



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PRÁCTICA PROFESIONAL**

**ELABORACIÓN DE FORMATOS DE PRUEBA COMO PARTE DE LA INTEGRACIÓN DE  
UNIDAD DE PRUEBAS A SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD, ENERCOM  
HONDURAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**21541040      FERNANDO IVÁN CANALES VERDIAL**

**ASESOR: HÉCTOR FERNANDO VILLATORO**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**MAYO, 2019**

## **AUTORIZACIÓN**

*AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.*

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)  
San Pedro Sura

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Yo, Fernando Iván Canales Verdial, de San Pedro Sula autor del trabajo de grado titulado: Elaboración de Formatos de Prueba Como Parte de la Integración de Unidad de Pruebas a Sistema De Gestión De Calidad, ENERCOM Honduras, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero en Energía, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula los 02 días del mes de Mayo de dos mil diecinueve.

02 de Mayo de 2019

*Fernando Canales*

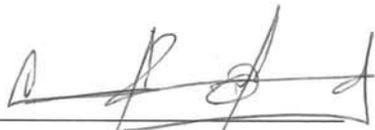
---

Fernando Iván Canales Verdial

21541040

## HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o Jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.



M.Eng. Ing. Carlos R. Suazo

Asesor Temático



PhD. Héctor F. Villatoro

Asesor UNITEC



Ing. Alicia Reyes

terna



Ing. Vielka Barahona

terna



Ing. Claudia Paz

terna



Ing. Vielka Soledad Barahona  
Jefe Académica de Ingeniería en Energía  
UNITEC, SPS.



Ing. Cesar Orellana  
Director de la Facultad de Ingeniería  
UNITEC, SPS.

## **AGRADECIMIENTO**

La finalización de mis estudios no es solo producto del esfuerzo individual sino también colectivo de muchas personas quienes han sido parte de esta etapa universitaria. Por esta razón hoy quiero reconocer a las siguientes personas, quienes sin su apoyo no hubiera sido posible lograr esta meta.

Mis padres, Lourdes Verdial y Jorge Canales quienes sin su apoyo, amor y sacrificio incondicional no hubiese llegado tan lejos. Padres gracias por enseñarme a ser quien hoy soy.

Mis hermanos, quienes han sido mis guías en este camino universitario. Hermanos gracias por su apoyo y darme un ejemplo a seguir.

A Indira Ochoa, quien ha sido mi fiel compañera durante la carrera y siempre me ha apoyado hasta en los momentos más difíciles. Gracias por todo tu apoyo, amor y cariño.

Al Ing. Carlos Suazo e Ing. Cruz María quienes me abrieron las puertas en ENERCOM y sin quienes no hubiera sido posible este trabajo.

Y a todo el resto de mi familia y amigos que, de una manera u otra, me apoyaron para poder lograr mi sueño de convertirme en un profesional de la Ingeniería y culminar mis estudios universitarios.

## **DEDICATORIA**

Esta obra está dirigida a toda mi familia con:

$$(r^2 - 1)^3 = r^5 \operatorname{sen}^3(\theta) \operatorname{cos}^2(\theta)$$

## **RESUMEN**

El siguiente proyecto de mejora consta de la elaboración de formatos de prueba a máquinas y equipos eléctricos en subestaciones eléctricas, con el objetivo de ser parte de los formatos de la empresa "Energía y Comunicaciones S de R.L.". Los formatos fueron realizados como parte de la integración de la nueva unidad de pruebas y mantenimiento eléctrico de la empresa.

La elaboración de los formatos conllevó aplicar conocimientos teóricos, técnicos e informáticos, que en este documento se engloban.

Los conocimientos informáticos fueron aplicados para la automatización de los formatos de prueba. De esta manera se logró automatizar la generación de reportes técnicos de pruebas. El método seleccionado para esta automatización fue la de programación a partir del lenguaje de Microsoft Visual Basics en la plataforma de Excel. Esta programación se realiza a partir de módulos llamados macros.

De la mano de la elaboración de formatos se realizaron las pruebas eléctricas en campo. Durante la ejecución de estas pruebas se aplicaron conocimientos teóricos y técnicos, resultando en una buena calidad de mediciones eléctricas.

Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron luego utilizados para poner a prueba los formatos y programaciones realizados. Esto resultó en la validación de la aplicación del trabajo realizado en este proyecto de mejora.

# ÍNDICE

<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos.....</b>	<b>2</b>
2.3. Objetivos.....	2
2.4.1. Objetivo General .....	2
2.4.2. Objetivos Específicos .....	2
<b>III. Marco Contextual .....</b>	<b>3</b>
3.1. Descripción de la Empresa .....	3
3.1.2. Misión .....	4
3.1.3. Visión.....	4
3.2. Descripción del Departamento o Unidad .....	4
3.3. Antecedentes del Problema.....	4
3.3.1 Enunciado/Planteamiento del Problema .....	5
3.3.2 Justificación .....	5
<b>IV. Marco Teórico .....</b>	<b>6</b>
4.1 Normativas Internacionales de Pruebas Eléctricas.....	6
4.1.1. Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE por sus siglas en inglés).....	6
4.1.2. Asociación Internacional de Prueba Eléctricas (NETA por sus siglas en inglés).....	7
4.1.3. Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE por sus siglas en francés) .....	7
4.1.4. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) .....	7
4.2. Equipos Bajo Ensayo .....	7
4.2.1. El Transformador de Potencia .....	8
4.2.2. Interruptores de Potencia.....	8
4.2.3. Transformadores de Instrumento .....	9
4.2.4. Seccionadoras o Desconectores.....	9
4.2.5. Pararrayos.....	9
4.2.6. Cable XLPE .....	9
4.3. Fundamento Teórico de pruebas Eléctricas.....	10
4.3.1. Pruebas a Aislamiento Eléctrico en Corriente Continua.....	10
4.3.2. Pruebas a Aislamiento Eléctrico en Corriente Alterna.....	14
4.3.3. Pruebas a Aceite Dieléctrico.....	17

4.3.4. Pruebas a Transformadores de Potencia .....	21
4.3.5. Pruebas A Interruptores De Potencia .....	26
4.3.6. Pruebas a Transformadores de Instrumento.....	28
<b>V. Metodología.....</b>	<b>31</b>
5.1. Técnicas Aplicadas .....	31
5.2. Instrumentos Aplicados .....	32
5.3. Fuentes de Información.....	35
5.4. Cronología de Trabajo .....	36
<b>VI. Descripción del Trabajo Desarrollado .....</b>	<b>37</b>
6.1. Teoría de Pruebas en Formatos .....	37
6.1.1. Generalidades y Objetivo .....	38
6.1.2. Criterio de Aceptación .....	38
6.2. Técnicas de Pruebas en Formatos.....	38
6.3. Programación de Formatos .....	39
6.3.1. Instrucciones del Programa .....	39
6.3.2. Bloques de Código (Macros).....	40
6.4. Ejecución de Pruebas.....	45
6.4.1. Pruebas a Transformadores Tipo Pedestal.....	45
6.4.2. Pruebas a Transformador de Red Primaria .....	46
6.4.4. Pruebas de Aislamiento a Acometidas de Generadores .....	47
6.4.5. Pruebas de Aislamiento a Generadores de Selladoras y Empacadoras.....	48
6.4.6. Cerro de Hula.....	48
6.4.7. Pruebas de Aislamiento a Acometidas de Generadores .....	49
6.4.8. Central Hidroeléctrica Río Lindo.....	49
6.4.9. Pruebas a Transformadores Secos.....	50
6.4.10. Termografía Mega Mall .....	50
6.5. Validación de Formatos de Prueba.....	51
<b>VII. Conclusiones .....</b>	<b>52</b>
<b>VIII. Recomendaciones.....</b>	<b>53</b>
<b>IX. Bibliografía.....</b>	<b>54</b>
<b>X. Anexos .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Circuito Equivalente de Aislamiento bajo Prueba en CC .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. Suma Vectorial de Corrientes.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3. Prueba de Relación de Transformación.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Modelo de un Transformador Real.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5. Límites de Precisión de Transformadores de Corriente.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Límites de Precisión de Transformadores de Potencial.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7. Curvas de Saturación Típica para Transformadores de Corriente Clase C.....</i>	<i>30</i>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Logo Energía y Comunicaciones S. de R.L.</i> .....	3
<i>Ilustración 2. MEGGER MIT 1025</i> .....	32
<i>Ilustración 3. MEGGER TRAX 220</i> .....	32
<i>Ilustración 4. Accesorio MEGGER TRAX TDX 120</i> .....	33
<i>Ilustración 5. MEGGER DET4TC2</i> .....	33
<i>Ilustración 6. Fluke Ti 400</i> .....	34
<i>Ilustración 7. HV Diagnostics HVA60</i> .....	34
<i>Ilustración 8. Menú de Pruebas</i> .....	40
<i>Ilustración 9. Formulario de Conexión de Desmagnetización</i> .....	44
<i>Ilustración 10. Transformador Tipo Pedestal</i> .....	45
<i>Ilustración 11. Transformador de Red Primaria</i> .....	46
<i>Ilustración 12. Área de Cortina, Hidroeléctrica El Yaguala</i> .....	47
<i>Ilustración 13. Acometidas de Generadores Cummins</i> .....	47
<i>Ilustración 14. Transformador de Potencia, Cerro de Hula</i> .....	48
<i>Ilustración 15. Interruptor de Potencia, Hidroeléctrica Río Lindo</i> .....	49
<i>Ilustración 16. Pruebas a Transformador Seco</i> .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Resistencias de Aislamiento Recomendadas para Equipos Eléctricos.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Resistencias de Aislamiento Recomendadas para Transformadores.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. Factor de Potencia/Disipación para Transformadores con Aislante Liquido .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 4. Voltajes de Prueba VLF.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 5. Valores Aceptables de Tensión Superficial para Aceites Nuevos y Usados.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 6. Valores Aceptables de Voltaje de Ruptura Dieléctrica (1mm de distancia).....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 7. Grado de Acidez Aceptable para Aceite Dieléctrico.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 8. Valores Aceptables de Factor de Potencia para Aceite Dieléctrico .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 9. Límite de Concentración de Gases Disueltos (ppm).....</i>	<i>21</i>

## I. INTRODUCCIÓN

Las pruebas eléctricas a los equipos son un requerimiento de funcionamiento básico de cualquier lugar que involucre sistemas eléctricos de potencias. Las pruebas eléctricas deberían posibilitar el diagnóstico que permita tomar las decisiones correctas con el fin de evitar los fallos y la degradación no controlada de éstos. Por tanto, este proceso requiere de la interpretación de los resultados fundamentados en normativas reguladoras locales e internacionales.

Los ensayos realizados a máquinas y equipos eléctricos trascienden mucho más allá que simplemente a un proceso de mediciones eléctricas realizadas en campo. Lejos de ello el ingeniero de pruebas debe utilizar su vasta experiencia y conocimientos técnicos en conjunto con la información proporcionada por los fabricantes de los equipos eléctricos para lograr evaluar y diagnosticar equipos eléctricos seguros, confiables y eficientes.

En Honduras, en vista de la inexistencia de una normativa nacional para los ensayos a equipos eléctricos de potencia, se utilizan como referencia las normativas reguladoras dictadas por asociaciones normativas internacionales tales como la IEEE, NETA, ASTM y CIGRE. Estas organizaciones proporcionan lineamientos para evaluar el estado de un equipo eléctrico y minimizar los riesgos de falla que se pueden provocar.

Energía y Comunicaciones es una empresa que se preocupa altamente por la calidad de sus proyectos eléctricos realizados, con el objetivo de garantizar esta calidad surge la necesidad de un nuevo departamento de pruebas. Esta empresa se encarga de diseñar y construir instalaciones electromecánicas seguras, amparándose bajo los criterios de normativas internacionales.

En este documento se tratarán las principales tareas realizadas dentro de la empresa, incluyendo la estructuración y programación de procesos y formatos a ser diligenciados para la integración de la nueva unidad de pruebas al sistema de gestión de calidad de la empresa.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.3. OBJETIVOS**

#### 2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar formatos de prueba como parte de la integración de la unidad de pruebas y mantenimiento eléctrico al sistema de gestión de calidad de la empresa Energía y Comunicaciones bajo la norma ISO 9001.

#### 2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar formatos de pruebas a equipos eléctricos de subestación que incluyan normas internacionales para la interpretación de los resultados.
- Programar formatos para automatizar el ingreso de datos de prueba utilizando el lenguaje de programación Microsoft Visual Basics en la plataforma de Excel.
- Crear acceso directo de los formatos y registro de formatos diligenciados mediante la plataforma red y web de la empresa.
- Asistir a gerente de unidad y técnico de pruebas en el desarrollo de pruebas eléctricas y redacción de reporte final de entrega a cliente, validando la utilidad de los formatos.

### III. MARCO CONTEXTUAL

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La compañía Energía y Comunicaciones es una empresa de alto prestigio que inició sus operaciones desde 1995, desde entonces ENERCOM se ha caracterizado por ser una compañía prestigio y sólido crecimiento. Una de sus principales características como empresa es su enfoque en la alta calidad de sus trabajos, representada en la fidelidad y confianza de sus clientes. El giro principal de la empresa es la realización de proyectos eléctricos y mecánicos de cualquier envergadura.

Energía y Comunicaciones se caracteriza por realizar, además, estudios de carga y diseños para sistemas de generación incluyendo sincronización, protección y subestaciones asociadas. La empresa realiza también las evaluaciones de los sistemas eléctricos y mecánicos instalados, así como estudios especializados para la industria y comercio. Estos estudios incluyen:

- Estudio de Corto Circuito
- Estudios de Termografía y Mantenimiento General
- Estudio de Calidad de Energía
- Estudio de Arco Eléctrico

##### 3.1.1. Logo de la Empresa



**Ilustración 1. Logo Energía y Comunicaciones S. de R.L.**

FUENTE: (ENERGÍA Y COMUNICACIONES S. DE R.L., 1995)

### 3.1.2. MISIÓN

Proveer máximo valor a nuestros clientes con profesionalismo, innovación, eficiencia y agilidad y estar altamente comprometido con la satisfacción del cliente en base a nuestra ética profesional.

Generar rentabilidad para cumplir con las expectativas de las partes interesadas del negocio y motivar, recompensar y desarrollar a nuestro personal en base al empoderamiento, desarrollo personal e integridad. (Energía y Comunicaciones S. de R.L., 1995)

### 3.1.3. VISIÓN

Ser una empresa de Diseño, Construcción y Administración de Proyectos eléctricos y mecánicos, líder en el mercado nacional enfocada en el cliente, con valores humanos, ágil, rentable y de calidad, a nivel nacional y regional, que agrega valor a sus clientes y prosperidad a sus miembros. (Energía y Comunicaciones S. de R.L., 1995)

## **3.2. DESCRIPCIÓN DEL DEPARTAMENTO O UNIDAD**

La unidad de pruebas y mantenimiento de la empresa Energía y Comunicaciones está aún en su génesis. Por lo tanto, este departamento solamente se encuentra conformado por un solo técnico de pruebas y es gestionado directamente por el gerente general de la empresa. Este departamento es encargado de realizar los debidos ensayos a clientes externos e internos de la empresa, esto para garantizar la calidad y confiabilidad de los equipos eléctricos bajo estudio.

Este departamento cuenta con un inventario de equipo de prueba utilizados para la realización de los ensayos a equipos eléctricos de subestación. La unidad es responsable de utilizar estos recursos para realizar las debidas mediciones eléctricas y evaluar la condición del equipo a prueba.

## **3.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

La empresa Energía y Comunicaciones decide desplegar la unidad de pruebas al percibir un mercado abierto en Honduras y una demanda tanto de clientes externos de la empresa como de la necesidad de realizar pruebas internas en la ejecución de sus proyectos electromecánicos.

### 3.3.1 ENUNCIADO/PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Energía y comunicaciones es una empresa certificada ISO 9001 que mantiene una política de calidad y mejora continua en sus departamentos. Sin embargo, en el caso de la unidad de pruebas eléctricas, por estar en sus inicios, no existen procedimientos ni formatos definidos para la ejecución de trabajos por la unidad.

### 3.3.2 JUSTIFICACIÓN

El objetivo de la gerencia es el de integrar y desplegar la unidad de pruebas bajo su sistema de gestión de calidad certificado ISO 9001. Este proyecto de mejora busca desarrollar y validar los procedimientos y formatos necesarios para lograr esta integración.

## **IV. MARCO TEÓRICO**

Para llevar a cabo la pluralidad de tareas que conlleva realizar las pruebas eléctricas a equipos de subestación, es imperioso contar con un sólido fundamento teórico tanto de los conceptos técnicos de máquinas eléctricas y las normativas internacionales que regulan sus parámetros de funcionamiento, así como de las medidas de seguridad industrial necesarias para su realización.

Así mismo la interpretación de los resultados se deberá respaldar de estándares definidos por normativas de pruebas internacionales. A la vez se deberá mantener historial de estos resultados obtenidos por la unidad, creando una base de datos que pueden ser utilizados como referencia en muchos casos de interpretación de resultados futuros. Por tanto, habiendo hecha notoria la necesidad de un fundamento teórico se procede a plantearlo.

### **4.1 NORMATIVAS INTERNACIONALES DE PRUEBAS ELÉCTRICAS**

Con el objetivo de que los equipos eléctricos funcionen de manera segura y eficaz, así como para garantizar la calidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos de potencia, se realizan las pruebas eléctricas sobre estos equipos. Estas pruebas deben realizarse siguiendo un fundamento teórico establecido en normas, regulaciones y estándares internacionales.

Mediante el análisis y la aplicación de las normas, regulaciones y estándares, se puede obtener una apreciación completa de los requisitos que debe cumplir cada equipo bajo estudio, así como los procedimientos a seguir para la realización de estas prácticas. Los parámetros que se utilizan para la ejecución de pruebas eléctricas están basados en las normativas de las siguientes agencias reguladoras:

#### **4.1.1. INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA (IEEE POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)**

El instituto de ingeniería eléctrica y electrónica (IEEE) es una asociación de ingenieros encargada del desarrollo de muchas normativas y estándares técnicos en los aspectos de la ingeniería. En el aspecto de las pruebas eléctricas, la IEEE contribuye con la aceptación de estándares de pruebas basado en la experiencia y experimentaciones de una comunidad científica de más de 160 países. (IEEE, 2019)

#### 4.1.2. ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE PRUEBA ELÉCTRICAS (NETA POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Esta asociación tiene por misión servir a la industria de pruebas eléctricas estableciendo estándares, publicando especificaciones y certificando a compañías, técnicos y profesionales en el área de pruebas eléctricas (NETA, 2019). Los estándares de la NETA más referenciados en este proyecto de mejora serán los de aceptación ANSI/NETA ATS-2009 y mantenimiento ANSI/NETA MTS-2013.

#### 4.1.3. CONSEJO INTERNACIONAL DE GRANDES REDES ELÉCTRICAS (CIGRE POR SUS SIGLAS EN FRANCÉS)

CIGRE es una comunidad global colaborativa dedicada a compartir y avanzar el conocimiento mundial de los sistemas eléctricos de potencia. Las actividades de este consejo se dividen en 16 comités de estudio, concentrándose cada uno en un área de estudio de potencia. El trabajo final de los comités se presenta en forma de folletos técnicos que se utilizan con frecuencia como precursores de estándares internacionales. (CIGRE, 2019)

#### 4.1.4. SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS Y MATERIALES (ASTM POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Esta sociedad se encarga de desarrollar y publicar estándares técnicos acerca de una gran variedad de materiales, productos, sistemas y servicios. En el área de pruebas eléctricas la sociedad realiza los estándares que regulan las características que definen el condicionamiento de los aceites dieléctricos utilizados como aislante en muchos equipos eléctricos. (ASTM, 2019)

### **4.2. EQUIPOS BAJO ENSAYO**

En los sistemas eléctricos de potencia existen múltiples equipos que deben funcionar en conjunto para lograr un solo objetivo de suministrar energía eléctrica con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad. Sin embargo, la deterioración de estos equipos es inevitable y normal. Por esta condición y con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de todos estos equipos, se realizan ensayos en ellos. A continuación, se dará una breve explicación de las características técnicas y aplicaciones de estos equipos bajo ensayo:

#### 4.2.1. EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

El transformador es una maquina electromagnética, cuya función principal es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas. (Martín, 2000). El propósito principal es el de cambiar niveles de voltaje, sin embargo, los transformadores también son utilizados para otros propósitos, por ejemplo, para muestreo de voltaje, muestreo de corriente y acoplamiento de impedancia (Chapman, 2012). Los transformadores se componen de dos o más devanados aislados enrollados alrededor de un núcleo ferromagnético, además de otros componentes que varían según el tipo y tamaño del transformador.

El funcionamiento de un transformador se basa, entonces, en ciertas características de estos componentes, como relación de vueltas, aislamiento y pérdidas en ellos. Por esta razón se realizan los ensayos eléctricos con el propósito de verificar que estas características sean las indicadas en pruebas de aceptación o no hayan cambiado con el tiempo en pruebas de mantenimiento.

#### 4.2.2. INTERRUPTORES DE POTENCIA

Estos equipos tienen el propósito de interrumpir fuertes corrientes que se pueden presentar durante fallas en el sistema electricos, protegiendo el resto de las instalaciones (Brokering, 2008). Debido a que su propósito es proteger, es de vital importancia procurar que se encuentre en condiciones óptimas para su operación cualquier momento.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes de intensidades y factores de potencia diferentes (Martín, 2000). Para realizar esto con éxito el interruptor debe de tener un buen diseño mecánico y eléctrico según sus parámetros de diseño, como corriente de corto circuito y tensiones de operación. La complejidad de un interruptor ira conforme a estos parámetros.

Un interruptor tiene cuatro componentes principales: un medio interruptor (que puede ser gas SF<sub>6</sub>, vacío, aire o aceite), una cámara de interrupción donde se mantiene este medio, un Sistema aislante y un mecanismo de operación (CFE, 2003). Con el objetivo de evaluar la condición de estos componentes se realizan ensayos eléctricos en el interruptor de potencia.

#### 4.2.3. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Este tipo de transformadores son utilizados con el propósito especial de realizar mediciones de corriente y voltaje (Chapman, 2012). Existen dos tipos de transformadores instrumento, los de corriente y los de tensión. Estos dos se emplean con el objetivo de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de tableros de control y protección (Martín, 2000).

Los transformadores de corriente se conectan en serie a una línea conduciendo corriente y reducen la corriente a niveles seguros de medir. Por su parte los transformadores de potencial se conectan en paralelo, entre fases o entre fase y neutro, y reducen los niveles de voltaje. Al ser instrumentos de medición y protección, estos transformadores deben cumplir con altos estándares de precisión. Por esta razón y para determinar sus demás características se les realizan pruebas eléctricas.

