



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA
DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL
TRANSFORMADOR**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electromecánico

AUTORES:

Salazar Loor Robinson Vladimir

Saltos Caiza Deyvis Alexander

TUTOR:

ING. MSc. Danilo Fabricio Trujillo Ronquillo

**LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2023**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Salazar Loor Robinson Vladimir y Saltos Caiza Deyvis Alexander, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR, siendo el MSc, Danilo Fabricio Trujillo Ronquillo, tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Salazar Loor Robinson Vladimir
C.I: 050274956-7



Saltos Caiza Deyvis Alexander
C.I: 0502899537

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR”, de Salazar Loor Robinson Vladimir y Saltos Caiza Deyvis Alexander de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas - CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto 2023



MSc. Danilo Fabricio Trujillo Ronquillo
TUTOR


APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes Salazar Loor Robinson Vladimir y Saltos Caiza Deyvis Alexander con el título de Proyecto de Investigación: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, agosto del 2023


Para constancia firman:



Ing. Paco Jovanna Vásquez Carrera MSc.
C.I: 0501758767
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Freddy Rodrigo Romero Bedón MSc.
C.I: 0503499642
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Cristian Orlando Guileaso Molina MSc.
C.I: 0503066706
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia que ha estado conmigo en las buenas, en las malas situaciones de mi vida, a los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, los cuales supieron inculcar el respeto, la responsabilidad y que me ayudaron a lograr este objetivo de mi vida.

Deyvis

En primer lugar, le doy gracias a Dios por guiarme e iluminarme con el conocimiento requerido dentro y fuera de la Universidad, a mi madre que ha sido el pilar fundamental antes y durante la formación de mi carrera, gracias a mi querida UTC por acogerme en el establecimiento y haber desarrollado un sólido conocimiento para así poder convertirme en un profesional en la carrera que tanto me apasiona. Gracias a cada uno de los maestros que a lo largo de esta travesía me han sabido guiar con un gran conocimiento en cuanto a la formación profesional.

Para finalizar, agradezco a mis lectores por tomarse el tiempo de leer este apartado por lo consiguiente mi tesis cómo tal.

Robinson

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo con el cual logro esa meta de llegar a convertirme en profesional a mi madre, ese ser especial tan sublime que me ha acompañado, guiado y siempre me ha brindado su mano para continuar adelante en este duro trajinar, convirtiéndose en ese pilar fundamental sin el cual no podría estar aquí culminando esta etapa de mi vida.

Deyvis

A Dios por darnos salud y conocimiento para poder llegar este punto y poder lograr mis metas paso a paso. A mi querida madre Magaly Loor, por haberme apoyado durante mi carrera profesional y haber puesto toda su fé en mi lo cual se ve reflejado en mí. A la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de escalar un paso más al éxito, gracias al conocimiento impartido durante todos estos años y ser un profesional competitivo, con sólidos conocimientos en el área. A mis apreciados docentes de manera especial al MSc. Paco Vázquez Carrera con su arduo conocimiento en el área de electromecánica supo impartir su conocimiento y asimismo guiarme en el área profesional, al MSc. Danilo Trujillo en calidad de tutor de tesis, al PhD. Yoandrys Morales quien a sido un pilar fundamental en mi carrera desde un principio en calidad de docente y Coordinador de la carrera; muchísimas gracias, por tanto.

Robinson

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR.”

Autores:

Salazar Loor Robinson Vladimir

Saltos Caiza Deyvis Alexander

RESUMEN

La realización de la prueba de rigidez dieléctrica del aceite aislante, así como de otros materiales utilizados en equipos eléctricos, es fundamental para asegurar su calidad, ofreciendo la seguridad y confiabilidad necesarias a estos equipos, que incluyen transformadores, disyuntores y reactores, por ejemplo. En el presente proyecto se analizó información referente acerca de las normas utilizadas para determinar cómo se mide la rigidez dieléctrica del aceite que sirve como material aislante y como refrigerante disipando el calor hacia el exterior que generan las bobinas y el núcleo de un transformador eléctrico. Se utilizó la norma ASTM 877D para realizar diferentes test para medir la ruptura dieléctrica del aceite con una máquina Huazheng HZJQ-1B, en donde se analizaron dos tipos de muestras de aceite por medio del incremento controlado de valores de tensión hasta que alcance su valor umbral de ruptura. Se utilizó un aceite nuevo y uno ya usado en el sistema aislante y refrigerante de un transformador. También se realizó una guía de usuario para el manejo de la máquina Huazheng HZJQ-1B, debido a que es un dispositivo nuevo y carecía de información acerca de cómo utilizarla y cuáles son los pasos para realizar los ensayos en la medición de la rigidez dieléctrica del aceite.

Palabras claves: Rigidez dieléctrica, transformador eléctrico, ruptura dieléctrica, material aislante.

ABSTRACT

Carrying out the dielectric strength test of insulating oil and other materials used in electrical equipment is essential to ensure its quality, offering the necessary safety and reliability to this equipment, which includes transformers, circuit breakers, and reactors, for example. In the present project, information regarding the standards used to determine how the dielectric strength of the oil that serves as an insulating material and as a coolant is analyzed, dissipating the heat generated by the coils and the core of an electrical transformer to the outside. The ASTM 877D standard was used to carry out different tests to measure the dielectric breakdown of the oil with a Huazheng HZJQ-1B machine, where two types of oil samples were analyzed by means of the controlled increase of voltage values until it reaches its threshold value. of rupture. A new oil and an already used one were used in a transformer's insulating and cooling system. A user guide for handling the Huazheng HZJQ-1B machine was also made, because it is a new device and it lacked information about how to use it and what are the steps to carry out the tests in the measurement of the oil's dielectric strength.

Keywords: Dielectric strength, electric transformer, dielectric breakdown, insulating material.

ÍNDICE

1.	INFORMACIÓN GENERAL	1
2.	RESUMEN DEL PROYECTO	2
3.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
4.	BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4.1.	Beneficiarios Directos	3
4.2.	Beneficiarios Indirectos	3
5.	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	3
6.	OBJETIVOS:.....	4
6.1.	General	4
6.2.	Específicos	4
7.	ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:.....	4
8.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	5
8.1.	Transformador	5
8.2.	Partes de un Transformador	6
8.3.	Funcionamiento de un transformador	7
8.4.	Clasificación de los Transformadores	8
8.4.1.	Según su construcción	8
8.4.2.	Según el número de devanados	9
8.4.3.	Según su función	10
8.4.4.	Según su Uso	11
8.4.5.	Según su sistema de enfriamiento	11
8.5.	Sistema de Aislamiento en transformadores	11
8.6.	Aceite para enfriamiento	12
8.7.	Aceites Dieléctricos	12
8.8.	Aceites minerales dieléctricos.....	13
8.9.	Aceites vegetales dieléctricos.....	13
8.9.1.	Viscosidad	15
8.9.2.	Comparación variable rigidez dieléctrica entre los aceites minerales frente a los aceites vegetales Fuerza de ruptura.	15
8.10.	Rigidez Dieléctrica del Aceite de un transformador	16
8.10.1.	Dieléctrico	17
8.10.2.	Constante dieléctrica x Rigidez dieléctrica	17

8.10.3.	¿Cuáles son los factores que comprometen la Rigidez Dieléctrica del aceite aislante de un transformador?	18
8.11.	Vida útil de un Aceite Aislante	19
8.12.	Propiedades de los Aceites Dieléctricos.....	20
8.12.1.	Propiedades Físicas	20
	a) Viscosidad	20
	b) Punto De Fluidez	21
	c) Punto De Inflamación.....	21
	d) Tensión Interfacial.....	21
	e) Punto De Anilina	22
	f) Color.....	22
8.12.2.	Propiedades Eléctricas	22
	a) Factor De Potencia	22
8.12.3.	Propiedades Químicas	22
	a) Estabilidad a la Oxidación.....	22
8.12.4.	Composición de un Aceite Dieléctrico	23
8.12.5.	Aceites Bases.....	23
	a) Aromáticos	23
	b) Isoparafínicos	24
	c) Nafténicos.....	24
8.12.6.	Clasificación de los Aceites Dieléctricos	25
8.13.	Funciones del papel aislante dentro del transformador.....	26
8.13.1.	El Papel Kraft	27
9.	PREGUNTAS CIENTIFICAS O HIPOTESIS:	28
10.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	28
10.1.	Análisis del Estándar según la Norma ASTM	29
10.2.	Análisis de Rigidez Dieléctrica del Aceite de un transformador	33
11.	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:.....	35
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):	47
13.	PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:.....	48
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
14.1.	Conclusiones	48
14.2.	Recomendaciones:.....	49
15.	BIBLIOGRAFIA	50

16.	ANEXOS.....	55
	Anexo 2.....	59
I.	Función clave y características	60
II.	Principales indicadores Técnicos.....	61
III.	Descripción del panel	62
IV.	Enfoque operativo	62
V.	Precauciones	66
VI.	Mantenimiento.....	67
VII.	Método de limpieza de la copa de aceite y despeje de fallas comunes	67
VIII.	Lista de embalaje	69
	ANEXO 3	70

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Objetivos	4
Tabla 2: Grado de uso de aceites aislantes	12
Tabla 3. Comparación variable de rigidez dieléctrica	16
Tabla 4 Rigidez y constante dieléctrica de diversos materiales	19
Tabla 5. Valores permisibles de rigidez dieléctrica según normas.....	29
Tabla 6 Cuadro comparativo de las normas ASTM D-877D y D-1816.....	30
Tabla 7 Aspecto Visual del aceite utilizado en la refrigeración de un transformador Norma ASTM D 1524-84.....	31
Tabla 8. Características Físicas y Químicas del Aceite Aislante usado en el Transformador .	31
Tabla 9. Características del Aceite Mineral.....	36
Tabla 10. Características del Aceite Mineral Usado	37
Tabla 11. Características del Aceite Mineral Nuevo.....	39
Tabla 12. Presupuesto.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Transformador.....	6
Figura 2: Partes de un transformador	7
Figura 3: Funcionamiento de un transformador	8
Figura 4: Transformadores según se construcción	9
Figura 5: Transformador según el devanado	10
Figura 6: Transformador según su función.....	10
Figura 8 Viscosidad de un aceite dieléctrico	20
Figura 9 Diagrama del Proceso de Fabricación de un Aceite Dieléctrico.....	25
Figura 10. Papel aislante para transformador	27
Figura 11. Curvas de envejecimiento del Papel	28
Figura 12. Muestras utilizadas en la prueba	34
Figura 13. Preparación del dispositivo para el ensayo	34
Figura 14. Configuración del dispositivo	35
Figura 15. Muestras utilizadas en el ensayo	36
Figura 16. Mediciones de Rigidez Dieléctrica en aceite utilizado	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Hojas de Vida	55
MANUAL MÁQUINA HUAZGEN	61
Pruebas de la Máquina.....	70

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR

Fecha de inicio: Abril del 2023

Fecha de finalización: Agosto del 2023

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad Académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

Equipo de Trabajo:

(Se anexa hoja de vida resumida de los investigadores, máximo una página)

Área de Conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Procesos Industriales

Sub líneas de investigación de la Carrera: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

La realización de la prueba de rigidez dieléctrica del aceite aislante, así como de otros materiales utilizados en equipos eléctricos, es fundamental para asegurar su calidad, ofreciendo la seguridad y confiabilidad necesarias a estos equipos, que incluyen transformadores, disyuntores y reactores, por ejemplo. En el presente proyecto se analizó información referente acerca de las normas utilizadas para determinar cómo se mide la rigidez dieléctrica del aceite que sirve como material aislante y como refrigerante disipando el calor hacia el exterior que generan las bobinas y el núcleo de un transformador eléctrico. Se utilizó la norma ASTM 877D para realizar diferentes tests para medir la ruptura dieléctrica del aceite con una máquina Huazheng HZJQ-1B, en donde se analizaron dos tipos de muestras de aceite por medio del incremento controlado de valores de tensión hasta que alcance su valor umbral de ruptura. Se utilizó un aceite nuevo y uno ya usado en el sistema aislante y refrigerante de un transformador. También se realizó una guía de usuario para el manejo de la máquina Huazheng HZJQ-1B, debido a que es un dispositivo nuevo y carecía de información acerca de cómo utilizarla y cuáles son los pasos para realizar los ensayos en la medición de la rigidez dieléctrica del aceite.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El funcionamiento sin fallos de los transformadores de potencia es un factor de gran importancia económica y de seguridad en las empresas de suministro de energía y en los consumidores industriales de electricidad. En el clima económico actual, las Industrias/Suministros de Servicios Públicos refuerzan su control sobre los gastos de capital y hacen recortes en el mantenimiento, se crea una mayor conciencia sobre la confiabilidad del suministro de energía eléctrica existente. El tiempo de inactividad es un bien escaso. A menudo, la carga aumenta en las unidades actuales, ya que esto diferirá la compra de capacidad de planta adicional. Por lo tanto, aumenta la tensión en el transformador. El efecto total neto de la tensión térmica, eléctrica y mecánica provocada por el aumento del servicio debe monitorearse para garantizar la confiabilidad. La toma de muestras y pruebas periódicas del aceite de aislamiento extraído de los transformadores es una técnica valiosa en un programa de mantenimiento preventivo. Si se adopta un enfoque proactivo basado en la condición del aceite del transformador, la vida útil del transformador puede extenderse. El agua, en cantidades diminutas, es dañina en los equipos eléctricos porque es atraída a los lugares de mayor tensión eléctrica y ahí es donde es más peligrosa. El agua acelera el deterioro tanto del aceite aislante como del papel aislante, liberando

más agua en el proceso (catalizado por calor). Este es un círculo sin fin y una vez que el aislamiento de papel se ha degradado (pérdida de resistencia mecánica) nunca puede (a diferencia del aceite) volver a su estado original [1].

Es por esta razón que se vio la necesidad de la realización de ensayos para determinar la rigidez del aceite de un transformador en un banco de pruebas, para prevenir que no exista calentamiento en los devanados del núcleo y garantizando con esto el adecuado suministro de energía eléctrica.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

Los beneficiarios directos del presente proyecto serán los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

4.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son los futuros estudiantes y docentes que puedan tener acceso a la utilización del banco de pruebas de para la determinación de la rigidez dieléctrica del aceite del transformador.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

El funcionamiento sin fallos de los transformadores de potencia es un factor de gran importancia económica y de seguridad en las empresas de suministro de energía y en los consumidores industriales de electricidad. La toma de muestras y pruebas periódicas del aceite de aislamiento extraído de los transformadores es una técnica valiosa en un programa de mantenimiento preventivo [2].

El problema al no realizar las pruebas de mantenimiento ocurre el envejecimiento prematuro del aislamiento de las bobinas de un transformador y con esto disminuye la resistencia dieléctrica del aceite, así como la disipación térmica. Produciendo con esto que ocurra pérdidas en el suministro de energía afectando la calidad y confiabilidad de la misma.

6. OBJETIVOS:

6.1. General

- Evaluar la rigidez dieléctrica del aceite de un transformador por medio de un test a través de un banco de pruebas.

6.2. Específicos

- Analizar información acerca de las diferentes Normas utilizadas para la medición de la rigidez dieléctrica del aceite en un transformador.
- Realizar diferentes test en el banco de pruebas para la determinación de la rigidez del aceite del transformador.
- Implementar una guía de usuario para los ensayos de la rigidez dieléctrica del aceite en el banco de pruebas.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:

Tabla 1: Matriz de Objetivos

Objetivos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Analizar información acerca de las diferentes Normas utilizadas para la medición de la rigidez dieléctrica del aceite en un transformador.	Recopilación de información necesaria sobre las pruebas que se realizan a los transformadores para medir la rigidez dieléctrica del aceite de un transformador	Información y regulaciones relacionadas con los criterios aplicados en un entorno de pruebas destinado a establecer la rigidez dieléctrica del aceite utilizado en transformadores.	Datos Recopilados Hojas de datos
Realizar diferentes test en el banco de pruebas para la determinación de la rigidez del aceite del transformador	Realización de pruebas con diferentes muestras de aceite mineral.	Test realizado en el banco de pruebas para determinar la rigidez dieléctrica de un transformador.	Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas para evaluar la rigidez dieléctrica de un transformador.
Implementar una guía de usuario para	Realización de un manual de usuario	Documentación escrita, gráfica y de resultados	Guía técnica de uso para la realización de nuevas pruebas.

los ensayos de la rigidez dieléctrica del aceite en el banco de pruebas	para el uso del banco de pruebas.		
---	-----------------------------------	--	--

Fuente: (Salazar R y Saltos D, 2023)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Transformador

Dispositivo que transfiere energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a uno o más circuitos, ya sea aumentando (aumentando) o reduciendo (disminuyendo) el voltaje. Los transformadores se emplean para propósitos muy variados; por ejemplo, para reducir el voltaje de los circuitos de energía convencionales para operar dispositivos de bajo voltaje, como timbres de puertas y trenes eléctricos de juguete, y para aumentar el voltaje de los generadores eléctricos para que la energía eléctrica pueda transmitirse a largas distancias. Los transformadores cambian el voltaje a través de la inducción electromagnética; es decir, a medida que las líneas de fuerza magnéticas (líneas de flujo) se acumulan y colapsan con los cambios en la corriente que pasa a través de la bobina primaria, se induce corriente en otra bobina, llamada secundaria. El voltaje secundario se calcula multiplicando el voltaje primario por la relación entre el número de vueltas en la bobina secundaria y el número de vueltas en la bobina primaria, una cantidad llamada relación de vueltas [3].

