02/2019			
SGS del Perú S.A.C.		Av. Javier Freyre 3546 - Calle 14 50-11 517 1000 - www.sgs.pe	
Módulo de Datos OGC			

Anexo L: Prueba de granallado y pintado

1.- PREPARACION SUPERFICIAL (Granallado):							
GRADO DE PREPARACION:				PERFIL DE ANCLAJE:			
SSPC / SP 5				2.5 mils			
FECHA:		15/04/2019		RESULTADO:		CONFORME	
2.- SISTEMA DE PINTADO:							
1ra. CAPA: BASE			COLOR		ESPESOR DE PELÍCULA SECA		
BASE EPOXICO			VERDE		5.49		
CONDICIONES AMBIENTALES:							
TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C)		TEMPERATURA AMBIENTE (°C)		HR %	PUNTO DE ROCIO (°C)	RESULTADO	FECHA
22 °C		25 °C		70%	19°C	CONFORME	15/04/2019
MEDICIONES DE ESPESORES DE PELICULA SECA:							
PIEZAS:	SPOT1	SPOT2	SPOT3	SPOT4	SPOT5	SPOT6	PROMEDIO
TAPA	5.5	5.7	5.8	5.3	5.7	5.6	5.60
CUBA / CAJA METALICA	5.2	5.3	5.3	5.2	5.6	5.4	5.33
ALETAS / RADIADORES	5.5	5.5	5.8	5.3	5.5	5.6	5.53
TANQUE EXPANSOR	---	---	---	---	---	---	---
CAJUELAS	5.1	5.5	5.7	5.4	5.8	5.5	5.50
2da. CAPA: ACABADO			COLOR		ESPESOR DE PELÍCULA SECA		
POLIURETANO			RAL-7035		10.89		
CONDICIONES AMBIENTALES:							
TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C)		TEMPERATURA AMBIENTE (°C)		HR %	PUNTO DE ROCIO (°C)	RESULTADO	FECHA
19 °C		22 °C		71%	20°C	CONFORME	07/05/2019
MEDICIONES DE ESPESORES DE PELICULA SECA:							
PIEZAS	SPOT1	SPOT2	SPOT3	SPOT4	SPOT5	SPOT6	PROMEDIO
TAPA	11.3	11.3	11.5	11.4	11.3	11.5	11.38
CUBA / CAJA METALICA	10.4	10.5	10.6	10.5	10.6	10.7	10.55
ALETAS / RADIADORES	11.4	11.3	11.3	10.9	11.3	11.2	11.23
TANQUE EXPANSOR	---	---	---	---	---	---	---
CAJUELAS	10.4	10.3	10.5	10.2	10.4	10.5	10.38
3.- INSTRUMENTOS UTILIZADOS:							
1.- Medidor de espesor en pelicula seca.				Marca : Elcometer / Modelo 456 / Serie A456CFBSRC11206			
2.- Termometro infrarojo.				Marca : Fluke / Modelo 62 MAX / Serie 23491824.			
3.- Reloj comparador (Rugosimetro analógico).				Marca : Fluke / Modelo 7326STX1 / Serie RMB957.			
4.- Psicometro de voleo.				Marca : Bacharach / Modelo 116C / Serie RMB7326STX1			
5.- Probador de adherencia.				Marca : Elcometer 107 / Modelo F1071322-1 / Serie 12869-5			
6.- Cinta de adherencia (ASTM D3359).				Marca : Elcometer			
7.- Cinta testigo (Press-O-Film)				Marca : Testex			
4.- ENSAYO DE ADHERENCIA:							
ASTM D3359 TAPA : 4B				ASTM D3359 CUBA : 4B			
5.- ENSAYO PERFIL DE ANCLAJE:							
2.5 mils				2.5 mils			

Anexo M: Prueba de Estanquidad en Frío

	CONTROL DE CALIDAD		CÓDIGO SGE-F-CC-066
	REGISTRO DE PRUEBA DE ESTANQUIDAD EN FRIO		VERSIÓN 006

CLIENTE	: DIMATIC S.A.C.	SERIE	: TR2019-02046	O/P	: 16879
POTENCIA	: 1,2 MVA	V1	: 22,9 Kv	V2	: 0,48 Kv
MEDIO DE PRUEBA	: NITRÓGENO				
APLICADO A	: TRANSFORMADOR TERMINADO				
INSTRUCTIVO	: SGE-P-CC-003 PRUEBA DE ESTANQUIDAD EN FRIO				

[illegible]