#### 4.2.4. SECCIONADORAS O DESCONECTADORES

Estos son equipos se utilizan para aislar instalaciones previamente desenergizadas, puesto a que éstos no pueden interrumpir altas corrientes (Brokering, 2008). Estas también deben de cumplir estándares de aislamiento y baja resistencia en sus contactos, por ello la necesidad de ensayos eléctricos.

#### 4.2.5. PARARRAYOS

Los pararrayos son instrumentos de seguridad en sistemas eléctricos, los cuales limita los sobre voltajes proveyendo una trayectoria de conducción de baja impedancia entre la línea y tierra (Gross, s. f.).

#### 4.2.6. CABLE XLPE

“Es un cable monoconductor formado por cobre suave o aluminio duro con elementos bloqueadores de humedad, con pantalla semiconductor sobre el conductor y aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE), pantalla sobre el aislamiento extruido, pantalla metálica a base de alambres de cobre y cubierta de policloruro de vinilo altamente deslizante (PVC-RAD)” (Walker, 1990).

### 4.3. FUNDAMENTO TEÓRICO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS

#### 4.3.1. PRUEBAS A AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA

Las pruebas realizadas en corriente continua (CC) son aplicables a cualquier aislamiento. Estas pruebas se realizan aplicando altas tensiones, dependiendo la magnitud de esta del voltaje nominal del equipo a prueba en corriente alterna (CA), y midiendo la calidad de su aislamiento.

Cuando se aplica una tensión CC se produce una corriente de fuga en el aislamiento a prueba. Al analizar esta corriente producida se puede observar que varía en el tiempo. Esto se debe a que esta corriente está conformada por distintos componentes.

1. Corriente Capacitiva: Esta corriente se debe al comportamiento transitorio de un aislante (material dieléctrico) en CC. Esta componente de la corriente estará dada por la ecuación 1, la cual es función del tiempo. Esta componente de la corriente disminuirá exponencialmente en el tiempo, llegando a ser despreciable una vez  $t=5(RC)$ .

$$i_e = \left(\frac{E}{R}\right) e^{-t/RC}$$

#### **Ecuación 1. Corriente de Carga Capacitiva**

Donde:

E = Voltaje aplicado en CC

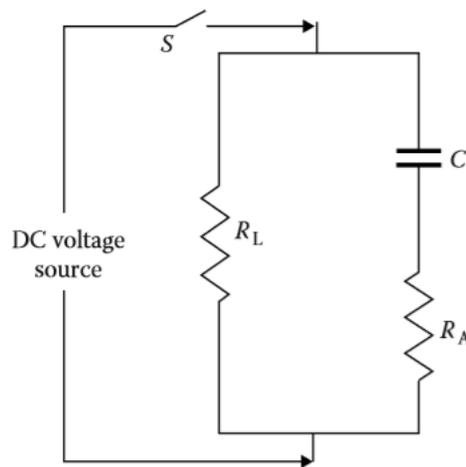
R = Resistencia en serie del capacitor

C = Capacitancia del material aislante.

2. Corriente de Absorción Dieléctrica: Esta componente de la corriente se debe a la pequeña componente resistiva de un material dieléctrico real. Al igual que la componente anterior, esta es disminuye en el tiempo. Sin embargo, esta componente no llega a magnitudes tan grandes como la anterior y puede durar varios minutos para llegar a un valor cercano a cero.
3. Corriente de Fuga: Se debe a la corriente que fluye en la superficie del aislamiento donde emergen a un punto de potencial cero (Tierra). Esta componente puede ser evitada limpiando la superficie del aislante a probar antes de iniciar la prueba.

4. Corriente de Descarga Parcial (efecto Corona): Esta es la pequeña parte de la corriente que puede llegar a ser conducida en el aire. Sin embargo, esta corriente no ocurre a bajos voltajes y debe ser evitada a voltajes mayores de 4 kV.
5. Corriente de Conducción: Es la corriente que logra atravesar el aislamiento y es la corriente que persistirá una vez se las demás componentes lleguen a ser despreciables. Esta es la corriente con la cual se evalúa la condición de un aislante.

Finalmente se procede a realizar un circuito equivalente de las componentes de un aislante mientras se le aplique una tensión CC, ver figura 1. Donde  $R_L$  representa la resistencia a la corriente de conducción,  $C$  la capacitancia del material dieléctrico y  $R_A$  la resistencia a la corriente de absorción dieléctrica. (Martín, 2000)



**Figura 1. Circuito Equivalente de Aislamiento bajo Prueba en CC**

Fuente: (Gill, 2009)

#### a) Prueba de Resistencia de Aislamiento

Esta es una prueba que se realiza con el objetivo de medir la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores o entre un conductor a tierra. La resistencia de aislamiento se mide aplicando una tensión en CC utilizando un instrumento llamado megóhmetro. Al aplicar la tensión, a rangos entre 100-15,000 V, se produce una corriente como se expuso en la sección anterior. Tomando esta medida de corriente se puede determinar una resistencia basada en la ley de Ohm. (Martín, 2000)

Sin embargo, la medida de esta resistencia varía con diversos factores, tales como la temperatura, humedad y tiempo. Debido a esto las medidas de resistencia deben ser

corregidas a una temperatura estándar de 20 °C. Esta prueba se puede realizar de cuatro distintas maneras:

1. Medidas Puntuales: Son pruebas de corta duración que miden la resistencia del aislamiento puntualmente después de cierto tiempo, generalmente 30 o 60 segundos.
2. Prueba de Razón de Absorción Dieléctrica (DAR): Esta prueba mide la razón que existe entre las medidas de resistencia variables en el tiempo, debido al comportamiento explicado en la sección anterior. Los valores de DAR menores de 1.25 pueden ser indicación de degradación en el aislante. Esta razón se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$DAR = \frac{\text{Resistencia medida a los 60 seg}}{\text{Resistencia medida a los 30 seg}}$$

### **Ecuación 2. Razón de Absorción Dieléctrica**

3. Pruebas de Índice de Polarización (IP): El índice de polarización, al igual que el DAR, es una razón entre medidas de resistencia variables en el tiempo. La diferencia está en la duración de la prueba, ya que la prueba de IP compara valores de resistencia medidos después de 1 y 10 minutos. Valores de IP menores de 1 indican la deterioración de un aislamiento y la necesidad de mantenimiento inmediato.

$$IP = \frac{\text{Resistencia medida a los 10 min}}{\text{Resistencia medida a 1 min}}$$

### **Ecuación 3. Índice de Polarización**

4. Prueba de voltaje por pasos: Este método de prueba aplica incrementos tensiones en intervalos de tiempo definidos, comparando características del aislamiento a voltajes altos que no se observan a bajos voltajes. (IEEE Std 43-2013)

Las resistencias medidas son evaluadas según el equipo y el voltaje de operación del equipo a prueba. Tomando referencia de lo establecido en las normas ANSI/NETA ATS-2009 y ANSI/NETA MTS-2013 tablas 100.1 y 100.5 se interpretan los resultados de la siguiente manera:

**Tabla 1. Resistencias de Aislamiento Recomendadas para Equipos Eléctricos**

Voltaje Nominal [V]	Voltaje de Prueba CC [V]	Mínima Resistencia Recomendada [ $M\Omega$ ]
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,000
8,000	2,500	2,000
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	20,000
$\geq 34,500$	15,000	100,000

Fuente: (ANSI/NETA ATS-2009)

**Tabla 2. Resistencias de Aislamiento Recomendadas para Transformadores**

Voltaje Nominal de Devanado Bajo Prueba [V]	Voltaje de Prueba CC [V]	Mínima Resistencia Recomendada [ $M\Omega$ ]	
		Aislante Liquido	Aislante Seco
0 - 600	1,000	100	500
601 – 5,000	2,500	1,000	5,000
$\geq 5,000$	5,000	5,000	25,000

Fuente: (ANSI/NETA ATS-2009)

#### b) Prueba de Alta Tensión (Hipot)

La prueba de alta tensión o hipot, por su abreviación en inglés de High Potential, consiste en aplicar un voltaje igual o mayor al equivalente en CC de el voltaje nominal de un equipo eléctrico ( $\sqrt{2}$  veces el voltaje RMS). Esto con el objetivo de reflejar la capacidad del aislamiento de soportar altas tensiones y por ende altos esfuerzos eléctricos.

La prueba consiste en aplicar incrementos de tensión ya sea de manera continua (rampa) o en pasos hasta llegar a una máxima tensión. Una vez alcanzada esta máxima tensión se debe mantener por un periodo de 5 a 15 minutos, midiendo continuamente las corrientes de fuga producidas. Los resultados de la prueba serán entonces aceptables si el aislamiento soporta

esta sobretensión por dicho tiempo y no se evidencian defectos identificados por la ruptura del material dieléctrico, excesivas corrientes de fuga o perforaciones en el aislante.

Someter a los equipos eléctricos a dichas sobretensiones resulta tener efectos destructivos en el aislante de estos, por dicha razón se ha reemplazado esta prueba por otras alternativas.

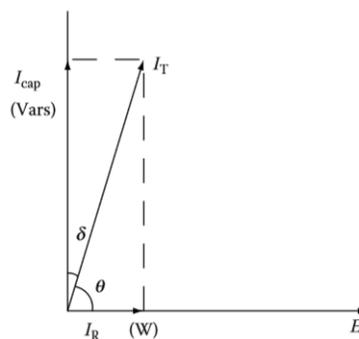
#### 4.3.2. PRUEBAS A AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN CORRIENTE ALTERNA

Las pruebas de CA en el aislamiento eléctrico son análogas a las pruebas en CC, en el sentido que también se realizan aplicando altas tensiones y midiendo las corrientes de fuga provocadas. La diferencia está en el comportamiento distinto de un aislante en CA.

En el análisis de la corriente de fuga provocada en CA se compone también de las mismas componentes que en CC, con la diferencia que la componente capacitiva de la corriente es permanente. Por dicha razón los resultados de pruebas en CA no son dependientes en el tiempo de prueba como es el caso en CC.

Esta corriente provocada atravesara el aislamiento, el cual puede ser representado por el mismo circuito equivalente ilustrado en la figura 1. Esta corriente se compondrá de una parte activa y una reactiva.

La componente reactiva será la corriente capacitiva del circuito, la cual estará  $90^\circ$  en adelanto del voltaje. La parte activa será la corriente que atraviesa el lado resistivo del aislamiento. Si despreciamos la resistencia a la corriente de absorción dieléctrica y hacemos un análisis nodal en el circuito veremos que la suma vectorial de estas dos corrientes será igual a la corriente de fuga total, ver figura 2.



**Figura 2. Suma Vectorial de Corrientes**

Fuente: (Gill, 2009)

Los resultados obtenidos en estas pruebas reflejan de mejor manera la condición real a la cual operan los equipos a su voltaje nominal y a 60 Hz. De tal manera se puede monitorear el deterioro de un aislamiento eléctrico a lo largo de su vida útil. Los resultados de estas pruebas no dependerán del tiempo de prueba, sin embargo, si dependerán de las condiciones en las cuales se realicen las pruebas tales como temperatura y humedad.

a) Prueba de Factor de Potencia/Disipación (Tangente Delta)

La prueba de factor de potencia/disipación o tangente delta consiste en, como su nombre lo indica, medir la relación que existe entre las componentes activas y reactivas de la corriente que atraviesa un aislante eléctrico. La parte activa corresponde a las pérdidas resistivas que se dan en el aislante, las cuales finalmente se convierten en calor que provoca la degradación del aislante. La parte reactiva, la cual debe ser mucho mayor en relación con la anterior, corresponde a la corriente capacitiva del aislante que está dada por la ecuación 4. Cambios de esta componente capacitiva indican la degradación o deterioración de un aislante eléctrico a lo largo de su uso.

$$I_{cap} = \frac{E}{X_C} = E\omega C$$

**Ecuación 4. Corriente Capacitiva**

En esta ecuación se demuestra que la magnitud de la corriente capacitiva está dada por la ley de ohm en la parte reactiva del circuito. Aquí E representa voltaje, X<sub>c</sub> la reactancia capacitiva la cual es igual a un factor de 1/ωC donde ω es la velocidad angular y C la capacitancia.

La relación entre componentes de corriente se puede observar en su diagrama fasorial, figura 2. Aquí la relación de factor de potencia y factor de disipación sería:

$$\text{Factor de Potencia/Disipación} = \frac{\cos \theta}{\cos \delta} = \frac{\frac{I_R}{I_T}}{\frac{I_C}{I_T}} = \frac{I_R}{I_C} = \tan \delta$$

**Ecuación 5. Relación Factor de Potencia/Disipación**

Aunque el método de medición general utilizado por los equipos de prueba es, asumir que la componente resistiva representa un valor despreciable en comparación a la componente capacitiva de la corriente. Por tanto, el factor de potencia y tangente delta se asumen tienen el mismo valor.

En la práctica el factor de potencia se mide tomando la relación entre la parte activa de la potencia, y la potencia aparente total, ver ecuación 6. La parte activa corresponderá a las pérdidas dieléctricas en el aislante la cual estará sujeta al volumen de aislante, sin embargo, no suele superar el orden de los [mW]. Por su parte la potencia aparente será una medida muy grande en comparación, resultando en medidas de factor de potencia muy pequeñas.

$$FP = \cos \theta = \frac{\text{pérdidas dieléctricas [W]}}{\text{potencia de carga [VA]}} * 100\%$$

### Ecuación 6. Medición de Factor de Potencia

La ventaja de evaluar la condición de un aislante en base a esta relación es que no dependerá del volumen de aislante bajo prueba solamente del tipo y calidad del aislante. Por tanto, se pueden establecer valores estándares para cualquier tamaño según el tipo de aislante. En el caso de transformadores que utilizan aceite como aislante se recomiendan los límites en la tabla 3. Sin embargo, debido a la gran variedad de tipos, marcas y calidad de aislantes eléctricos, comúnmente los resultados se evalúan bajo los estándares establecido por el fabricante del equipo a prueba o comparándolas con referencias de pruebas anteriores.

**Tabla 3. Factor de Potencia/Disipación para Transformadores con Aislante Líquido**

Valores Máximos para Aceite, Silicón, e Hidrocarburos menos inflamables (Porcentaje)	
Transformadores de Potencia Nuevos	0.5%
Transformadores de Distribución Nuevos	1.0%
Transformadores de Potencia Refabricados	1.0%
Transformadores de Distribución Refabricados	1.5%

Fuente: (ANSI/NETA ATS-2009)

#### b) Prueba de Muy Baja Frecuencia (VLF)

Esta prueba es una alternativa a la prueba de hipot, en ella se inducirán altas tensiones en CA a bajas frecuencias con el mismo objetivo de verificar la capacidad de un aislante eléctrico. El propósito de realizar la prueba a muy bajas frecuencias es el de evitar someter al aislante a un estrés eléctrico constante el cual resulta destructivo. Para cumplir este propósito se sugiere efectuar las pruebas a frecuencias menores de 1 Hz.

Los resultados, igual que en el caso de las pruebas en CC, serán aceptables en caso de soportar estas altas tensiones por un tiempo predeterminado sin detectarse fallas ni defectos en el aislante bajo prueba. El voltaje de prueba se determinará según el voltaje nominal del equipo bajo prueba, el estándar de la IEEE recomienda los siguientes valores según el tipo de prueba VLF a realizar.

**Tabla 4. Voltajes de Prueba VLF**

Voltaje Nominal [kV]	Instalación [kV]	Aceptación [kV]	Mantenimiento [kV]
5	9	10	7
8	11	13	10
15	19	21	16
20	24	26	20
25	29	32	24
28	32	36	27
30	34	38	29
35	39	44	33
46	51	57	43
69	75	84	63

Fuente: (IEEE STD 400.2-2013)

#### 4.3.3. PRUEBAS A ACEITE DIELECTRICO

En muchos equipos eléctricos es común emplear como aislante fluidos con características aislantes mejores que las del vacío. Dichos fluidos pueden ser líquidos en forma de aceites minerales y sintéticos o gases con propiedades aislantes como el gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Las propiedades de estos fluidos se ven afectadas adversamente con la deterioración y/o contaminación, por esta razón es de práctica común realizar pruebas para conocer su condición.

La información se centrará en las pruebas realizables a aceites dieléctricos, dado que hasta el momento ENERCOM realiza solamente pruebas en aislantes líquidos.

## a) Pruebas Fisicoquímicas

Cada sustancia tiene un conjunto de propiedades tanto químicas como físicas que son características que le dan una identidad exclusiva. Las propiedades físicas son aquellas que son inherentes de una sustancia y se pueden conocer sin alterar su composición molecular, tales como el color y gravedad específica. Por otro lado, las propiedades químicas requieren de una alteración de la composición de una muestra del aceite.

Estas pruebas se realizan a menudo con el propósito de conocer las propiedades que le dan características únicas como aislante al aceite dieléctrico y conocer su deterioro en el tiempo. Para conocer cada una de ellas existe un método ASTM establecido.

1. Tensión Superficial (ASTM D971): Esta es una medida de las fuerzas atractivas entre las moléculas del aceite en su superficie. La prueba se realiza midiendo la tensión superficial del aceite en presencia de agua. Esto provee una medida de la solubilidad que tendrán las moléculas de agua en el aceite. Los valores recomendados para aceites minerales se muestran en la tabla 4.

**Tabla 5. Valores Aceptables de Tensión Superficial para Aceites Nuevos y Usados**

	Voltaje Nominal [kV]	Tensión Superficial [Mn/m] [1]
Aceite Mineral Nuevo	Cualquiera	38
	≤ 69	25
Aceite Mineral Usado	> 69 ≤ 230	30
	> 230	32

Fuente: (IEEE Std C57.152-2013)

2. Resistencia Dieléctrica (ASTM D1816): Esta prueba consiste en medir el voltaje de ruptura dieléctrica del aceite aislante, de tal manera confirmar la capacidad del aceite de soportar alto estrés eléctrico sin fallar. El método de prueba consiste en aplicar altas tensiones a dos electrodos esféricos separados 1 o 2 mm de distancia encapsuladas en una muestra del aceite hasta llegar a la ruptura dieléctrica de este. Los valores aceptables de voltaje de ruptura se muestran en la tabla 5.

1. [1] mN/m = Milinewtons/metro

**Tabla 6. Valores Aceptables de Voltaje de Ruptura Dieléctrica (1mm de distancia)**

	Voltaje Nominal [kV]	Resistencia Dieléctrica [kV]
Aceite Mineral Nuevo	≤ 69	25
	> 69 < 230	30
	> 230 < 340	32
	≥ 340	35
Aceite Mineral Usado	≤ 69	23
	> 69 ≤ 230	28
	> 230	30

Fuente: (IEEE Std C57.152-2013)

- Gravedad Específica (ASTM D1298): La gravedad específica es una comparación entre la densidad del aceite contra la densidad del agua para una temperatura y volumen dados. La prueba se realiza empleando un areómetro en un volumen de muestra del aceite. Los valores medidos deben de ser mayores de 0.69 [kg/m<sup>3</sup>].
- Acidez (ASTM D974): Un aceite nuevo no debe de contener ningún grado de acidez si su proceso de refinado fue correcto. La acidez se genera a partir de procesos de oxidación dados por la degradación del aceite. Por dicha razón es de gran importancia realiza pruebas periódicas de acidez evitando fallas debidas al deterioro del aceite. La acidez del aceite se mide a partir de los miligramos de hidróxido de potasio (KOH), un compuesto alcalino, necesarios para neutralizar una muestra de aceite. A este valor se le denomina número de neutralización y debe encontrarse bajo los siguientes valores.

**Tabla 7. Grado de Acidez Aceptable para Aceite Dieléctrico**

	Voltaje Nominal [kV]	Numero de Neutralización [mgKOH/g]
Aceite Mineral Nuevo	Cualquiera	0.015
	≤ 69	0.20
Aceite Mineral Usado	> 69 ≤ 230	0.15
	> 230	0.10

Fuente: (IEEE Std C57.152-2013)

5. Factor de Potencia (ASTM D924): Como se expone en la sección anterior, esta medida indica la relación entre pérdidas dieléctricas y una potencia de carga aplicada durante una prueba en CA. Estas pruebas se realizan para determinar la condición y calidad de un aceite aislante, además el cambio de esta propiedad indica el deterioro efectivo de un aislante. Como estándar se establecen los siguientes valores como aceptables.

**Tabla 8. Valores Aceptables de Factor de Potencia para Aceite Dieléctrico**

	Factor de Potencia a 25 °C	Factor de Potencia a 100 °C
Aceite Mineral Nuevo	0.05	0.40
Aceite Mineral Usado	0.5	5

Fuente: (IEEE Std C57.152-2013)

6. Colorimetría (ASTM D1500): Esta prueba se realiza comparando visualmente una muestra limpia del aceite con un estándar dado, asignado a cada color de aceite un número del 0 al 8 que indica su condición visual. Valores mayores de 4 indican malas condiciones.

Si todas estas propiedades se encuentran bajo los estándares establecidos se considera que el aceite se encuentra en buenas condiciones para su servicio.

#### b) Análisis de Gases Disueltos (AGD)

Estas pruebas son realizadas en laboratorio, en ellas se extraen todos los gases disueltos en una muestra de aceite. Luego estos gases son pasados por una cromatografía con el objetivo de separar y determinar las concentraciones en partes por millón (ppm) de los distintos gases disueltos. Estos gases se generan a partir de la descomposición del aceite ya sea por altas temperaturas, envejecimiento, descargas parciales y/o arcos eléctricos pequeños.

El análisis de estas concentraciones puede revelar información acerca de la condición de un transformador. Este análisis se puede realizar en dos instancias, la primera por el número total de gases combustibles presentes en la muestra. Este primer método es el mayormente utilizado en campo por ser fácil y rápido de realizar, sin embargo, no es tan efectivo.

El segundo método consta del análisis de todos los gases disueltos por separado. Esto resulta ser más informativo que el método anterior, ya que se analizan por separado concentraciones de hidrogeno, nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno, metano, etano, etileno y acetileno. Cada uno de estos gases tiene un límite de concentración, ver tabla 8, y se toman como parámetro para evaluar la condición del aceite.

**Tabla 9. Límite de Concentración de Gases Disueltos (ppm)**

Estado	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Condición 1	100	120	35	50	65	350	2500
Condición 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2550-4000
Condición 3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000
Condición 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000

Fuente: (IEEE Std C57.104-2008)

#### 4.3.4. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Las pruebas a transformadores tienen un solo objetivo, asegurar la operación segura y confiable de un transformador durante su vida útil. Para lograr este objetivo se deben realizar pruebas y mantenimientos periódicos.

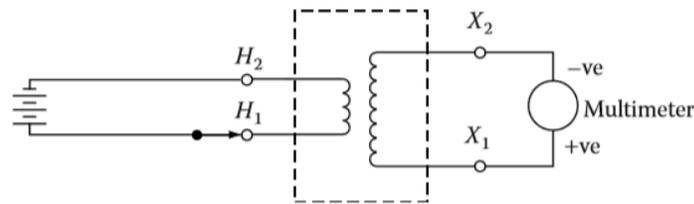
Dicho esto, existen distintas pruebas realizables a un transformador. Cada una de ellas pondrá a prueba diferentes particularidades de un transformador, las cuales deben de trabajar en conjuntos para cumplir el objetivo común de un transformador. Dicho esto, se procede a hablar en detalle de cada una de estas pruebas.