Los transformadores eléctricos son dispositivos que transfieren electricidad de un circuito a otro cambiando el nivel de voltaje, pero sin cambiar la frecuencia. Están diseñados para ser usados cuando se suministra corriente alterna (CA), como se puede apreciar en la Figura 1, lo que significa que la fluctuación en el voltaje de suministro se ve afectada por la fluctuación en la corriente. Por lo tanto, al variar la corriente, esto provocará una variación del voltaje y viceversa. Los transformadores desempeñan un papel crucial al incrementar o reducir los niveles de voltaje según la necesidad, lo que contribuye a elevar la seguridad y la eficacia de los sistemas de energía. Estos dispositivos tienen múltiples usos en aplicaciones tanto residenciales como industriales, siendo especialmente esenciales en la distribución y regulación de la energía a largas distancias, donde su función es mejorar significativamente la seguridad y eficiencia de los sistemas energéticos. [4]

El principio básico del funcionamiento de un transformador es el fenómeno de la inducción mutua entre dos devanados unidos por un flujo magnético común. Básicamente, un transformador consta de dos bobinas inductivas; devanado primario y devanado secundario. Las bobinas están separadas eléctricamente, pero unidas magnéticamente entre sí. Cuando el devanado primario está conectado a una fuente de voltaje alterno, se produce un flujo magnético alterno alrededor del devanado. El núcleo proporciona un camino magnético para que el flujo se conecte con el devanado secundario. La mayor parte del flujo se vincula con el devanado secundario, que se denomina "flujo útil" o "flujo" principal, y el flujo que no se vincula con el devanado secundario se denomina "flujo de fuga". Como el flujo electromagnético producido es alterno (es decir su dirección cambia continuamente), la Fuerza Electromotriz (FEM) se induce en el devanado secundario de acuerdo con la ley de inducción electromagnética de Faraday. Esta FEM se denomina "FEM mutuamente inducida", y la frecuencia de la FEM mutuamente inducida es la misma que la de la FEM suministrada. Si el devanado secundario es un circuito cerrado, la corriente inducida mutuamente fluye a través de él y, por lo tanto, la energía eléctrica se transfiere de un circuito (primario) a otro circuito (secundario) [5].

Figura 1: Transformador



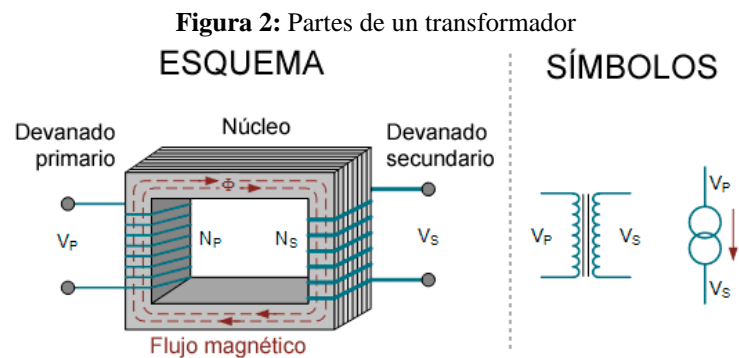
Fuente: [6]

8.2. Partes de un Transformador

Un transformador eléctrico consta de tres componentes importantes: un núcleo magnético, un devanado primario y un devanado secundario. El devanado primario está conectado a una fuente eléctrica y es donde se genera el flujo magnético. Estas bobinas están aisladas entre sí, y el flujo principal se induce en el devanado primario, pasa al núcleo magnético y luego se conecta al devanado secundario del transformador a través de un camino de baja reluctancia. El núcleo magnético transmite el flujo al devanado secundario, creando un circuito magnético que cierra el flujo. Se coloca una ruta de baja reluctancia dentro del núcleo para maximizar la vinculación del flujo.

El devanado secundario contribuye a completar el movimiento del flujo, que se inicia en el lado primario y, utilizando el núcleo, llega al devanado secundario (ver Figura 2). Al estar ambos devanados enrollados en el mismo núcleo, sus campos magnéticos se ayudan a crear este movimiento.

En todos los modelos de transformadores, el núcleo magnético se construye al colocar láminas de acero laminado en forma de pila, manteniendo entre ellas el espacio más reducido posible, asegurando así la continuidad del camino para el flujo magnético [7].



Fuente: [8]

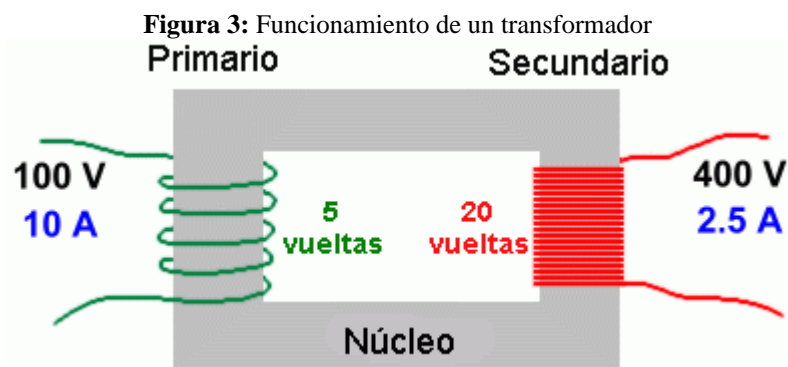
8.3. Funcionamiento de un transformador

El funcionamiento de un transformador eléctrico se fundamenta en la ley de inducción electromagnética de Faraday, que establece que "la velocidad de cambio del flujo magnético en relación al tiempo es proporcional a la fuerza electromotriz inducida en un conductor o bobina". La esencia física del transformador radica en la interacción mutua entre dos circuitos que están conectados mediante un flujo magnético compartido. Por lo general, un transformador posee dos bobinados: el primario y el secundario. Ambos bobinados comparten un núcleo magnético laminado, y esta mutua interacción entre los circuitos facilita la transferencia de electricidad de un punto a otro [9].

La cantidad de flujo enlazado entre los devanados primario y secundario determina las diferentes tasas de cambio en el enlace de flujo. Para garantizar el máximo enlace de flujo, es decir, el flujo máximo que pasa y se conecta al devanado secundario desde el primario, se coloca

una ruta de baja reluctancia que es común a ambos devanados. Esto aumenta la eficiencia del transformador y forma su núcleo.

Aplicar voltaje alterno a los enrollados del lado primario ocasiona un flujo alterno en el núcleo, creando un vínculo entre ambos enrollados para inducir FEM tanto en el lado primario como en el lado secundario. La FEM en el enrollado secundario da lugar a una corriente, conocida como corriente de carga, cuando se conecta una carga al segmento secundario. De esta manera, los transformadores eléctricos transfieren energía de CA desde un circuito (primario) a otro (secundario) mediante la conversión de la energía eléctrica de un valor a otro, como se ilustra en la Figura 3, alterando el nivel de voltaje, pero sin modificar la frecuencia. [9].



Fuente: [10]

8.4. Clasificación de los Transformadores

Los transformadores eléctricos se pueden clasificar en diferentes categorías según su construcción, construcción, suministro y propósito.

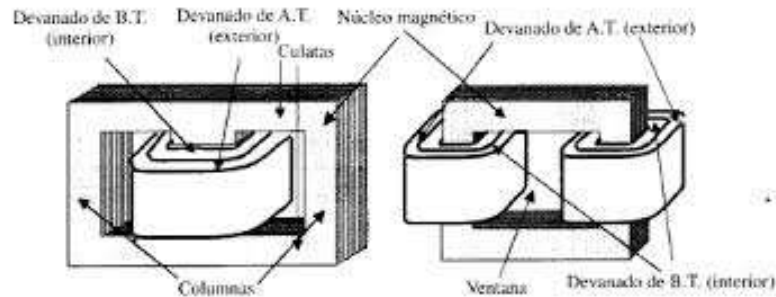
8.4.1. Según su construcción

Fundamentalmente existen dos tipos según la construcción de los transformadores:

- a. **Tipo acorazado:** El transformador tipo coraza tiene un circuito magnético doble y una rama central con dos ramas exteriores, en la construcción del transformador de tipo acorazado, los dos devanados suelen efectuarse en la misma rama del núcleo magnético.
- b. **Tipo núcleo (de columnas):** Este transformador presenta dos secciones horizontales con dos ramas verticales y un núcleo rectangular con un circuito magnético. Los dos bobinados se colocan en la rama central del transformador tipo núcleo. En un transformador de tipo núcleo, cada devanado puede incluso dividirse y devanarse en ambas ramas del núcleo rectangular [11].

Los nombres tipo acorazado y tipo núcleo se deben a que en el primero el transformador encierra a los devanados, mientras que en el segundo son éstos los que encierran al núcleo como se aprecia en el Figura 4.

Figura 4: Transformadores según se construcción



Fuente: [12]

8.4.2. Según el número de devanados

- a. **Transformador monofásico:** Un transformador monofásico tiene un solo juego de devanados, tiene dos polos: fase y neutro. Está formado por dos bobinados: uno que sirve para alta tensión y otro que se utiliza para baja tensión. Es común utilizar arreglos de transformador usando dos o tres transformadores para formar un sistema bifásico o trifásico [13].
- b. **Transformador bifásico:** Está constituido por dos fases y un neutro, además, están conformados por 4 bobinados: dos que son usados para alta tensión y dos utilizados para baja tensión. Su uso más común es para instalaciones comerciales o en aplicaciones especiales.
- c. **Transformador trifásico:** Un transformador de tres fases (o comúnmente llamado trifásico) consta de tres juegos de devanados primarios utilizados para alta tensión y secundarios usados para baja tensión, estos bobinados conforman un banco de tres transformadores monofásicos. El transformador trifásico se utiliza principalmente para la generación, transmisión y distribución de energía en las industrias. Este transformador típicamente se conecta en estrella o delta o cualquier combinación de ellas [13].

En el Figura 5 se puede apreciar los diferentes tipos de transformadores que existen de acuerdo al número de bobinados que presentan.

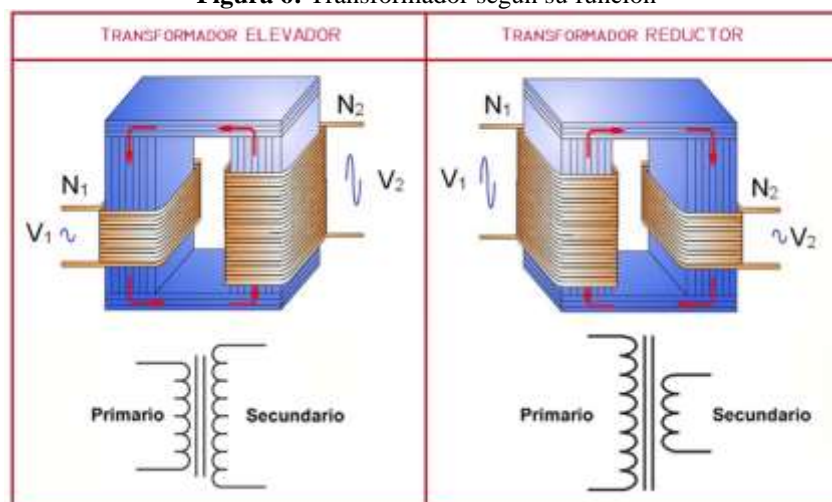
Figura 5: Transformador según el devanado

Fuente: [13]

8.4.3. Según su función

- a. **Transformador Elevador:** Este tipo está determinado por el número de vueltas de cable que forma el bobinado. Entonces, si el conjunto de espiras presentes en el secundario tiene un mayor número de vueltas que en el lado del primario, significa que el voltaje de salida será mayor que el voltaje de entrada lo que corresponde a un transformador elevador.
- b. **Transformador Reductor:** Este tipo de dispositivo se utiliza típicamente en redes de transmisión para luego pasar a redes de distribución disminuyendo el voltaje presente en el transporte ya que se necesitan valores grandes para cubrir distancias largas, pero para su distribución en zonas de consumo se necesita valores de tensión bajos, su mecanismo es exactamente el opuesto al de un transformador elevador [14].

En la Figura 6 se muestra dos transformadores un elevador y un reductor.

Figura 6: Transformador según su función

Fuente: [15]

8.4.4. Según su Uso

- a. **Transformador de Potencia:** Se emplean para ajustar los niveles de voltaje en un circuito de corriente alterna, manteniendo constante la potencia; en su mayoría se utilizan para transportar energía a largas distancias.
- b. **Transformador de distribución:** suministra la última etapa de transformación en la red de distribución de energía eléctrica.
- c. **Transformador de instrumentos:** Este dispositivo eléctrico tienen como objetivo el convertir grandes valores de corriente y tensión a valores pequeños que son fácilmente aplicables para los propósitos de medición se subdivide en transformadores de corriente y de potencial [16].

8.4.5. Según su sistema de enfriamiento

- a. **Transformadores Llenos de Aceite Auto Enfriados:** Este tipo se emplea generalmente en pequeños transformadores de hasta 3 MVA y está diseñado para enfriarse por el flujo de aire circundante.
- b. **Transformadores llenos de aceite enfriados por agua:** Este tipo de transformador eléctrico emplea un intercambiador de calor para facilitar la transferencia del calor del aceite al agua de enfriamiento.
- c. **Transformadores enfriados por aire (Air Blast):** En este tipo de transformador, el calor que se genera se enfría con la ayuda de sopladores y ventiladores que fuerzan la circulación de aire en los devanados y el núcleo [17].

8.5. Sistema de Aislamiento en transformadores

Los materiales de aislamiento eléctrico son una parte vital de los transformadores, ya que deben soportar las temperaturas de funcionamiento que se producen durante la vida útil del transformador. La vida útil de un transformador depende de la fiabilidad del aislamiento utilizado. El aislamiento de un transformador de potencia se controla según las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM). Algunas de las pruebas descritas en estos estándares incluyen, voltaje de ruptura del aceite, ruptura dieléctrica, análisis de gas disuelto (DGA), detección de compuestos anticorrosivos y valor de despolimerización (DP) [18].

8.6. Aceite para enfriamiento

El aceite para aislamiento de transformadores se puede dividir en dos grupos principales, aceite de base mineral y aceite de base vegetal. El primero se ha utilizado convencionalmente en la industria durante muchos años y el segundo se introdujo para combatir las desventajas del aceite aislante de base mineral, como la baja resistencia al fuego, la dependencia de la fuente de petróleo y el efecto destructivo en el suelo y el agua durante las fugas [19]. Además de las desventajas técnicas, la aceleración del precio del aceite de aislamiento convencional y los efectos ambientales que se derivan también han contribuido a la exploración del aceite vegetal como alternativa. [20].

Hoy en día, existen diversos tipos de fluidos utilizados como aislantes en transformadores de distribución y potencia. La Tabla 2 presenta un resumen de cómo se aplican los líquidos aislantes en estos transformadores.

Tabla 2: Grado de uso de aceites aislantes

TRANSFORMADORES	ACEITE MINERAL	SILICONAS	ÉSTERES SINTÉTICOS	ÉSTERES NATURLES (aceites vegetales)
POTENCIA	USADO	NO USADO	USADO	USADO
DISTRIBUCIÓN	USADO	USADO	USADO	USADO
MEDICIÓN	USADO	NO USADO	NO USADO	NO USADO

Fuente: [21]

8.7. Aceites Dieléctricos

De acuerdo a [22] los aceites desempeñan el papel de líquidos dieléctricos y refrigerantes en Transformadores de distribución, medición y potencia. Estos aceites pueden ser de origen natural o sintético, derivados de semillas o elementos inorgánicos. Los fluidos dieléctricos son estables a altas temperaturas y tienen propiedades de refrigeración. Entre sus características principales, destacan su función como aislantes para los componentes metálicos del transformador y su capacidad para prevenir la formación de arcos eléctricos en los devanados, al oponerse a la tensión eléctrica entre las bobinas. Además, poseen baja viscosidad, lo que facilita la circulación del lubricante y, por lo tanto, la refrigeración de los componentes, ya que pueden disipar grandes cantidades de calor.

8.8. Aceites minerales dieléctricos.

Basándose en [23], los aceites dieléctricos de origen mineral son extraídos de un subproducto derivado del petróleo, donde prevalecen los hidrocarburos nafténicos. Las características del aceite dieléctrico provienen de la presencia de hidrocarburos en la proporción siguiente.

- Hidrocarburos Aromáticos 50 a 60%.
- Hidrocarburos Parafínicos 45 a 55%.
- Hidrocarburos Nafténicos 4 a 7%.

Ventajas

- Menor Viscosidad

Desventajas

- No Biodegradable.
- Tóxico.
- Mayor riesgo de accidente en la manipulación.
- Mayor riesgo para las instalaciones.
- Inflamable temperatura de 160 ° C.
- Sin estabilidad a altas temperaturas.
- No compatible con la mayoría de materiales usados.
- Menor tolerancia de la humedad.
- Menor vida operacional en transformadores.
- Características térmicas bajas.
- Mayor riesgo de explosión e incendios.

8.9. Aceites vegetales dieléctricos.

Según [23], se emplea un refrigerante dieléctrico resistente al fuego, cuya base es un éster natural, y está especialmente diseñado para su uso en transformadores de distribución. Este refrigerante presenta ventajas debido a sus propiedades únicas en términos ambientales, químicos y eléctricos, así como su seguridad contra incendios. Además, conserva sus propiedades dieléctricas incluso bajo niveles elevados de humedad. Los aceites vegetales, por otro lado, no sostendrán una llama a menos que haya una fuente de alta energía para la ignición.

Como resultado, las distancias requeridas para mantener la seguridad se ven disminuidas, y hay una menor necesidad de implementar sistemas para controlar incendios y sistemas de rociadores. Los subproductos resultantes de la combustión de aceites vegetales son agua, dióxido de carbono y monóxido de carbono, los cuales son menos nocivos en comparación con los subproductos del fuego de aceite mineral, como el carbón, el nitrógeno y los óxidos sulfúricos.

Ventajas

- Biodegradable.
- No tóxico.
- Menor riesgo de accidente en la manipulación.
- Menor riesgo para las instalaciones.
- Difícilmente inflamable (seguridad contra incendios).
- Buena rigidez dieléctrica.
- Estabilidad a altas temperaturas.
- Compatible con la mayoría de materiales usados.
- Mejor tolerancia de la humedad.
- Mayor vida operacional en transformadores.
- Absorción de gases (se liberan menos gases ante un arco).
- Excelentes características térmicas.
- Menor riesgo de explosión e incendios

Desventajas

- Mayor Viscosidad.
- Tienen tendencia a la gelificación al contacto con el aire, por tanto, deben utilizarse en taques herméticamente sellados para evitar este fenómeno.

Los aceites de origen vegetal poseen un historial de seguridad y resistencia al fuego notable, que no disminuye con el transcurso del tiempo. El punto de ignición de los aceites vegetales, según las regulaciones establecidas por ASTM D-6871 y la norma ISO 2719, se sitúa entre los 275°C y 300°C, mientras que el punto de inflamación, conforme a ASTM D-6871 y la norma

ISO 2592, oscila entre los 300°C y 330°C, en comparación con los 160-180°C del aceite mineral.

8.9.1. Viscosidad

SAE, que es la abreviatura de “*Society of Automotive Engineers*” la Sociedad de Ingenieros Automotrices en español, es responsable de crear clasificaciones basadas únicamente en la viscosidad de los aceites. Esta clasificación se lleva a cabo midiendo la viscosidad en frío a diferentes temperaturas bajo cero, por un lado, y a temperatura alta 100 °C, por otro. Consta con una numeración como por ejemplo SAE 0W-20, la parte “OW” W es aceite denominado categoría invierno (“Winter”), mide como el motor arranca en frío y su funcionamiento a temperaturas bajas, el numero 20 hace mención a su baja viscosidad en climas fríos. Entonces si el valor es menor antes de la letra W quiere decir que el aceite funcionará mejor a menores temperaturas e igualmente mientras más bajo el número que continua la viscosidad del aceite será de menor viscosidad [24] [25].

Para aplicaciones industriales en cambio se utiliza el estándar ISO 3448, para aceites utilizados en la industria y estos tienen un rango de viscosidad que va desde los 2 hasta el 3,200, siendo 2 la viscosidad más baja y 3,200 la más alta. Unidades de viscosidad medidas en centiStokes (viscosidad cinemática) a 40°C. Estos aceites se utilizan en la industria en donde se pueden presentar cargas grandes, condiciones ambientales variables, condiciones eléctricas, y ambientes polvorientos [24].

La unidad para medir viscosidad es el stoke que equivale a $1 \text{ m}^2/\text{s}$ (metro por segundo), pero en la práctica se utiliza el centistokes (cSt) que equivale a la centésima parte del stoke (cm^2/s) y que es una medida de la viscosidad cinemática de un líquido, que se utiliza comúnmente para medir la viscosidad de los aceites, lubricantes y otros fluidos [26].

8.9.2. Comparación de la rigidez dieléctrica entre aceites minerales y aceites vegetales en términos de resistencia a la ruptura.

Tabla 3. Comparación de diferentes niveles de rigidez dieléctrica

Líquido	Ruptura dieléctrica (ASTM D 877) KV	Ruptura dieléctrica (ASTM D 1816) KV
Aceite Vegetal	52	36
Aceite Mineral	50	35

Fuente: [24]

La Tabla 3 muestra los valores de ruptura dieléctrica según las normas ASTM D 877 y ASTM D 1816. Los aceites vegetales son miscibles, lo que significa que se pueden mezclar de manera uniforme con aceite mineral para el aislamiento de transformadores. Por lo tanto, si un transformador contiene aceite mineral y se necesita rellenarlo, es posible hacerlo con aceite vegetal. Sin embargo, la mezcla de aceites vegetales con el aceite mineral convencional para transformadores reducirá el punto de ignición y el punto de inflamación del aceite vegetal a base de ésteres [24]

8.10. Rigidez Dieléctrica del Aceite de un transformador

La rigidez dieléctrica de un medio mide el mayor valor de campo eléctrico que soporta antes de volverse conductor. Es uno de los principales parámetros, por cuyo valor se puede juzgar la calidad y el estado actual del aislamiento líquido de un transformador. Físicamente, la rigidez dieléctrica es la intensidad mínima del campo eléctrico a la que se produce una ruptura eléctrica de un dieléctrico líquido. Normalmente, la unidad utilizada para medir la rigidez dieléctrica son los voltios por centímetro (V / cm). La rigidez dieléctrica de los dieléctricos líquidos en general y de aceite del transformador en particular se ha investigado y estudiado durante más de cien años [25].

Para evaluar la condición de los líquidos y materiales aislantes, se emplean diversas pruebas físico-químicas. Una de ellas es la prueba de rigidez dieléctrica del fluido aislante, la cual se lleva a cabo en muestras de fluidos dieléctricos, que habitualmente incluyen aceites minerales aislantes, aceites vegetales aislantes o fluidos de silicona. El propósito de esta prueba es determinar la tensión máxima que el fluido dieléctrico puede resistir antes de que ocurra una ruptura dieléctrica. Realizar esta prueba con fluidos y materiales aislantes es esencial para asegurar la integridad y la fiabilidad operativa de los equipos eléctricos.

8.10.1. Dieléctrico

Los dieléctricos son medios aislantes, es decir, dificultan el paso de la corriente eléctrica. Estos medios tienden a polarizarse cuando se someten a campos eléctricos externos de alta intensidad. El aire atmosférico, por ejemplo, es un buen dieléctrico, y para que este medio conduzca electrones, es necesario que se le aplique un gran campo eléctrico. Cuanto mayor sea la rigidez dieléctrica de un medio, mejor aislante será.

Cuando se polarizan, los dieléctricos producen un campo eléctrico en el interior que se opone al campo eléctrico externo. Sin embargo, si el campo eléctrico externo presenta valores superiores al límite del campo eléctrico de polarización, la corriente eléctrica fluirá a través del dieléctrico, que tendrá, aunque sea momentáneamente, propiedades conductoras. El nombre de este proceso es descomposición de la rigidez dieléctrica.

8.10.2. Constante dieléctrica x Rigidez dieléctrica

A veces es común confundir los términos constantes dieléctrica y rigidez dieléctrica. Aunque tienen nombres similares, son conceptos diferentes:

Constante dieléctrica: se define en base a la relación de la permisividad eléctrica de un medio por la permisividad eléctrica del vacío. Esta propiedad se aplica en los capacitores, ya que se intenta insertar medios con constantes dieléctricas altas entre sus placas, aumentando así su capacitancia.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Ecuación constante dieléctrica

ϵ → constante dieléctrica del medio

ϵ_0 → constante dieléctrica del vacío

ϵ_r → constante dieléctrica relativa

Rigidez dieléctrica: mide el campo eléctrico máximo que soporta un medio aislante antes de convertirse en conductor. Cuando esto sucede, decimos que la rigidez dieléctrica del material se ha roto. La rigidez dieléctrica generalmente se mide en V/m (voltios por metro) o kV/mm (kilovoltios por milímetro).

8.10.3. ¿Cuáles son los factores que comprometen la Rigidez Dieléctrica del aceite aislante de un transformador?

El aceite aislante de un transformador actúa en un sistema cerrado. Cabe aclarar que un transformador es un equipo eléctrico estático, destinado a transmitir energía eléctrica (o potencia eléctrica) de un circuito a otro. El paso de corriente eléctrica entre los componentes del transformador genera un campo electromagnético. Para aislar este campo, todos estos componentes se montan dentro de un tanque de acero y este tanque se llena con aceite aislante para transformadores.

Cuando los componentes del transformador (núcleo y bobinas) están en funcionamiento, el paso de la corriente eléctrica genera calentamiento, y el calor generado puede provocar la degradación térmica del material aislante. Así, el aceite mineral aislante para transformadores, además de actuar en el aislamiento del sistema, tiene como otra función principal la de refrigeración. Con esto también podemos decir que el aceite mineral aislante para transformadores es un aceite refrigerante.

Dicho esto, y por ahora sabiendo que el aceite para transformadores eléctricos opera en sistema cerrado, los factores que normalmente interfieren en la Rigidez Dieléctrica del fluido aislante, con el consiguiente deterioro y envejecimiento del aislamiento del transformador, son:

- **Agua:** la presencia de agua en solución o suspensión interfiere en las propiedades aislantes. Por eso, al llenar los transformadores con aceite mineral aislante, se produce la deshidratación del fluido en un dispositivo de termo vacío.

- **Partículas Sólidas:** las partículas sólidas suspendidas en el aceite lubricante de los transformadores, si bien no son conductoras ni magnéticas, pueden causar efectos similares a los del agua. Más nociva aún es la presencia de sustancias polares disueltas en el aceite mineral aislante, ya que deterioran las propiedades dieléctricas y contribuyen a su envejecimiento. La reducción de partículas sólidas se debe realizar, tratando el aceite del transformador eléctrico en un equipo de termo filtro.

– **Gases y Aireación:** si hay gases disueltos en el aceite del transformador de energía, esto contribuye mucho a deteriorar su capacidad aislante. Debe evitarse la aireación del aceite mineral de transformación o su contacto con el aire, para que no se produzca la ionización del líquido y la consiguiente conducción eléctrica indebida en el interior del equipo.

Tabla 4 Rigidez y constante dieléctrica de diversos materiales

Material	ϵ_r	Resistencia dieléctrica (kV /mm)
Aceite	2.24	12
Agua a 20°C	80	-
Aire	1.0006	3
Baquelita	4.9	24
Mica	5.4	10
Neopreno	6.9	12
Papel	3.7	16
Parafina	2.3	10
Porcelana	7	5.7
Vidrio Pyrex	5.6	14

Fuente: [26]

Algunos factores como la temperatura, la presencia de impurezas y fallas estructurales (en dieléctricos sólidos) pueden influir en gran medida en la rigidez dieléctrica de un material.

8.11. Vida útil de un Aceite Aislante

La vida útil de un aceite usado no puede determinarse mediante un simple conteo de años, ya que su degradación está influenciada por diversas variables. Estos factores incluyen las condiciones de operación, el régimen de carga del transformador, el diseño del equipo, la composición del aceite usados y la presencia de inhibidores, tanto naturales como sintéticos.

Algunos expertos sugieren que la vida útil de un aceite transparente puede definirse como el tiempo que transcurre hasta que el aceite alcance un Número de Neutralización de 3,0 mg KOH/g. Este valor se alcanza en función de la cantidad de aire disuelto en el aceite, la hidrólisis del agua presente en el transformador, la destrucción de la celulosa y, de manera significativa, la temperatura del transformador.

través de la experiencia, se ha establecido que un criterio para evaluar la vida útil del aceite es determinar el punto de saturación de sus productos de oxidación. Esta condición se establece cuando la acidez del aceite, medida mediante la prueba ASTM D-974 (Número de Neutralización), alcanza un valor de 0,1 mg KOH/g, y la tensión Interfacial se mide mediante otra prueba [mencionar el método de prueba correspondiente]. Estos indicadores disponen de información valiosa sobre la calidad y el estado del aceite que deben beber [26].

8.12. Propiedades de los Aceites Dieléctricos

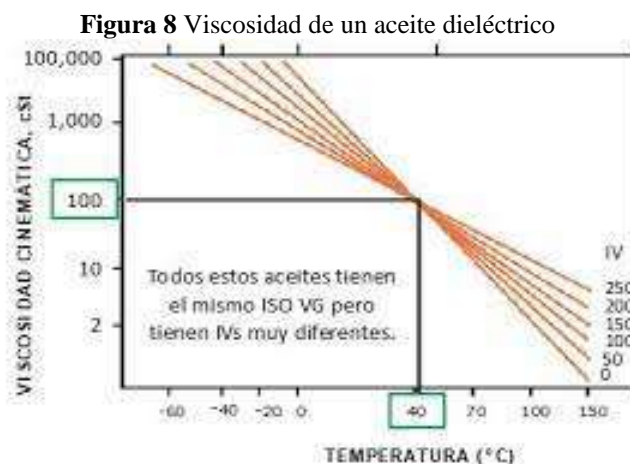
Para asegurar el correcto funcionamiento de un aceite dieléctrico, es fundamental que presente ciertas características físicas, químicas y eléctricas esenciales. Entre las más destacadas se encuentran las siguientes:

8.12.1. Propiedades Físicas

a) Viscosidad

La viscosidad de un fluido se define como la resistencia que este presenta al moverse o deslizarse sobre una superficie sólida. En el caso de los aceites dieléctricos, su nivel de viscosidad es crucial, ya que afecta directamente su capacidad de enfriamiento dentro del transformador. Es fundamental que los aceites dieléctricos tengan una viscosidad baja para facilitar una disipación eficiente del calor generado durante el funcionamiento del transformador [27].

La Figura 8 muestra el patrón convencional del cambio en la viscosidad de un aceite dieléctrico en función de las fluctuaciones de temperatura.



Fuente: [28]

b) Punto De Fluidéz

El punto de fluidez de un aceite se refiere a la temperatura en la cual el aceite deja de fluir cuando se somete a un proceso de enfriamiento gradual. Este parámetro es útil para distinguir entre diferentes tipos de aceites de consumo. Un punto de fluidez igual o mayor a 0°C indica la presencia predominante de hidrocarburos parafínicos, mientras que los puntos de fluidez alrededor de -10°C son característicos de las fracciones de petróleo con predominio de hidrocarburos isoparafínicos. y -35°C, mientras que las fracciones de hidrocarburos aromáticos pueden llegar a tener puntos de fluidez en el rango de -40 a -60°C.

c) Punto De Inflamación

La temperatura más baja a la cual un aceite emite suficientes vapores para crear una mezcla explosiva con el oxígeno del aire en presencia de una llama se denomina punto de inflamación. En el caso de los aceites dieléctricos, se ha fijado un valor mínimo de 145°C para el punto de inflamación, y a medida que este valor es más alto, se asegura una mayor seguridad en su uso en transformadores e interruptores de potencia.

d) Tensión Interfacial

Es fundamental considerar que la capacidad de un líquido para disolverse en otro y su espesor se ven fuertemente afectados por su tensión superficial. Cuando dos líquidos tienen una marcada disparidad en su tensión superficial, tienden a no mezclarse, como sucede con el aceite y el agua. A pesar de ello, en la zona de contacto entre dos líquidos insolubles, existe una interacción molecular que puede modificar la tensión superficial en ese lugar, siguiendo un patrón estándar.