##### a) Prueba de Relación de Transformación (TTR)

La prueba de relación de transformación o TTR por sus siglas en inglés comprueba que existe la correcta relación de vueltas en las bobinas de un transformador. Los resultados de esta prueba pueden indicar problemas en los devanados, tales como vueltas cortocircuitadas y circuitos abiertos.

Esta prueba consiste en aplicar una tensión CA en los devanados del primario y medir el voltaje inducido en uno de los secundarios del transformador, ver figura 3. La magnitud de la

tensión aplicada varía dependiendo del equipo de prueba, como estándar ENERCOM estableció aplicar voltajes de 250 V.



**Figura 3. Prueba de Relación de Transformación**

Fuente: (Gill, 2009)

Una vez medido el voltaje inducido en el secundario se puede proceder a calcular la relación a partir de la ecuación 7. En esta ecuación el  $N_P$  representa número de vueltas en el primario,  $N_S$  número de vueltas en el secundario lo cual es igual a la relación entre  $V_P$  voltaje primario y  $V_S$  voltaje secundario.

$$\text{Relación de Transformación} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

#### **Ecuación 7. Medición de Relación de Transformación**

Este procedimiento se debe repetir para todas las combinaciones de devanados y en cada posición del cambiador de tomas (TAPS) de un transformador. La interpretación de los resultados se realiza comparando las relaciones medidas con las medidas nominales de placa. La desviación aceptable establecida en el estándar IEEE Std C57.152™-2013 es de 0.5% contra los datos de placa. En transformadores nuevos, normalmente se encuentran desviaciones de no más de 0.1%.

La medición de la relación de transformación también determina las polaridades de los devanados, confirmación de grupos vectoriales y ángulo de desfase según el grupo vectorial.

#### **b) Prueba de Resistencia de Devanados**

Esta prueba consiste en aplicar cierta corriente en CC a través de los devanados primarios y secundarios de un transformador y basándose en la ley de Ohm para medir su resistencia. Estas se miden periódicamente en campo con el objetivo de verificar si existen espiras cortocircuitadas, conexiones sueltas, conductores rotos o deterioración en los contactos de un cambiador de tomas.

Para evitar lecturas erróneas la corriente aplicada a los devanados debe ser suficiente como para saturar el núcleo del transformador. Esto sucede generalmente cuando la corriente de prueba es aproximadamente 1% de la corriente de carga nominal en los devanados de baja tensión, y en los devanados de alta tensión se aplica el 10% de la misma. La corriente de carga nominal es calculada a partir de la siguiente ecuación.

$$I_{nom} = \frac{\text{Capacidad [VA]}}{\sqrt{3} \cdot V_{nom} [V]}$$

#### **Ecuación 8. Corriente de Carga Nominal de Transformadores Trifásicos**

La prueba debe ser realizada en todas las posiciones del cambiador de tomas para la evaluación completa de un transformador. Luego estas lecturas de resistencia tomadas en campo deben ser corregidas a una temperatura estándar, usualmente 20 o 75 °C. La corrección se realiza utilizando la siguiente ecuación.

$$R_C = R_M \times \left( \frac{CF + CT}{CF + WT} \right)$$

#### **Ecuación 9. Corrección de Resistencia Óhmica por Temperatura**

En esta ecuación  $R_C$  es la resistencia corregida,  $R_M$  resistencia medida,  $CF$  es el factor de corrección según el material de los embobinados (Cobre: 235, Aluminio: 225),  $CT$  es la temperatura estándar y  $WT$  la temperatura del devanado en el momento de la prueba.

Una vez las medidas han sido corregidas se comparan estos valores con los de pruebas realizadas anteriormente o de fábrica. El criterio de aceptación establecido según el estándar IEEE Std C57.152™-2013 es el de discrepancias menores a  $\pm 5\%$  con respecto a los valores de referencia. Otra instancia de evaluación es la establecida en la guía de mantenimiento a transformadores CIGRE TB 445, ésta sugiere que las diferencias entre las fases deben ser como máximo entre el 2-3%.

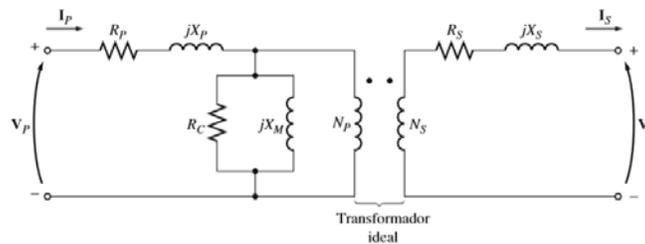
#### **c) Procedimiento de Desmagnetización**

Cada vez que un transformador se desenergiza o le es aplicada una tensión de CC al núcleo del transformador, como se hace durante la prueba de resistencia de devanados, se produce un porcentaje de magnetismo residual en su núcleo. Con este procedimiento se pueden prevenir altas corrientes en la puesta en servicio del transformador y lecturas erróneas durante otras pruebas debidas al magnetismo residual.

El procedimiento de desmagnetización consiste en aplicar una corriente continua decreciente, de polaridad variable, con el objetivo de magnetizar el núcleo en dos direcciones opuestas. El algoritmo adaptativo utilizado para este proceso se basa en la medición y reducción de voltaje tiempo [Vs] aplicado en ambas direcciones logrando desmagnetizar el núcleo. Usando múltiples iteraciones este procedimiento debe lograr desmagnetizar el núcleo a aproximadamente el 1% de su valor máximo, el de saturación.

d) Prueba de Corriente de Excitación (Circuito Abierto)

Esta prueba, como su nombre sugiere, mide la corriente necesaria para magnetizar el núcleo de un transformador. Esta se realiza conectando una fuente de voltaje en los devanados primarios y dejar flotando los devanados secundarios, aquí la corriente fluirá en su circuito primario, incluso si el circuito secundario está abierto. A partir de esta corriente generada es posible determinar algunos valores de los elementos en el modelo de un transformador.



**Figura 4. Modelo de un Transformador Real**

Fuente: (Chapman, 2012)

La magnitud de la corriente medida durante esta prueba depende mayormente de los elementos en la rama de excitación del modelo anterior. Estos elementos modelan las pérdidas en el núcleo y por histéresis como una resistencia y las pérdidas debidas a la corriente de magnetización 90° en retraso como una reactancia inductiva. En conjunto a estas pérdidas se les denomina pérdidas sin carga o en vacío. El cambio de estas características puede indicar daños en el núcleo magnético de un transformador.

Esta prueba debe realizarse en todos los devanados y en cada posición del cambiador de tomas de un transformador trifásico, aplicando el voltaje de prueba más alto posible sin exceder su voltaje nominal. Como estándar estas pruebas se realizan a un voltaje de 10 kV y en modo de prueba de espécimen no aterrizado (UST por sus siglas en inglés).

En los transformadores trifásicos, las corrientes de excitación medidas cuentan con un patrón de dos corrientes similares que serán mayores o menores que la corriente restante, generalmente la de la columna central. Este comportamiento se debe básicamente a que el flujo magnético de la columna central recorre un camino de menor reluctancia (camino más corto) para energizarse.

El estándar IEEE Std C57.152™-2013 no establece tolerancias en los valores de corriente medidos para la evaluación de los resultados. Indica que se deben comparar los valores obtenidos con valores de referencia previamente obtenidos. Alternativamente se propone lo establecido en la guía de CIGRE TB 445. Este establece que las fases externas deben tener valores de corriente similares, dentro del 5%. Además, el valor de la fase (columna) central debe diferir (hasta un 30% o menos) en un sistema trifásico dependiendo de la configuración de los devanados.

#### e) Prueba de Corto Circuito

En esta prueba se hace un cortocircuito en las terminales de bajo voltaje del transformador y las terminales de alto voltaje se conectan a una fuente de corriente alterna. Por lo general esta prueba se realiza empleando una fuente monofásica de "alta corriente" (2 a 10 A) y bajo voltaje ( $> 100$  V) aplicando una corriente en el primario tal que en los devanados secundarios se induzca una corriente igual a la nominal. Debido a que el voltaje en el lado primario es tan bajo durante la prueba, toda la caída de voltaje en el transformador se puede atribuir a los elementos en serie del modelo expuesto en la figura 4.

Estos elementos en serie se componen de la suma de un elemento activo que modela las pérdidas en el cobre a partir de una resistencia y un elemento reactivo que modela las pérdidas por flujos dispersos como una reactancia inductiva. En conjunto a estas pérdidas se les denomina pérdidas con carga.

Existen dos metodologías para realizar estas pruebas. La primera es realizar las mediciones por fase, es decir se mide independientemente cada fase por vez, con el secundario en cortocircuito sólo para la fase a ensayar. Las fases no ensayadas se dejan flotando. Para un transformador trifásico estos resultados no son comparables con los de placa. Sin embargo, los tres conjuntos de datos por fase pueden registrarse como referencia para pruebas futuras.

La segunda metodología es la del equivalente trifásico, en esta se ensaya cada fase por vez, con todo el secundario en cortocircuito (a excepción del neutro). Los tres valores obtenidos se suman entre sí para obtener una impedancia total. En este caso si es posible comparar estos resultados con los de placa realizando el cálculo del porcentaje de impedancia equivalente de un transformador utilizando la ecuación 10.

$$\%Z = \frac{1}{60} \cdot \frac{(V_{13} + V_{21} + V_{32})}{I_T} \cdot \frac{S_{3\phi}}{(V_{L-L})^2}$$

#### **Ecuación 10. Porcentaje de Impedancia de un Transformador Trifásico**

En esta ecuación  $V_{13}$ ,  $V_{21}$  y  $V_{32}$  representan los voltajes producidos durante las pruebas a los tres devanados primarios respectivamente,  $I_T$  representa el valor de la corriente de prueba,  $S_{3\phi}$  es la capacidad del transformador en kVA, y  $V_{L-L}$  el voltaje línea-línea nominal en el primario del transformador en kV.

Para el caso de transformadores monofásicos se calcula el porcentaje de impedancia a partir de la ecuación 11.

$$\%Z = \frac{1}{10} \cdot \frac{(V_T)}{I_T} \cdot \frac{S_{3\phi}}{(V_{L-L})^2}$$

#### **Ecuación 11. Porcentaje de Impedancia de un Transformador Monofásico**

La interpretación de los resultados se realiza a partir de la comparación de porcentajes de impedancia medida contra los establecidos en placa. El estándar IEEE Std C57.152™-2013 establece que no debe de existir diferencias mayores de  $\pm 3\%$  entre los valores medidos y valores de placa.

### 4.3.5. PRUEBAS A INTERRUPTORES DE POTENCIA

Como se mencionó anteriormente las pruebas a un interruptor de potencia se realizan con el objetivo de verificar el estado de sus componentes. Por esta razón se realizan pruebas a su aislamiento, mecanismo de operación, cámaras de interrupción y contactos.

#### a) Prueba de Resistencia de Contactos

La resistencia de contacto expresa la calidad de un contacto eléctrico ya sea estacionario o móvil. Debido a que el deterioro o defecto en una unión o superficie de contacto puede conducir a una pobre o mala conexión, es importante realizar esta prueba periódicamente en los contactos de un interruptor. Una mala conexión puede ocasionar altas resistencias,

mayores pérdidas y peligrosos puntos calientes en una subestación, por lo que estas pruebas se utilizan para la detección y prevención de problemas futuros.

Esta prueba se realiza aplicando un corriente en CC, generalmente 100 A, al contacto bajo prueba y medir la caída de voltaje en él. Luego se puede determinar la resistencia del contacto a prueba basándose en la ley de Ohm. En interruptores se realiza la prueba entre polos de la misma fase, mientras el interruptor se encuentra en posición cerrada.

Los resultados de esta prueba deben compararse con datos de referencia del fabricante, quien es también el que establece una tolerancia de valores aceptables de resistencia de contacto. Otra alternativa común es la comparación entre contactos adyacentes, la norma ANSI/NETA ATS-2009 establece que no deben existir diferencias mayores de 50% entre estas.

#### b) Prueba de Tiempos de Operación

A partir de esta prueba se comprueban los tiempos de cierre y apertura de los contactos de un interruptor, además de la sincronización con la que realizan estas operaciones. Es de mucha importancia realizar esta prueba antes de la puesta en servicio de un interruptor para verificar su mecanismo de operación, normalmente basado en el accionamiento de un resorte.

Como definición el tiempo de cierre es el lapso de tiempo desde que se energiza la bobina de cierra hasta el instante en que los dos contactos se tocan. En cambio, el tiempo de apertura es el tiempo entre el instante que se energiza la bobina y el instante en que los contactos se abren completamente.

Además, es importante probar la operación de "cierre-apertura". Esta es una simulación de la condición de un interruptor que es cerrado mientras permanece una falla, causando el accionamiento de apertura del interruptor. Otra operación por probar es la de "apertura-cierre-apertura" esta operación verifica que el tiempo de cierre se encuentre dentro de los límites especificados después de una operación de apertura.

Los tiempos de operación medidos deben de ser comparados con los resultados de pruebas de rutina de fábrica. Para el análisis de los tiempos de cierre debemos de guiarnos por lo que dice la ANSI/IEEE C37. En ella se establece que el tiempo de cierre máximo asumido para cualquier caso de interruptores es de 300 ms. En cuanto a la sincronización entre polos se establece en la norma IEC62271-100 una diferencia en el tiempo de interrupción entre polos de no más de 2 ms.

#### 4.3.6. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

El principio de operación de estos tipos de transformadores es el mismo que el de uno de potencia, sin embargo, su función es distinta. El objetivo de estos transformadores es el de puramente medir características de corriente y voltaje de otro elemento conductor. Los transformadores para medir voltaje se denominan transformadores de potencial (TP) y los transformadores para medir corriente se nombran transformadores de corriente (TC). Además, se clasifican estos según su clase, medición o protección, y a partir de su precisión.

Para cumplir su objetivo los transformadores de instrumento tienen características específicas que se pueden monitorear a partir de pruebas eléctricas. Muchas de las pruebas realizadas a estos son las mismas expuestas en secciones anteriores, tales como pruebas de aislamiento, relación de transformación y resistencia de devanados. La diferencia se encuentra en distintos criterios de aceptación según el tipo, clase y precisión.

##### a) Prueba de Relación de Transformación

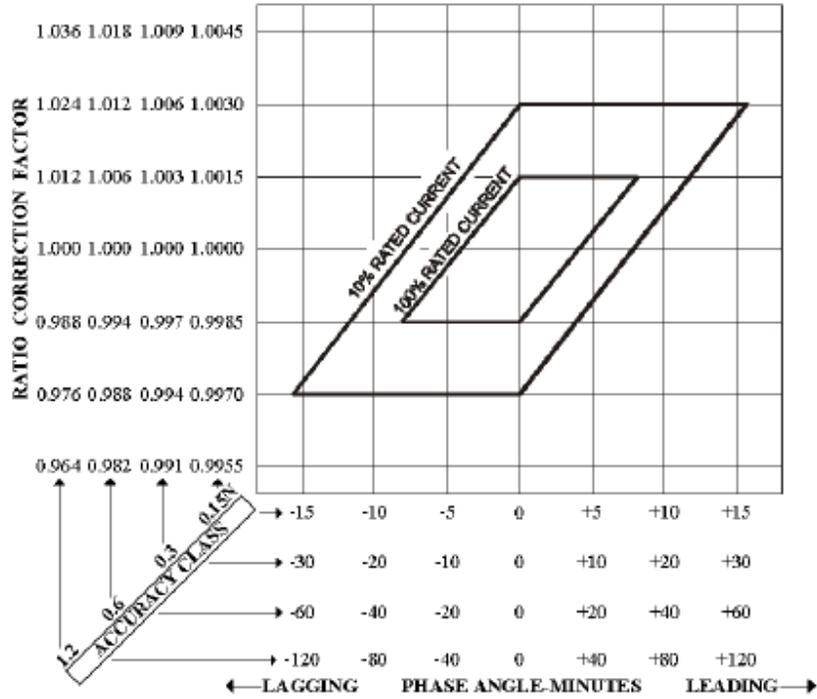
La teoría de esta prueba es fundamentalmente la misma que se expuso en la sección de transformadores de potencia, con diferencia que la aceptación de los resultados se realiza de manera diferente. Para este tipo de transformadores no existe una regla error máximo para todos los tipos, sino que se clasifican los transformadores según su precisión de diseño.

La interpretación de los resultados se realiza a partir del factor de corrección de relación (RCF por sus siglas en inglés). Este es un factor que expresa la relación entre relación de transformación medida y relación de transformación teórica y se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$RCF = 1 - \frac{\pm ERROR DE RELACION}{100}$$

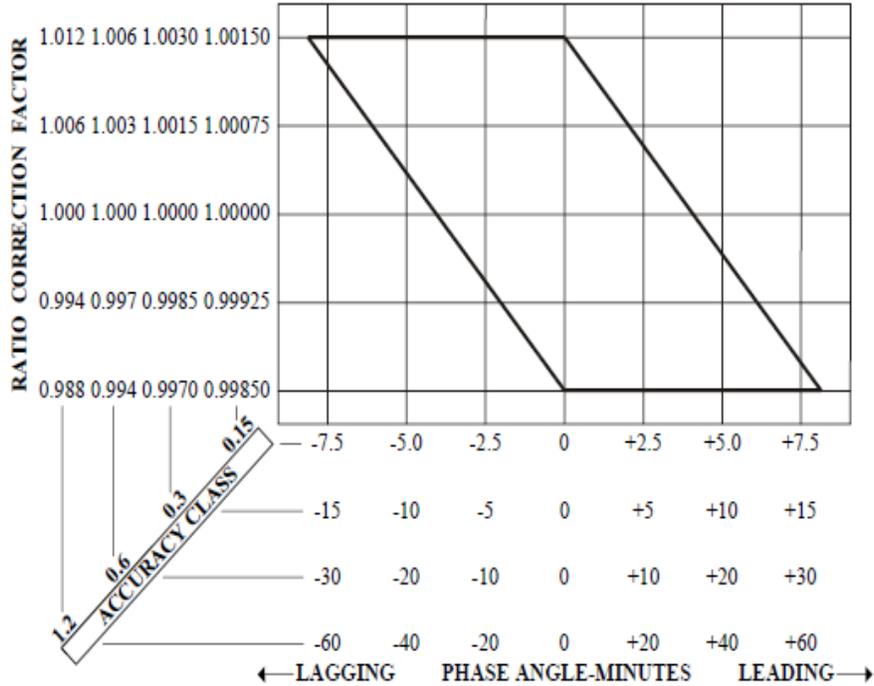
##### **Ecuación 12. Factor de Corrección de Relación**

Después de determinar este valor se debe evaluar si se encuentra dentro de los límites establecido en la norma IEEE Std C57.13™-2016. Estos límites se encuentran representado gráficamente en las siguientes figuras.



**Figura 5. Límites de Precisión de Transformadores de Corriente**

Fuente: (IEEE Std C57.13™-2016)



**Figura 6. Límites de Precisión de Transformadores de Potencial**

Fuente: (IEEE Std C57.13™-2016)

b) Prueba de Resistencia de Devanados

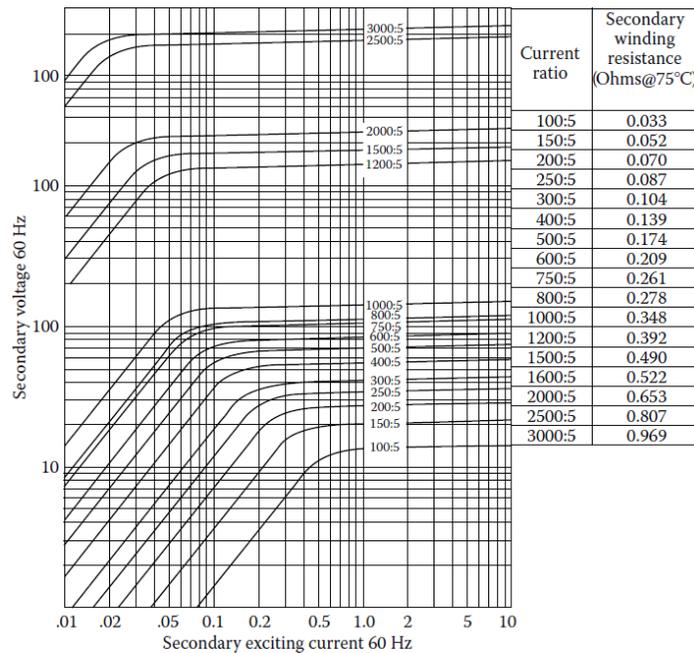
La medida de la resistencia de devanados se realiza, igual que en transformadores de potencia, aplicando una corriente en CC a los devanados del secundario de estos y basando sus lecturas de resistencia en la ley de Ohm.

Los resultados de estas pruebas se comparan con valores de referencia o valores obtenidos en pruebas de rutina de fábrica. Algunos valores típicos de resistencia de devanados se proponen en la norma IEEE Std C57.13™-2016, ver figura 7.

c) Prueba de Saturación

Esta prueba se realiza únicamente en transformadores de corriente aplicando un voltaje en CA en aumento al devanado secundario, mientras el devanado primario permanece abierto. Cuando se grafica el voltaje aplicado vs la corriente generada se le denomina curva de saturación. La región de transición entre las regiones no saturada y saturada se denomina a veces rodilla de la curva.

La interpretación de los resultados se realiza comparando curvas obtenidas en pruebas de fábrica. En caso de no existir referencias de fábrica se propone la comparación con las curvas de saturación expuestas en la norma IEEE Std C57.13™-2016, ver figura 7.



**Figura 7. Curvas de Saturación Típica para Transformadores de Corriente Clase C**

Fuente: (Gill, 2009)

## V. METODOLOGÍA

### 5.1. TÉCNICAS APLICADAS

Utilizando técnicas y procedimiento expuestos en las normativas internacionales de pruebas, se han logrado desarrollar los distintos ensayos a equipos eléctricos en diferentes ocasiones. La técnica desarrollada dependerá del equipo a prueba y el ensayo a realizar. Por ejemplo, las pruebas básicas recomendadas a realizar a transformadores según CIGRE TB 445 de son: Relación de Transformación, Resistencia de Devanados, Capacitancia y Tangente Delta, Corriente de Excitación, Reactancia de Dispersión y Resistencia de Aislamiento. Luego de realizar las mediciones eléctricas es necesario interpretarlas bajo un fundamento teórico y bajo estándares establecidos internacionalmente, como en el caso de transformadores llenos de aceite aislante la *IEEE Std C57.152-2013*.