En ciertas ocasiones, pueden formarse compuestos a partir de la debilitación natural de los aceites dieléctricos de origen mineral, los cuales son solubles tanto en agua como en aceite, alterando así la tensión interfacial. Esto puede provocar un aumento significativo en la humedad de saturación del aceite y hacer más conductor de la electricidad. La tensión interfacial mínima aceptable para aceites dieléctricos, evaluada mediante el método ASTM D-971, es de 40 dinas/cm.

e) Punto De Anilina

La temperatura en la cual un aceite dieléctrico se mezcla completamente con una cantidad igual de anilina se emplea como un indicador de calidad. Un aceite dieléctrico con un alto contenido de componentes aromáticos se disolverá a una temperatura más baja. Normalmente, las temperaturas de disolución que oscilan entre 78 y 86°C se consideran indicativas de un dieléctrico de buena calidad. Esta evaluación se realiza siguiendo el método ASTM D-611, con una temperatura de disolución recomendada entre 63 y 84°C.

f) Color

La intensidad del color en el aceite dieléctrico está directamente relacionada con la predominancia de ciertos tipos de hidrocarburos en su composición. Por ejemplo, las fracciones con predominio de parafinas e isoparafinas tienen un color blanco y transparente, semejante al agua. Las fracciones ricas en naftenos pueden presentar una variación de tonos, desde un amarillo claro hasta un matiz verdoso. Por el contrario, los aceites con una cantidad mayor de hidrocarburos aromáticos exhiben colores que van desde un amarillo rojizo (naranja) hasta tonos marrones oscuros.

En el caso de los aceites dieléctricos, se ha fijado un límite superior de coloración de 0.5 (color amarillo claro), con el objetivo de que el aceite muestre una tendencia hacia la presencia de naftenos. La evaluación del color se lleva a cabo utilizando el método ASTM D-1500.

8.12.2. Propiedades Eléctricas

a) Factor De Potencia

El factor de potencia se utiliza para medir las pérdidas de corriente que ocurren dentro del equipo durante su funcionamiento. Estas pérdidas de corriente son causadas por la presencia de compuestos polares en el aceite, ya su vez, pueden generar aumentos de temperatura anormales en los equipos cuando están bajo carga.

8.12.3. Propiedades Químicas

a) Estabilidad a la Oxidación

Los aceites dieléctricos están expuestos a diversas condiciones durante su funcionamiento, como la presencia de aire, altas temperaturas y la influencia de metales catalizadores, como hierro y cobre. Estos factores pueden dar lugar a cambios químicos en el aceite, resultando en

la formación de ácidos y lodos. Los ácidos pueden dañar el tanque del transformador y reducir significativamente la capacidad conductiva del aceite, lo que conlleva a pérdidas eléctricas. temperaturas, lo que también resulta en pérdidas de potencia eléctrica.

Es evidente que es fundamental minimizar la presencia de estas sustancias dañinas (ácidos y lodos). Por esta razón, es esencial utilizar aceites refinados que tengan una resistencia óptima a la oxidación y estabilidad química, lo que garantizará largos períodos de funcionamiento y prolongará la vida útil de los equipos.

8.12.4. Composición de un Aceite Dielectrico

La gran mayoría de los lubricantes dieléctricos se componen de aceites minerales sin aditivos, y solo en casos de aplicaciones más exigentes se utilizan aceites capturadores con inhibidores de oxidación. El proceso de fabricación implica la destilación del crudo y su posterior refinación a través de tratamientos como el tratamiento por ácidos, la extracción por solventes o la hidrogenación.

8.12.5. Aceites Bases

Los hidrocarburos, como sugiere su nombre, son sustancias formadas principalmente por carbono e hidrógeno, acompañadas de impurezas inherentes al petróleo, como azufre y, en cantidades menores, nitrógeno. Es relevante destacar que no todos los hidrocarburos presentes en los productos derivados del petróleo son idóneos para desempeñar eficazmente las funciones necesarias en los aceites dieléctricos utilizados en transformadores e interruptores de potencia.

Los aceites dieléctricos se formulan a partir de una combinación de hidrocarburos nafténicos, isoparafínicos y aromáticos, con la proporción variando según el tipo de petróleo utilizado y el método de refinación aplicado. Cada categoría de hidrocarburo aporta distintas propiedades al producto final, las cuales se detallan a continuación:

a) Aromáticos

- Coeficiente de expansión bajo, lo que dificulta la disipación de calor y, por ende, afecta la función de refrigeración que le corresponde al aceite dieléctrico, especialmente en situaciones de exceso de calor.

- Baja estabilidad a la oxidación, Sin embargo, tienen la capacidad de crear compuestos químicos duraderos que no provocan reacciones de oxidación posteriores, funcionando como "capturadores" de oxígeno.
- Una elevada capacidad de disolver lacas y resinas (con un bajo punto de anilina) puede representar un riesgo para la aislación de los devanados, dependiendo de las características particulares de las lacas y resinas empleadas en el recubrimiento.

Es importante tener en cuenta que el lodo, generado por la oxidación temprana de los compuestos aromáticos, tiende a acumularse en los conductos por donde circula el aceite, lo que dificulta su función de refrigeración. No obstante, algunos compuestos aromáticos actúan como inhibidores naturales de oxidación, lo que hace que su presencia en pequeñas proporciones sea deseable y necesaria para el adecuado funcionamiento del aceite.

b) Isoparafínicos

- Su punto de fluidez es más bajo en comparación con los aceites parafínicos, lo que facilita el flujo del aceite a bajas temperaturas y mejora su función de refrigeración.
- Presentan una menor tendencia a la formación de gases, lo cual es altamente beneficiosa para el funcionamiento de los transformadores.
- Además, posee una buena estabilidad a la oxidación, lo que contribuye a mantener la calidad del aceite a lo largo del tiempo.

c) Nafténicos

- Presenta una excelente estabilidad a la oxidación.
- Demuestra una fluidez óptima a bajas temperaturas.
- Presenta una escasa propensión a generar gases y carbón durante descargas eléctricas.
- Posee un coeficiente de expansión aceptable
- Muestra una alta tensión interfacial.

Los aceites minerales que presentan un balance adecuado de hidrocarburos demuestran un rendimiento sobresaliente a lo largo de muchos años, incluso durante toda la vida útil del transformador. Sin embargo, en situaciones donde los transformadores enfrentan condiciones extremas, la oxidación del aceite podría ocurrir en un plazo más corto. Por lo tanto, en tales

circunstancias, es más aconsejable emplear un aceite que incluya aditivos antioxidantes o inhibidores de la oxidación.

Estos aditivos representan sustancias que extienden de manera considerable el período de inducción de la oxidación. El compuesto más comúnmente empleado como inhibidor de oxidación en los aceites dieléctricos es un compuesto generalmente denominado Di-Butil Paracresol, el cual puede presentar ligeras diferencias en su composición dependiendo de su origen o el proceso de producción utilizado. Al igual que los aceites sin inhibidores, estos deben estar libres de cualquier otro tipo de aditivos. Cabe destacar que no todos los aceites dieléctricos reaccionan de la misma manera ante los inhibidores de oxidación, por lo que es conveniente conocer la "susceptibilidad del aceite frente al inhibidor de oxidación" para evitar resultados no deseados debido a la excesiva cantidad de inhibidores. También es importante tener en cuenta la toxicidad de estos inhibidores.

La Figura 9 muestra de manera gráfica todo el procedimiento de producción de un aceite dieléctrico, ya sea a través del tratamiento con ácidos, la extracción mediante solventes o el enfoque más preferido en la actualidad, que es la hidrogenación, principalmente debido a su impacto ambiental reducido.

Figura 9 Diagrama del Proceso de Fabricación de un Aceite Dieléctrico



Fuente: [20]

8.12.6. Categorización de los Fluidos Dieléctricos

Las propiedades y el comportamiento de los fluidos dieléctricos comparten semejanzas con los aceites empleados en las turbinas. Ambos tipos de líquidos circulan a temperaturas que varían desde moderadas hasta elevadas (aproximadamente 40 a 95°C) durante períodos prolongados y mantienen un contacto constante con el aire y los metales. Los fluidos dieléctricos se distinguen por su tonalidad clara y baja viscosidad (ISO 15 o inferior). Las directrices para los fluidos dieléctricos han sido establecidas a nivel internacional por organizaciones oficiales y asociaciones de profesionales e industriales, con el propósito de garantizar:

- Una producción con estándares de calidad uniformes.
- Un rendimiento óptimo durante toda la vida útil, que en ningún caso debería ser inferior a cinco (5) años, cuando se emplee de manera adecuada en dispositivos de alta capacidad.

Las normas internacionales más ampliamente aceptadas y adoptadas provienen de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (American Society of Testing and Materials, ASTM). Esta entidad categoriza los fluidos dieléctricos en dos tipos, denominados tipo 1 y tipo 2, de acuerdo con la norma ASTM D-3487.

8.13. Funciones del papel aislante dentro del transformador.

Existen cuatro funciones básicas que un papel usado de calidad debe cumplir dentro del transformador:

- Resistencia eléctrica: Debe tener la capacidad de soportar altos voltajes, incluidos esfuerzos de impulso y transitorios de sobre-corrientes y/o sobretensiones.
- Resistencia mecánica a la tracción: Debe ser capaz de soportar adecuadamente los esfuerzos axiales originados en cortocircuitos.
- Capacidad de soportar temperaturas y eficiente conducción de calor.
- Habilidad para conservar sus propiedades favorables a lo largo del período.

El papel usado, en condiciones de expectativa de vida útil al 100%, puede estar compuesto por entre 1.000 y 1.500 moléculas de glucosa. Estas moléculas se conforman por la unión de múltiples átomos en estructuras complejas. El peso molecular de la mayoría de la puede alcanzar hasta 1.500 [29].

Figura 10. Papel aislante para transformador

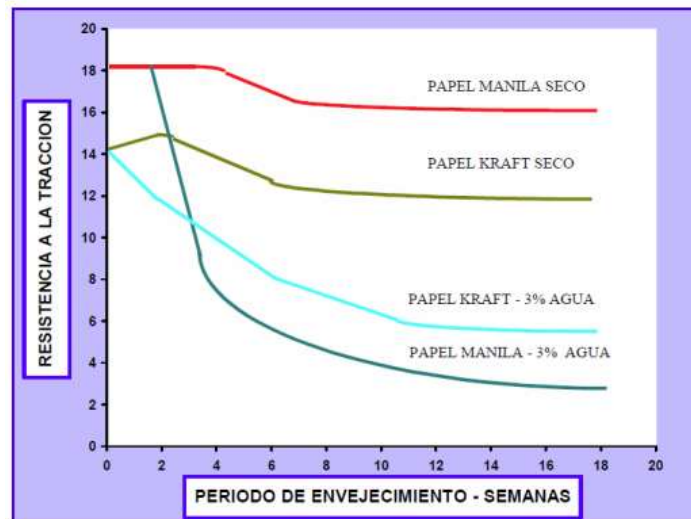


Fuente: [30]

El Grado de Polimerización (GP) se considera como un indicador del deterioro térmico del papel impermeable y, por lo tanto, de su cristalización y reducción en la resistencia a la tracción mecánica. El GP se define como el número de moléculas de glucosa que componen la gran molécula de celulosa. Esta medida puede variar significativamente según la fuente del material y el método utilizado en su fabricación. [29].

8.13.1. El Papel Kraft

Los materiales celulósicos empleados para la fabricación de papel son comúnmente obtenidos a partir de pulpas de madera mediante el proceso Kraft. Esta técnica involucra la cocción de troncos de madera utilizando una solución alcalina de sulfato de sodio e hidróxido de sodio, donde el sulfato de sodio actúa como catalizador, lo que da origen al nombre del proceso. Este método también es conocido como el procedimiento de cocción al sulfato. Cuando estos papeles están impregnados con un buen aceite de uso libre de agua eléctrica y productos de oxidación, resulta ser uno de los mejores sistemas de aislamiento. Posee una estabilidad térmica excepcional y exhibe un buen comportamiento de resistencia a la tracción, mostrando una mayor resistencia al envejecimiento y al agua en comparación con otros tipos de papeles dieléctricos [31], por ejemplo como se muestra en la figura 11:

Figura 11. Curvas de envejecimiento del Papel

Fuente: [32]

El papel Kraft presenta cuatro características importantes que es necesario comprender:

Tiene una resistencia aceptable a la tracción mecánica a lo largo del tiempo, gracias al proceso de cocción al sulfato.

- El papel Kraft es extremadamente poroso, lo que lo convierte en un adsorbente de los productos de degradación del aceite desde las etapas iniciales. Dentro del transformador, podemos considerarlo como un regenerador del aceite.
- Posee una alta afinidad con el agua, especialmente en la zona inferior de las bobinas donde las temperaturas son más bajas. Por lo tanto, el papel aislante dentro del transformador actúa de manera similar a un filtro prensa.
- El papel Kraft actúa como catalizador en el proceso de oxidación de los hidrocarburos del aceite transparente.

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:

Con la realización de test en un banco de pruebas, se podrá medir la rigidez dieléctrica de un aceite mineral nuevo y de un aceite mineral ya utilizado en un transformador

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación es de tipo documental y bibliográfica ya que se procedió a la consulta de acervos bibliográficos, bases de datos, fuentes de repositorios, manuales [33].

Donde se analizó la información recolectada en estos medios y con esto se empezó a desarrollar el trabajo de investigación.

También es de carácter experimental, ya que se procederá a medir el voltaje de ruptura que se produce entre los bobinados de un transformador por medio de un ensayo en un dispositivo adecuado para ello, es decir tomamos un conjunto de variables que se mantienen constantes para medir otra variable que fue sujeto de experimentación [34].

10.1. Análisis del Estándar según la Norma ASTM

Para la realización del presente trabajo se analizó diferentes bases de datos, en las cuales se manifiesta que la realización de pruebas para determinar la rigidez dieléctrica del aceite es fundamental para realizar un mantenimiento preventivo en un transformador y evitando así que este produzca fallas y pueda ser objeto de daño y destrucción. Bajo este concepto se encontró que según la Norma ASTM y bajo las características de la máquina (Huazheng HZJQ-1B) obtenida, los estándares que se pueden utilizar para equipos que cuenten con electrodos esféricos o semiesféricos son las Normas: ASTM 877 y ASTM 1816.

En la Tabla 5 se detallan los límites aceptados para la rigidez dieléctrica. Para llevar a cabo esta prueba, existen dos normativas claramente definidas, que se distinguen principalmente por el tipo de electrodos utilizados. Conforme a las NORMAS [23]. esto aplica tanto a aceites minerales como a aceites vegetales.

Tabla 5. Límites aceptados para la rigidez dieléctrica conforme a regulaciones estándar.

Norma	Valor de rigidez dieléctrica permisible
ASTM D877	Aceites usados: 25 KV mínimo
	Aceites nuevos: 35 KV mínimo
ASTM D1816	Aceites usados: 20 KV mínimo
	Aceites nuevos: 30 KV mínimo

Fuente: [35]

En la tabla 6 se muestra las diferencias que existen entre las Normas ASTM D-877 y D-1816

Tabla 6 Cuadro comparativo de las normas ASTM D-877D y D-1816

Normas Aplicadas	ASTM D-877	ASTM D-1816
Geometría de los electrodos	Disco o tipo hongo 25mm.	Semiesféricos 36mm.
Separación	0.1” (2.5mm)	0.04” (1mm), 0.081” (2mm)
Rampa	3000V/s	500V/s
Alcance en kv.	Sobre de 69kV.	35-50kV separación: 0.04 (1mm) 80-90kV separación: 0.081 (2mm)
Sensibilidad a la humedad	En el rango de 30 a 80 ppm o agua libre.	Por debajo de los 30ppm
Aplicación recomendada según ASTM	Aprobación de aceite recién adquirido a granel o en barriles.	Aceite filtrado, desgasificado y deshidratado antes y después del tratamiento del aceite.
Sensibilidad a fibra de celulosa	Menos sensible	Más sensible

Fuente: [36]

Por las características de la máquina que posee electrodos tipo disco se utilizó la Norma ASTM D 877 y describe dos procedimientos A y B para el método de ensayo D 877; para determinar cuál el valor de voltaje que soportará una muestra de aceite mineral antes de que se produzca una ruptura dieléctrica, esta prueba está desarrollada para determinar la falla cuando se utiliza voltaje alterno (CA) en un rango de frecuencia de 45 a 60 Hz [37].

- **Procedimiento A:** se realizan 5 mediciones de ruptura en un llenado de celda de prueba con un intervalo de 1 minuto entre las rupturas. La media de los 5 rellenos se considera la tensión de ruptura. Esto se usa típicamente para líquidos en los que los productos de descomposición insolubles se asientan fácilmente durante el intervalo entre rupturas (aceites de petróleo, hidrocarburos, ésteres naturales y sintéticos).
- **Procedimiento B:** se realiza 1 medición de ruptura en cada uno de los 5 llenados sucesivos de la celda de prueba. La media de las 5 rupturas se considera la tensión de

ruptura. Esto se usa típicamente para líquidos en los que los productos de descomposición insolubles no se asientan por completo durante el intervalo descrito en el Procedimiento A. También se usa para líquidos de silicona o para establecer el valor de descomposición de un líquido donde no existe una especificación ASTM (líquidos nuevos, I+D, etc.) [38].

También hay que considerar otros aspectos para determinar el buen estado del aceite que está presente en un transformador como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 7 Aspecto Visual del aceite utilizado en la refrigeración de un transformador Norma ASTM D 1524-84

Núm. Comparador de color	Color	Condición del aceite
0.0 - 0.5	Claro	Aceite nuevo
0.5 - 1.0	Amarillo pálido	Buen aceite
1.0 - 2.5	Amarillo	Aceite con tiempo de servicio
2.5 - 4.0	Amarillo brillante	Condiciones marginales
4.0 - 5.5	Ámbar	Mala condición
5.5 - 7.0	Marrón	Condición crítica (necesita regeneración)
7.0 - 8.5	Marrón oscuro	Condición extrema (necesita ser cambiado)

Fuente: [23]

Es importante señalar que los aceites aislantes que deben colocarse en los transformadores deben cumplir con diversas especificaciones, en la siguiente tabla 8 se detallará de las características que deben cumplir para ser considerados como dieléctricos en un transformador.

Tabla 8. Características Físicas y Químicas del Aceite Aislante usado en el Transformador

N°	CARACTERÍSTICAS	VALORES LÍMITES		MÉTODO DE ENSAYO
		TIPO 1	TIPO 2	
FÍSICAS				
1	Aspecto visual	Claro y brillante	Claro y brillante	ASTM D 1524

2	Color	0,5 máx.	0,5 máx.	ASTM D 1500
3	Punto de anilina, °C	80 °C máx.	80 °C máx.	ASTM D 611
4	Punto de inflamación, °C	145 mín.	145 mín.	ASTM D 92
5	Punto de fluidez, °C	-30 máx.	-30 máx.	ASTM D 97
6	Tensión interfacial, a 25°C dinas/cm (1)	40 mín.	40 mín.	ASTM D 971
7	Gravedad específica, 15°C/15°C	0,865 - 0,910	0,865 – 0,910	ASTM D 1298
8	Viscosidad	12 máx.	12 máx.	ASTM D 445
	Viscosidad cinemática, a 40 °C, cst.			
	0 °C	76 máx.	76 máx.	ASTM D 2161
	100 °C	3 máx.	3 máx.	
QUÍMICAS				
9	Azufre corrosivo	No corrosivo	No corrosivo	ASTM D 1275
10	Contenido de agua, partes por millón (2)	15 máx.	15 máx.	ASTM D 1533
11	Número de neutralización, expresado como el número de acidez total, mg KOH/g de aceite	0,015 máx.	0,015 máx.	ASTM D 974
12	Contenido de inhibidor de oxidación, máximo, % en peso.	0,08	0,3	ASTM D 2668
13	Estabilidad a la oxidación acelerada: Ensayo lodo – ácido.			ASTM D 2440
	72 h: % de lodo por peso, máximo.	0,15	0,15	
	Número de acidez total, mg KOH/g peso de aceite.	0,3	0,2	
	164 h: % de lodo por peso, máximo.	0,6	0,4	
14	Número de acidez total, mg KOH/g peso de aceite.	195	220	ASTM D 2112
15	Prueba de Bifenilos Policlorados (PCB's)	No detectable	No detectable	ASTM D 4059
16	Tensión de ruptura dieléctrica a 60 Hz, kV.			ASTM D 1816

	a. Electrodo de disco 2,54 mm de separación.	30 mín.	30 mín.	ASTM D 877
	b. Electrodo semiesférico V.D.E., 1.02 mm de separación.	28,2 mín.	28,2 mín.	ASTM D 1816
17	Factor de potencia máximo a 60 Hz			ASTM D 924
	% a 25 °C	0,05 máx.	0,05 máx.	
	% a 100°C	0,30 máx.	0,30 máx.	
18 *	Gasificación bajo esfuerzo eléctrico $\mu\text{L}/\text{mín}$	Negativo	Negativo	ASTM D 2300
				(Procedimiento B)
19 *	Tensión de ruptura de impulso a 25 °C, kV. (Electrodo punta – esfera)	145 mín.	145 mín.	ASTM D 3300

Fuente: [40]

10.2. Análisis de Rigidez Dieléctrica del Aceite de un transformador

Como se mencionó antes la prueba de rigidez dieléctrica del aceite aislante es un análisis de laboratorio fundamental para garantizar la seguridad y productividad de algunos equipos, como es el caso de los transformadores de energía. Este es un ensayo enmarcado dentro de los principales ensayos de rigidez dieléctrica en equipos.

Para la realización de la prueba se utilizó la máquina Huazheng HZJQ-1B y se utilizaron dos tipos de muestras de aceite mineral, una muestra del fluido tomada directamente del transformador y se procedió también con una muestra de aceite nuevo, como se aprecia en la figura 12.

Figura 12. Muestras utilizadas en la prueba



Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

En primera instancia se procedió a realizar la prueba bajo el estándar de la Norma ASTM D 1816 con la muestra de aceite nuevo, el cual se vertió en el cubo de ensayo para muestras, luego se limpió los electrodos y las partes circundantes que podrían entrar en contacto con la muestra de aceite que se realizará el ensayo como se aprecia en la figura 13.

Figura 13. Preparación del dispositivo para el ensayo



Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

Luego se procedió a establecer el espacio entre electrodos de acuerdo a la Normas ASTM D 877, al ser los electrodos tipo disco el espacio requerido es de 2.5 mm. Al culminar este procedimiento se procedió a configurar los parámetros en la pantalla de la máquina para la realización del ensayo, figura 14.

Figura 14. Configuración del dispositivo

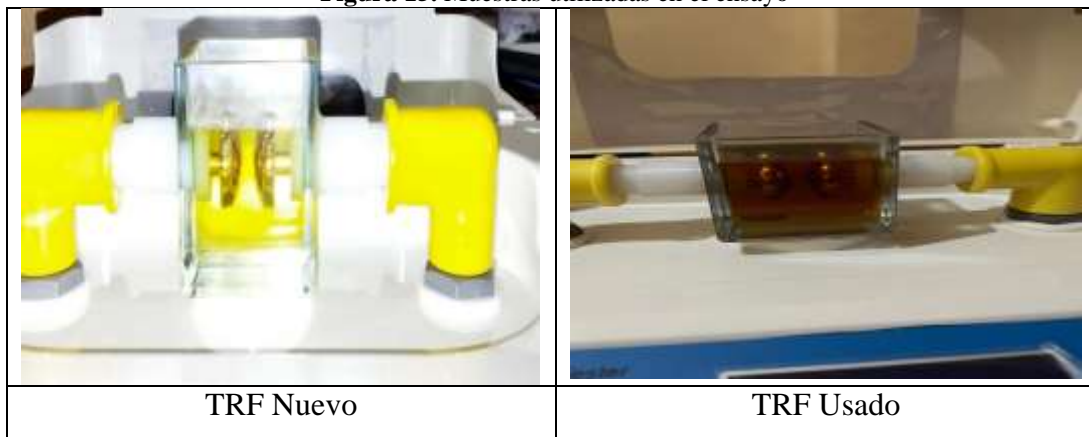


Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

- Tasa de incremento de tensión 3kV/s.
- Frecuencia 60 Hz.
- Número de ensayos 5

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

Se utilizó dos tipos de aceite mineral: aceite mineral nuevo y aceite mineral utilizados bajo el estándar D 877 de la Norma ASTM, como se observa en la figura 14.

Figura 15. Muestras utilizadas en el ensayo

Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

El aceite utilizado para la realización del ensayo tiene las siguientes características mostradas en la tabla 8.

Tabla 9. Características del Aceite Mineral

Identificación del Producto (Aceite Lubricante)	
Característica del Producto	Aceites dieléctricos utilizados en transformadores, interruptores, cajas de conexión y cualquier sistema eléctrico sumergido en un baño de aceite, constituido por una mezcla avanzada de hidrocarburos y aditivos..
Información sobre los componentes	Aceite mineral parafínico con inhibidor de oxidación. Formulación compleja de Hidrocarburos saturados con un número de carbonos dentro del intervalo de C15 – C50.
Características Físicas y Químicas	
Aspecto	Líquido aceitoso
Color	1 (amarillo pálido)
Punto de ebullición	Mayor a 400 °C
Inflamable a	140 °C mínimo.
Densidad	0.851 g/cm ³ a 15 °C
Solubilidad	En disolventes orgánicos
Punto de congelación	-21 °C.

Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

Al hacer el ensayo se obtuvieron los siguientes resultados visualizados en la tabla 9, con aceite mineral nuevo:

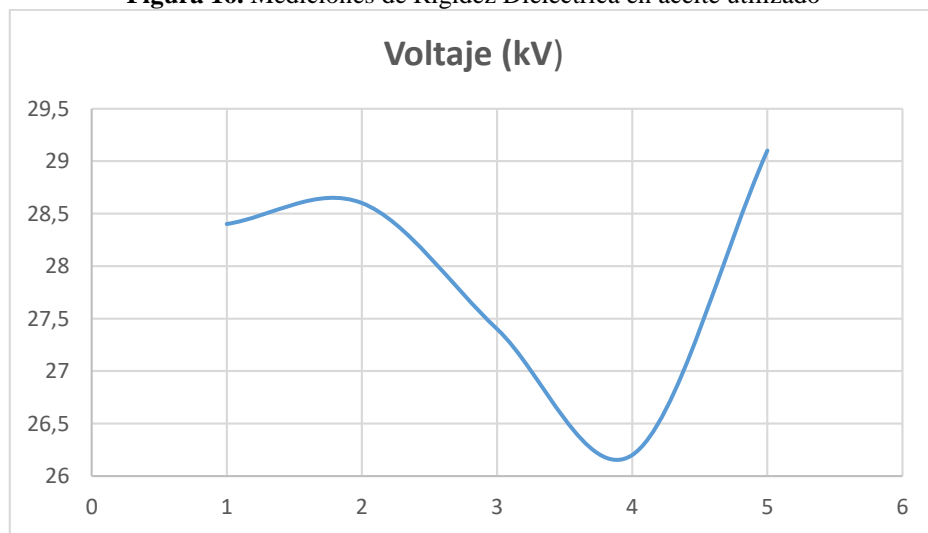
Tabla 10. Características del Aceite Mineral Usado

Norma	Ensayo	Humedad	Temperatura	Voltaje de Ruptura (kV)
ASTM D 877	1	82%	29 °C	28.4
	2	82%	29 °C	28.6
	3	82%	29 °C	27.4
	4	82%	29 °C	26.2
	5	82%	29 °C	29.1
Valor promedio				27.94

Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

En la figura 16 se observa las mediciones hechas durante la realización del ensayo para una muestra de aceite utilizado.

Figura 16. Mediciones de Rigidez Dieléctrica en aceite utilizado



Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

En la tabla 9 se aprecia los datos obtenidos para la medición de ruptura dieléctrica de aceite mineral nuevo.

**REPORTE DE ANÁLISIS DE RIGIDEZ DIELECTRICA
DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR**

Empresa: UTC La Maná	Tipo de aceite	Mineral
Encargado: Deyvis Saltos	N° de Muestra	0001
Dirección: Barrio El Triunfo	Fecha de Muestreo	22/06/2023
Ciudad: La Maná	Fecha de Análisis	22/06/2023
Teléfono: 0984685281	Fecha de Reporte	07/08/2023
Correo electrónico: deyvis.saltos9537@utc.edu.ec	T. de la Muestra (°C)	25 °C

Transformador	
Marca:	Año de fabricación:
Localización:	Vol. de Aceite (Its):
T. Dispositivo (°C):	Potencia (kVA):
Año de Prueba: 2023	Edad (años):
Muestreado por:	Robinson Salazar
Observaciones:	Aceite mineral usado

CONDICIONES DEL ANÁLISIS EN EL LABORATORIO			
Temperatura Ambiente (°C)	28	Humedad Relativa (%)	83%
Presión atmosférica: (hPa)	1012	Temperatura (°C):	29
Prueba de Rigidez dieléctrica del Aceite		Máquina Huazheng HZJQ-1B	
Norma ATM 877D		Color: Marrón Oscuro	
Ensayo	Tiempo de reposo	Voltaje de Ruptura (kV)	
1	1 min	28.4	
2	2 min	28.6	
3	3 min	27.4	
4	4 min	26.2	
5	5 min	29.1	
Valor promedio		27.94	
Resultado: Aceite se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Norma ASTM 877D			

Elaborado por: Robinson Salazar

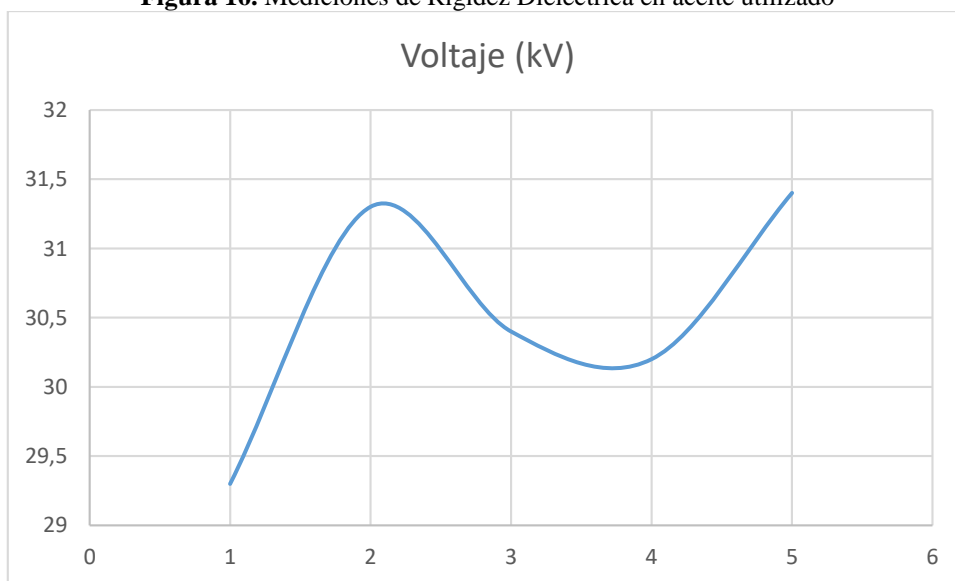
Revisado por Deyvis Saltos

Tabla 11. Características del Aceite Mineral Nuevo

Norma	Ensayo	Humedad	Temperatura	Voltaje de Ruptura (kV)
ASTM D 877	1	83%	28 °C	29.3
	2	83%	28 °C	31.3
	3	83%	28 °C	30.4
	4	83%	28 °C	30.2
	5	83%	28 °C	31.4
Valor promedio				30.52

Fuente: (Salazar R y Saltos D, 2023)

En la figura 10 se muestra las mediciones hechas durante la realización del ensayo para una muestra de aceite nuevo.

Figura 16. Mediciones de Rigidez Dieléctrica en aceite utilizado

Fuente: (Salazar R y Saltos D, 2023)

**REPORTE DE ANÁLISIS DE RIGIDEZ DIELECTRICA
DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR**

Empresa: UTC La Maná	Tipo de aceite	Mineral
Encargado: Deyvis Saltos	N° de Muestra	0001
Dirección: Barrio El Triunfo	Fecha de Muestreo	22/06/2023
Ciudad: La Maná	Fecha de Análisis	22/06/2023
Teléfono: 0984685281	Fecha de Reporte	07/08/2023
Correo electrónico: deyvis.saltos9537@utc.edu.ec	T. de la Muestra (°C)	25 °C

Transformador	
Marca:	Año de fabricación:
Localización:	Vol. de Aceite (Its):
T. Dispositivo (°C):	Potencia (kVA):
Año de Prueba: 2023	Edad (años):
Muestreado por:	Robinson Salazar
Observaciones:	Aceite mineral Nuevo

CONDICIONES DEL ANÁLISIS EN EL LABORATORIO			
Temperatura Ambiente (°C)	29	Humedad Relativa (%)	82%
Presión atmosférica: (hPa)	1012	Temperatura (°C):	29
Prueba de Rigidez dieléctrica del Aceite		Máquina Huazheng HZJQ-1B	
Norma ATM 877D		Color: Amarillo Pálido	
Ensayo	Tiempo de reposo	Voltaje de Ruptura (kV)	
1	1 min	29.3	
2	2 min	31.3	
3	3 min	30.4	
4	4 min	30.2	
5	5 min	31.4	
Valor promedio		30.52	
Resultado: Aceite se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Norma ASTM 877D y la Norma ASTM D 1524-84			

Elaborado por: Robinson Salazar

Revisado por Deyvis Saltos

Al concluir la realización de los ensayos para determinar la Rigidez dieléctrica que presentó el aceite mineral tanto utilizado como nuevo, se aprecia que las dos muestras de aceite no cumplen con lo estipulado con la Norma ASTM D 877.