Además de los aspectos técnicos desarrollados en las pruebas, es responsabilidad del ingeniero de pruebas la interpretación de los resultados y redacción del informe final de entrega a cliente. Es aquí donde existe la necesidad de tener una manera establecida de presentar e interpretar los resultados de las pruebas eléctricas. Este proyecto se centrará en lograr suplir dicha necesidad para ENERCOM.

La manera en la que este proyecto facilitara la presentación de los resultados es a partir de la elaboración de formatos a que presentaran las generalidades y objetivos de cada prueba realizada, así como su interpretación. Finalmente, el reporte al cliente será presentado a partir de la unión de los formatos de prueba diligenciados.

La plataforma escogida y utilizada para la elaboración de estos formatos fue Microsoft Excel. Para lograr la facilidad de accesibilidad y llenado de los formatos desarrollados se deben utilizar algunas técnicas de ofimática avanzadas. Un ejemplo de estas técnicas son las de programación mediante macros específicos desarrollados para cada formato realizado. La programación de estos se desarrolla mediante el lenguaje de programación de Excel Visual Basics (VBA) en conjunto con el software que acompaña cada equipo de prueba para su control y lectura de resultados.

## 5.2. INSTRUMENTOS APLICADOS

La ejecución de pruebas eléctricas requiere de equipos especializados en mediciones del mismo tipo. Estos equipos a menudo son acompañados por un programa especializado para su interfaz y control. Estos programas deben utilizarse en conjunto con la plataforma de Excel para la elaboración de los formatos de prueba. A continuación, se enlistan los equipos de medición eléctrica utilizados.

1. Megóhmetro:



**Ilustración 2. MEGGER MIT 1025**

FUENTE: (MEGGER, 2019)

2. Equipo Multifunción para Medición de Transformadores y Subestaciones:



**Ilustración 3. MEGGER TRAX 220**

Fuente: (MEGGER, 2019)

3. Accesorio Fuente para Tan Delta:



**Ilustración 4. Accesorio MEGGER TRAX TDX 120**

Fuente: (MEGGER, 2019)

4. Telurómetro Digital:



**Ilustración 5. MEGGER DET4TC2**

Fuente: (MEGGER, 2019)

5. Cámara Termográfica Fluke:



**Ilustración 6. Fluke Ti 400**

Fuente: (FLUKE, 2019)

6. Equipo de Pruebas HIPOT/VLF:



**Ilustración 7. HV Diagnostics HVA60**

Fuente: (HV Diagnostics, 2019)

Además de instrumentos de medición eléctrica fue necesario poner en práctica distintos programas a través de los cuales se controla y generan los reportes de prueba, algunos de

estos era TRAX Control, Power DB y SmartView. La manera de presentar resultados en los formatos debe de ser compatible con cada uno de estos formatos.

### **5.3. FUENTES DE INFORMACIÓN**

La principal fuente de información que se utilizará durante el desarrollo de este proyecto serán los lineamientos planteados por las asociaciones de normativas internacionales. Algunas de estas normas incluyen la *ANSI / NETA*, *NFPA* y estándares de la IEEE entre otros.

Además de tomar referencia de normativas internacionales, se utilizan los procedimientos recomendados por el fabricante del equipo de prueba. En este caso se impartió una capacitación de parte de MEGGER a un grupo de técnicos donde se enseñaron los procedimientos que siguen siendo utilizados para desarrollar las pruebas eléctricas.

#### 5.4. CRONOLOGÍA DE TRABAJO

Actividad	COMPLETACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Elaboración y Mejora de Formatos de Prueba	100%	█									
Pruebas a Transformadores Tipo Pedestal	100%	█									
Pruebas a Transformador de Red Primaria	100%	█	█								
Prueba de Resistividad de Terreno, Hidroeléctrica el Yaguala	100%		█								
Pruebas de Aislamiento Acometidas Generadores	100%		█								
Pruebas de Aislamiento a Generadores de Selladoras y Empacadoras	100%			█							
Pruebas a Transformador de Potencia de 20 MVA, Cerro de Hula	100%			█	█						
Pruebas de Aislamiento a Acometidas de Generadores	100%				█						
Pruebas a Subestación de Hidroeléctrica Estatal Rio Lindo	100%				█	█	█	█	█	█	█
Pruebas de Aislamiento a Transformadores Secos	100%				█						
Termografía a Instalaciones Eléctricas	100%					█	█				
Validación de Formatos de Prueba	100%						█	█	█	█	█
Documentación y Elaboración de Informe Final	100%								█	█	█
Fin del Proyecto	100%										█

## **VI. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO**

El trabajo principal consta de formatos de prueba los cuales fueron desarrollados a la par de la ejecución de cada prueba. La elaboración de estos formatos y la ejecución de cada prueba conllevó conocimientos tanto teóricos, técnicos e informáticos como se detalla a en las siguientes secciones.

En total se desarrollaron 48 formatos de prueba, los cuales se estructuran de la misma manera. La estructura de los formatos fue definida junto con el gerente general de la empresa. Dichos formatos se componen de una introducción inicial exponiendo generalidades y objetivos, luego la presentación de resultados medidos, y finalmente un criterio de aceptación para evaluar los resultados de las pruebas.

Los formatos realizados son de pruebas a equipos eléctricos tales como, transformadores de potencia monofásicos y trifásicos, interruptores de potencia, transformadores de instrumento, restauradores (recloser), seccionadoras, aisladores para soporte de barra, pararrayos, cables y acometidas de baja y media tensión, máquinas rotantes y tableros de conmutación (switchboard, panelboard y switchgear).

Todos estos formatos fueron automatizados a partir de módulos de programación macros en Excel Visual Basics. Estos se incluyeron con el objetivo de facilitar el traslado de los resultados de pruebas de cada programa usado para la ejecución de las pruebas a su debido formato a diligenciar.

A parte de los formatos se realizaron programas que facilitan la elaboración del reporte final al cliente. El programa principal consiste en una interfaz gráfica en el cual permite la accesibilidad de cada formato según el equipo a prueba y la prueba realizada. De esta manera se centraliza en un solo documento todos los formatos diligenciados, permitiendo unificar los formatos diligenciados para generar dicho reporte.

### **6.1. TEORÍA DE PRUEBAS EN FORMATOS**

La teoría se ve implicada en las generalidades y objetivos redactados en cada formato de prueba, además va muy de la mano con el criterio de aceptación establecido en el mismo. Las generalidades se incluyeron en los formatos con el fin de poder presentar la relevancia y

objetivo de cada prueba que se realiza. Esto se realizó con el objetivo de facilitar la comprensión de los resultados de cada prueba.

Esta teoría debe de ir acompañada de referencias a estándares internacionales, dándole mayor credibilidad a lo expuesto en cada formato. En muchos casos estas se referenciaban a estándares de la IEEE por ser esta la asociación de mayor influencia en la región.

#### 6.1.1. GENERALIDADES Y OBJETIVO

Las generalidades y objetivo se especifican según la prueba realizada, ya que estos serán independientes del equipo a prueba. Tal caso es el de la prueba de resistencia de aislamiento la cual tiene el único objetivo de medir la calidad de un aislamiento sometido a altas tensiones eléctricas sin importar el equipo a prueba. De igual manera se repiten las generalidades en distintos tipos de equipos, tal es el caso de transformadores monofásicos y trifásicos.

En esta sección de los formatos no se presenta la completa teoría si no que se expone como una pequeña introducción a ella, se expone más a detalle la teoría de cada prueba en el marco teórico de este informe. Por esta razón es posible establecer esta parte de los formatos de manera que sea aplicable para distintos equipos.

#### 6.1.2. CRITERIO DE ACEPTACIÓN

En caso del criterio de aceptación si se debe de establecer una diferencia según el equipo bajo prueba. Los resultados aceptables dependerán de tanto el equipo como del voltaje nominal al que operen, como se establece en la tabla 1. En estos casos se deja referencia al estándar para determinar el criterio a utilizar.

En muchos casos de pruebas especializadas es necesario realizar comparaciones con resultados de pruebas anteriores o de fábrica. En caso de no existir tales referencias se recomienda utilizar los resultados de las pruebas realizadas como referencia para futuras pruebas. Esto será de mucho provecho al momento de llevar registro del deterioro a lo largo de la vida útil de un equipo eléctrico.

### **6.2. TÉCNICAS DE PRUEBAS EN FORMATOS**

En la ejecución de las pruebas eléctricas fue de mayor importancia el aspecto técnico que el teórico. Las técnicas de medición eléctrica fueron las principalmente utilizadas. Estas además

fueron complementadas por el uso de herramientas que permitieron se utilizaron para realizar las conexiones necesarias.

Los resultados de las técnicas utilizadas se ven reflejadas en la calidad de las mediciones eléctricas. Además, la ejecución de pruebas a partir de técnicas estandarizadas internacionalmente disminuye los riesgos y minimiza el tiempo necesario para realizar las mismas.

Las técnicas de prueba se encuentran representadas en los formatos en diagramas de conexiones. La accesibilidad a estos diagramas facilita la ejecución de las pruebas y la comprensión de los resultados.

### **6.3. PROGRAMACIÓN DE FORMATOS**

La integración de todos estos se realizó por medio del uso de herramientas avanzadas y de programación en la plataforma de Excel. El entregable final es un programa donde se puede acceso a todos los formatos de la unidad de prueba por medio de una interfaz gráfica. A continuación, se expone la programación necesaria para cumplir cada función presente en los formatos, pero antes se presentan las instrucciones a seguir para el correcto uso de dicho programa.

#### **6.3.1. INSTRUCCIONES DEL PROGRAMA**

En todo programa existen reglas a cumplir para su correcto funcionamiento, este programa realizado no es excepción. En este caso se han seleccionado solamente cuatro instrucciones fundamentales a cumplir para usar correctamente el programa que a continuación se enuncian.

1. Asignar archivo personal: El archivo personal consiste en un libro especial en formato binario de Excel (.xlsb) en el cual se encontrarán guardados todos los códigos de programación macros para ser accedados desde cualquier computadora y formato. Al asignar este tipo de archivo como archivo personal será posible tener acceso a los macros desde un sitio compartido en red y disponer de ellos desde que se inicia el programa.
2. Seleccionar formatos a diligenciar: Para acceder a cualquier formato desde un solo libro de Excel se dispondrá de un menú inicial de pruebas. En él se encontrará una lista de los formatos desarrollados según el equipo y prueba a realizar.

PRUEBAS	EQUIPO A PRUEBA								
	Transformador de potencia		Transformador de potencial	Transformador de corriente	Interruptor	Recloser	Seccionadora	Aislador	Pararrayos
	Trifasico	Monofasico							
Resistencia de aislamiento	F-GM-30-TR-AIS		F-GM-32-TP-AIS	F-GM-32-TC-AIS	F-GM-31-INT-AIS	F-GM-31-TCS-AIS	F-GM-33-SEC-AIS	F-GM-33-INS-AIS	F-GM-33-PAR-AIS
Resistencia de devanados	F-GM-30-TR3-RD	F-GM-30-TR1-RD	F-GM-32-TP-RD	F-GM-32-TC-RD	F-GM-31-TCS-RD				
Desmagnetización	F-GM-30-TR-DMG								
Relación de espiras	F-GM-30-TR3-TTR	F-GM-30-TR1-TTR	F-GM-32-TP-TTR	F-GM-32-TC-TTR	F-GM-31-TCS-TTR				
Corriente de excitación	F-GM-30-TR3-CA	F-GM-30-TR1-CA							
Factor de potencia/disipación	F-GM-30-TR-FP		F-GM-32-TP-FP		F-GM-31-INT-FP		F-GM-30-FP		
Impedancia de cortocircuito	F-GM-30-TR3-CC	F-GM-30-TR1-CC							
FSRL (respuesta de frecuencia de pérdidas)	F-GM-30-TR3-FRL	F-GM-30-TR1-FRL							
Balance magnético	F-GM-30-TR3-BMG								
Resistencia dinámica del OLTC (cambiador de taps bajo carga)	F-GM-30-TR3-LTC	F-GM-30-TR1-LTC							
Saturación y desmagnetización				F-GM-32-TC-SAT	F-GM-31-TCS-SAT				
Resistencia de contactos					F-GM-31-INT-RC		F-GM-30-RC		
Tiempos de apertura y cierre					F-GM-31-INT-TMP				
Fisicoquímicas Aceite Mineral	F-GM-30-TR-FQ				F-GM-31-INT-FQ				
DGA en Aceite Dielectrico	F-GM-30-TR-DGA								

### Ilustración 8. Menú de Pruebas

Fuente: (Propia, 2019)

- Trasladar la información de cada prueba a su formato: Para lograr dicha función correctamente se asignaron campos específicos donde se trasladará primero la información del archivo de prueba en tipo texto (.txt) al campo de cada debido formato. Por esta manera es de mucha importancia no modificar estos campos antes de trasladar los datos
- Generar el reporte final: Esta es la última función crítica del programa. Debe de usarse una vez finalizado el llenado de todos los formatos e información de tanto el cliente como el equipo a prueba. Al generar el reporte de esta manera se imprimirán automáticamente en archivo tipo .pdf todas las hojas agregadas al documento, excluyendo las hojas de inicio, menú e instrucciones.

Estos son los cuatro pilares principales del programa, el uso correcto de ellos llevara a la generación exitosa de reportes de prueba automatizados.

#### 6.3.2. BLOQUES DE CÓDIGO (MACROS)

Para lograr la automatización de los formatos y cumplir las cuatro funciones pilares mencionadas anteriormente se recurrió a las herramientas de programación de Excel visual basics (VBA). Esta programación funciona a partir de bloques de código llamados macros.

La programación en cada formato es única, sin embargo, se realiza mediante las mismas funciones de condición y bucles de repetición. En este informe no se hablará a detalle de cada

código generado, puesto a que esto se volvería muy repetitivo. A continuación, se explica la programación utilizada tomando ejemplos que aplican para todos los códigos desarrollados.

#### a) Menú de Pruebas

Este es la página principal del programa, en ella se centraliza el acceso a todos los formatos de desarrollados. Por dicha razón es fundamental que esté presente una interfaz sencilla e intuitiva para el usuario.

El menú consiste, entonces, de una lista donde se especifica el formato a utilizar según la prueba y equipo a prueba. Mediante la interacción con esta lista se ejecuta un bloque de programación que llama cualquier formato seleccionado. Para lograr acceso a cualquier formato se creó una carpeta compartida en el portal red de la empresa en la cual estarán guardados todos los formatos.

Esta programación se realiza de manera sencilla y rápida donde la variable a cambiar según el formato seleccionado será la dirección completa de donde se llamará dicho formato. A continuación, se presenta un ejemplo de esta programación.

```
Sub MenuPruebas()  
    Dim sourceBook As Workbook  
    Application.ScreenUpdating = False  
    Set sourceBook = Workbooks.Open("\\Portal\proyectos enercom  
1\PRUEBAS\FORMATOS UP\F-GM-30-TR-AIS.xlsm")  
    sourceBook.Sheets.Copy  
    After:=ThisWorkbook.Sheets(ThisWorkbook.Sheets.Count)  
    sourceBook.Close  
    Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

En este bloque de programación se nombra primero una variable tipo workbook, en la cual se guardará la dirección del documento fuente de donde se extrae el formato deseado. La segunda línea de código es necesaria para agilizar la recorrida del programa, esto se logra evitando que Excel actualice visualmente cada línea de código recorrida hasta la última línea de código donde se especifica lo contrario. En la siguiente línea de código se iguala la variable creada en la primera línea al formato seleccionado, esta línea es la única que difiere según el formato seleccionado. Finalmente, el programa copia la hoja donde se encuentra la información de cada formato y la transfiere al libro desde el cual se ejecutó el macro.

## b) Traslado Automático de Información

La siguiente pieza fundamental del programa desarrollado es la automatización del traslado de la información de cada prueba a su formato. En forma general, esto se logra a partir de campos específicos donde vincula la información de cada prueba en formato texto (.txt). Luego un bucle recorre la información en dicho campo y la traslada en otro formato a otro campo donde se muestran los resultados.

La estructura de repetición seleccionada para recorrer toda la información es la del ciclo for. El número de iteraciones a realizar en muchos casos es dependiente de una variable física del equipo a prueba, por esta razón en casos que es necesario se asigna una variable tipo entero la cual es insertada por el usuario mediante una función inputbox de Excel. Uno de estos casos es en la prueba de relación de transformación, En esta prueba la variable a introducir es la de relaciones probadas. A continuación, se muestra un extracto de este código.

```
Sub TRAXTTR()  
    Dim TAPS As Integer  
    TAPS = Val(InputBox("Inserte el número de Relaciones", "TAPS", 0))  
    Select Case TAPS  
        Case 0  
            MsgBox ("Inserte un numero de Relaciones")  
        Case Else  
            For i = 0 To 49  
                If i < TAPS Then  
                    ActiveSheet.Rows(i + 15).EntireRow.Hidden = False  
                Else  
                    ActiveSheet.Rows(i + 15).EntireRow.Hidden = True  
                End If  
            Next  
            For i = 1 To TAPS  
                ActiveSheet.Cells(RowIndex:=i + 14, ColumnIndex:="D").Value  
                = ActiveSheet.Cells(RowIndex:=i + 119,  
                ColumnIndex:="F").Value  
            Next  
        End Select  
    End Sub
```

En este código se declara la variable tipo entero con el nombre de TAPS la cual se iguala a lo insertado por el usuario mediante una función inputbox. El inputbox muestra en un cuadro

de dialogo una pregunta y espera una respuesta del usuario. En este caso siempre se espera que el usuario inserte un número entero, de lo contrario la función val asignara un valor numérico a cualquier texto insertado.

Después de asignar un valor numérico a la variable, se valida el resultado a partir de una función de condición select. En caso de no haber insertado un valor numérico se da el caso cero y se alerta al usuario que no ha insertado un número. En cualquier otro caso se toma el número insertado por el usuario será el número de iteraciones a realizar en el recorrido de la información.

Hay dos bucles que modifican el campo de los resultados, el primero tiene el objetivo de ocultar o mostrar filas según el número de relaciones insertadas. Se escogió como máximo un número de 50 relaciones ya que este límite coincide con el del equipo de prueba. El segundo bucle es el principal de este macro, este se encarga del traslado de la información del campo donde se inserta la fuente y el campo donde se mostrarán los resultados. Esto se logra igualando los valores de ambas celdas, efectivamente copiando la información de una celda a la otra.

### c) Generación Automática del Reporte

El paso final para la automatización de un reporte es la generación de un solo documento integrado que junte todos los formatos diligenciados y que serán parte de la presentación de resultados al cliente. Para lograr este objetivo se hizo uso de una función especial de Excel que exporta la información en el libro a otro formato, en este caso a formato pdf como se muestra a continuación.

```
Sub Reporte()  
    Hojal.Visible = False  
    ThisWorkbook.ExportAsFixedFormat xlTypePDF, Filename:= _  
    "Reporte.pdf", Quality:=xlQualityStandard,  
    IncludeDocProperties:=True, _  
    IgnorePrintAreas:=False, OpenAfterPublish:=True  
    Hojal.Visible = True  
End Sub
```

Este macro inicia ocultando las hojas que no son relevantes para el reporte, en este caso la hoja de inicio. Una vez ocultas estas hojas se evita que aparezcan en el reporte final.

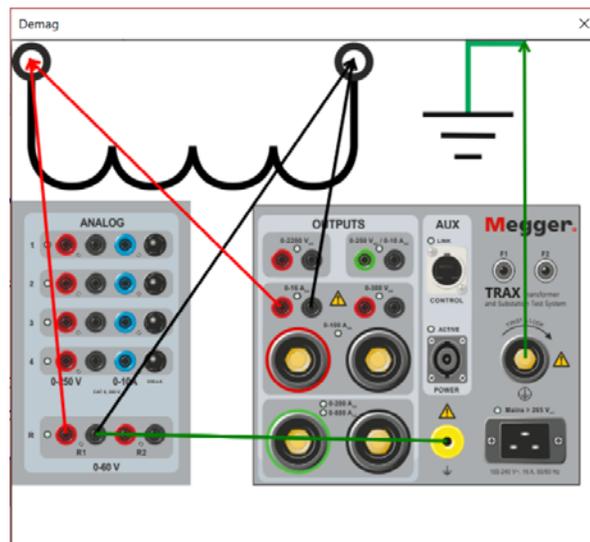
Después de hacer esto se realiza la exportación del documento a pdf. Los parámetros de esta función definen el tipo de formato al que se exporta, el nombre del documento creado, la calidad del documento y si se mantiene el formato existente de las hojas en Excel. Una vez terminada la publicación el documento se muestra al usuario. El macro termina mostrando las hojas ocultas al inicio del programa.

En conjunto estos tres macros son los cuales facilitan el proceso de la generación de reportes de pruebas. Los resultados de utilizar este programa han reducido el tiempo de trabajo de al menos dos días a medio día, en el caso de pruebas a transformadores, además de mejorar la calidad de estos. Ver reportes generados en anexos.

#### d) Conexiones de Pruebas

Como se mencionó anteriormente en la sección 5.2. los formatos de prueba incluyen también diagramas de conexiones, estos se muestran en formularios que no son más que cuadros de dialogo en el cual se encuentran guardados estos diagramas. El desarrollo y la manera en que se llaman estos formularios en Excel requieren también de cierta programación.

Para crear cada formulario se utilizó el editor visual basics de Excel, por cada diagrama de conexiones existe un formulario específico. La siguiente ilustración es un ejemplo.



**Ilustración 9. Formulario de Conexión de Desmagnetización**

Fuente: (MEGGER, s.f.)

El formulario guarda la información de cada imagen a partir de un mapa de bits. El formulario después fue guardado con un nombre específico en el archivo personal tipo binario. Para mostrar este formulario en cualquier documento se realizó también un código que fue asignado a cada botón específico según el formato de prueba, el siguiente es un ejemplo.

```
Sub ConexionPrueba()  
    UserForm14.Show  
End Sub
```

Con este último macro se concluye con la explicación de la programación utilizada en cada formato realizado.

#### **6.4. EJECUCIÓN DE PRUEBAS**

La ejecución de las pruebas se realizó en conjunto a la elaboración de los formatos de prueba hablados anteriormente. Realizar ambas actividades al mismo tiempo resulto de mucho provecho puesto que se combinaron conocimientos teóricos y técnicos. En las siguientes secciones se exponen los trabajos realizados durante este proyecto.

##### **6.4.1. PRUEBAS A TRANSFORMADORES TIPO PEDESTAL**

Estas fueron las primeras pruebas desarrolladas en la cronología del proyecto. Las pruebas fueron realizadas con el objetivo de determinar el estado de tres transformadores tipo pedestal instalados en Cofradía, ver imagen 10.



**Ilustración 10. Transformador Tipo Pedestal**

Fuente: (Propia, 2019)

Con este objetivo en mente se realizaron las siguientes pruebas: Prueba de Resistencia de Aislamiento, Relación de Transformación, Factor de Potencia/Disipación y Pérdidas Dieléctricas, Corriente de Excitación, Resistencia de Devanados e Impedancia de Corto Circuito. En el futuro también se estarán presentando los resultados obtenidos en el estudio en laboratorio de gases disueltos en el aceite dieléctrico de los transformadores.

#### 6.4.2. PRUEBAS A TRANSFORMADOR DE RED PRIMARIA

Las pruebas realizadas en este proyecto fueron necesarias para evaluar las condiciones del transformador de la red primaria en media tensión instalada por ENERCOM. Este transformador es de una capacidad de 4.5 MVA y una conexión delta-estrella, ver imagen 11. Las pruebas a este transformador fueron un mayor reto por su gran tamaño, sin embargo, se lograron realizar las mismas pruebas que a los transformadores anteriores. Además, se realizaron pruebas de VLF al cable de media tensión XLPE que alimenta el primario del transformador.



**Ilustración 11. Transformador de Red Primaria**

Fuente: (Propia, 2019)

Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron luego presentados utilizando los formatos y programa elaborados. El uso de estos es parte también de la validación y se presentan como resultados de este proyecto de graduación. El documento generado se presenta como anexo A en este informe.

#### 6.4.3. HIDROELÉCTRICA EL YAGUALA

El Yaguala es un proyecto hidroeléctrico que se encuentra aún en etapa de construcción. La prueba realizada en este proyecto fue la de resistividad de terreno. Los resultados obtenidos en esta prueba serán utilizados para el diseño de la red de tierra en diferentes puntos. Se realizó la prueba en las futuras áreas de subestación, sala de máquinas y cortina.

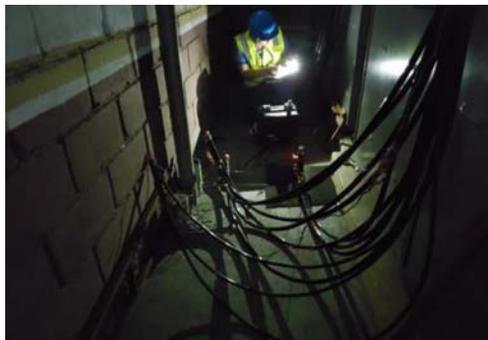


**Ilustración 12. Área de Cortina, Hidroeléctrica El Yaguala**

Fuente: (Propia, 2019)

#### 6.4.4. PRUEBAS DE AISLAMIENTO A ACOMETIDAS DE GENERADORES

Este es un proyecto en el cual ENERCOM fue subcontratada por la empresa Cummins para la instalación de generadores de respaldo nuevos dentro de una planta productora. Las pruebas realizadas a las instalaciones fueron las de resistencia de aislamiento a las acometidas de los generadores. La resistencia de aislamiento expresa la calidad del aislamiento de los elementos conductores y se realiza como parte de una política preventiva.



**Ilustración 13. Acometidas de Generadores Cummins**

Fuente: (Propia, 2019)

#### 6.4.5. PRUEBAS DE AISLAMIENTO A GENERADORES DE SELLADORAS Y EMPACADORAS

Similar al trabajo expuesto anteriormente, se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento a un generador ahora instalado en Búfalo, Villanueva en el área de selladoras y empacadoras. Los resultados de estas pruebas resultaron aceptables y como consecuencia se asegura la operación de estos generadores.

#### 6.4.6. CERRO DE HULA

El Parque eólico Cerro de Hula es el primero de este tipo en ser instalado en Honduras. El parque en su totalidad cuenta con una capacidad de 102 MW. El trabajo desarrollado por ENERCOM ha sido el de la instalación de una nueva bahía en la subestación. Dicha bahía contará con un transformador de potencia con capacidad de 20 MVA, ver imagen 14. El trabajo por parte de la unidad de pruebas fue realizar las pruebas de relación de transformación, resistencia de aislamiento y factor de potencia/disipación y pérdidas dieléctricas.



**Ilustración 14. Transformador de Potencia, Cerro de Hula**

Fuente: (Propia, 2019)

La particularidad de este trabajo es que el equipo a prueba es un autotransformador. El autotransformador es un tipo de transformado de un solo devanado con una derivación proveniente de él, por dicha razón no hay manera de medir aislamiento entre devanados primarios y secundarios. Las pruebas de aislamiento en CA y CC se realizaron para el sistema en general, cortocircuitando todos los bujes del secundario junto con el primario.

#### 6.4.7. PRUEBAS DE AISLAMIENTO A ACOMETIDAS DE GENERADORES

Las pruebas de aislamiento fueron realizadas también en las acometidas de los generadores instalados en una torre de un parque de negocios. Estos generadores fueron instalados como respaldo para varias oficinas de una de las empresas presentes. La peculiaridad de estas pruebas fue que se realizaron desde los paneles eléctricos y transferencia a donde llega la energía de los generadores.

#### 6.4.8. CENTRAL HIDROELÉCTRICA RÍO LINDO

La repotenciación de esta central ha llevado al reemplazo de todos los equipos de potencia que han quedado obsoletos en la subestación. ENERCOM se ha hecho cargo de las pruebas a realizar a todos los nuevos equipos instalados por la empresa contratada. Esto incluye interruptores de potencia, seccionadoras de potencia, transformadores de potencia y pararrayos. Durante una semana se realizaron todas las pruebas a estos equipos instalados en una bahía. El reporte de resultados de estas pruebas se encuentra en el anexo C de este informe.



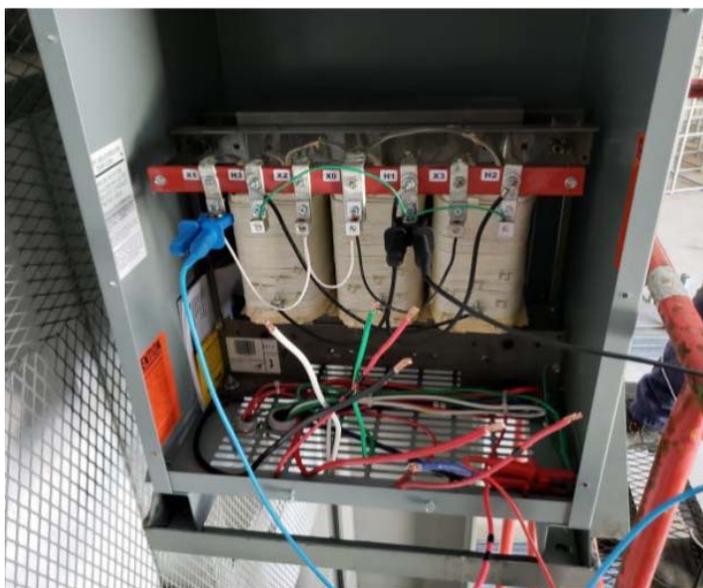
**Ilustración 15. Interruptor de Potencia, Hidroeléctrica Río Lindo**

Fuente: (Propia, 2019)

Las pruebas realizadas a estos equipos fueron por mucho el trabajo de mayor duración y dificultad desarrollado. Los detalles de todas las pruebas realizadas se encuentran en el reporte, anexo C.

#### 6.4.9. PRUEBAS A TRANSFORMADORES SECOS

Las instalaciones eléctricas de las bodegas de una nueva ferretería han sido desarrolladas por ENERCOM. Por esta razón se realizaron pruebas a dos de los transformadores secos instalados para suplir los voltajes necesarios para la iluminación de dichas bodegas. La prueba realizada a cada uno de estos es la de resistencia de aislamiento. Recordando que el aislamiento de estos tipos de transformador es seco y se sugiere un resultado mayor que para un transformador de mismo voltaje y capacidad inmerso en aceite.



**Ilustración 16. Pruebas a Transformador Seco**

Fuente: (Propia, 2019)

#### 6.4.10. TERMOGRAFÍA MEGA MALL

Similar al caso anterior, ENERCOM realizó las instalaciones del sistema de aire acondicionado HVAC en el nuevo centro comercial Mega Mall. Como parte de una inspección de calidad del trabajo realizado se revisaron las condiciones de todos los paneles eléctricos instalados y adicionalmente se realizó una termografía. El objetivo de la termografía fue identificar si existe calentamiento excesivo en la superficie de conductores eléctricos. Esto puede ocurrir debido a pérdidas de energía o condiciones operativas que podrían tratarse como fallas. El resultado de este trabajo fue la identificación de posibles mejoras y puntos calientes en los paneles eléctricos.

## **6.5. VALIDACIÓN DE FORMATOS DE PRUEBA**

Para todas las pruebas ejecutadas que fueron mencionadas anteriormente se utilizaron los formatos elaborados en este proyecto de mejora para la presentación de sus resultados. El uso de estos ayudó a identificar posibles mejoras. Algunos de los resultados de esta validación se presentan en la sección de anexos.

## **VII. CONCLUSIONES**

Como parte de este proyecto de mejora se realizaron en total 48 formatos de prueba. Cada uno de estos formatos realizados incluye una teoría general, una normativa reguladora y una programación para facilitar el traslado de datos. De la mano de esto se ejecutaron las pruebas eléctricas en campo combinando conocimientos teóricos y técnicos. Finalmente, como parte de la validación de los formatos realizados se utilizaron los formatos para presentar los resultados de las pruebas ejecutadas.

- Se elaboraron formatos de prueba que permitieron automatizar la generación de reportes técnicos.
- Se integraron dichos formatos junto con la unidad al sistema de gestión de calidad de la empresa Energía y Comunicaciones.
- Se logró automatizar todos los formatos desarrollados por medio de programación de macros en Microsoft Visual Basics utilizando la plataforma de Excel.
- Se habilitó acceso a todos los formatos desarrollados en la plataforma de la empresa.
- Se ejecutaron las pruebas eléctricas exitosamente y se realizaron los reportes técnicos de estas por medio de los programas y formatos desarrollados, validando la utilidad de estos.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Los formatos realizados en este proyecto de mejora de ninguna manera son perfectos, por esta razón se recomienda se realicen revisiones periódicas en busca de una mejora continua. Además, se recomienda incluir en el futuro formatos de pruebas a relevadores los cuales nunca pudieron ser realizados por falta de personal capacitado para realizar estas pruebas.

Se recomienda a ENERCOM capacitar a más personas a utilizar el programa desarrollado en este proyecto, de esta manera más personas podrán validar su funcionalidad y proponer oportunidades de mejora.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, C. (2010). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (2 ed.). México: McGraw-Hill.
- Canales, J. (2015). *Sistema de Adquisición de Señal Eléctrica de los Tubos Fotomultiplicadores en la Gammacámara de Anger*. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras.
- Enríquez Harper, G. (1982). *Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas*. México: Editorial Limusa.
- Fitzgerald, A. (2004). *Máquinas Eléctricas* (6 ed.). España: McGraw-Hill.
- Gill, p. (20Alexander, C. (2010). *Fundamentos de circuitos eléctricos* (2 ed.). México: McGraw-Hill.
- ANSI/NETA ATS (2009). *Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment*
- ANSI/NETA MTS (2011). *Standard for Maintenance Testing Specifications for Electrical Power Equipment*
- Brokering, W. (2008). *Los Sistemas Eléctricos de Potencia*. Mexico: Pearson.
- CIGRE TB 445 (2011). *Guide for Transformer Maintenance*.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE (2003). *Manual de Interruptores de Potencia*, Mexico.
- Gross, J. (s. f.). *Calculo Práctico de Instalaciones Eléctricas en Edificaciones*. Honduras.
- Hayt, W., Kemmerly, J., & Durbin, S. (2012). *Análisis de circuitos en ingeniería* (8 ed.). México: McGraw-Hill.
- IEEE Std 4 (1995). *IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing*.

IEEE Std 43 (2013). *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery.*

IEEE Std 48 (1996). *IEEE Standard Test Procedures and Requirements for Alternating Current Cable Terminations 2.5 kV Through 765 kV.*

IEEE Std 81 (2012). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System.*

IEEE Std 400.2 (2013). *IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz).*

IEEE Std 637 (1985). *IEEE Guide for the Reclamation of Insulating Oil and Criteria for Its Use.*

IEEE Std C37.09 (1999). *IEEE Standard Test Procedure for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.*

IEEE Std C57.12.90 (2010). *IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulation Transformers.*

IEEE Std C57.13 (2016). *IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers.*

IEEE Std C57.104 (2008). *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers.*

IEEE Std C57.106 (2006). *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment.*

IEEE Std C57.140 (2017). *IEEE Guide for Evaluation and Reconditioning of Liquid Immersed Power Transformers.*

IEEE Std C57.152 (2013). *IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors.*

McPherson, G. (1987). *Introducción a Máquinas Eléctricas y Transformadores*. México: Editorial Limusa.

Martín, J. R. (2000). *Diseño de subestaciones eléctricas*. México.

National Fire Protection Association. (2014). *National Electrical Code*. Estados Unidos: National Fire Protection Association.

Schram, P., Caloggero, J., & Tedesco, J. (1983). *The National Electrical Code Handbook* (3 ed.). Estados Unidos: National Fire Protection Association.

Young, H., & Freedman, R. (2009). *Física Universitaria con Física Moderna* (12 ed., Vol. 2). México: Pearson Educación.

## **X. ANEXOS**

**ANEXO A: F-GM-15 REPORTE DE PRUEBAS ARGOS DE HONDURAS**

**ANEXO B: F-GM-15 REPORTE DE PRUEBAS CERRO DE HULA**

**ANEXO C: F-GM-00 REPORTE DE PRUEBAS RIO LINDO**

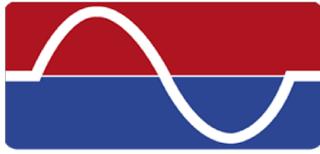
# REPORTE FINAL DE PRUEBAS

Cliente: ARGOS de Honduras

Subestación: ARGOS Choloma

Ubicación: Aldea Río Blanquito, Choloma, Cortés

Fecha: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-15**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## RESUMEN EJECUTIVO

El estudio tiene por objeto determinar el estado de los transformadores instalados por ENERCOM en el nuevo proyecto de ARGOS de Honduras en Choloma, Cortes, de tal manera que, desde el punto de vista de mantenimiento / operación y seguridad industrial, resulte segura y confiable la operación de este transformador.

Con este objetivo en mente bajo los estándares y procedimiento de normativas y asociaciones internacionales se realizaron las debidas Pruebas de Resistencia de Aislamiento, Relación de Transformación, Factor de Potencia/Disipación y Perdidas Dieléctricas, Corriente de Excitación, Resistencia de Devanados e Impedancia de Corto Circuito. En el futuro también se estarán presentando los resultados obtenidos en el estudio en laboratorio de pruebas fisicoquímicas y análisis de gases disueltos en el aceite dieléctrico del transformador. Además se presentan también la pruebas de VLF realizadas al cable XLPE de media tensión del mismo transformador.

En las siguientes tablas se presenta de manera resumida los resultados obtenidos por cada prueba realizada al transformador.

## TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

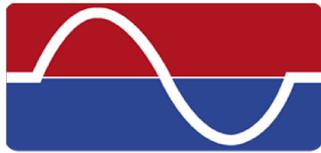
No.	PRUEBAS REALIZADAS	NORMA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADOS
1	Prueba de aislamiento Transformador de Aceite Devanados 0-0.6 kV	IEEE Std 43-2013	> 100 MΩ	APROBO
2	Prueba de aislamiento Transformador de Aceite Devanados > 5 kV	IEEE Std 43-2013	> 5000 MΩ	APROBO
3	Índice de Polarización Transformador de Potencia	IEEE Std 43-2013	> 1	APROBO
4	Prueba de Relación de Transformación	IEEE Std C57.152-2013	< 0.5%	APROBO
5	Prueba de Factor de Potencia/Disipación y Perdidas Dieléctricas	IEEE Std 286-2000	<1%	APROBO
6	Prueba de Corriente de Excitación	IEEE C57.152	Desviación < 5%	APROBO
6	Prueba de Resistencia de Devanados	IEEE Std C57.152-2013	Variación < 3%	APROBO
7	Procedimiento de Desmagnetización de Núcleo	IEEE Std C57.152-2013	Magnetismo Residual < 1	APROBO
8	Pruebas Físicoquímicas en Aceite Dieléctrico	IEEE Std C57.106-2015	Valores de Referencia	PENDIENTE
9	Análisis de Gases Disueltos en Aceite Dieléctrico	IEEE Std C57.104-2008	Limites de Concentración	PENDIENTE
10	Prueba de VLF a Cable Alimentador	IEEE Std 400.2	Aprobación/Fallida	APROBO

### NOTA/COMENTARIO:

De acuerdo a las pruebas realizadas se concluye que el transformador bajo estudio se presentan en optimas condiciones para su operación, aprobando el criterio establecido por ENERCOM. Dejando todavia pendiente el estudio en el aceite dielectrico del transformador.

Aprobado por: Ing. Emilio Alfaro  
**INGENIERO DE ENERCOM**

Los resultados aquí presentados son validos únicamente para el momento de la prueba. Si el equipo sufre alteración o daños, se invalidan estos resultados.



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-15**

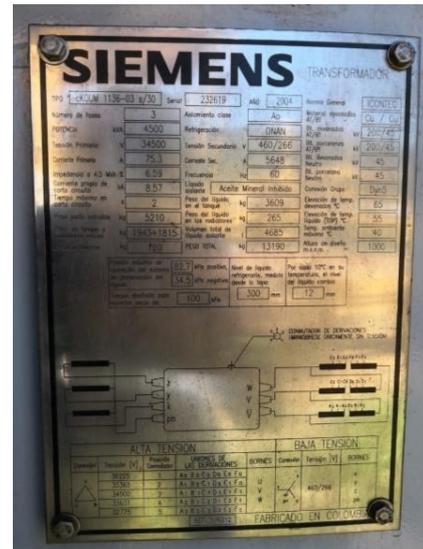
Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## FICHA DE DATOS DE TRANSFORMADOR



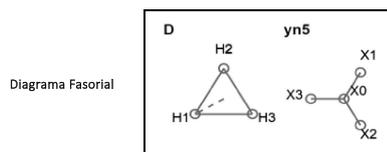
### DATOS DE CABLE DE MEDIA TENSIÓN

Voltaje de Operación	34.5 Kv	Marca	General Cable
Porcentaje de Aislamiento	133%	Cable Tipo	XLPE
Calibre de Conductor	3x1/0 AWG	Distancia	150 pies

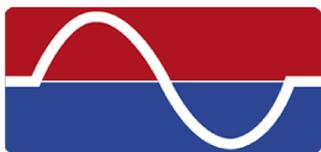
### DATOS DEL TRANSFORMADOR

Fabricante:	SIEMENS	Fecha de Manufactura:	2004	Capacidad:	4500 KVA
Voltaje primario: (V)	34,500	Fases:	3 Ø	No de Serie:	232619
Voltaje secundario: (V)	460/266	I nominal Pri:	75.3 Amp	Peso:	13190 Kg
Transformador Clase:	ONAN	I nominal Sec:	5648.0 Amp	Volumen Aceite:	4685 Lt
Tipo de Aceite:	Mineral	Impedancia:	6.59 %	Válvula de Presión:	● Dead Front: ●
Nivel del Aceite:	OK	Radiadores:	OK	Medidor de Presión:	○ Live Front: ○
Tanque Conservador	NA	Ventilación Forzada:	NA	Medidor de Temperatura:	● Radial Feed: ●
Indicación de Presión	NA	Heat Rise	65 °C		○ Loop Feed: ○
Condición de Pintura	OK	Frecuencia	60 Hz		

Bobinados	# Taps	Nominal	Cargador tipo	Mat. de bobinado
Primario	5	3	DETC	Cu
Secundario	1			Cu



Temp. Aceite: 29 °C      Temp. Amb.: 28.7 °C      H.R.: 60 %      FCT: 1.86



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-30-TR-AIS

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Generalidades y Objetivo:

La resistencia de aislamiento expresa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores. La medición del aislamiento mediante un mega óhmometro es parte de una política de mantenimiento preventivo. Las medidas basadas en el tiempo de aplicación de la tensión de prueba ya sea PI o DAR suelen revelar la presencia de contaminantes (polvo, suciedad) o de humedad en la superficie de los aislantes.

RESULTADOS DE PRUEBA						
Línea	Tq		X		Tq	
Guarda	X		Tq		H	
Tierra	H		H		X-Tq	
Voltaje de prueba (KV)	5		5		1	
Mide	H-Tq		H-X		X-Tq	
Tiempo de la prueba ( MIN)	LECTURAS (megohms)		LECTURAS (megohms)		LECTURAS (megohms)	
	Medida	Corregida a 20 °C	Medida	Corregida a 20 °C	Medida	Corregida a 20 °C
0.25	2090.0	3895.8	2560.0	4771.8	232.00	432.4
0.5	2660.0	4958.2	7920.0	14762.9	312.00	581.6
0.75	3080.0	5741.1	14950.0	27866.8	393.00	732.6
1	3380.0	6300.3	20500.0	38212.0	473.00	881.7
1.25	3560.0	6635.8	24300.0	45295.2	497.00	926.4
1.5	3810.0	7101.8	26900.0	50141.6	514.00	958.1
1.75	4000.0	7456.0	28900.0	53869.6	557.00	1038.2