11.1.1. Procedimiento para la medición

Para la realización de la guía primero hay que tener en cuenta que la máquina utiliza un voltaje de 220, luego hay que tener en cuenta la norma que se va a utilizar para la medición de rigidez dieléctrica del aceite (En este proyecto se utilizó la norma ASTM D877).

Posterior se ajusta la distancia entre los electrodos de acuerdo a la norma ASTM. Después, de esto se saca de la máquina el cubo de ensayo para verter en el mismo el aceite que al cual se le realizará el test de rigidez dieléctrica del aceite.

Luego se coloca un elemento denominado pastilla de agitación magnética, que se encargará de revolver el aceite debido al campo magnético formado entre los terminales de los electrodos.

A continuación, se procede a encender la máquina y en el panel frontal se realiza la configuración de los parámetros según la norma que se vaya a utilizar,

- Voltaje
- Tiempo de repaso
- Intervalo de impulso
- Interruptor de agitación
- Frecuencia de refuerzo
- Tasa de aumento de voltaje
- Número de ensayos
- Tiempo entre cada ensayo
- Impresión

Al terminar de configurar la máquina se presiona “Starting Setting” y de acuerdo al intervalo del impulso, la maquina procederá a realizar el ensayo y de acuerdo al número de ensayos y el tiempo configurado entre cada ensayo será el tiempo en que se demorará en realizar la prueba de rigidez dieléctrica del aceite. A continuación, se muestra el manual de usuario para el correcto funcionamiento y manejo de la máquina por los operadores.

Guía de Usuario

1. Conectar a una fuente de 220V.



2. Levantar la tapa de la máquina para posterior retirar los implementos que viene adentro.

3. Utilizar la llave hexagonal para calibrar los electrodos a la medida deseada.



4. Introducir de los codos amarillos en la parte externa de los electrodos

5. Colocar el recipiente de vidrio ya con los codos ensamblados y calibrados los electrodos en la base de la máquina.



6. Verter el aceite dieléctrico a utilizar en el recipiente de vidrio unos 10 mm arriba de los electrodos



7. Sujetar con una pinza el agitador y colocar dentro del recipiente con el aceite dieléctrico.





8. Se procede a encender la máquina.

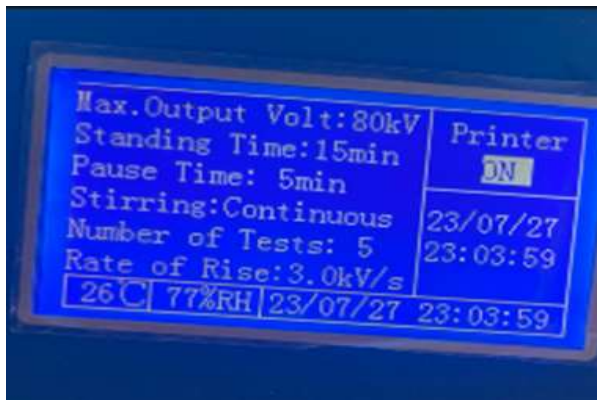
9. En la pantalla se representa con los siguientes botones los cuales son:

- > bajar
- < subir
- SELEC seleccionar
- ENT ingresar
- ESC regresar



10. Seleccionar ENT en “INSTRUMENT SETTING”.

11. En este apartado podemos modificar de qué manera se desea realizar el test.



12. Este es un modelo estándar para la realización del test según las normas ASTM D877 (Printer ON-OFF) si desea o no los resultados impresos.

13. Al presionar “ESC” regresamos al menú principal y nos situamos aplastando “>” en empezar prueba “STARTING TEST” para posteriormente aplastar “ENT”.

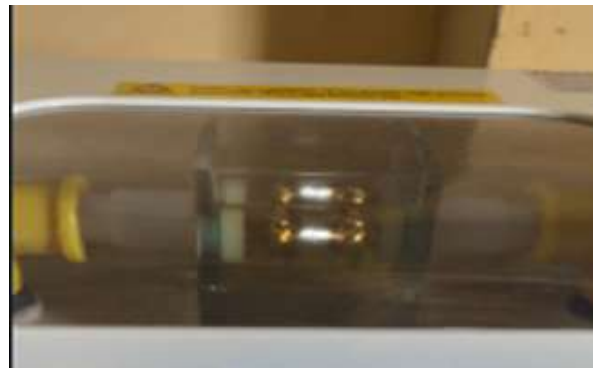


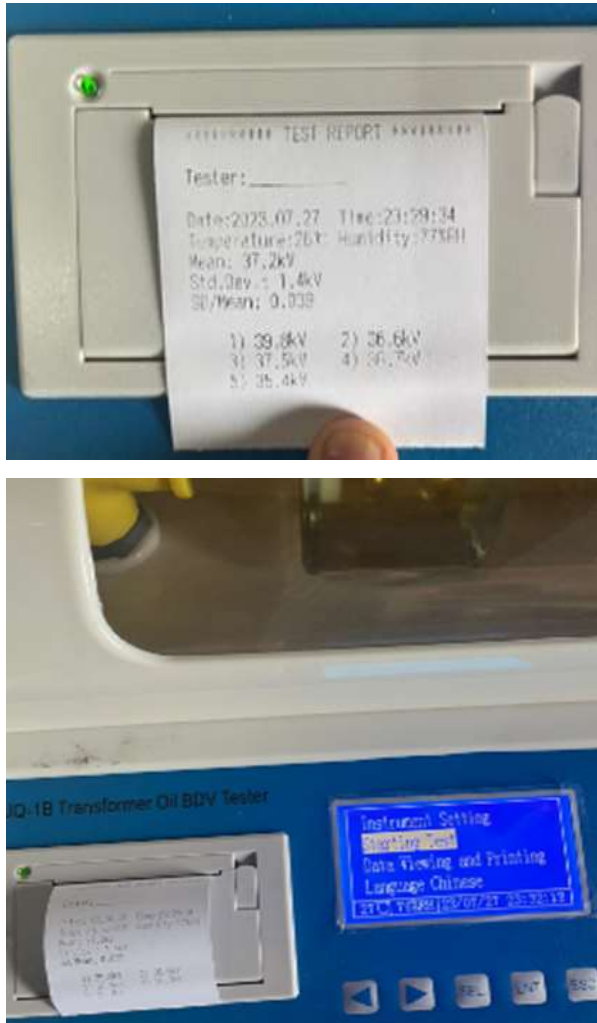


14. Empezamos la prueba de rigidez dieléctrica según el tiempo estimado anteriormente "15mnt" con su intervalo de tiempo "5mnt".



15. Producirá la ruptura dieléctrica al culminar los 15 minutos de cada intervalo.





16. Finalizando el test se imprimirán los resultados indicándonos el tipo de ruptura dieléctrica que tuvo cada intervalo del cual el mismo sacara un porcentaje estipulado de los valores.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):

Con la implementación de este proyecto se prevé hacer el análisis para verificar la capacidad que tiene el aceite aislante del transformador para soportar tensiones de ruptura y verificar el estado que tienen estos dentro del transformador, por lo que el Impacto que ocasionara el presente proyecto de es de carácter económico.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:

Tabla 12. Presupuesto

Cant.	unidad	detalle	valor (\$)
1	und	Máquina de test de rigidez dieléctrica	\$2.800
1	und	Costo de envío	\$600
1	und	Impuesto aduana	\$500
1	und	Otros gastos	\$400
1	litro	Aceite de transformador usado	\$25
1	litro	Aceite de transformador nuevo	\$25
3	und	Emisión de documentación impresa	\$50
2	und	Pasajes y viático, etc	\$50
2	und	Formación y capacitación	\$100
1	und	Recolección de información	\$50
Total			\$4.600

Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- Se pudo determinar que para medir la ruptura rigidez dieléctrica del aceite es necesario conocer acerca de las características de la Norma ASTM D 877 y ASTM D 1816, ya que éstas tienen bien definidas los métodos para la realización de pruebas de ruptura dieléctrica de aceite utilizado como aislante en transformadores.
- Para determinar la rigidez dieléctrica del aceite se hizo pruebas bajo la Norma ASTM D 877 para determinar la ruptura del dieléctrico por medio del incremento en valores de tensión hasta que este proceda a ceder con lo que se puede lograr determinar el máximo valor que podrá soportar el aceite dentro del transformador.
- Se verifico los valores de ruptura del aceite dieléctrico por medio de la realización de diversas pruebas hechas en aceite mineral utilizado “23.14” y nuevo ”25.12”, con lo que se pudo determinar que los valores umbrales de ruptura que soporta el aceite del transformador no están dentro de los valores permitidos según la norma ASTM D 877.
- La realización de la guía permitirá a los usuarios poder realizar los ensayos bajo los parámetros establecido según la Norma ASTM D 877 y así garantizar un mantenimiento preventivo sobre el aceite que se usa en los transformadores.

14.2. Recomendaciones:

- Se debe tener en cuenta los valores estandarizados por la ASTM para realizar las pruebas de rigidez dieléctrica.
- Se recomienda usar recipientes estériles adecuados y realizar la prueba lo antes posible debe evitarse hacer las pruebas en días lluviosos o muy húmedos.
- Se puede realizar además más pruebas para determinar el estado de un transformador, como por ejemplo determinar el factor de potencia o determinar la resistencia de los devanados.

15. BIBLIOGRAFIA

- [A. Md., «Testing of Dielectric Strength of Transformer Oil, Insulation Paper and Corona Effect of Wire,» *IEEE*, vol. 2020 IEEE Region 10 Symposium, nº 10, pp. 1026 - 1029, 2020.]
- [Ecuatran, «Tipos de mantenimiento,» Ecuatran, 10 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecuatran.com/es/tipos-de-mantenimiento/>. [Último acceso: 12 diciembre 2022].]
- [Britannica, «transformer electronics,» transformer, 31 octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/transformer-electronics>. [Último acceso: 2022 diciembre 7].]
- [Tecsa, «¿Qué es un transformador eléctrico y como funciona?,» 20 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.tecsaqro.com.mx/blog/que-es-un-transformador-electrico/>. [Último acceso: diciembre 6 2022].]
- [RGPV, «Transformer,» 15 noviembre 2018. [En línea]. Available: https://www.rgpv.ac.in/campus/BTech_I/transformer.pdf. [Último acceso: 6 diciembre 2022].]
- [f. endesa, «El transformador eléctrico,» 2 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico>. [Último acceso: 2022 diciembre 7].]
- [areatecnologia, «Transformador,» 22 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/transformador.html>. [Último acceso: 2022 diciembre 7].]
- [O. Electric, «¿Qué es un transformador eléctrico?,» 3 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://transformadoressiosac.com/definicion-transformador-electrico/>. [Último acceso: diciembre 7 2022].]
- [U. N. d. L. Plata, «Electromagnetismo,» 5 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys/DI/electromagnetismo.pdf>. [Último acceso: 7 diciembre 2022].]
- [electronic, «¿Qué es un transformador electrónico?,» 4 abril 2022. [En línea]. Available: <https://inelectronic.com/que-es-un-transformador-electronico/>. [Último acceso: 6 diciembre 2022].]

- [M. Pernia, «Conceptos Básicos de Transformadores Eléctricos monofásicos,» 13 septiembre 1 2017. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Marino-1-Pernia/publication/315380323_Conceptos_fundamentales_de_los_Transformadores_Monofasicos/links/58ce7c76a6fdcc5ccc8d8df2/Conceptos-fundamentales-de-los-Transformadores-Monofasicos.pdf. [Último acceso: 6 diciembre 2022].
- [F. Iglesias, «Análisis numérico del comportamiento fluido-térmicomagnético de un 1 transformador monofásico,» 12 febrero 2017. [En línea]. Available: 2 <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/10517/391576.pdf?sequence=1>] &isAllowed=y. [Último acceso: 7 diciembre 2022].
- [Relsamex, «Tipos de transformadores eléctricos,» 18 abril 2020. [En línea]. Available: 1 <https://www.relsamex.com/tipos-de-transformadores-electricos/>. [Último acceso: 7 3 diciembre 2022].]
- [sapiensman, «Conceptos de Electrotecnia para aplicaciones industriales,» 3 agosto 2017. 1 [En línea]. Available: 4 http://www.sapiensman.com/electrotecnia/transformador_electrico2.htm. [Último acceso: 7] diciembre 2022].
- [T. &. Pedagogía, «Transformadores,» 5 julio 2019. [En línea]. Available: 1 <https://www.tecnologiaypedagogia.net/2020/07/transformadores.html>. [Último acceso: 7 5 diciembre 2022].]
- [Wikipedia, «Transformadores,» 5 noviembre 2019. [En línea]. Available: 1 https://es.wikipedia.org/wiki/Transformador_de_distribuci%C3%B3n. [Último acceso: 6 2022 diciembre 2022].]
- [D. Liquidators, «Los fundamentos de los transformadores eléctricos,» 4 febrero 2021. [En 1 línea]. Available: <https://www.dfliq.net/blog/the-basics-of-electrical-transformers/>. [Último 7 acceso: 7 diciembre 2022].]
- [Hitachi, «Insulation components and materials,» 12 enero 2022. [En línea]. Available: 1 <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/transformer-insulation-and-8-components/insulation-components-and-materials>. [Último acceso: 7 diciembre 2022].]

[R. L. S. S. C. Y. L. S. H. Liao, «Document details - A comparative study of thermal aging of transformer insulation paper impregnated in natural ester and in mineral oil,» *Scopus*, vol. 20, n° 4, pp. 518-533, 2020.

]

[A. Calderón, «Análisis comparativo del uso de aceite mineral y aceite vegetal en transformadores de distribución,» 15 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/21061/1/An%C3%A1lisis%20comparativo%20del%20uso%20de%20aceite%20mineral%20y%20aceite%20vegetal%20en%20transformadores%20de%20distribuci%C3%B3n.pdf>.

[V. Primo, «Dialnet,» 10 septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=292465#:~:text=El%20aislamiento%201%C3%ADquido%20de%20un,durante%20la%20operaci%C3%B3n%20del%20equipo..>

]

[INEN, «Normalizacion,» 10 enero 2017. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_60076.pdf.

2

]

[F. J. R. L. C. S. A. R. H. J. D. J. C. Escamilla, «Tensión de ruptura en aceite mineral empleando el equipo megger ots 60pb para determinar su calidad y utilizarse en transformadores,» 11 enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.astm.org/d1816-04.html>.

[D. Strauss, «El aceite vegetal como dieléctrico: Una solución rentable y ecológica,» 10 marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.energeticahoy.com/post/2018/03/10/el-aceite-vegetal-como-diel%C3%A9ctrico-una-soluci%C3%B3n-rentable-y-ecol%C3%B3gica>.

[Globelcore, «Rigidez dieléctrica del aceite del transformador,» 2 julio 2022. [En línea]. Available: <https://globecore.com/es/instrumentos/dielectric-strength-of-transformer-oil/>.

5

]

[Predictiva, «Tecnología y análisis de aceite para asegurar la eficiencia de lubricación,» 6 enero 2021. [En línea]. Available: <https://predictiva21.com/analisis-aceite-eficiencia-lubricacion/>.

]

[L. Vite-Terán, «Características de los líquidos,» 5 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n4/m14.html#:~:text=La%20viscosidad%2>

7 Ose%20puede%20definir,de%20cohesi%C3%B3n%20entre%20sus%20mol%C3%A9cula
] s.%20..

[Noria, «Índice de viscosidad al seleccionar un lubricante,» 18 diciembre 2020. [En línea].
2 Available: <https://noria.mx/seleccion-del-lubricante-s/no-ignore-el-indice-de-viscosidad-8-al-seleccionar-un-lubricante/>.
]

[A. Bastidas, «Revista Ingenio,» 18 abril 2022. [En línea]. Available:
2 [https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/download/3608/4680/20548#:](https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/download/3608/4680/20548#:~:text=El%20papel%20aislante%2C%20en%20condiciones,molecular%20puede%20llega)
9 ~:text=El%20papel%20aislante%2C%20en%20condiciones,molecular%20puede%20llega
] r%20hasta%201500..

[B. Rojas, «Análisis comparativo entre el aceite mineral y aceite vegetal utilizado como
3 fluido dieléctrico y refrigerante en transformadores de distribución,» 9 marzo 2022. [En
0 línea]. Available: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/18033/1/T-UCSG-PRE-TEC->
] IEM-298.pdf.