2	4130.0	7698.3	30500.0	56852.0	480.00	894.7
3	4700.0	8760.8	34900.0	65053.6	574.00	1069.9
4	5200.0	9692.8	38100.0	71018.4	607.00	1131.4
5	5630.0	10494.3	40300.0	75119.2	594.00	1107.2
6	6010.0	11202.6	42300.0	78847.2	617.00	1150.1
7	6440.0	12004.2	44000.0	82016.0	667.00	1243.3
8	6740.0	12563.4	45500.0	84812.0	717.00	1336.5
9	7150.0	13327.6	47100.0	87794.4	719.00	1340.2
10	7490.0	13961.4	48300.0	90031.2	721.00	1343.9
P.I.	2.22		2.36		1.52	
D.A.R.	1.27		2.59		1.52	
Criterio de Aceptación:	P.I. > 1	ACEPTABLE	ACEPTABLE		ACEPTABLE	

H= Terminales primarias

X= Terminales secundarias

Tq= Tanque

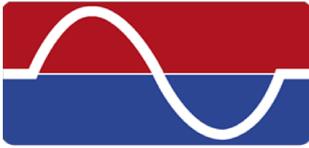
FCT= Factor de corrección de temperatura

Norma (IEEE Std 43-2013):

Siguiendo los parametros de esta norma e interpretando los resultados segun lo establecido en la ANSI / NETA – ATS 2009 los valores mínimos de resistencia de aislamiento para transformadores con un voltaje de operación igual o mayor a 34.5 kV, como es el caso de los transformadores en sus devanados de alta tensión, son de al menos 5,000 MΩ y para el lado de baja tensión se recomienda una resistencia mínima de 100 MΩ. Los valores de Índice de Polarización por su parte deben ser mayores de 1.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019  
 REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR-FP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y PERDIDAS DIELECTRICAS

Generalidades y Objetivo:

El propósito de esta prueba es determinar el estado de sequedad de los devanados y el sistema de aislamiento y determinar un factor de potencia para el aislamiento general, incluidos los Bushing, el aceite y los devanados en caso de aplicar. Las pérdidas dieléctricas son una medida de la relación entre las pérdidas de potencia ( $I^2R$ ) y los voltamperios aplicados durante la prueba.

RESULTADOS DE PRUEBA								
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	VOTAJE DE PRUEBA (V)	CONEXIONES		CAPACITANCIA (nF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TANGENTE DELTA (%)	CORRIENTES DE FUGA (mA)
			TERMINAL BAJA TENSION	TERMINAL ALTA TENSION				
CHG + CHL	GST-GND	10000.04	X1-X2-X3	H1-H2-H3	3.59	629.05	0.38	13.54
CHG	GSTg-RB	9997.78	X1-X2-X3	H1-H2-H3	1.00	265.97	0.58	3.77
CHL	UST-R	10000.58	X1-X2-X3	H1-H2-H3	2.59	362.12	0.30	9.78
CLG + CLH	GST-GND	266.05	H1-H2-H3	X1-X2-X3	6.31	2930.49	1.00	23.79
CLG	GSTg-RB	266.08	H1-H2-H3	X1-X2-X3	3.72	2536.02	1.47	14.02
CLH	UST-R	265.85	H1-H2-H3	X1-X2-X3	2.59	362.38	0.30	9.77
Criterio de Aceptación:	TAN DELTA < 1%	ACCEPTABLE						

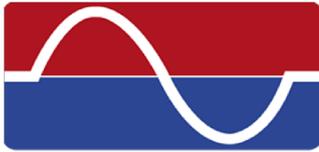
Norma (IEEE Std 286-2000):

Siguiendo los parametros de esta norma e interpretando los resultados segun lo establecido en la norma ANSI / NETA -ATS 2009 los resultados de tangente delta deben de ser menores a 1%. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo según la norma. Las pérdidas dieléctricas por su parte no deben de superar el orden de los mW.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas  
futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR3-TTR**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

Generalidades y Objetivo:

La prueba de relación de transformación detecta giros en cortocircuito, lo que indica una falla de aislamiento, al determinar si existe la relación de giros correcta. Los giros en cortocircuito pueden deberse a cortocircuitos o fallas dieléctricas (aislamiento). Las mediciones se toman aplicando un voltaje bajo conocido a través de un devanado y midiendo el voltaje inducido en el devanado correspondiente.

RESULTADOS DE PRUEBA							
Voltaje de prueba (V)	-----	250.27		250.27		250.26	
Mide Relación	Teórica	H2-H1 / X1-X0		H3-H2 / X2-X0		H1-H3 / X3-X0	
TAP	Relación Teórica	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error
1	136.4	136.2	-0.14%	136.2	-0.14%	136.20	-0.14%
2	133.2	133.1	-0.07%	133.1	-0.07%	133.06	-0.07%
3	129.9	129.9	0.01%	129.9	0.01%	129.92	0.01%
4	126.7	126.8	0.09%	126.8	0.09%	126.77	0.09%
5	123.4	123.6	0.17%	123.6	0.17%	123.62	0.17%
Criterio de Aceptación:	Error < 0.5%	ACEPTABLE		ACEPTABLE		ACEPTABLE	

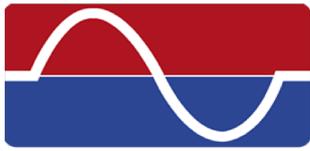
Norma (IEEE Std C57.152-2013):

La proporción obtenida de la prueba de campo debe coincidir con la fábrica dentro del 0.5%. Los nuevos transformadores de buena calidad normalmente se comparan con la placa de identificación dentro de 0.1%, según esta norma.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR3-CA**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba, como su nombre sugiere, mide la corriente necesaria para magnetizar el núcleo y generar el campo magnético en el núcleo de un transformador. Esta se realiza conectando una fuente de potencia de ca a un transformador, aquí la corriente fluye en su circuito primario, incluso si el circuito secundario está abierto.

RESULTADOS DE PRUEBA							
Voltaje de Prueba (kV)	-----	10		10		10	
Mide	Primario	H1-H2		H2-H3		H3-H1	
TAP	Modo de Prueba	Corriente de Excitación (mA)	Perdidas sin Carga (W)	Corriente de Excitación (mA)	Perdidas sin Carga (W)	Corriente de Excitación (mA)	Perdidas sin Carga (W)
1	UST-RB	19.83	184.83	7.74	76.09	19.64	185.14
2	UST-RB	20.74	192.75	8.06	79.53	20.52	193.01
3	UST-RB	21.67	201.06	8.42	83.22	21.46	201.68
4	UST-RB	22.68	210.43	8.81	87.20	22.45	211.00
5	UST-RB	23.74	220.39	9.26	91.64	23.50	220.98
Desviación Máxima Entre Fases:		Fases 1-3	1.07%	Fases 2-1	88.07%	Fases 2-3	87.26%
Criterio de Aceptación:	Desviación Fases Externas < 5%	ACEPTABLE		ACEPTABLE		ACEPTABLE	

Norma (IEEE Std C57.152-2013):

Esta norma no establece tolerancias en los valores de corriente medidos para la evaluación de los resultados. Indica que se deben comparar los valores obtenidos con valores de referencia previamente obtenidos. Alternativamente se propone lo establecido en la CIGRETB 445. Este establece que las fases externas deben tener valores de corriente similares, dentro del 5%. En el caso de la fase central el flujo magnético recorre una menor distancia y por ende se opone a una menor reluctancia, por esta razón las corriente de excitación y pérdidas son mucho menores.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR3-CC**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

Generalidades y Objetivo:

En esta prueba se hace un cortocircuito en las terminales de bajo voltaje de un transformador y las terminales de alto voltaje se conectan a una fuente de voltaje variable. Debido a que el voltaje de entrada es tan bajo durante la prueba toda la caída de voltaje en el transformador se puede atribuir a los elementos en serie en el circuito, es decir la impedancia en los devanados del transformador.

RESULTADOS DE PRUEBA											
Voltaje de Prueba (V)	-----		36.7			35.5			34.2		
Corriente de Prueba (A)	-----		1.00			1.00			1.00		
Mide Impedancia	Teórico	Medido	H1-H3 / (X1X2X3)			H2-H1 / (X1X2X3)			H3-H2 / (X1X2X3)		
TAP	Porcentaje de Impedancia (%)		Impedancia Medida ( $\Omega$ )	Resistencia Medida ( $\Omega$ )	Reactancia Medida ( $\Omega$ )	Impedancia Medida ( $\Omega$ )	Resistencia Medida ( $\Omega$ )	Reactancia Medida ( $\Omega$ )	Impedancia Medida ( $\Omega$ )	Resistencia Medida ( $\Omega$ )	Reactancia Medida ( $\Omega$ )
3	6.59	6.70	36.67	4.42	36.40	35.50	4.35	35.23	34.19	3.90	33.97
	Error: 1.69%										
Criterio de Aceptación:	Error < 3%		ACEPTABLE			ACEPTABLE			ACEPTABLE		

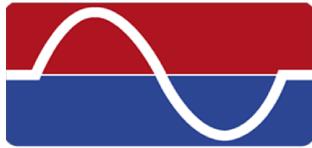
Norma (IEEE Std C57.152-2013):

Normalmente, esta es una prueba de aceptación para ver que el porcentaje de impedancia de la placa de identificación coincida con el porcentaje de impedancia medido cuando el transformador llega al sitio, una diferencia del 3% se considera aceptable, bajo el criterio de esta norma.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR3-RD**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba se realiza aplicando una tensión/corriente continua y basando su medición de la resistencia en la ley de Ohm. Estas resistencias medidas se prueban en el campo para verificar si hay conexiones sueltas en los bushings o cambiador de taps, conductores rotos o alta resistencia de contacto en el cambiador de taps.

RESULTADOS DE PRUEBA DEVANADOS PRIMARIOS							
Corriente de prueba (mA)	-----	7504.65		7507.20		7499.99	
Mide Resistencia	Primario	H1-H3		H2-H1		H3-H2	
TAP	Variación (%)	Resistencia medida ( $\Omega$ )	Estabilidad (%)	Resistencia medida ( $\Omega$ )	Estabilidad (%)	Resistencia medida ( $\Omega$ )	Estabilidad (%)
1	1.40	1.44	99.98	1.45	99.95	1.46	100.00
2	1.45	1.40	99.97	1.42	99.93	1.42	99.99
3	1.45	1.37	99.93	1.38	99.98	1.39	99.99
4	1.50	1.33	100.00	1.34	99.92	1.35	99.99
5	1.46	1.29	99.99	1.31	99.93	1.31	99.99
Criterio de Aceptación:	Variación < 3%	ACEPTABLE		ACEPTABLE		ACEPTABLE	

RESULTADOS DE PRUEBA DEVANADOS SECUNDARIOS							
Corriente de prueba (A)	-----	56.50		56.50		56.50	
Mide Resistencia	Secundario	X1-X0		X2-X0		X3-X0	
TAP	Variación (%)	Resistencia medida (m $\Omega$ )	Estabilidad (%)	Resistencia medida (m $\Omega$ )	Estabilidad (%)	Resistencia medida (m $\Omega$ )	Estabilidad (%)
1	7.66	0.24	99.98	0.25	99.98	0.25	99.98
Criterio de Aceptación:	Variación < 10%	ACEPTABLE		ACEPTABLE		ACEPTABLE	

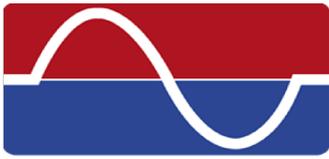
Norma (IEEE Std C57.152-2013):

Esta norma establece que las discrepancias admisibles de los valores medidos respecto a los valores de referencia deben estar dentro del  $\pm 5\%$ . Alternativamente se sugiere utilizar el criterio de la norma CIGRE (T.B 445) en caso de no tener valores de referencia. Esta alternativa establece que las diferencias entre las fases debe ser como máximo entre el 2-3% en devanados primarios y 10% en devanados secundarios.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR-DMG**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PROCEDIMIENTO DE DESMAGNETIZACION

Generalidades y Objetivo:

Cada vez que un transformador se desenergiza o le es aplicada una tensión de CC al núcleo del transformador, por ejemplo durante las pruebas de resistencia de devanados , se produce un porcentaje de magnetismo residual en su núcleo. Con este procedimiento se pueden prevenir altas corrientes en la puesta en servicio del transformador y lecturas erróneas durante algunas pruebas debidas al magnetismo residual.

RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO			
Corriente de Desmagnetización	Tiempo de Desmagnetización	Porcentaje de Magnetización antes de Procedimiento	Porcentaje de Magnetización después de Procedimiento
7.50 A	03:48:34 p.m.	45.77%	<1 %
Gráfica de Desmagnetización:			

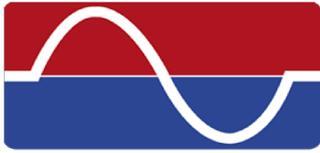
Norma:

La desmagnetización del núcleo de un transformador debe realizarse antes de poner el transformador nuevamente en servicio. También se recomienda desmagnetizar el transformador antes de realizar pruebas de análisis de respuesta de frecuencia de barrido (SFRA) o pruebas de balance magnético. Usando múltiples iteraciones el procedimiento debe lograr desmagnetizar el núcleo a aproximadamente el 1% de su valor máximo.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

PROBO: Fernando Iván Canales FECHA: 16/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-35-VLF**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE VLF

Generalidades y Objetivo:

La prueba de VLF es una técnica para la prueba del aislamiento de un cable de media tensión. Esta se aplica al alimentar el equipo en un enfoque de resistencia simple para detectar fallas potenciales en el aislamiento del cable durante una interrupción planificada. El equipo a prueba debe soportar una tensión de CA a una baja frecuencia, 0.1 Hz, durante un tiempo de prueba específico sin detectarse alguna falla.

RESULTADOS DE PRUEBA									
Línea	FASE A			FASE B			FASE C		
Tierra	Tierra			Tierra			Tierra		
Voltaje de prueba (KV RMS)	44			44			44		
Mide	FASE A			FASE B			FASE C		
Tiempo de la prueba ( MIN)	Resistencia (GΩ)	Capacitancia (nF)	Corriente de Fuga (μA)	Resistencia (GΩ)	Capacitancia (nF)	Corriente de Fuga (μA)	Resistencia (GΩ)	Capacitancia (nF)	Corriente de Fuga (μA)
35	3.2	2.9	81	4.3	2.8	77	1.6	3.0	86
Criterio de Aceptación:	ACEPTABLE			ACEPTABLE			ACEPTABLE		

Norma (IEEE Std 400.2-2013):

Los resultados de la prueba de vlf son de tipo aprobación/fallida, es decir, el equipo defectuoso fallará durante la prueba o de lo contrario este pasara la prueba.

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

PROBO:

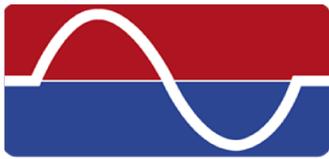
Marlon Reyes

FECHA: 24/01/2019

REVISO:

Fernando Iván Canales

FECHA: 28/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

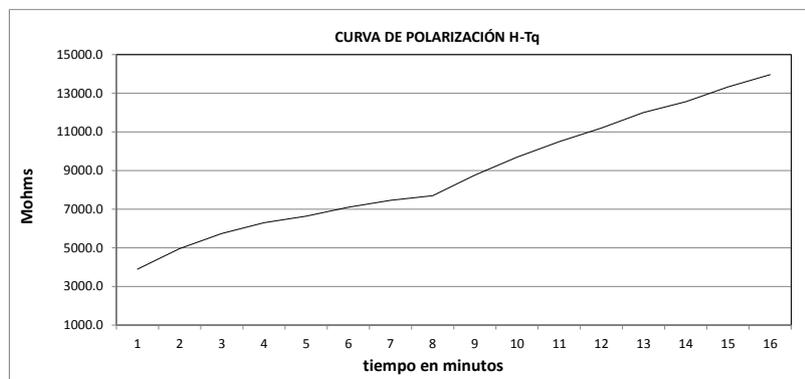


Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## ANEXOS

### Curvas de Polarizacion Pruebas MEGGER



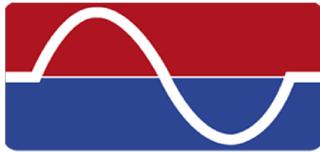
# REPORTE FINAL DE PRUEBAS

Cliente: STE ENERGY

Subestación: Cerro de Hula

Ubicación: Cerro de Hula, Santa Ana, Francisco Morazán

Fecha: 02 de Febrero de 2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-15**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3. Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## RESUMEN EJECUTIVO

El estudio tiene por objeto determinar el estado del transformador instalados en la subestacion del parque eolico Cerro de Hula., de manera que, desde el punto de vista de mantenimiento / operación y seguridad industrial, resulte segura y confiable la operación de estos transformadores.

Con este objetivo en mente bajo los estándares y procedimiento de normativas y asociaciones internacionales se realizaron las debidas Pruebas de Resistencia de Aislamiento, Relación de Transformación, Factor de Potencia/Disipación y Perdidas Dieléctricas. En el futuro también se estarán presentando los resultados obtenidos en el estudio en laboratorio de pruebas fisicoquímicas y análisis de gases disueltos en el aceite dieléctrico del transformador.

En las siguientes tablas se presenta de manera resumida los resultados obtenidos por cada prueba realizada a cada transformador.

## TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

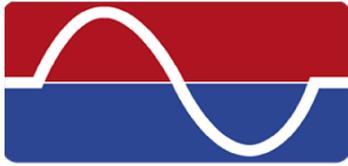
No.	PRUEBAS REALIZADAS	NORMA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADOS
1	Prueba de aislamiento Autotransformador de Aceite Devanados > 5 kV	IEEE Std 43-2013	> 5000 MΩ	APROBO
2	Índice de Polarización Transformador de Potencia	IEEE Std 43-2013	> 1	APROBO
3	Prueba de Relación de Transformación	IEEE Std C57.152-2013	< 0.5%	APROBO
4	Prueba de Factor de Potencia/Disipación y Perdidas Dieléctricas	IEEE Std 286-2000	< 0.5%	APROBO
5	Pruebas Fisicoquímicas en Aceite Dieléctrico	IEEE Std C57.106-2015	Valores de Referencia	PENDIENTE
6	Análisis de Gases Disueltos en Aceite Dieléctrico	IEEE Std C57.104-2008	Limites de Concentración	PENDIENTE

### NOTA/COMENTARIO:

De acuerdo a las pruebas realizadas se concluye que el transformador bajo estudio se presentan en optimas condiciones para su operación, aprobando el criterio establecido por ENERCOM. Dejando todavia pendiente el estudio en el aceite dielectrico del transformador.

Aprobado por: M.Eng. Ing. Carlos R. Suazo  
**GERENTE GENERAL**

Los resultados aquí presentados son validos únicamente para el momento de la prueba. Si el equipo sufre alteración o daños, se invalidan estos resultados.



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

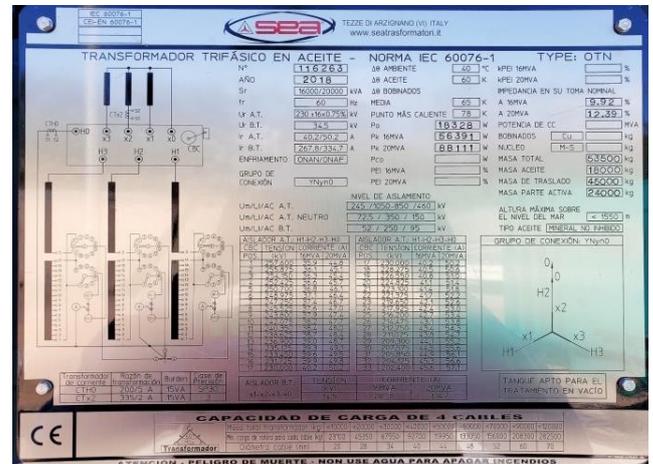
Formato: F-GM-15  
Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## FICHA DE DATOS DE TRANSFORMADOR

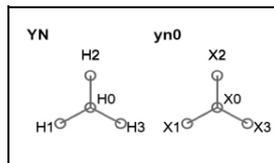


### DATOS DEL EQUIPO.

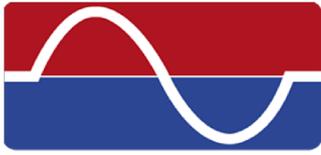
Fabricante:	<u>SEA</u>	Año de Manufactura:	<u>julio-05</u>	Capacidad:	<u>20</u> MVA
Voltaje Alta Tensión: (kV)	<u>230</u>	Fases:	<u>3</u> Ø	No de Serie:	<u>116263</u>
Voltaje Baja Tensión: (kV)	<u>34.5</u>	I nominal Alta Tensión:	<u>40.2/50.2</u> Amp	Masa Total:	<u>53500</u> kg
Transformador Clase:	<u>OTN</u>	I nominal Baja Tensión:	<u>267.8/334.7</u> Amp	Masa Aceite:	<u>18000</u> kg
Tipo de Aceite:	<u>MINERAL NO INHIBIDO</u>	Impedancia:	<u>12.39</u> %	Válvula de Presión:	●
Nivel del Aceite:	<u>OK</u>	Radiadores:	<u>OK</u>	Medidor de Presión:	●
Tanque Conservador	<u>OK</u>	Ventilación Forzada:	<u>OK</u>	Medidor de Temperatura:	●
Indicación de Presión	<u>OK</u>	Heat Rise	<u>60</u> °C		
Condición de Pintura	<u>OK</u>	Max temperatura:	<u>78</u> °C		
		Frecuencia	<u>60</u> Hz		

Bobinados	# Taps	Nominal	Cambiador tipo	Mat. de bobinado
Primario	<u>33</u>	<u>3</u>	<u>OLTC</u>	<u>Cu</u>
Secundario	<u>1</u>			<u>Cu</u>

Diagrama Fasorial



Temp. Aceite: 37 °C      Temp. Amb.: 34 °C      H.R.: 29 %      FCT: 2.2



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR-AIS**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Generalidades y Objetivo:

La resistencia de aislamiento expresa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores. La medición del aislamiento mediante un megóhmetro es parte de una política de mantenimiento preventivo. Las medidas basadas en el tiempo de aplicación de la tensión de prueba ya sea PI o DAR suelen revelar la presencia de contaminantes (polvo, suciedad) o de humedad en la superficie de los aislantes.

RESULTADOS DE PRUEBA		
Línea	Tq	
Guarda	-	
Tierra	(HX)	
Voltaje de prueba (KV)	5	
Mide	(HX)-Tq	
Tiempo de la prueba ( MIN)	LECTURAS (megohms)	
	Medida	Corregida a 20 °C
0.25	2890.0	6358.0
0.5	3730.0	8206.0
0.75	4280.0	9416.0
1	5010.0	11022.0
1.25	5600.0	12320.0
1.5	6150.0	13530.0
1.75	6630.0	14586.0
2	7060.0	15532.0
3	8270.0	18194.0
4	9320.0	20504.0
5	10100.0	22220.0
6	10580.0	23276.0
7	11220.0	24684.0
8	11830.0	26026.0
9	12230.0	26906.0
10	12640.0	27808.0
P.I.	2.52	
D.A.R.	1.34	
Criterio de Aceptación:	P.I. > 1	<b>ACCEPTABLE</b>

H= Terminales primarias

X= Terminales secundarias

Tq= Tanque

FCT= Factor de corrección de temperatura

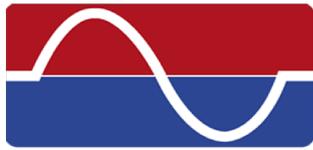
Norma (IEEE Std 43-2013):

Siguiendo los parametros de esta norma e interpretando los resultados segun lo establecido en la ANSI / NETA – ATS 2009 los valores mínimos de resistencia de aislamiento para transformadores con un voltaje de operación igual o mayor a 34.5 kV, como es el caso del autotransformador en sus devanados, son de al menos 5,000 MΩ. En el caso de autotransformadores se prueba el aislamiento general en los bushings de alta y de baja puesto que no existira aislamiento entre estos al compartir un mismo devanado. Por su parte el indice de polarizacion debe ser mayor de 1.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para futuras pruebas.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 26/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 31/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-FP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y PERDIDAS DIELECTRICAS