[M. Ecológicos, «Kraft,» 12 mayo 2022. [En línea]. Available:
3 <https://materialesecolgicos.es/tag/kraft/#:~:text=El%20proceso%20Kraft%20usa%20com>
1 o,usa%20tambi%C3%A9n%20sulfato%20de%20sodio..
]

[G. Crespo-Sánchez, «SciELO,» 20 julio 2019. [En línea]. Available:
3 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-
2 61852020000100118&lng=e&nrm=iso&tlng=e.
]

[UJAEN, «Diseño Documental,» 15 marzo 2018. [En línea]. Available:
3 [http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/dise_documental.html#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20documental%20es%20aquella,%2C%20constituciones%2C%20etc.\)..](http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/dise_documental.html#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20documental%20es%20aquella,%2C%20constituciones%2C%20etc.)..)
3
]

[QuestionPro, «Investigación experimental: Qué es, tipos y cómo realizarla,» 2 abril 2019.
3 [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-4-experimental/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20experimental%20es%20cualquier,miden%20como%20sujeto%20del%20experimento..>
]

[N. C. Jara, «Scribd,» 20 mayo 2018. [En línea]. Available:
3 <https://es.scribd.com/presentation/488931589/Norma-ASTM-D287-D877-y-D1816>.
5
]

[M. F. A. G. A. d. j. R. L. Á. O. S. P. Arenas, «Researchgate,» 10 octubre 2022. [En línea].
3 Available:
6 [https://www.researchgate.net/publication/364184878_Evaluacion_de_los_estandares_AST](https://www.researchgate.net/publication/364184878_Evaluacion_de_los_estandares_ASTM_D877_y_ASTM_D1816_para_determinar_la_tension_de_ruptura_dielectrica_a_frecuencia_industrial_en_aceites_aislantes)
] M_D877_y_ASTM_D1816_para_determinar_la_tension_de_ruptura_dielectrica_a_frecue
ncia_industrial_en_aceites_aislantes.


[Eurolab, «Eurolab Laboratory Services,» 12 feberero 2020. [En línea]. Available:
3 [https://www.laboratuuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d877-disk-elektrotlari-kullanan-](https://www.laboratuuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d877-disk-elektrotlari-kullanan-yalitkan-sivilarin-dielektrik-bozulma-gerilimi-icin-test-standardi/)
7 [yalitkan-sivilarin-dielektrik-bozulma-gerilimi-icin-test-standardi/](https://www.laboratuuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-d877-disk-elektrotlari-kullanan-yalitkan-sivilarin-dielektrik-bozulma-gerilimi-icin-test-standardi/).
]

[HV_Technology, «HV_Technology,» 11 Octubre 2018. [En línea]. Available:
3 [https://www.hvtechnologies.com/which-oil-testing-standard-should-you-choose-to-](https://www.hvtechnologies.com/which-oil-testing-standard-should-you-choose-to-determine-dielectric-breakdown-voltage/)
8 [determine-dielectric-breakdown-voltage/](https://www.hvtechnologies.com/which-oil-testing-standard-should-you-choose-to-determine-dielectric-breakdown-voltage/).
]

16. ANEXOS

Hojas de Vida

□ DATOS PERSONALES

Nombres	Trujillo Ronquillo	
Apellidos	Danilo Fabricio	
Lugar y fecha de nacimiento	28 de agosto de 1981	
Cédula de ciudadanía	1803547320	
Estado civil	Soltero	
Dirección domiciliaria	Ambato, Izamba Ricardo Callejas y Pedro Vascones Sevilla	
Teléfonos de contacto	0982987576	
Email	danilo.trujillo7320@utc.edu.ec	

Estudios Realizados

Primarios	Escuela Pensionado “La Merced”
Secundarios	“Instituto Tecnológico Superior “Bolívar”
Superiores	<ul style="list-style-type: none"> • Escuela Politécnica del Ejército ESPE (Sangolquí – Ecuador) • Universidad Politécnica Nacional (Madrid – España) • Escuela Politécnica Nacional (Quito – Ecuador)
	Títulos obtenidos: <ul style="list-style-type: none"> • Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones • Máster Universitario en Energía Solar Fotovoltaica • Estudiante de la Tercera Cohorte de Doctorado, Facultad de Ingeniería Eléctrica

Idiomas

- Español
- Inglés
- Alemán

Experiencia

Docente Instituto Superior Tecnológico "Hispano América", septiembre 2010 a julio 2011

Docente Universidad Técnica de Ambato, marzo 2012 a marzo 2016

Docente Universidad Técnica de Cotopaxi, noviembre 2019 a febrero 2020

Docente Universidad Técnica de Cotopaxi, noviembre 2021 hasta la actualidad.

□ **DATOS PERSONALES**

Nombres	Deyvis Alexander	
Apellidos	Salto Caiza	
Lugar y fecha de nacimiento	La Maná, 12 de Abril 1998	
Cédula de ciudadanía	050289953-7	
Estado civil	Soltero	
Dirección domiciliaria	La Maná, El Toquillal	
Teléfonos de contacto	0985750666 - 0961442942	
Email	saltosdeyvis@gmail.com	

Estudios Realizados

Primarios	Escuela Consejo Provincial De Cotopaxi
Secundarios	Colegio Técnico Rafael Vásquez Gomez
Superiores	Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná
	Título obtenido: Bachiller en Electromecánica

Idiomas

- Español
- Inglés

Experiencia

- Taller electromecánico “TROYA”
- Centro naturista “LA CASA DE LA SANACIÓN”

□ **DATOS PERSONALES**



Nombres	Robinson Vladimir
Apellidos	Salazar Loor
Lugar y fecha de nacimiento	La Maná, 09 de Marzo del 1998
Cédula de ciudadanía	050274956-7
Estado civil	Soltero
Dirección domiciliaria	Barrio el Triunfo, La Maná
Teléfonos de contacto	0980364776
Email	robinson.salazar9567@utc.edu.ec

Estudios Realizados

Primarios	Francisco Sandoval Pastor
Secundarios	Ercilia de Martínez
Superiores	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
	Título obtenido: Bachiller en Electromecánica

Idiomas

- Español
- Inglés

Experiencia

- Constructora y Mecánica industrial “Marcalla”, 2016 – 2018.
- Constructora en general “Ayala”, 2018 – 2021.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR"**, presentado por Salazar Loo Robinson Vladimir y Saltos Caiza Deyvis Alexander, egresados de la Carrera de: Ingeniería Electromecánica, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, agosto del 2023

Atentamente,



Mg. Fernando Toaquiza

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0502229677

TESIS SALTOS Y SALAZAR

6% Similitudes
2% Texto entre comillas
 < 1% similitudes entre comillas
2% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS SALTOS Y SALAZAR.pdf
 ID del documento: 5d68d822bac6000230f8e9b3a8b68da9f6c681e3
 Tamaño del documento original: 1,88 MB

Depositante: WILLIAM ARMANDO HIDALGO OSORIO
 Fecha de depósito: 10/8/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 10/8/2023

Número de palabras: 15.915
 Número de caracteres: 116.660

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.utc.edu.ec Implementación de una máquina cortadora de chips de neu... http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8471/3/UTC-PIM-000430.pdf.txt 22 fuentes similares	2%		Palabras idénticas : 2% (332 palabras)
2	repositorio.utc.edu.ec http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7939/1/AJTC-PIM-000376.pdf 18 fuentes similares	2%		Palabras idénticas : 2% (280 palabras)
3	repositorio.utc.edu.ec Implementación de un sistema de gestión para el seguimie... http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4616/3/PIM-000108.pdf.txt 18 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (246 palabras)
4	dokumen.tips (DOCX) Estructura proyecto-ii-y-formatos utc - DOKUMEN.TIPS http://dokumen.tips/engineering/estructura-proyecto-ii-y-formatos-utc.html 17 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (233 palabras)
5	repositorio.utc.edu.ec http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8213/1/AJTC-PIM-000371.pdf 17 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (222 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas



Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	ri.ues.edu.sv https://ri.ues.edu.sv/21061/1/Análisis comparativo del uso de aceite mineral y aceite vegetal en transf...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (30 palabras)
2	201.159.223.180 http://201.159.223.180/bitstream/3317/18033/1/T-UCSG-PRB-TEC-LEM-298.pdf	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (10 palabras)
3	lubricantesindustriales.cl Limpiador de dieléctrico Lubricantes Industriales https://lubricantesindustriales.cl/limpiador-dielectrico/#:~:text=El deanado principal es la parte que e...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
4	repositorio.puce.edu.ec Factores que impiden que la industria del sector eléctrico ... http://repositorio.puce.edu.ec/80/mku/bitstream/22000/11475/3/Factores que impiden que la industri...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (10 palabras)
5	ri.ues.edu.sv 404 File not Found - Repositorio Institucional de la Universidad de El S... https://ri.ues.edu.sv/d/eprint/21061/1/Análisis comparativo del uso	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (10 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.utc.edu.ec http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8471/1/AJTC-PIM-000430.pdf	2%		Palabras idénticas : 2% (291 palabras)
2	repositorio.utc.edu.ec http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9546/1/AJTC-PIM-000592.pdf	2%		Palabras idénticas : 2% (262 palabras)
3	TESIS CHITO Y CERNA.pdf TESIS CHITO Y CERNA #d8ba4a El documento proviene de mi biblioteca de referencias	1%		Palabras idénticas : 1% (235 palabras)
4	SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD DE 5KW.pdf SISTEM... #73c559 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	1%		Palabras idénticas : 1% (224 palabras)
5	CHIMBO Y SHIGUI.pdf CHIMBO Y SHIGUI #e65052 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	1%		Palabras idénticas : 1% (186 palabras)

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

- <https://www.ecuatran.com/es/tipos-de-mantenimiento/>
- <https://www.britannica.com/technology/transformer-electronics>

- 3  <https://www.tecsagro.com.mx/blog/que-es-un-transformador-electrico/>
- 4  https://www.rgpv.ac.in/campus/BTech_I/transformer.pdf
- 5  <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/corrientes-alternas>

Anexo 2

MANUAL MÁQUINA HUAZGEN

HZJQ-1B

Probador de aceite de transformador

BDV



Huazheng Electric Manufacturing (Baoding) Co., Ltd

Antes de usar el instrumento, lea este manual y opere y mantenga el instrumento de acuerdo con el manual para prolongar su vida útil.

"Solo una pulsación ligera, la prueba se completará automáticamente" es las características de funcionamiento de este instrumento.

Resumen

Muchos sistemas de energía, sistemas ferroviarios, plantas petroquímicas a gran escala y las empresas tienen una gran cantidad de equipos eléctricos cuyo aislamiento interno está lleno de aceite en su mayoría tipo de aislamiento, y, por lo tanto, la prueba de resistencia dieléctrica del aceite aislante es común y necesario. Para satisfacer las necesidades del mercado, hemos desarrollado y producido una serie de Probadores de rigidez dieléctrica de aceite aislante según la norma nacional GB/T507-2002, estándar de la industria DL429.9-91 y el último estándar de la industria de energía eléctrica DL/T846.7-2004 por nosotros mismos. Este instrumento, mediante el uso de una microcomputadora de un solo chip como el núcleo, puede operar en plena automatización con alta precisión, mejorando en gran medida el trabajo la eficiencia y la reducción de la intensidad de trabajo de los trabajadores. Además, es de tamaño pequeño y conveniente para llevar.

I. Función clave y características

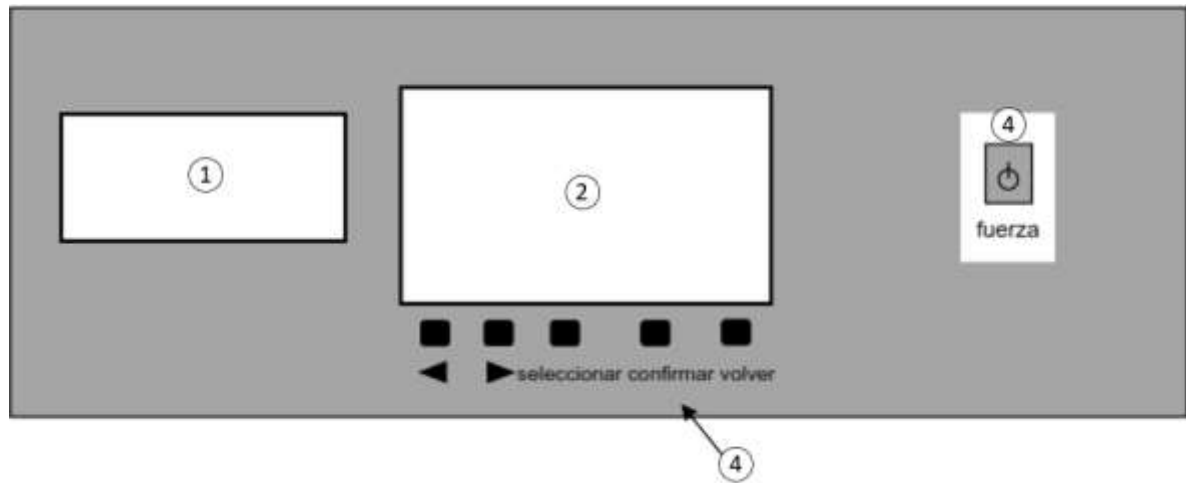
1. Con un microprocesador, realice automáticamente la prueba de tensión soportada para la circulación de aceite con un rango de 080KV (incluyendo refuerzo, mantenimiento, mezcla, permanente, cálculo, impresión y otras operaciones).
2. Visualización por LCD de pantalla grande y aviso por menú en inglés.
3. Operación sencilla. La máquina completará automáticamente la prueba de tensión soportada En una taza de aceite de muestra después de un simple ajuste por parte del operador. Valor de tensión de ruptura dese guardarán automáticamente de 1 a 9 veces y las veces recurrentes. Después de la prueba, la térmica la impresora imprimirá cada valor de voltaje de ruptura y valor promedio.
4. Preservación del apagado. Puede guardar 100 resultados probados y mostrar la corriente temperatura ambiente y humedad.

5. Adopte una microcomputadora de un solo chip para aumentar el voltaje a una velocidad uniforme. El voltaje tiene una precisión de 50 HZ, lo que garantiza que todo el proceso sea fácil de controlar.
6. Equipado con protecciones de sobretensión, sobrecorriente y límite para garantizar la seguridad de operadores.
7. Con la función de mostrar la temperatura medida y el reloj del sistema.
8. Comunicarse con la computadora con una interfaz RS232 estándar. (Opcional)

II. Principales indicadores Técnicos

1. Voltaje de salida: 0~80KV (opcional)
2. Tasa de distorsión de voltaje: <3%
3. Velocidad de aumento de voltaje: 0.55 KV/S (ajustable)
4. Tiempo de reposo: 15 min (ajustable)
5. Intervalo de refuerzo: 5 min (ajustable)
6. Frecuencia de refuerzo: 1 ~ 9 veces (opcional)
7. Capacidad de refuerzo: 0,4 kVA x 2
8. Precisión de medición: ± 3
9. Voltaje de suministro: AC220V \pm 10% 50Hz \pm 1 Hz
10. Potencia: 200W
11. Temperatura aplicable: 0 ~ 45
12. Humedad aplicable: 75% HR
13. Dimensión total: 465 \times 385 \times 425

III. Descripción del panel



1. Impresora térmica: impresión de los resultados de la prueba
2. LCD: muestra el menú, las señales y los resultados de las pruebas
3. Teclas de operación:

◀ -- Para aumentar el valor de configuración después de presionar "SELECCIONAR"

▶ -- Para disminuir el valor de configuración después de presionar "SELECT"

SELECT: para elegir funciones (el elemento seleccionado está en la pantalla inversa)