Generalidades y Objetivo:

El propósito de esta prueba es determinar el estado de sequedad de los devanados y el sistema de aislamiento y determinar un factor de potencia para el aislamiento general, incluidos los Bushing, el aceite y los devanados en caso de aplicar. Las pérdidas dieléctricas son una medida de la relación entre las pérdidas de potencia ( $I^2R$ ) y los voltamperios aplicados durante la prueba.

RESULTADOS DE PRUEBA					
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	CAPACITANCIA (nF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TAN DELTA (%)	CORRIENTES DE FUGA (mA)
AutoTransformador	GST-GND	10.45	1003.31	0.25	39.38
Criterio de Aceptación:	TAN DELTA < 0.5%	ACEPTABLE			

VOLTAJE DE PRUEBA 10000.0 KV

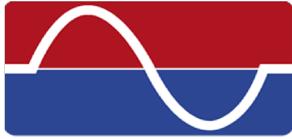
Norma (IEEE Std 286-2000):

Siguiendo los parametros de esta norma e interpretando los resultados segun lo establecido en la norma ANSI / NETA -ATS 2009 los resultados de tangente delta deben de ser menores a 0.5%. En el caso de autotransformadores se prueba el aislamiento general en los bushings de alta y de baja puesto que no existira aislamiento entre estos al compartir un mismo devanado.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para futuras pruebas.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 26/01/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 31/01/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
Ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-30-TR3-TTR

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

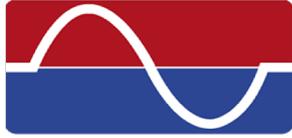
Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

Generalidades y Objetivo:

La prueba de relación de transformación detecta giros en cortocircuito, lo que indica una falla de aislamiento, al determinar si existe la relación de giros correcta. Los giros en cortocircuito pueden deberse a cortocircuitos o fallas dieléctricas (aislamiento). Las mediciones se toman aplicando un voltaje bajo conocido a través de un devanado y midiendo el voltaje inducido en el devanado correspondiente.

RESULTADOS DE PRUEBA							
Voltaje de prueba (V)	-----	250.27		250.29		250.30	
Mide Relación	Teórica	H1-H3 / X1-X0		H2-H1 / X2-X0		H3-H2 / X3-X0	
TAP	Relación Teórica	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error
1	7.5	7.5	0.08%	7.5	0.08%	7.47	0.09%
2	7.4	7.4	0.10%	7.4	0.11%	7.43	0.12%
3	7.4	7.4	0.07%	7.4	0.08%	7.37	0.09%
4	7.3	7.3	0.10%	7.3	0.11%	7.33	0.12%
5	7.3	7.3	0.07%	7.3	0.08%	7.27	0.09%
6	7.2	7.2	0.10%	7.2	0.11%	7.22	0.11%
7	7.2	7.2	0.07%	7.2	0.08%	7.17	0.08%
8	7.1	7.1	0.10%	7.1	0.10%	7.12	0.11%
9	7.1	7.1	0.07%	7.1	0.08%	7.07	0.08%
10	7.0	7.0	0.10%	7.0	0.10%	7.02	0.11%
11	7.0	7.0	0.07%	7.0	0.08%	6.97	0.08%
12	6.9	6.9	0.10%	6.9	0.10%	6.92	0.11%
13	6.9	6.9	0.07%	6.9	0.08%	6.87	0.09%
14	6.8	6.8	0.10%	6.8	0.11%	6.82	0.11%
15	6.8	6.8	0.07%	6.8	0.08%	6.77	0.09%
16	6.7	6.7	0.10%	6.7	0.11%	6.72	0.12%
17	6.7	6.7	0.07%	6.7	0.08%	6.67	0.09%
18	6.6	6.6	0.10%	6.6	0.11%	6.62	0.12%
19	6.6	6.6	0.08%	6.6	0.08%	6.57	0.09%
20	6.5	6.5	0.11%	6.5	0.11%	6.52	0.12%
21	6.5	6.5	0.08%	6.5	0.08%	6.47	0.09%
22	6.4	6.4	0.11%	6.4	0.11%	6.42	0.12%
23	6.4	6.4	0.07%	6.4	0.08%	6.37	0.09%
24	6.3	6.3	0.11%	6.3	0.11%	6.32	0.12%
25	6.3	6.3	0.07%	6.3	0.08%	6.27	0.09%
26	6.2	6.2	0.11%	6.2	0.11%	6.22	0.12%
27	6.2	6.2	0.08%	6.2	0.08%	6.17	0.09%



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-TR3-TTR**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

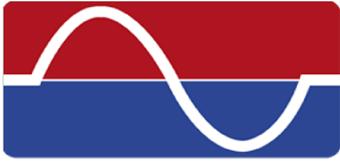
RESULTADOS DE PRUEBA							
Voltaje de prueba (V)	-----	250.27		250.29		250.30	
Mide Relación	Teórica	H1-H3 / X1-X0		H2-H1 / X2-X0		H3-H2 / X3-X0	
TAP	Relación Teórica	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error	Relación Medida	Error
28	6.1	6.1	0.11%	6.1	0.11%	6.12	0.12%
29	6.1	6.1	0.08%	6.1	0.08%	6.07	0.09%
30	6.0	6.0	0.11%	6.0	0.11%	6.02	0.12%
31	6.0	6.0	0.08%	6.0	0.08%	5.97	0.09%
32	5.9	5.9	0.11%	5.9	0.11%	5.92	0.12%
33	5.9	5.9	0.08%	5.9	0.08%	5.87	0.09%
Criterio de Aceptación:	Error < 0.5%	ACEPTABLE		ACEPTABLE		ACEPTABLE	

Norma (IEEE Std C57.152-2013):

La proporción obtenida de la prueba de campo debe coincidir con la fábrica dentro del 0.5%. Los nuevos transformadores de buena calidad normalmente se comparan con la placa de identificación dentro de 0.1%, según esta norma.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para futuras pruebas.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 26/01/2019  
REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 31/01/2019



**E N E R C O M**

energía y comunicaciones s. de r. l. de c. v.  
ingenieros electromecánicos

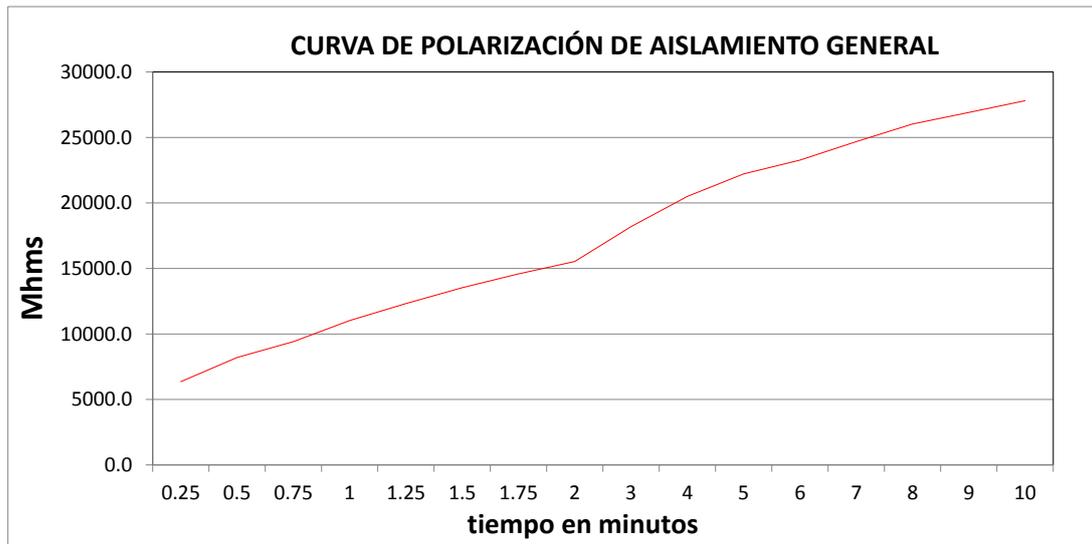


Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21, Anillo  
Periferico Entrada Residencial Honduras  
Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## ANEXOS

### Curva de Polarizacion Prueba de Aislamiento



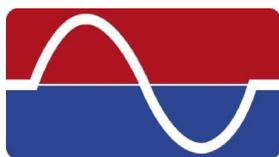
# REPORTE FINAL DE PRUEBAS

Cliente: TSK

Subestación: RIO LINDO

Ubicación: REPRESA HIDROELECTRICA RIO LINDO

Fecha: 15/02/2018



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-16**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## RESUMEN EJECUTIVO

El estudio tiene por objeto determinar el estado de las nuevas instalaciones en la subestación de la central Hidroeléctrica de Rio Lindo ubicada en San Francisco de Yojoa, Cortes, de tal manera que, desde el punto de vista de mantenimiento / operación y seguridad industrial, resulte segura y confiable la operación de los nuevos equipos instalados.

Con este objetivo en mente bajo los estándares y procedimiento de normativas y asociaciones internacionales se realizaron pruebas de aceptación a Interruptores de Potencia, Transformadores de corriente internos en cada interruptor, Seccionadoras, Transformadores de Potencial y Pararrayos de la nueva bahía instalada.

En las siguientes tablas se presenta de manera resumida los resultados obtenidos por cada equipo a prueba.

## TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

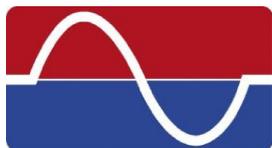
No.	TRABAJOS REALIZADOS	NORMA	PRUEBAS REALIZADAS	RESULTADOS
1	Pruebas a Interruptores de Potencia	IEEE Std C37.09-1999	<ul style="list-style-type: none"><li>Resistencia de Aislamiento</li><li>Factor de Potencia/Disipación Y Perdidas Dieléctricas</li><li>Resistencia De Contactos</li><li>Tiempos de Apertura Y Cierre</li></ul>	APROBO
2	Pruebas a Transformadores de Corriente Internos en Interruptores	IEEE Std C57.13™-2016	<ul style="list-style-type: none"><li>Resistencia de Aislamiento</li><li>Resistencia de Devanados</li><li>Relación de Transformación</li></ul>	APROBO
3	Pruebas a Transformadores de Potencial	IEEE Std C57.13™-2016	<ul style="list-style-type: none"><li>Resistencia de Aislamiento</li><li>Factor de Potencia/Disipación Y Capacitancia</li><li>Resistencia de Devanados</li><li>Relación de Transformación</li></ul>	APROBO
4	Pruebas a Seccionadoras	ANSI / NETA -ATS 2009	<ul style="list-style-type: none"><li>Resistencia de Aislamiento</li><li>Factor de Potencia/Disipación Y Perdidas Dieléctricas</li><li>Resistencia de Contactos</li></ul>	APROBO
5	Pruebas a Pararrayos	ANSI / NETA -ATS 2009	<ul style="list-style-type: none"><li>Resistencia de Aislamiento</li><li>Factor de Potencia/Disipación Y Perdidas Dieléctricas</li></ul>	APROBO

### NOTA/COMENTARIO:

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas se concluye que los equipos a prueba **se encuentran en óptimas condiciones para su puesta en servicio.**

Aprobado por: M.Eng. Ing. Carlos R. Suazo  
**GERENTE GENERAL**

Los resultados aquí presentados son validos únicamente para el momento de la prueba. Si el equipo sufre alteración o daños, se invalidan estos resultados.



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-16

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## FICHA DE DATOS DE INTERRUPTOR 52L1



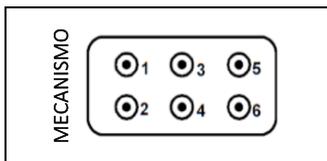
### DATOS DEL INTERRUPTOR.

Clave:	<u>52L1</u>	Fecha de Manufactura:	<u>06/2018</u>
Voltaje Nominal: (kV)	<u>138</u>	Tiempo de Interrupción (ms)	<u>50</u>
Corriente Nominal (AMP)	<u>1250</u>	Marca:	<u>SIEMENS</u>
Corriente de Corto Circuito (kA)	<u>31.5</u>	Tipo:	<u>INTERRUPTOR DE POTENCIA SF6</u>
Frecuencia (Hz)	<u>60</u>	Serie:	<u>84180017</u>

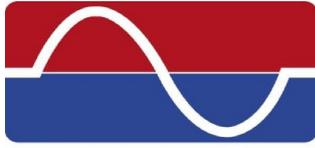
### DATOS DE TCs INTERNOS.

Numeri de TCs:	<u>18</u>	Fecha de Manufactura:	<u>06/2018</u>
Relacion Nominal:	<u>800:5</u>	Marca:	<u>CORE</u>
Frecuencia (Hz)	<u>60</u>	Tipo:	<u>BUSHING</u>
Clase:	<u>PROTECCION - MEDICION</u>	Modelo:	<u>TCE-800-M345EZZZ - TCE-800-M345ZZAF</u>

Numeración de Polos



Temp. Amb.: 33.5 °C H.R.: 45 %



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-31-INT-AIS**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Generalidades y Objetivo:

Por principio, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el mega óhmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corriente de fuga.

RESULTADOS DE PRUEBA						
PRUEBA FASE	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES			LECTURAS (GΩ) 60 SEG.	LECTURAS (GΩ) CORREGIDA A 20 °C
		TIERRA (-)	GUARDA	LINEA (+)		
A	ABIERTO	1	2	E	5,100.0	9,557.4
	ABIERTO	2	1	E	6,160.0	11,543.8
B	ABIERTO	3	4	E	> 10,000	> 10,000
	ABIERTO	4	3	E	7,240.0	13,567.8
C	ABIERTO	5	6	E	4,330.0	8,114.4
	ABIERTO	6	5	E	> 10,000	> 10,000
A	ABIERTO	2	E	1	2,750.0	5,153.5
B	ABIERTO	4	E	3	2,090.0	3,916.7
C	ABIERTO	6	E	5	> 10,000	> 10,000
A	CERRRADO	1-2	-	E	1,460.0	2,736.0
B	CERRRADO	3-4	-	E	253.0	474.1
C	CERRRADO	5-6	-	E	192.1	360.0
Criterio de Aceptación:	Resistencia > 100 GΩ	ACCEPTABLE				

TEMPERATURA AMBIENTE: 33.5 °C  
FACTOR DE CORRECCION POR TEMP: 1.87  
VOLTAJE DE PRUEBA: 5 KV

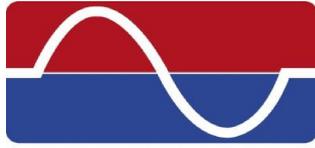
Norma (IEEE Std 43-2013):

La norma ANSI / NETA -ATS 2009 establece que los valores mínimos de resistencia de aislamiento para interruptores con un voltaje de operación igual o mayor a 34.5 KV, como es el caso de estos interruptores, son de al menos 100,000 MΩ equivalente a 100 GΩ.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-31-INT-FP

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y PERDIDAS DIELECTRICAS

Generalidades y Objetivo:

El estado del aislamiento es esencial para un funcionamiento seguro y fiable de un Interruptor. La medición de la capacitancia y del factor de disipación/potencia le ayudará a determinar el estado del aislamiento en los bushings, entre fases y en las cámaras de vacío. El envejecimiento y la degradación del aislamiento, unido a la entrada de agua, aumentan la cantidad de energía que se convierte en calor en el aislamiento. La tasa de estas pérdidas dieléctricas se mide como factor de disipación.

RESULTADOS DE PRUEBA								
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES		CAPACITANCIA (pF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TAN DELTA (%)	CORRIENTES DE FUGA (µA)
			TERMINAL BAJA TENSION	TERMINAL ALTA TENSION				
POLO 1	GST	ABIERTO	1	E	114.30	12.66	0.294	430.90
POLO 2	GST	ABIERTO	2	E	102.07	10.22	0.266	384.81
FASE A	UST	ABIERTO	3	E	3.79	0.24	0.170	14.30
POLO 3	GST	ABIERTO	4	E	114.21	8.95	0.208	430.54
POLO 4	GST	ABIERTO	5	E	102.27	11.05	0.287	385.54
FASE B	UST	ABIERTO	6	E	3.69	0.07	0.050	13.90
POLO 5	GST	ABIERTO	1	2	114.29	8.94	0.208	430.85
POLO 6	GST	ABIERTO	3	4	102.30	9.44	0.245	385.67
FASE C	UST	ABIERTO	5	6	3.87	0.25	0.172	14.61
CAMARA A	GST	CERRADO	1-2	E	214.99	23.83	0.294	810.50
CAMARA B	GST	CERRADO	3-4	E	215.54	25.21	0.310	812.59
CAMARA C	GST	CERRADO	5-6	E	214.68	41.03	0.507	809.32
criterio de Aceptación:	Comparación con Referencia		ACEPTABLE					

VOLTAJE DE PRUEBA 10.0 KV

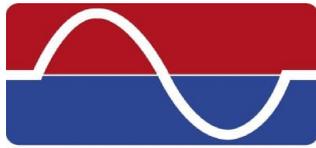
Norma (IEEE Std C37.09-1999):

Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda efectuar comparaciones con valores de referencia del fabricante, en la ausencia de estos se deben comparar interruptores de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo según la norma ANSI / NETA -ATS 2009.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-31-INT-RC**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periférico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

Generalidades y Objetivo:

La resistencia de contacto, debido a las condiciones superficiales en la unión o superficie de contacto, puede conducir a una pobre o mala conexión si es demasiado alta, provocando diversos problemas en el circuito. Una alta resistencia de contacto produce mayores pérdidas, menor corriente y peligrosos puntos calientes en la subestación, por lo que las pruebas de resistencia de contacto se utilizan para la detección y prevención de problemas futuros.

RESULTADOS DE PRUEBA					
PRUEBA	CONEXIONES	CORRIENTE DE PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	RESISTENCIA MEDIDA	CAIDA DE VOLTAJE
FASE A	1-2	100 A	CERRADO	117.1 $\mu\Omega$	11.73 mV
FASE B	3-4	100 A	CERRADO	118.0 $\mu\Omega$	11.81 mV
FASE C	5-6	100 A	CERRADO	116.5 $\mu\Omega$	11.67 mV
Criterio de Aceptación:	Diferencias < 50%		ACEPTABLE		

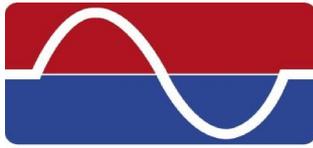
Norma (IEEE Std 118-1978):

En la norma ANSI / NETA -ATS 2009 se recomienda que las resistencias de contactos adyacentes se comparen entre si y no debe de existir una diferencia máxima entre ellas de mas del 50%.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-31-INT-TMP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba consiste en la verificación y comparación del intervalo de tiempo desde la activación de la liberación de apertura hasta el instante en que los contactos de arco se separaron en todos los polos. Este tiempo medido luego se compara con la placa para comprobar que este opere de la manera correcta en ambos casos de apertura y cierre. Probar la simultaneidad de tiempo con la que se accionan los contactos de cada una de las fases es de gran importancia ya que, si la diferencia de tiempos es muy grande, el voltaje se hace muy alto sobre un contacto.

RESULTADOS DE PRUEBA				
PRUEBA	FASE	TIEMPO	SIMULTANEIDAD ENTRE POLOS	CORRIENTE PICO
CIERRE	FASE A	50.42 ms	0.23 ms	2.401 A
	FASE B	50.65 ms		
	FASE C	50.49 ms		
APERTURA	FASE A	24.85 ms	0.39 ms	10.27 A
	FASE B	24.46 ms		
	FASE C	24.76 ms		
CIERRE-APERTURA	FASE A	33.4 ms	-	-
	FASE B	33.25 ms		
	FASE C	33.76 ms		
APERTURA-CIERRE- APERTURA	FASE A O-C	325.18 ms	-	-
	FASE B O-C	325.86 ms		
	FASE C O-C	325.33 ms		
	FASE A C-O	325.16 ms		
	FASE B C-O	325.84 ms		
	FASE C C-O	325.32 ms		
APERTURA 2	FASE A	24.96 ms	0.36 ms	10.19 A
	FASE B	24.6 ms		
	FASE C	24.92 ms		
Criterio de Aceptación:	Comparación vs Placa		ACEPTABLE	

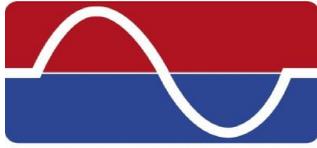
Norma (IEEE Std C37.09-1999):

Los tiempos de interrupción deben de ser comparados con los datos de placa como es debido. Además, se deben tomar en cuenta los tiempos de interrupción que recomienda la norma IEEE Std C37.06-2011 para interruptores. Para el análisis de los tiempos de cierre debemos de guiarnos por lo que dice la ANSI/IEEE C37 . En ella se establece que el tiempo de cierre máximo asumido para cualquier caso de interruptores es de 300 ms. En cuanto a la sincronización entre polos se establece en la norma IEC62271-100 una diferencia en el tiempo de interrupción entre polos de no más de 2 ms.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-31-TCS-AIS

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE TCs INTERNOS

Generalidades y Objetivo:

Los transformadores de instrumento, TCs, forman parte vital del funcionamiento de un interruptor. Por esta razón la prueba de resistencia de aislamiento muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corriente de fuga en el instrumento.

RESULTADOS DE PRUEBA							
NOMBRE	PRUEBA	CONEXIONES			LECTURAS (MΩ) 60 SEG.	LECTURAS (MΩ) CORREGIDA A 20 °C	
		TIERRA (-)	GUARDA	LINEA (+)			
TC INTERNOS	T1-A1	1	X1-X5	-	T	7,110	14,931
	T1-A2	2	X1-X5	-	T	9,150	19,215
	T1-A3	3	X1-X5	-	T	7,550	15,855
	T1-B1	4	X1-X5	-	T	7,780	16,338
	T1-B2	5	X1-X5	-	T	7,470	15,687
	T1-B3	6	X1-X5	-	T	9,220	19,362
	T1-C1	7	X1-X5	-	T	14,500	30,450
	T1-C2	8	X1-X5	-	T	15,500	32,550
	T1-C3	9	X1-X5	-	T	14,910	31,311
	T2-A4	10	X1-X5	-	T	9,450	19,845
	T2-A5	11	X1-X5	-	T	12,120	25,452
	T2-A6	12	X1-X5	-	T	12,660	26,586
	T2-B4	13	X1-X5	-	T	11,700	24,570
	T2-B5	14	X1-X5	-	T	11,710	24,591
	T2-B6	15	X1-X5	-	T	12,270	25,767
	T2-C4	16	X1-X5	-	T	20,400	42,840
	T2-C5	17	X1-X5	-	T	15,890	33,369
	T2-C6	18	X1-X5	-	T	18,160	38,136
Criterio de Aceptación:	Resistencia > 500 MΩ		ACEPTABLE				

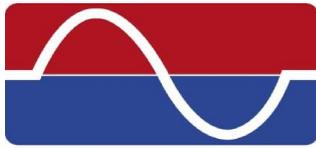
TEMPERATURA AMBIENTE: 36 °C  
 FACTOR DE CORRECCION POR TEMP: 2.10  
 VOLTAJE DE PRUEBA: 5 KV

Norma (IEEE Std 43-2013):

Según la norma ANSI / NETA -ATS 2009 se establece que los valores mínimos de resistencia de aislamiento para transformadores de instrumento con un voltaje de operación entre 0 – 600 V se recomienda una resistencia de aislamiento de no menos de 500 MΩ.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas  
futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019  
 REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-31-TCS-RD

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS DE TCs INTERNOS

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba tiene como objetivo la medición de las resistencias de los arrollamientos. Esta prueba se realiza aplicando una tensión/corriente continua y basando su medición de la resistencia en la ley de Ohm. Esta prueba puede llegar a detectar problemas en conductores cortados, cortocircuitos entre discos (devanados) y problemas de conexión en los TCs.

RESULTADOS DE PRUEBA			
PRUEBA TC	CORRIENTE (A)	RESISTENCIA ( $\Omega$ )	ESTABILIDAD (%)
T1-A1	1.00	0.41	99.99
T1-A2	1.00	0.42	99.99
T1-A3	1.00	0.34	100.00
T1-B1	1.00	0.41	100.00
T1-B2	1.00	0.42	100.00
T1-B3	1.00	0.35	99.97
T1-C1	1.00	0.41	100.00
T1-C2	1.00	0.42	100.00
T1-C3	1.00	0.35	99.97
T2-A4	1.00	0.33	99.99
T2-A5	1.00	0.41	99.99
T2-A6	1.00	0.40	100.00
T2-B4	1.00	0.33	100.00
T2-B5	1.00	0.40	100.00
T2-B6	1.00	0.41	99.98
T2-C4	1.00	0.34	100.00
T2-C5	1.00	0.41	99.97
T2-C6	1.00	0.42	100.00
Criterio de Aceptación:	Comparación con Referencia	ACEPTABLE	

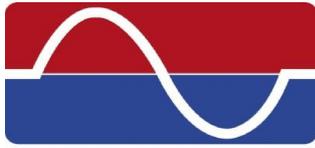
Norma (IEEE Std C57.152-2013)

Se establece según esta norma que las discrepancias admisibles de los valores medidos respecto a los valores de referencia deben estar dentro del  $\pm 5\%$ .

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-31-TCS-TTR**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DE TCs

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba se realiza con el objetivo de determinar la relación de transformación para cada una de las combinaciones de arrollamientos, es decir la relación entre el primario/secundario. Mediante la medición de esta relación de transformación se pueden revelar circuitos abiertos, espiras en cortocircuito, terminales identificadas incorrectamente, etc.

RESULTADOS DE PRUEBA				
PRUEBA	CORRIENTE (A)	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR
T1-A1	100.00	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.27	-0.17%
T1-A2	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.23	-0.14%
T1-A3	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.30	-0.19%
T1-B1	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.26	-0.16%
T1-B2	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.24	-0.15%
T1-B3	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.43	-0.27%
T1-C1	100.04	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.24	-0.15%
T1-C2	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.39	-0.24%
T1-C3	99.98	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.42	-0.26%
T2-A4	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.43	-0.27%
T2-A5	100.04	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.29	-0.18%
T2-A6	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.32	-0.20%
T2-B4	100.01	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.36	-0.22%
T2-B5	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.24	-0.15%
T2-B6	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.26	-0.16%
T2-C4	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.38	-0.23%
T2-C5	100.02	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.32	-0.20%
T2-C6	100.03	800.0 : 5.000 ( 160.0 )	160.37	-0.23%
Criterio de Aceptación:	Error <  0.5%	ACEPTABLE		

Norma (IEEE Std C57.152-2013 y CIGRE TB 445):

Las discrepancias del error de relación de las sucesivas mediciones a lo largo de la prueba, deben ser inferiores al  $\pm 0,5\%$  respecto a los valores de referencia.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



Formato: **F-GM-18**  
 Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite  
 salida hacia La Lima local # 2.  
 San Pedro Sula, Honduras  
 (504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
 Anillo Periferico Entrada Residencial  
 Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
 (504) 2280-2929

## FICHA DE DATOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL 58U1



TRANSFORMADOR DE TENSION CAPACITIVO											
Tipo	DDB-145	No.	18004906/3	Año	2018	ANSI/IEEE	C31-1999				
U <sub>m</sub>	145kV	f <sub>0</sub>	60 Hz	Aislamiento	145/275/650 kV <sub>F<sub>v</sub></sub>	1.5U <sub>m</sub> /30s					
U <sub>pr</sub>	H1-H2		138000/V3		V						
	X1-X2		Y1-Y2								
U <sub>sr</sub>	115/V3 V		115/V3 V								
Potencia asignada	Z		Z				C <sub>1</sub>	7000+10%-5%pF	C <sub>1</sub>	8344 pF	
Clase	0.3		1.2R				Cond. n°	18004906	1	Rango temp.	-25/+45°C
							Condensador:	Tipo aceite	SINTETICO	Masa	155 kg
							Unidad electrónica:	Tipo aceite	MINERAL	Masa	330 kg
Clase de respuesta transi.							Pot.Cal.	=	600 VA	Masa	485 kg
REL 1200:1:1											
IMPORTANTE: Hermeticidad total. Prohibido desmontar											

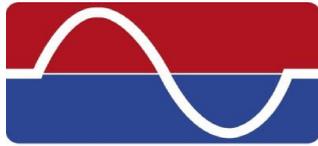
### DATOS DEL EQUIPO.

Clave:	58U1	Fecha de Manufactura:	2018
Voltaje Primario: (V)	138000/V3	Marca:	ARTECHE
Voltaje Secundario: (V)	115/V3	Tipo:	DDB-145
Capacitancia 1: (pF)	8344	Serie:	18004906/3-18004906/7-18004906/4
Capacitancia 2: (pF)	43807		

Temp. Amb.: 32.8 °C H.R.: 44 %

### TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

No.	PRUEBAS REALIZADAS	NORMA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADOS
1	Prueba de Resistencia de Aislamiento	IEEE Std 43-2013	> 100 GΩ	APROBO
2	Prueba de Factor de Potencia y Capacitancia	IEEE Std 286-2000	Comparación vs Placa	APROBO
4	Prueba de Resistencia de Devanados	IEEE C57.152	Variaciones menores de 5%	APROBO
5	Prueba de Relación de Transformación	IEEE C57.152	Discrepancias inferiores a 0.5%	APROBO



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-32-TP-AIS**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE TPs

Generalidades y Objetivo:

La prueba de resistencia de aislamiento muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corriente de fuga en el instrumento.

RESULTADOS DE PRUEBA						
NOMBRE	PRUEBA	CONEXIONES			LECTURAS (GΩ) 60 SEG.	LECTURAS (GΩ) CORREGIDA A 20 °C
		TIERRA (-)	GUARDA	LINEA (+)		
FASE A	H-T	H	(XY)	T	65.50	118.90
	H-X	X	(YT)	H	1,336.00	2,425.11
	H-Y	Y	(XT)	H	878.00	1,593.75
	X-Y	Y	(HT)	X	591.00	1,072.78
	X-T	X	(HY)	T	260.00	471.95
	Y-T	Y	(HX)	T	64.80	117.62
FASE B	H-T	H	(XY)	T	52.60	95.48
	H-X	X	(YT)	H	1,308.00	2,374.28
	H-Y	Y	(XT)	H	471.00	854.96
	X-Y	Y	(HT)	X	824.00	1,495.72
	X-T	X	(HY)	T	177.90	322.92
	Y-T	Y	(HX)	T	75.90	137.77
FASE C	H-T	H	(XY)	T	38.10	69.16
	H-X	X	(YT)	H	914.00	1,659.09
	H-Y	Y	(XT)	H	786.00	1,426.75
	X-Y	Y	(HT)	X	951.00	1,726.26
	X-T	X	(HY)	T	103.20	187.33
	Y-T	Y	(HX)	T	53.50	97.11
Criterio de Aceptación:	Resistencia > 5,000 MΩ	ACEPTABLE				

TEMPERATURA AMBIENTE: 32.8 °C  
FACTOR DE CORRECCION POR TEMP: 1.82  
VOLTAJE DE PRUEBA PRIMARIO: 5 KV  
VOLTAJE DE PRUEBA SECUNDARIO: 500 V

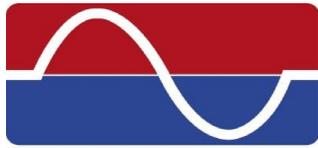
Norma (IEEE Std 43-2013):

Según la norma ANSI / NETA -ATS 2009 se establece que los valores mínimos de resistencia de aislamiento para transformadores de instrumento con un voltaje de operación mayores de 5,000 V se recomienda una resistencia de aislamiento de no menos de 5,000 MΩ equivalentes a 5 GΩ.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-FP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y CAPACITANCIA

Generalidades y Objetivo:

El estado del aislamiento es esencial para un funcionamiento seguro y fiable de un equipo eléctrico de potencia. La medición de la capacitancia y del factor de disipación/potencia le ayudará a determinar el estado del aislamiento en los bushings y entre fases en caso de corresponder. El envejecimiento y la degradación del aislamiento, unido a la entrada de agua, aumentan la cantidad de energía que se convierte en calor en el aislamiento. Esta tasa de estas pérdidas dieléctricas se mide como factor de potencia/disipación o tangente delta.

RESULTADOS DE PRUEBA					
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	VOLTAJE DE PRUEBA (V)	CAPACITANCIA (pF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TAN DELTA (%)
FASE A (C1)	GST	9,999.78	8,258.40	230.92	0.0742
FASE A (C2)	GST	2,000.38	43,314.78	1,418.99	0.0869
FASE B (C1)	GST	9,996.84	8,328.09	222.47	0.0709
FASE B (C2)	GST	2,000.44	43,293.56	1,358.97	0.0833
FASE C (C1)	GST	10,001.48	8,265.37	223.33	0.0717
FASE C (C2)	GST	2,000.53	43,213.14	1,311.34	0.0805
Criterio de Aceptación:	Comparación vs Placa	ACEPTABLE			

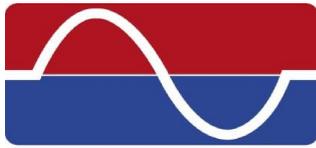
Norma (IEEE Std 286-2000):

Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda comparar los valores de capacitancia medidos con los establecidos en la placa de datos, en la ausencia de estos se deben comparar interruptores de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo según la norma ANSI / NETA -ATS 2009.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/2019

REVISOR: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-31-TP-RD

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS DE TPs

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba tiene como objetivo la medición de las resistencias de los arrollamientos. Esta prueba se realiza aplicando una tensión/corriente continua y basando su medición de la resistencia en la ley de Ohm. Esta prueba puede llegar a detectar problemas en conductores cortados, cortocircuitos entre discos (devanados) y problemas de conexión en los TPs.

RESULTADOS DE PRUEBA			
PRUEBA TP	CORRIENTE (A)	RESISTENCIA (mΩ)	ESTABILIDAD (%)
FASE A (X1-X2)	1.00	24.04	99.96
FASE A (Y1-Y2)	1.00	21.87	99.92
FASE B (X1-X2)	1.00	22.87	99.93
FASE B (Y1-Y2)	1.00	21.58	99.93
FASE C (X1-X2)	1.00	23.65	99.97
FASE C (Y1-Y2)	1.00	21.36	99.99
Criterio de Aceptación:	Comparación con Referencia	ACEPTABLE	

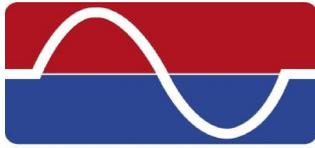
Norma (IEEE Std C57.152-2013)

Se establece según esta norma que las discrepancias admisibles de los valores medidos respecto a los valores de referencia deben estar dentro del  $\pm 5\%$ .

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-31-TP-TTR

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DE TP<sub>s</sub>

Generalidades y Objetivo:

Esta prueba se realiza con el objetivo de determinar la relación de transformación para cada una de las combinaciones de arrollamientos, es decir la relación entre el primario/secundario. Mediante la medición de esta relación de transformación se pueden revelar circuitos abiertos, espiras en cortocircuito, terminales identificadas incorrectamente, etc.

RESULTADOS DE PRUEBA				
PRUEBA	VOLTAJE (V)	RELACION TEORICA	RELACION MEDIDA	ERROR
FASE A (X1-X2)	1500.49	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1198.63	-0.11%
FASE A (Y1-Y2)	1500.65	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1199.91	-0.01%
FASE B (X1-X2)	1500.63	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1195.98	-0.34%
FASE B (Y1-Y2)	1500.53	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1196.45	-0.30%
FASE C (X1-X2)	1500.63	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1197.93	-0.17%
FASE C (Y1-Y2)	1500.66	79.67k : 66.40 ( 1.200k )	1198.63	-0.11%
Criterio de Aceptación:	Error <  0.5%	ACEPTABLE		

Norma (IEEE Std C57.152-2013 y CIGRE TB 445):

Las discrepancias del error de relación de las sucesivas mediciones a lo largo de la prueba, deben ser inferiores al  $\pm 0,5\%$  respecto a los valores de referencia.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-18

Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite  
salida hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

### FICHA DE DATOS DE SECCIONADORA 56L501



#### DATOS DEL EQUIPO.

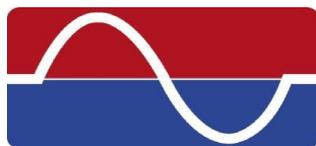
Clave: 56L501  
 Voltaje Nominal: (kV) 145  
 Corriente Nominal (AMP) 1600  
 Corriente de Corta Duración (kA) 31.5  
 Frecuencia (Hz) 60

Fecha de Manufactura: 04/2018  
 Marca: GENERAL ELECTRIC  
 Tipo: S2DA  
 Serie: A69269

Temp. Amb.: 37 °C H.R.: 34 %

#### TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

No.	PRUEBAS REALIZADAS	NORMA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADOS
1	Prueba de Resistencia de Aislamiento	IEEE Std 43-2013	> 100 GΩ	APROBO
2	Prueba de Resistencia de Contactos	IEEE Std 118-1978	Variaciones menores de 50%	APROBO
3	Prueba de Factor de Potencia y Perdidas Dieléctrica	IEEE Std 286-2000	Comparación con referencia	APROBO



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-33-SEC-AIS**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Generalidades y Objetivo:

Por principio, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el mega óhmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corriente de fuga.

RESULTADOS DE PRUEBA					
NOMBRE	CONEXIONES			LECTURAS (TΩ) 60 SEG.	LECTURAS (TΩ) CORREGIDA A 20 °C
	TIERRA (-)	GUARDA	LINEA (+)		
FASE A (S1)	H	-	E	9.26	20.37
FASE A (S2)	H	-	E	8.56	18.83
FASE B (S1)	H	-	E	> 10	> 10
FASE B (S2)	H	-	E	> 10	> 10
FASE C (S1)	H	-	E	> 10	> 10
FASE C (S2)	H	-	E	> 10	> 10
Criterio de Aceptación:	Resistencia > 100 GΩ	ACEPTABLE			

S1 = SOPORTE1

S2 = SOPORTE2

TEMPERATURA AMBIENTE: 37 °C

FACTOR DE CORRECCION POR TEMP: 2.20

VOLTAJE DE PRUEBA: 5 KV

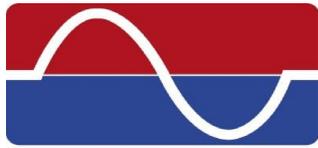
Norma (IEEE Std 43-2013):

La norma ANSI / NETA -ATS 2009 establece que los valores mínimos de resistencia de aislamiento para equipos electricos con un voltaje de operación igual o mayor a 34.5 kV son de al menos 100,000 MΩ equivalente a 100 GΩ.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**

energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-FP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y PERDIDAS DIELECTRICAS

Generalidades y Objetivo:

El estado del aislamiento es esencial para un funcionamiento seguro y fiable de un equipo eléctrico de potencia. La medición de la capacitancia y del factor de disipación/potencia le ayudará a determinar el estado del aislamiento en los bushings y entre fases en caso de corresponder. El envejecimiento y la degradación del aislamiento, unido a la entrada de agua, aumentan la cantidad de energía que se convierte en calor en el aislamiento. Esta tasa de estas pérdidas dieléctricas se mide como factor de potencia/disipación o tangente delta.

RESULTADOS DE PRUEBA					
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	CAPACITANCIA (pF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TAN DELTA (%)	CORRIENTES DE FUGA (μA)
FASE A (S2)	GST	29.55	2.58	0.2314	111.40
FASE A (S1)	GST	28.48	5.94	0.5531	107.38
FASE B (S2)	GST	32.88	3.16	0.2550	123.96
FASE B (S1)	GST	28.84	6.72	0.6179	108.74
FASE C (S2)	GST	32.69	2.73	0.2212	123.26
FASE C (S1)	GST	31.21	6.82	0.5798	117.64
Criterio de Aceptación:	Comparación con Referencia	ACEPTABLE			

VOLTAJE DE PRUEBA 10.0 KV

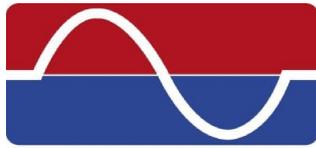
Norma (IEEE Std 286-2000):

Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda efectuar comparaciones con valores de referencia del fabricante, en la ausencia de estos se deben comparar equipos de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo según la norma ANSI / NETA -ATS 2009.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-RC**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

Generalidades y Objetivo:

La resistencia de contacto, debido a las condiciones superficiales en la unión o superficie de contacto, puede conducir a una pobre o mala conexión si es demasiado alta, provocando diversos problemas en el circuito. Una alta resistencia de contacto produce mayores pérdidas, menor corriente y peligrosos puntos calientes en la subestación, por lo que las pruebas de resistencia de contacto se utilizan para la detección y prevención de problemas futuros.

RESULTADOS DE PRUEBA			
PRUEBA	CORRIENTE DE PRUEBA	RESISTENCIA MEDIDA	CAIDA DE VOLTAJE
FASE A	100 A	21.07 $\mu\Omega$	2.110 mV
FASE B	100 A	17.28 $\mu\Omega$	1.730 mV
FASE C	100 A	8.246 $\mu\Omega$	825.7 $\mu V$
Criterio de Aceptación:	Diferencias < 50%	ACEPTABLE	

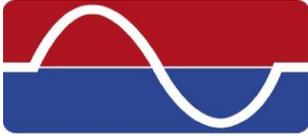
Norma (IEEE Std 118-1978):

En la norma ANSI / NETA -ATS 2009 se recomienda que las resistencias de contactos adyacentes se comparen entre si y no debe de existir una diferencia máxima entre ellas de mas del 50%.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas  
futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: F-GM-18  
Rev.: 0: 190111



Col. Arenales Ofibodegas Satélite  
salida hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

### FICHA DE DATOS DE PARARRAYOS A501



#### DATOS DEL EQUIPO.

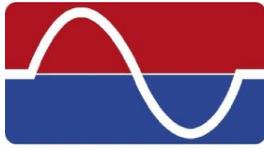
Clave: A501  
Voltaje Nominal: (kV) 120  
Corriente Nominal (kA) 10  
Corriente de Corta Duración (kA) 63  
Frecuencia (Hz) 48-62

Fecha de Manufactura: 2018  
Marca: TRIDELTA  
Tipo: SBKC 120/SM-II SBKC 120/10.3  
Serie: 270268 / 270269 / 270270

Temp. Amb.: 39 °C H.R.: 34 %

#### TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS

No.	PRUEBAS REALIZADAS	NORMA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	RESULTADOS
1	Prueba de Resistencia de Aislamiento	IEEE Std 43-2013	> 100 GΩ	APROBO
2	Prueba de Factor de Potencia y Perdidas Dieléctrica	IEEE Std 286-2000	Comparación con referencia	APROBO



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-33-PAR-AIS**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodogas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodogas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Generalidades y Objetivo:

Por principio, la resistencia del aislamiento presenta un valor muy elevado pero no infinito, por lo tanto, mediante la medición de la débil corriente en circulación el mega óhmetro indica el valor de la resistencia del aislamiento. Esta resistencia muestra la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y proporciona una buena indicación sobre los riesgos de circulación de corriente de fuga.

RESULTADOS DE PRUEBA					
NOMBRE	CONEXIONES			LECTURAS (GΩ) 60 SEG.	LECTURAS (GΩ) CORREGIDA A 20 °C
	TIERRA (-)	GUARDA	LINEA (+)		
FASE A	H	-	E	827.00	1,984.80
FASE B	H	-	E	803.00	1,927.20
FASE C	H	-	E	407.00	976.80
Criterio de Aceptación:	Resistencia > 100 GΩ	ACEPTABLE			

TEMPERATURA AMBIENTE: 39 °C  
FACTOR DE CORRECCION POR TEMP: 2.40  
VOLTAJE DE PRUEBA: 5 KV

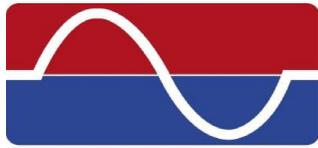
Norma (IEEE Std 43-2013):

La norma ANSI / NETA -ATS 2009 establece que los valores mínimos de resistencia de aislamiento para equipos electricos con un voltaje de operación igual o mayor a 34.5 kV son de al menos 100,000 MΩ equivalente a 100 GΩ.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019



**ENERCOM**  
energía y comunicaciones s. de r. l.  
ingenieros electromecánicos

Formato: **F-GM-30-FP**

Rev.: **0: 190111**



Col. Arenales Ofibodegas Satélite salida  
hacia La Lima local # 2.  
San Pedro Sula, Honduras  
(504) 2559-1257 2559-1259

Ofibodegas Rapaco 3, Bodega No.21,  
Anillo Periferico Entrada Residencial  
Honduras. Tegucigalpa, Honduras  
(504) 2280-2929

## PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA/DISIPACION Y PERDIDAS DIELECTRICAS

Generalidades y Objetivo:

El estado del aislamiento es esencial para un funcionamiento seguro y fiable de un equipo eléctrico de potencia. La medición de la capacitancia y del factor de disipación/potencia le ayudará a determinar el estado del aislamiento en los bushings y entre fases en caso de corresponder. El envejecimiento y la degradación del aislamiento, unido a la entrada de agua, aumentan la cantidad de energía que se convierte en calor en el aislamiento. Esta tasa de estas pérdidas dieléctricas se mide como factor de potencia/disipación o tangente delta.

RESULTADOS DE PRUEBA					
PRUEBA	MODO DE PRUEBA	CAPACITANCIA (pF)	PERDIDAS DIELECTRICAS (mW)	TAN DELTA (%)	CORRIENTES DE FUGA (μA)
FASE A	GST	50.12	45.39	2.4026	188.99
FASE B	GST	50.01	44.93	2.3829	188.60
FASE C	GST	49.93	43.18	2.2939	188.27
Criterio de Aceptación:	Comparación con Referencia	ACEPTABLE			

VOLTAJE DE PRUEBA 10.0 KV

Norma (IEEE Std 286-2000):

Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda efectuar comparaciones con valores de referencia del fabricante, en la ausencia de estos se deben comparar equipos de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo según la norma ANSI / NETA -ATS 2009.

OBSERVACIONES: Tomar estos valores como referencia para pruebas  
futuras.

PROBO: Marlon Reyes FECHA: 04-08/02/2019

REVISO: Fernando Iván Canales FECHA: 15/02/2019