CONFIRM—para ejecutar la función

BACK – para salir de la interfaz de operación

4. Interruptor e indicador de encendido

IV. Enfoque operativo

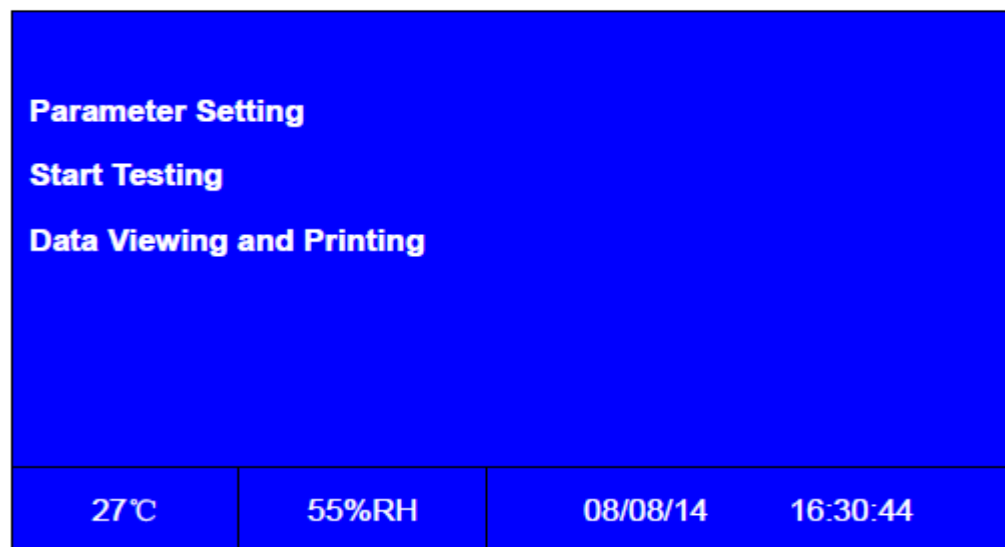
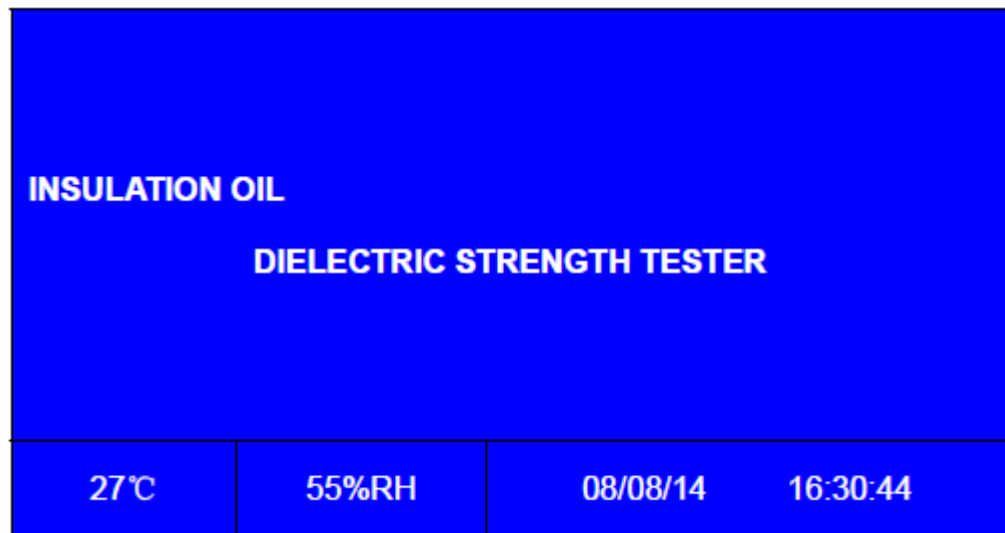
1. Preparación antes de la prueba

- a) Conecte firmemente el terminal de tierra (en el lado derecho del equipo) al cable de tierra antes de poner en marcha el equipo.
- b) Muestre el aceite de acuerdo con el estándar relevante. Ajuste la distancia del electrodo dentro de la Copa de aceite con manómetro estándar. Limpie la copa de acuerdo con los requisitos pertinentes. Vierta la muestra en la taza y cierre la tapa.

- c) Encienda la fuente de alimentación AC220V después de confirmar los elementos anteriores, listo para la prueba.

2. Prueba

- a) Presione el interruptor de encendido y luego ingrese a la siguiente interfaz:



- b) Configuración de los parámetros del sistema:

Presione la tecla "Enter" e ingrese a la siguiente interfaz:

Voltage of boosting stop: 80KV Standing time: 0~15min Interval of boosting: 0~5min Stirring switch: On Boosting frequency: 1~6 Voltage boosting rate: 0.5~5 KV/S		Print Automatically: YES
		08/08/14 16:36:21
27°C	55%RH	08/08/14 16:30:44

Ajuste de refuerzo de tensión: el usuario puede seleccionar en función de la demanda real.

Voltaje de parada de refuerzo: 10	80KV	Tipo automático: Si / No
Tiempo de reposo: 0	15min	
Intervalo de impulso: 0	5min	Hora del sistema:
Interruptor de agitación: encendido/apagado		
Frecuencia de refuerzo: 1	9	

Tasa de aumento de voltaje: 0.5KV/S~5 KV/S

Presione la tecla "Esc" para salir de esta interfaz después de realizar la configuración.

c) Pruebas

Presione la tecla "Seleccionar" para seleccionar el menú "Iniciar prueba" y presione la tecla "Entrar" para ingresar la siguiente interfaz:

Standing, Please wait.....			Start
863			Back
27°C	55%RH	08/08/14	16:30:44

Voltage is boosting.....			Start
Average:56.0KV (1)56.0KV			Stop Voltage Boosting Voltage reducing Back
27°C	55%RH	08/08/14	16:30:44

Stirring, Voltage Reducing and Delaying.....			Start
288			Back
27°C	55%RH	08/08/14	16:30:44

La primera prueba finaliza aquí y comienza la siguiente prueba hasta el impulso se alcanza la frecuencia. Finalmente, el resultado se muestra e imprime de la siguiente manera:

Data of Test			Print
Average:53.8KV (1)56.0KV (2)50.4KV (3)55.1KV (4)54.3KV (5)54.3KV (6)53.1KV			Empty
27°C	55%RH	08/08/14	16:30:44

d) Visualización e impresión de datos:

Presione la tecla "seleccionar" para seleccionar el menú "Visualización e impresión de datos" y presione la tecla "Enter" para ingresar a la siguiente interfaz:

Test Data			Page Up
Average Value: (1)56.0KV (2)50.4KV (3)55.1KV (4)54.3KV (5)54.3KV (6)53.1KV 16 Articles in total, No. 01 article is displaying			Page Down
			Print
			Empty
27°C	55%RH	08/08/14	16:30:44

Seleccione "Página arriba" o "Página abajo" y seleccione los registros que se imprimirán y seleccione "Imprimir"

V. Precauciones

1. La selección, colocación y distancia del electrodo de la muestra de aceite antes las pruebas deben cumplir con los estándares nacionales e industriales pertinentes.
2. Los operadores u otro personal tienen estrictamente prohibido tocar la carcasa después de encender la alimentación para evitar accidentes.
3. La energía se cortará inmediatamente si se encuentra algún evento anormal. Durante la operación.

VI. Mantenimiento

1. Este equipo no debe exponerse a ambientes húmedos.
2. Mantenga la copa de aceite y los electrodos limpios. Llena la taza con fresco aceite de transformador para protección durante su inactividad. Comprobar la distancia de los electrodos y verifique el ajuste entre la punta del electrodo y el tornillo de la barra del electrodo rosca antes de volver a utilizar la copa.

VII. Método de limpieza de la copa de aceite y despeje de fallas comunes

1. Método de limpieza de la copa de aceite

Limpie las superficies de los electrodos y las barras una y otra vez con seda limpia paño.

Ajuste la distancia del electrodo con un calibre estándar.

Use éter de petróleo (otros solventes orgánicos están prohibidos) para limpiar tres veces. Cada vez se seguirán los siguientes procedimientos:

Vierta el éter de petróleo en la copa de aceite hasta que la copa esté llena entre 1/4 y 1/3.

Cubra la boca de la copa con un trozo de vidrio limpiado con éter de petróleo. Agite la taza de manera uniforme durante un minuto con cierta fuerza.

Vierta el éter de petróleo y seque la copa con un soplador durante 2~3 minutos.

Use la muestra de aceite a probar para limpiar la taza de 1 a 3 veces.

Vierta el éter de petróleo en la copa de aceite hasta que la copa esté llena entre 1/4 y 1/3.

Cubra la boca de la copa con un trozo de vidrio limpiado con éter de petróleo.

Agite la taza de manera uniforme durante un minuto con cierta fuerza.

Vierta la muestra de aceite izquierda y luego comienza la prueba.

2. Método de limpieza de la hoja de agitación

Limpie la cuchilla agitadora una y otra vez con un paño de seda limpio hasta que quede fina las partículas no se encuentran en sus superficies. Está prohibido tocar la superficie con las manos.

Use fórceps para sujetar la cuchilla; Ponerlos en éter de petróleo y lavar

Use pinzas para sujetar la cuchilla y séquelas con un soplador.

Use pinzas para sujetar la cuchilla; Ponerlos en la muestra de aceite para ser probados y lavar 3.

3. Almacenamiento de la taza de aceite

Método 1 Llene la copa con un buen aceite aislante después de terminar la prueba y colóquelo estable.

Método 2 Limpie y seque la copa según los procedimientos anteriores y luego colóquela en un secador de vacío.

Nota: La copa de aceite y la paleta agitadora deben limpiarse bajo las instrucciones anteriores. procedimientos después de la primera prueba y pruebas con aceite pobre.

4. Liquidaciones de fallas comunes

Luz de encendido apagada, pantalla apagada

Verifique el enchufado del enchufe de alimentación.

Verifique el estado del tubo protector dentro del enchufe de alimentación.

Verifique la electricidad del enchufe.

Sin perforación a través de la copa de aceite

Verifique la inserción de los conectores en la placa de circuito.

Verifique el contacto del interruptor de alto voltaje de la tapa.

Verifique la atracción de los contactos de alto voltaje.

Verifique la ruptura de la línea de alto voltaje.

Contraste de pantalla de luz.

Ajuste el potenciómetro en la placa de circuito. Fallo de la impresora

Verifique el enchufe de la línea de alimentación de la impresora.

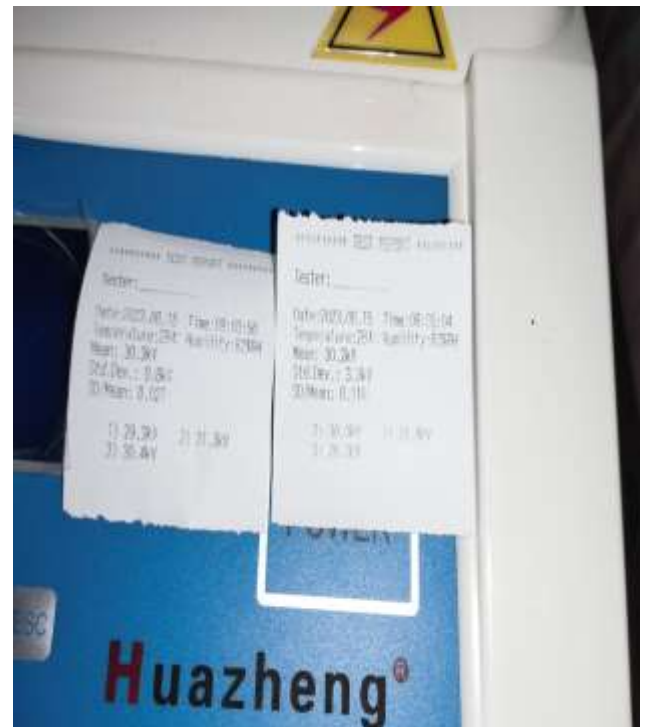
Verifique el taponamiento de la línea de datos de la impresora

VIII. Lista de embalaje

No.	Articulo	Cantidad
1	Motor principal	1
2	Taza de aceite	1
3	Codo	2
4	Agitador	2
5	Pinzas	1
6	Medidor de error	1
7	Línea eléctrica	1
8	Tubo fusible	2
9	Papel de impresión	2
10	Llave Allen	1

ANEXO 3

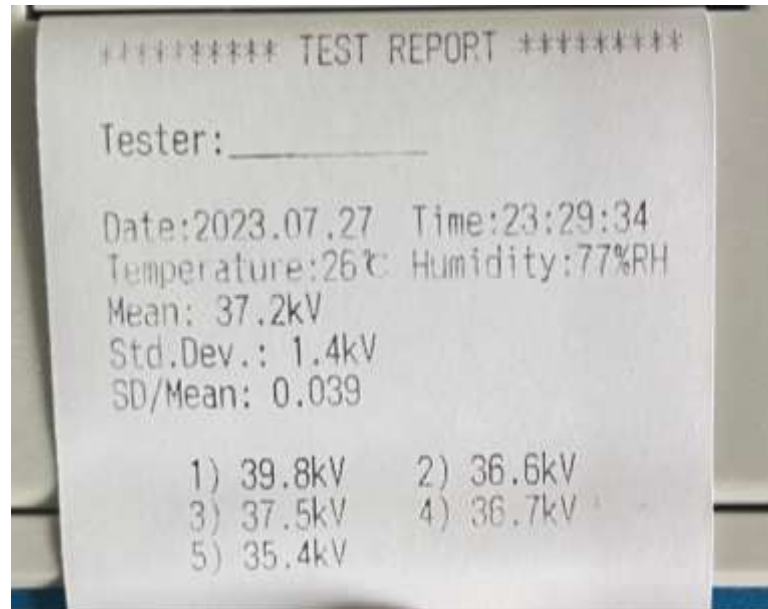
Pruebas de la Máquina



Fuente: (Salazar R. y Saltos D, 2023)

ANEXO 4

Descripción del impreso de la máquina



Donde:

Información de la máquina	Descripción
Date	Fecha de realización del ensayo
Time	Tiempo de realización del ensayo
Temperature	Temperatura ambiente
Time	Hora de realización del ensayo
Humidity	Humedad relativa del ambiente
Mean	Valor medio de voltaje de ruptura
Std.Dev	Desviación estándar del voltaje de ruptura
SD/Mean	Desviación estándar media
1) 39.8 kV	Primer valor de ruptura del ensayo 1
2) 36.6 kV	Segundo valor de ruptura del ensayo 1, después del tiempo establecido por la Norma ASTM
3) 37.5 kV	Tercer valor de ruptura del ensayo 1, después del tiempo establecido por la Norma ASTM
4) 36.7 kV	Cuarto valor de ruptura del ensayo 1, después del tiempo establecido por la Norma ASTM
5) 35.4 kV	Quinto valor de ruptura del ensayo 1, después del tiempo establecido por la Norma ASTM

REPORTE DE ANÁLISIS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR

Empresa: UTC La Maná	Tipo de aceite	Mineral
Encargado: Deyvis Saltos	N° de Muestra	0001
Dirección: Barrio El Triunfo	Fecha de Muestreo	22/06/2023
Ciudad: La Maná	Fecha de Análisis	22/06/2023
Teléfono: 0984685281	Fecha de Reporte	07/08/2023
Correo electrónico:	T. de la Muestra (°C)	25 °C
deyvis.saltos9537@utc.edu.ec		

Transformador	
Marca:	Año de fabricación:
Localización:	Vol. de Aceite (lts):
T. Dispositivo (°C):	Potencia (kVA):
Año de Prueba: 2023	Edad (años):
Muestreado por:	Robinson Salazar
Observaciones:	Aceite mineral Nuevo

CONDICIONES DEL ANÁLISIS EN EL LABORATORIO			
Temperatura Ambiente (°C)	29	Humedad Relativa (%)	82%
Presión atmosférica: (hPa)	1012	Temperatura (°C):	29
Prueba de Rigidez dieléctrica del Aceite		Máquina Huazheng HZJQ-1B	
Norma ATM 877D		Color: Amarillo Pálido	
Ensayo	Tiempo de reposo	Voltaje de Ruptura (kV)	
1	1 min	29.3	
2	2 min	31.3	
3	3 min	30.4	
4	4 min	30.2	
5	5 min	31.4	
VALOR PROMEDIO		30.52	
Resultado: Aceite se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Norma ASTM 877D y la Norma ASTM D 1524-84			

Elaborado por: Robinson Salazar

Revisado por Deyvis Saltos

REPORTE DE ANÁLISIS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR

Empresa: Encargado: Dirección: Ciudad: Teléfono: Correo electrónico:	Tipo de aceite N° de Muestra Fecha de Muestreo Fecha de Análisis Fecha de Reporte T. de la Muestra (°C)
---	--

Transformador	
Marca: Localización: T. Dispositivo (°C): Año de Prueba:	Año de fabricación: Vol. de Aceite (Its): Potencia (kVA): Edad (años):
Muestreado por:	

Observaciones:	
-----------------------	--

CONDICIONES DEL ANÁLISIS EN EL LABORATORIO			
Temperatura Ambiente (°C)		Humedad Relativa (%)	
Presión atmosférica: (hPa)		Temperatura (°C):	
Prueba de Rigidez dieléctrica del Aceite		Máquina Huazheng HZJQ-1B	
Norma ATM 877D		Color: Amarillo Pálido	
Ensayo	Tiempo de reposo	Voltaje de Ruptura (kV)	
1			
2			
3			
4			
5			
Resultado: Aceite se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Norma ASTM 877D y la Norma ASTM D 1524-84			

Elaborado por:

Revisado por: