

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN PARA HOMOLOGACIÓN CON
CIDET DE LABORATORIO PRUEBAS ELÉCTRICAS A
TRANSFORMADORES DE LA EMPRESA ELÉCTRICOS GONZÁLEZ DE LA
CIUDAD DE DUITAMA.**

JUAN DAVID RAMÍREZ BECERRA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2023**

**ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN PARA HOMOLOGACIÓN CON
CIDET DE LABORATORIO PRUEBAS ELÉCTRICAS A
TRANSFORMADORES DE LA EMPRESA ELÉCTRICOS GONZÁLEZ DE LA
CIUDAD DE DUITAMA.**

JUAN DAVID RAMÍREZ BECERRA

Practica con proyección empresarial para optar el Título de Ingeniero
Electromecánico

Director: Juan Carlos Castro Galeano
Ingeniero Electricista.

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2023**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme después de tanto tiempo lograr un objetivo más dentro de mi carrera profesional, y que siempre me ha dado la mano en los momentos más difíciles

A mi familia que siempre ha estado acompañándome en todo este proceso profesional y en las decisiones más importantes de mi vida como estudiar ingeniería electromecánica.

A la UPTC por permitir formarme en una de las universidades más importantes del país y en una carrera fundamental para el desarrollo del país.

A Eléctricos González por permitirme ser parte de esta gran empresa y contribuir con sus procesos productivos y darme la confianza de realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones. Una gran compañía que contribuye al desarrollo de la región.

Al ingeniero Juan Carlos Castro Galeano quien es un gran mentor y guía y me ha acompañado en todo el proceso del trabajo de grado y ha contribuido con en mis conocimientos de la ingeniería.

A mis amigos de estudio que siempre han sido un pilar fundamental en este proceso y sin ellos hubiera sido difícil lograrlo.

A todas las personas que han estado conmigo en este camino llamado ingeniería electromecánica.

JUAN DAVID RAMIREZ BECERRA

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE ILUSTRACIONES	8
LISTA DE ANEXOS	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO UNO	11
1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	12
1.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	12
1.2. MISIÓN	12
1.3. VISIÓN.....	13
1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	13
CAPÍTULO DOS	14
2. NORMATIVIDAD EN ENSAYOS ELÉCTRICOS A TRANSFORMADORES.....	15
2.1. GENERALIDADES	15
2.2. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ÁMBITO NACIONAL	15
2.3. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ÁMBITO INTERNACIONAL.....	18
CAPÍTULO TRES	20
3. HOMOLOGACIÓN DE UN TALLER DE REPARACIÓN DE TRANSFORMADORES.....	21
3.1. CIDET. [5].....	21
3.2. HOMOLOGACIÓN DEL TALLER.	21
3.2.1. Requisitos del CIDET para homologación del taller.	22
CAPÍTULO CUATRO.....	27
4. MARCO CONCEPTUAL ENSAYOS ELÉCTRICOS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.	28
4.1. ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN. [6].....	29
4.2. ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.	30
4.3. ENSAYO DE RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS. [7]	32
4.4. MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE VACÍO. [9] [10] [11].....	34

4.5.	MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE CORTOCIRCUITO. [9] [10] [11].....	36
4.6.	ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA. [13]	37
4.7.	ENSAYO DE TENSIÓN INDUCIDA. [13].....	40
CAPÍTULO CINCO		41
5.	LABORATORIO DE PRUEBAS ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.....	42
5.1.	DISPOSICIÓN FÍSICA DEL LABORATORIO DE PRUEBAS	42
5.2.	CONDICIONES FÍSICAS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS	45
5.3.	EQUIPOS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS.....	46
5.3.1.	Hojas de vida actualizadas equipos laboratorio de pruebas.....	47
5.4.	MANUAL PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS..	48
5.5.	MANUAL PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS A REALIZAR.....	49
5.6.	FORMATOS DE TOMA DE DATOS PARA PRUEBAS	50
5.7.	PLANTILLA EXCEL PARA TRATAMIENTO DE DATOS DE LAS PRUEBAS	53
5.8.	PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES	58
CAPÍTULO SEIS.....		61
6.	RESULTADOS DEL TRABAJO DENTRO DE LA EMPRESA	62
6.1.	CAPACITACIONES AL PERSONAL DE ELECTRICOS GONZALEZ .	62
6.2.	MODIFICACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS	63
6.3.	PRUEBAS PILOTO A TRANSFORMADORES USANDO EL LABORATORIO DE PRUEBAS.....	65
6.3.1.	Transformador de 1200 KVA de una PCH.....	65
6.3.2.	Transformador de 500 KVA.....	66
6.3.3.	Transformador de 225 KVA.....	66
6.4.	ACOMPAÑAMIENTO A TRABAJOS EXTERNOS	67
6.5.	ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN PARA LA HOMOLOGACIÓN DEL TALLER	70
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFIA		73

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clase de exactitud de los equipos de medida para categoría iv. Fuente: el autor.</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2. Características de los ensayos según categoría IV. Fuente: El Autor. [4].....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3. Normas técnicas colombianas asociadas a ensayos en transformadores de distribución. Fuente: El Autor.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4. Normas internacionales asociadas a los ensayos. Fuente: El Autor.</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5. Requisitos para la homologación del taller con el CIDET. Fuente: El Autor. Modificado de: Oferta mercantil CIDET.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6. Valores referentes a índice de polarización e índice de Absorción. [12].....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 7. Conexiones de prueba de Resistencia de aislamiento. Fuente. El Autor.</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8. Valores máximos permisibles de corriente y pérdidas de vacío para transformadores monofásicos. Modificado de NTC 818.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9. Valores máximos permisibles de corriente y pérdidas de vacío para transformadores trifásicos. Modificado de NTC 819.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10. Valores máximos permisibles de tensión de cortocircuito y pérdidas de cortocircuito para transformadores monofásicos. Modificado de NTC 818.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11. Valores máximos permisibles de tensión de cortocircuito y pérdidas de cortocircuito para transformadores trifásicos. Modificado de NTC 819.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 12. Niveles de tensión aplicada para transformadores sumergidos en líquido refrigerante norma NTC 836. Fuente: El Autor, Modificado de NTC 836.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 13. Niveles de tensión aplicada para transformadores sumergidos en líquido refrigerante norma IEC 60076-3. Fuente: El Autor, Modificado de IEC 60076-3.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 14. Equipos del laboratorio de pruebas. Fuente: El Autor.</i>	<i>47</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Esquema de conexión del TTR en transformador trifásico.</i>	30
<i>Ilustración 2. Esquema de conexión del TTR en transformador trifásico.</i>	32
<i>Ilustración 3. Esquemas de conexión prueba de resistencia óhmica de los devanados</i>	33
<i>Ilustración 4. Esquemas eléctricos para el ensayo de circuito abierto (lado de Alta tensión abierto). Fuente: El Autor.</i>	34
<i>Ilustración 5. Esquemas eléctricos para el ensayo de corto circuito (lado de baja tensión en cortocircuito). Fuente: El Autor.</i>	36
<i>Ilustración 6. Esquemas eléctricos para el ensayo de tensión aplicada. Fuente: El Autor.</i>	38
<i>Ilustración 7. Esquemas eléctricos para el ensayo de tensión inducida. Fuente: El Autor.</i>	40
<i>Ilustración 8. Ubicación del laboratorio de pruebas dentro del taller de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.</i>	43
<i>Ilustración 9. Ubicación del laboratorio de pruebas dentro del taller de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.</i>	44
<i>Ilustración 10. Formato de hoja de vida de maquinaria y/o equipos F-MT-03. Fuente: SG ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.</i>	48
<i>Ilustración 11. Contenido del manual del laboratorio de pruebas. Fuente: El Autor</i>	49
<i>Ilustración 12. Contenido del manual de procedimientos, prueba de relación de transformación. Fuente: El Autor</i>	50
<i>Ilustración 13. Formato toma de datos transformador monofásico. Fuente: El Autor.</i>	51
<i>Ilustración 14. Formato toma de datos transformador trifásico. Fuente: El Autor</i>	52
<i>Ilustración 15. Inicio plantilla de Excel. Fuente: El Autor.</i>	53
<i>Ilustración 16. Plantilla de transformadores trifásicos. Fuente: El Autor.</i>	54
<i>Ilustración 17. Pestaña de datos del transformador. Fuente: El Autor.</i>	55
<i>Ilustración 18. Pestaña de datos del cliente. Fuente: El Autor.</i>	55
<i>Ilustración 19. Pestañas de pruebas sin tensión. Fuente: El Autor.</i>	56
<i>Ilustración 20. Pestañas de pruebas con tensión. Fuente: El Autor.</i>	57
<i>Ilustración 21. Protocolo para de pruebas transformador monofásico. Fuente: El Autor.</i>	59
<i>Ilustración 22. Protocolo para de pruebas transformador trifásico. Fuente: El Autor.</i>	60
<i>Ilustración 23. Capacitaciones a personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en pruebas a transformadores de distribución.</i>	62
<i>Ilustración 24. Capacitaciones a personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en riesgo y seguridad eléctrica.</i>	63
<i>Ilustración 25. Estado inicial de la consola de pruebas en el laboratorio de pruebas</i>	63
<i>Ilustración 26. Estado final de la consola de pruebas en el laboratorio de pruebas.</i>	64
<i>Ilustración 27. Tablero de control T-CTRL</i>	64
<i>Ilustración 28. Tablero de transformadores T-TRF</i>	64
<i>Ilustración 29. Pruebas piloto a transformador PCH.</i>	65
<i>Ilustración 30. Pruebas piloto a transformador de 500 KVA.</i>	66
<i>Ilustración 31. Pruebas piloto a transformador de 225 KVA.</i>	67
<i>Ilustración 32. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.</i>	68
<i>Ilustración 33. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ-Empresas regionales transformador de 1250 KVA.</i>	69
<i>Ilustración 34. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ- Empresas regionales transformador de 3000 KVA.</i>	69

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Manual de procedimientos laboratorio de pruebas Eléctricos González

Anexo 2. Esquemas de conexión para el taller

Anexo 3. Formato de pruebas de salida

Anexo 4. Hojas de vida de los equipos utilizados en el laboratorio de pruebas

Anexo 5. Formato de protocolos de ensayos del transformador.

Anexo 6. Plantilla de Excel para formato de protocolo. (Medio Magnético)

INTRODUCCIÓN

Los transformadores de distribución son componentes esenciales del sistema eléctrico de distribución de la energía, y su correcto funcionamiento es crucial para garantizar un suministro confiable y seguro a los usuarios finales. Sin embargo, los transformadores están expuestos a diversas condiciones de operación, como variaciones de carga, sobretensiones, cortocircuitos y otros eventos naturales que son imposibles de predecir y que pueden provocar fallas y reducir su vida útil.

Un taller de reparación de transformadores se encarga de mantener en óptimas condiciones los transformadores eléctricos utilizados en la distribución de energía eléctrica, una vez se ha presentado alguna novedad de las mencionadas dentro del transformador. Esto lo realizan mediante un laboratorio de pruebas como el implementado en **Eléctricos González**.

Eléctricos González lleva en el mercado de mantenimiento a transformadores cerca de 15 años convirtiéndose en un referente de la región en cuanto a este proceso, lo que le ha permitido ganar confianza entre los clientes. Por esta razón y para seguir mejorando en su proceso de calidad han decidido implementar el laboratorio de pruebas en su taller en la ciudad de Duitama.

El proceso se realizó como practica con proyección empresarial y durante el desarrollo de este trabajo se tuvo la oportunidad de hacer el acompañamiento a la empresa en el montaje del laboratorio de prueba según las necesidades y prioridades logrando implementar cerca de seis pruebas de rutina que garantizan que el producto entregado y reparado por Eléctricos González cuenta con estándares de calidad y seguridad para sus clientes, además, se desarrolló la documentación para que el CIDET (centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico); el cual es el organismo que avala la homologación de talleres de reparación a transformadores, otorgue el certificado a la empresa como reparador de transformadores.

Con la implementación del laboratorio de pruebas Eléctricos González se fortalece como empresa líder en la ciudad y en el departamento que repara y hace mantenimiento a transformadores de distribución y permite que el desarrollo y expansión del sector eléctrico en la región se haga de manera más confiable y segura.

Finalmente, el trabajo además permitió entre otras cosas, que se afiance la relación entre universidad-empresa, permitiendo que más estudiantes del programa de ingeniería electromecánica se motiven a realizar aportes a empresas industriales y contribuyan al desarrollo económico local de la ciudad, del departamento y del país.

CAPÍTULO UNO

Este capítulo presenta a Eléctricos González como empresa, su ubicación actual y lugar de mantenimiento, su reseña historia y sus inicios, pasando por su misión y visión y sus centro de operaciones actuales

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ está ubicada actualmente en la ciudad de Duitama, Departamento de Boyacá, cuenta con dos puntos físicos en la ciudad, el primero ubicado en la Calle 22 No. 40A – 21 cuya finalidad es la atención al público y punto de venta de la empresa, el segundo Ubicado a una cuadra en la Calle 22A No. 40A - 31 cuya finalidad es la parte técnica de la empresa, aquí se desarrolla toda la actividad operativa de la empresa¹.

1.1. RESEÑA HISTÓRICA

ELÉCTRICOS GONZÁLEZ fue creada en el año de 1996 en la ciudad de Yopal Casanare, dedicada desde su fundación a la reparación de transformadores, construcción de subestaciones eléctricas, redes eléctricas, y mantenimiento eléctrico industrial [1].

Su desarrollo se debe al gran liderazgo y constante cambio en sus políticas de cubrimiento de mercado llevándolo a posicionarse rápidamente como líder en el departamento de Casanare.

En el año 2007 inicia su sucursal en la ciudad de Duitama construyendo una planta de operaciones de 1000 m² y un almacén para la venta de materiales eléctricos.

En el año 2019 inicia remodelaciones y ampliación de sus instalaciones en la ciudad de Duitama, teniendo como pilar fundamental el montaje de un laboratorio de pruebas para transformadores eléctricos.

1.2. MISIÓN

Como empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ tiene la misión de “REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS CON CAPACIDAD DE HASTA 5 MVA, SERIES 15 KV Y 36 KV, SUMERGIDOS EN ACEITE; REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS Y CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES Y REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN”, de acuerdo a los requerimientos del cliente, partes interesadas, necesidades de la comunidad y exigencias del mercado bajo procesos eficientes y eficaces, contado con talento humano formado y comprometido con el desarrollo de nuestra empresa y cumpliendo con las normas técnicas exigidas garantizando la calidad en nuestros productos y servicios.

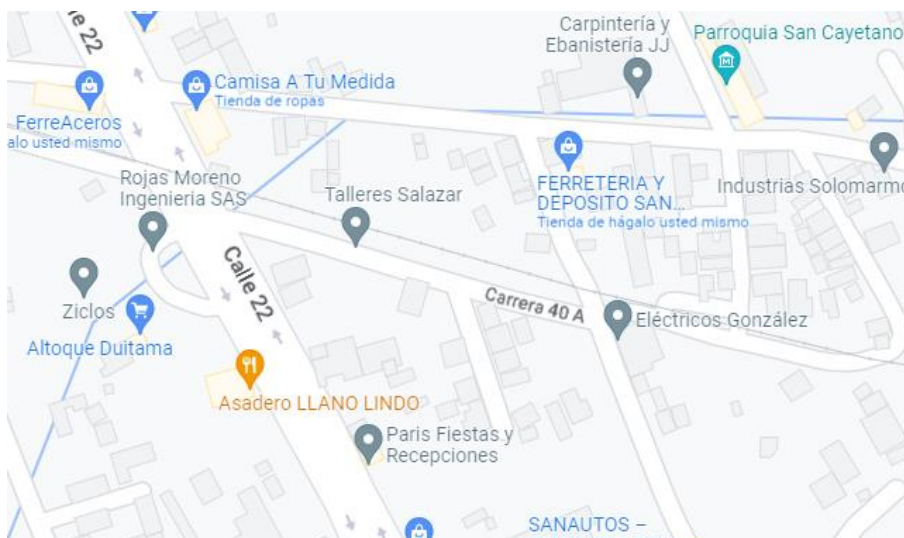
¹ GONZALEZ, ELECTRICOS. SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD. Duitama, 2022

1.3. VISION

En el año 2025 ELÉCTRICOS GONZÁLEZ será la empresa líder en el sector eléctrico industrial, reconocida y elegida por sus clientes a nivel nacional por la confiabilidad en sus procesos, el compromiso del talento humano y la calidad certificada de sus productos y servicios.

1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Actualmente la empresa se encuentra ubicada en la Ciudad de Duitama, en el departamento de Boyacá, cuenta con dos sedes la primera que es la zona de atención al público, allí también funciona la parte comercial y la gerencia de la empresa, el sitio esta ubicado sobre la Calle 22 No. 40A – 21, el segundo punto es el taller donde se realiza toda la parte técnica de la empresa ubicada sobre Calle 22A No. 40A – 31.



CAPÍTULO DOS

Este capítulo comprende las generalidades de las normas que deben consultarse sobre pruebas a transformadores nuevos y reparados parcial o totalmente y hace una descripción del encuadre que tendrá el laboratorio de pruebas de ELECTRICOS GONZALEZ según la NTC 2743. Campo de pruebas para transformadores. Finalmente se muestran las normas internacionales aplicables que también se pueden adoptar para las pruebas que se realicen.

2. NORMATIVIDAD EN ENSAYOS ELÉCTRICOS A TRANSFORMADORES.

Una norma técnica es un documento que establece, por consenso, y con la aprobación de un organismo reconocido las condiciones mínimas que debe reunir un producto, proceso o servicio, para que sirva al que está destinado². Las normas facilitan la cohesión de las empresas con los consumidores ya que permiten establecer criterios aceptables dentro de un producto de calidad como lo tienen que ser los transformadores. [2]

2.1. GENERALIDADES

En Colombia el ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) es una organización privada sin ánimo de lucro cuyos fines actuales se encuentra la Normalización en Colombia, este es el representante de la Organización Internacional para la estandarización (ISO), en Colombia³.

Este instituto se divide en comités técnicos, entre estos comités se encuentra el COMITÉ TÉCNICO 130: TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS cuya finalidad es: *“Normalización en el campo de la fabricación, mantenimiento e instalación de transformadores de distribución y potencia, así como de sus accesorios y elementos complementarios. Excluye los transformadores para instrumentación y/o medida”*. [3]

Además, existe un ámbito internacional en el cual muchas de las normas del Icontec se basan en institutos superiores o de mayor cobertura Internacional como los son IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) e IEC (International Electrotechnical Commission).

2.2. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ÁMBITO NACIONAL

Dentro del comité técnico 130: TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS se encuentra la norma NTC 2743: ELECTROTECNIA. CAMPOS DE PRUEBA PARA TRANSFORMADORES. REQUISITOS MÍNIMOS Y CLASIFICACIÓN.⁴ La cual tiene como objeto establecer los requisitos mínimos que deben cumplir un campo de prueba para transformadores eléctricos de distribución y potencia desde el punto de vista de:

- Ensayos efectuados.
- Equipos utilizados.

² López, María Isabel. "Normas Técnicas, qué son y para qué sirven." Hojitas del conocimiento, 2020: 321-322.

³ ICONTEC. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. 2022. <https://www.icontec.org/>.

⁴ NTC 2743. Electrotecnia. Campos de prueba para transformadores. Requisitos mínimos y clasificación. Primera. 1997.

- Clase de exactitud de los equipos utilizados.
- Apoyos utilizados de tipo metrológico, laboratorios y otros.
- Seguridad.

Se establecen cuatro categorías de ensayo según la potencia nominal, la refrigeración natural y la tensión de la serie U. [4]

Dada la capacidad económica y técnica de la empresa, los servicios de mantenimiento a transformadores que ofrece la cual es cerca del 95% a transformadores de distribución el laboratorio de pruebas entrará en categoría IV inicialmente con posibilidades de la ampliación a categoría III.⁵

Bajo esta categoría se utilizan equipos con las siguientes características y clases de exactitud como lo indica la tabla 1.

CLASE DE EXACTITUD DE LOS EQUIPOS DE MEDIDA PARA ENSAYOS	
ENSAYO Y CARACTERÍSTICAS	CAT IV POT \leq 1250 kVA y/o U \leq 15 KV
Relación de transformación	0,1
Perdidas	0,5
Tensión aplicada o inducida	3
Resistencia de los devanados	2
Transformadores de Corriente	15 \geq U 0,3 15 < U 0,5
Transformadores de tensión	15 \geq U 0,3 15 < U 0,5

Tabla 1. Clase de exactitud de los equipos de medida para categoría iv. Fuente: el autor.

La NTC 2743 también establece en sus numerales 2.2.1. y 2.2.2. que: *Todo campo de prueba ya sea de un fabricante, un reparador o un reconstructor de transformadores, clasificado dentro de alguna de las categorías definidas en la Tabla 1, debe cumplir todos los requisitos contemplados en esta norma. Además, todo transformador fabricado, reparado, reconstruido y clasificado por categorías de serie de tensión y potencia, debe ser ensayado en el campo de prueba correspondiente de acuerdo con la Tabla 1. La tabla 2 muestra los ensayos que se deben implementar en un campo de pruebas categoría IV*

⁵ Datos referentes al proceso comercial de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS	
ENSAYO	CAT IV POT. ≤ 1250 kVA y/o $U \leq 15$ kV
	CARACTERÍSTICAS
Medida de la resistencia de los devanados.	Método del puente.
Medida de relación de transformación.	TTR con 3 decimales.
Medida de resistencia de Aislamiento.	Megger ≥ 1 kV
Perdidas en devanados y tensión de cortocircuito y pérdidas en vacío I_0 .	Si, Ver la clase de los instrumentos de medida (tabla 1)
Medición de polaridad. Determinación del grupo Vectorial.	Método TTR. Se debe realizar (Cualquier método)
Ensayo de Tensión aplicada.	Si, Ver la clase de los instrumentos de medida (tabla 1).
Ensayo de Tensión Inducida.	Si, Ver la clase de los instrumentos de medida (tabla 1).
Ensayo de líquido refrigerante. (NTC 1465)	Rigidez dieléctrica.
Ensayos de Calentamiento.	Hasta 800 kVA inclusive.
Fuente de tensión alterna.	De la Red.

Tabla 2. Características de los ensayos según categoría IV. Fuente: El Autor. [4]

Además de las características que se establecen en la tabla 2. se debe tener en cuenta las normas asociadas a cada prueba, dado que estas cuentan con características específicas de conexión y variables a medir como lo son tensiones de línea y de fase, corrientes de línea y de fase y potencias monofásicas y trifásicas. Las normas asociadas se presentan en la tabla 3.

NORMA	TEMÁTICA	ALCANCE PRINCIPAL
NTC 375:2017	TRANSFORMADORES. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS	Establece la forma de efectuar la medida de la resistencia de los devanados en los transformadores de distribución y de potencia sumergidos en aceite y tipo seco.
NTC 471:2017	TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN, POLARIDAD Y RELACIÓN DE FASE	Establece la forma de efectuar la medición de la relación de transformación y de verificar la polaridad y relación de fase (desplazamiento angular y secuencia) en los transformadores de distribución y de potencia.

NORMA	TEMÁTICA	ALCANCE PRINCIPAL
NTC 818:2019	ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, EFICIENCIA Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO	Esta norma establece los valores máximos declarados, admisibles, de corriente sin carga (I ₀), tensión de cortocircuito (U _z) y establece los valores mínimos de eficiencia, para transformadores monofásicos autor refrigerados y sumergidos en líquido refrigerante
NTC 819:2019	ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, EFICIENCIA Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO.	Esta norma establece los valores máximos declarados admisibles de corriente sin carga (I ₀), tensión de cortocircuito (U _z) y establece los valores mínimos de eficiencia, para transformadores trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido refrigerante.
NTC 837:2019	TRANSFORMADORES: ENSAYO DEL DIELÉCTRICO	Esta norma establece los ensayos para determinar el nivel de aislamiento en los transformadores de distribución de tipo seco y sumergidos en líquido refrigerante.

Tabla 3. Normas técnicas colombianas asociadas a ensayos en transformadores de distribución.⁶ Fuente: El Autor.

Las características y descripciones de las pruebas se describen en el capítulo 4 del presente documento.

2.3. PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ÁMBITO INTERNACIONAL

Los estándares internacionales asociados a pruebas a pruebas de transformadores están dados en la tabla 4.

ENTIDAD	NORMA	DESCRIPCIÓN
IEC (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)	IEC 60076-1	“Power transformers – Part 1: General”
	IEC 60076-2	Power transformers – Part 2: Temperature rise

⁶ Los alcances tomados directamente de las normas. Ver normas mencionadas para más información

Continua...

ENTIDAD	NORMA	DESCRIPCIÓN
	IEC 60076-3	Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
	IEC 60076-8	Power transformers - Part 8: Application guide.
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)/ ANSI (American National Standards Institute)	C57.12.00	IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.
	C57.12.90	IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.
	C57.12.80	IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers.

Tabla 4. Normas internacionales asociadas a los ensayos. Fuente: El Autor.

CAPÍTULO TRES

Este capítulo presenta al CIDET el cual es organismo que certifica laboratorios de pruebas a transformadores de distribución, los requisitos que se deben tener para que se haga efectiva la homologación del taller y el listado de los documentos y entregables que se realizan a la empresa dentro del trabajo de grado.

3. HOMOLOGACIÓN DE UN TALLER DE REPARACIÓN DE TRANSFORMADORES

Una de las exigencias actuales del mercado es la certificación de productos y servicios ante una entidad reconocida por la comunidad industrial, en el caso de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ su producto y servicio en primera instancia es la reparación y el mantenimiento de transformadores de distribución, por tal motivo se debe certificar con una entidad que sea reconocida por el sector de los transformadores en el ámbito del mantenimiento y la reparación de los mismos. Bajo esta premisa en Colombia como ente certificador de talleres que reparan y realizan mantenimiento a transformadores está el CIDET (CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR ELÉCTRICO).

3.1. CIDET. [5]

Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico, es una entidad sin ánimo de lucro, respaldada por gran número de empresas del sector, que desde 1995 presta servicios a las empresas para el mejoramiento de su productividad.⁷

Actualmente el CIDET cuenta con varios servicios que ofrece entre los cuales están:

- **Certificación:** Se presta el servicio de certificación RETIE y RETILAP a instalaciones eléctricas de acuerdo a alcances establecidos y a las características propias de la instalación.
- **Inspección:** Se presta el servicio de inspección a instalaciones eléctricas desde la etapa de generación hasta el uso final con el fin de mitigar riesgos principalmente de origen eléctrico, esto con el fin de que obtengan una certificación satisfactoria. Además, Inspección a instalaciones de alumbrado interior y alumbrado exterior o público.
- **Laboratorio:** Se presta el servicio de Pruebas de Laboratorio en 3 aspectos: Laboratorio de Análisis químico, Laboratorio de pruebas eléctricas y de iluminación y laboratorio de metrología.
- **Formación técnica:** Se presta el servicio por medio de una plataforma denominada *plataforma E-learning de Academia CIDET* Este es un espacio virtual de aprendizaje, orientado a facilitar la experiencia de formación a distancia; ofrece libertad en cuanto a ritmo de avance y horarios para adquirir conocimiento.

3.2. HOMOLOGACIÓN DEL TALLER.

La certificación de homologación de taller es una certificación que otorga el CIDET como organismo certificador a los talleres que reparan o hacen

⁷ CIDET. CIDET. 2022. <https://cidet.org.co/certificación/homologación-talleres/>.

mantenimiento total o parcial a transformadores de distribución o de potencia bajo las 4 categorías establecidas en la NTC 2742. Esta certificación está sujeta a las auditorias de seguimiento que se establezcan en el CIDET.

Para llevar a cabo este proceso de certificación se deben seguir un listado de requerimientos que exige el CIDET los cuales se pueden enumerar como sigue:

- a) Certificación del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015
- b) RUT (registro único tributario) de la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ
- c) Carta de Aceptación de la oferta mercantil del CIDET a ELÉCTRICOS GONZÁLEZ
- d) Certificado de consignación por valor de la auditoria de seguimiento para certificación de homologación del taller.
- e) Documentación de Requisitos del CIDET para homologación del taller.
- f) Aceptación preliminar de la documentación por parte del CIDET para homologación del taller.
- g) Visita de los auditores por parte del CIDET para la certificación de homologación del taller por parte del CIDET.
- h) Dictamen y emisión de la certificación de homologación del taller para la empresa.

3.2.1. Requisitos del CIDET para homologación del taller.

Para poder realizar la certificación de homologación del taller con el CIDET, según la oferta mercantil que se envía para su revisión se debe listar los siguientes ítems los cuales algunos parten desde el sistema de calidad de la empresa y otros tantos se deben desarrollar.

La tabla 5 presenta el listado de actividades a tener en cuenta para la auditoria de certificación de homologación del taller.

INFORMACIÓN SOLICITADA AL TALLER REPARADOR DE TRANSFORMADORES
RECURSOS HUMANOS
Estructura organizacional de la compañía, organigrama donde se identifiquen sus procesos y responsables de cada uno de ellos.
Documento donde se pueda ver los niveles de responsabilidad, autoridad y actividades para cada cargo que la organización tiene establecidos para sus procesos.
Competencia del Personal: Hoja de vida del personal que participa en todo el proceso:
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación y salida de equipos (Encargado Laboratorio de pruebas) • Proceso reparación (Encargado del área técnica)

Continua...

INFORMACIÓN SOLICITADA AL TALLER REPARADOR DE TRANSFORMADORES
<ul style="list-style-type: none"> • Proceso reparación (Personal involucrado; bobinador, armador, y demás involucrados) • Liberación (Personal encargado por el área de calidad)
PLANTA FÍSICA
Plano de distribución en planta (layout) donde se indiquen las áreas respectivas de cada una de las etapas del proceso incluyendo las zonas de almacenamiento de materiales y producto terminado. Se requiere una fotografía de cada una de estas áreas donde se valide la demarcación de seguridad de dichas áreas.
Registro fotográfico de cada área de proceso de reparación. Recepción de transformadores, evaluación eléctrica, des encube, almacenamiento de accesorios, almacenamiento de núcleo, corte de papel, armado de bobina, ensamble de parte activa, encubado y pruebas finales.
Estudio de iluminación que hayan realizado para demostrar el cumplimiento de los niveles de iluminación óptimos para el desempeño del personal en los puestos de trabajo más críticos del proceso tales como bobinado, almacenamiento de materiales, etc.
Matriz de elementos de protección personal que la organización tiene establecida de acuerdo con las etapas del proceso de reparación.
Instructivo de almacenamiento y preservación de componentes, materias primas y productos terminados.
Mediciones de nivel de ruido o estudio de la ARL
EQUIPOS
Inventario o relación de equipos de medición eléctrica y herramientas manuales usadas en cada uno de los procesos de reparación.
Plan o programa de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos utilizados en los procesos de reparación.
Seguridad de los equipos para el personal operativo: ¿Poseen mecanismos de seguridad y guardas de protección)? Registro fotográfico.
Matriz de riesgos establecida para el proceso de reparación de transformadores.
PROCESO
Planes de calidad aplicado al proceso de reparación, indicando los parámetros de calidad que se revisan, los responsables, equipos y formatos.
PROCEDIMIENTOS, INSTRUCTIVOS Y/O FORMATOS DE LAS SIGUIENTES PROCESOS:
Evaluación eléctrica de parte activa
Evaluación de accesorios tales como conmutadores, válvulas de sobrepresión, pasa tapas de BT Y AT, entre otros.
Almacenamiento de accesorios usados
Limpieza, pruebas, identificación y almacenamiento de núcleos.

Continua...

INFORMACIÓN SOLICITADA AL TALLER REPARADOR DE TRANSFORMADORES
Almacenamiento, corte de papel y cartón aislante.
Procedimiento metalmecánico, limpieza, reparación, pintura y pruebas a tanques o cubas.
Procedimiento de análisis de fallas o ingeniería forense para determinar posibles causas de fallas y determinar los trabajos a realizar.
Procedimiento de fabricación de bobinas donde especifiquen las indicaciones técnicas, control de materiales, planos y demás instrucciones.
Procedimiento de secado de parte activa y curado de bobinas.
Procedimiento para control y disposición final de residuos generados en los procesos tales como aceite, chatarra, disolventes entre otros.
Pruebas eléctricas iniciales, preliminares y finales.
Placas de identificación de reparación instaladas en los transformadores
Procedimiento de quejas y reclamos.
Certificados de materias primas usadas.
LABORATORIO DE PRUEBAS
Plan o Cronograma de calibración de los equipos que intervienen en las pruebas de laboratorio.
Certificados de calibración de los equipos involucrados en la realización de las pruebas de laboratorio incluyendo el de los manómetros del equipo de hermeticidad de medición de espesores de pintura y los de monitoreo de las condiciones ambientales en el momento de la ejecución de las pruebas.
Hojas de vida de equipos utilizados y fotografías de equipos de medición.
Formato o registros de fallas identificadas en el proceso o en pruebas finales de los transformadores reparados.
Fotos del laboratorio de pruebas incluyendo encerramiento de seguridad, alarmas, señalización y/o bloqueos utilizados.
Si se cuenta con un laboratorio de aceites, enviar la misma información solicitada para el de pruebas eléctricas, procedimientos, formatos, protocolos, entre otros
SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD
* Certificado ISO 9001 Actualizado * Si el certificado se encuentra vencido, se debe suministrar carta de la entidad acreditadora donde informe que dicho certificado se encuentra en proceso de renovación.
REGISTRO FOTOGRÁFICO
Registro fotográfico de todos los ítems marcados con color azul.

Tabla 5. Requisitos para la homologación del taller con el CIDET. Fuente: El Autor. Modificado de: Oferta mercantil CIDET

Para la homologación del taller frente al CIDET se realizan algunas de las actividades concebidas en la tabla 5 de la sección del laboratorio de pruebas las cuales son:

- Plano de distribución en planta (layout) donde se indiquen las áreas respectivas de cada una de las etapas del proceso incluyendo las zonas de almacenamiento de materiales y producto terminado.
- Hojas de vida de equipos utilizados y fotografías de equipos de medición.
- Pruebas eléctricas iniciales, preliminares y finales.
- Formato o registros de fallas identificadas en el proceso o en pruebas finales de los transformadores reparados.

Para realizar dichas actividades también es necesario:

- Realizar un diagnóstico inicial de los equipos con los que se cuenta actualmente en la empresa para el montaje y adecuación del laboratorio de pruebas, esto con el fin de levantar hojas de vida de los equipos y realizar un análisis de lo existente, incluye:
 - Levantamiento de hojas de vida de equipos.
 - Realización de esquemas y diagramas eléctricos de equipos, tableros de control y tableros de distribución eléctrica que se encuentren en el lugar donde se montara y adecuara el laboratorio de pruebas.
- Proceder con la adecuación técnica del lugar destinado para el Montaje del laboratorio de pruebas, incluye:
 - Marcación de Distancias de seguridad
 - Marcación de conexiones eléctricas
 - Señalización de equipos y aparatos eléctricos
- Documentación de todo el proceso que se adelante en cuanto al montaje y adecuación del laboratorio de pruebas, Dentro de esta función está incluido:
 - Recolección de datos de las pruebas piloto que se realicen.
 - Recolección de datos de equipos existentes en cuanto a características técnicas.
- Entrega de documentación correspondiente al montaje de pruebas, incluye:
 - Formatos de tomas de datos de acuerdo al sistema de calidad de la empresa.
 - Instructivos de realización de pruebas que se tendrán en el laboratorio de pruebas.
 - Diagramas unifilares y esquemas de conexión eléctrica según la prueba que se desee realizar.
- Implementación de las siguientes pruebas con sus respectivos formatos de tomas de datos de acuerdo a NTC 2743 y de acuerdo al sistema de calidad de la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ
 - Relación de transformación.
 - Resistencia óhmica de los devanados
 - Rigidez dieléctrica del aceite.
 - Resistencia de aislamiento.
 - Medición de pérdidas de vacío.

- Medición de pérdidas de cortocircuito.
 - Tensión aplicada.
 - Tensión inducida.
- Realizar Capacitaciones al personal de la empresa en las siguientes pruebas:
 - Relación de transformación.
 - Resistencia óhmica de los devanados
 - Rigidez dieléctrica del aceite.
 - Resistencia de aislamiento.
 - Medición de pérdidas de vacío.
 - Medición de pérdidas de cortocircuito.
 - Tensión aplicada.
 - Tensión inducida.

CAPÍTULO CUATRO

Este capítulo hace la presentación teoría de las pruebas que se realizan a transformadores de distribución, las cuales se implementan en el laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ las cuales están divididas en pruebas para determinar su calidad y pruebas para determinar su funcionalidad y también muestra los criterios de aceptación según los parámetros obtenidos por las pruebas.

4. MARCO CONCEPTUAL ENSAYOS ELÉCTRICOS A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Las pruebas eléctricas o los ensayos eléctricos que se realizan a transformadores permiten conocer si el proceso de diseño y fabricación (transformadores nuevos) o el proceso de reparación y mantenimiento (transformadores reparados) cumple con los estándares mínimos requeridos para que un transformador entre en servicio al sistema eléctrico⁸.

Las pruebas o ensayos que se realizan bajo controles y parámetros ambientales dan un seguro previo e indican el estado del transformador, sin embargo, estas pruebas solo son un indicador pues la verdadera prueba es el funcionamiento del transformador dentro del sistema.

Según Pedro Avelino Pérez en su libro Transformadores de Distribución: Teoría, Cálculo, Construcción y Pruebas; se pueden dividir en tres partes las pruebas que se realizan a los transformadores de distribución, sin embargo, solo se toman las dos que corresponden al laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

- a) Pruebas que determinan la calidad de fabricación del transformador: Estas pruebas sirven para verificar la calidad con la que el transformador fue fabricado y también el cómo sería su operación en condiciones normales y anormales de funcionamiento. Estas pruebas son:
 - Relación de transformación y polaridad [6]
 - Resistencia Óhmica de los devanados [7]
 - Resistencia de Aislamiento
 - Tensión aplicada. [8]
 - Tensión inducida [8]
- b) Pruebas para determinar la calidad de operación del transformador: Estas pruebas nos permiten conocer la eficiencia del transformador, así como la regulación de tensión y permite establecer si las pérdidas del transformador están entre las permisibles por la norma. [9] [10] [11] Estas pruebas son:
 - Perdidas en los devanados y porcentaje de impedancia (%Z)
 - Perdidas en el núcleo y por ciento de corriente de excitación (% I₀)

A continuación, se desglosan los ensayos o pruebas a los transformadores dándoles una explicación basados en el libro del ingeniero Pedro Avelino Pérez⁹.

⁸ ABB. Testing of Power Transformers. Routine tests, Type tests and Special tests. Zürich, 2003.

⁹ PÉREZ, PEDRO AVELINO. TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN (TEORÍA, CALCULO CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS). Tercera. CIUDAD DE MÉXICO: EDITORIAL REVERTÉ, 2008.

4.1. ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN. [6]

La prueba de relación de transformación es una técnica utilizada para determinar si la relación entre el voltaje primario y secundario en un transformador ya sea monofásico o trifásico es la deseada. Una técnica utilizada se realiza aplicando un voltaje conocido al devanado primario del transformador y midiendo el voltaje resultante en el devanado secundario, sin embargo, la *NTC 2743, campo de pruebas para transformadores*, establece que el método a utilizar debe ser el método del TTR.

La prueba se lleva a cabo mediante el instrumento llamado TTR (TRANSFORMER TURN RATIO), que mide la relación de espiras entre los devanados primario y secundario. La relación se expresa en términos de la relación de voltaje y se compara con la relación nominal del transformador.

Así pues, la relación de transformación se puede expresar de la siguiente manera

$$a = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Donde

a : Relación de transformación

V_1 y V_2 : Tensiones entre el principio y fin de la bobina primaria y secundaria.

I_1 e I_2 : Corrientes de la bobina primaria y secundaria.

Si la relación de espiras medida difiere de la relación nominal del transformador, puede indicar una falla en el transformador o un problema en la medición. Es por eso que el método del TTR es una técnica para determinar condiciones en transformadores en los siguientes casos:

- Medición de la relación de transformación en transformadores nuevos, reparados o rebobinados.
- Identificación y determinación de terminales, Taps de derivación y sus conexiones.
- Determinación y comprobación de polaridad, continuidad y falsos contactos.
- Identificación de espiras en cortocircuito.

Para la conexión del instrumento tanto en transformadores monofásicos como trifásicos se debe desconectar el transformador de cualquier fuente de alimentación y conectar el equipo tanto a los terminales de alta como de baja tensión, el esquema de conexión del equipo se presenta en la ilustración 1. Además, se debe tener en cuenta la polaridad del transformador para realizar la conexión. Los esquemas se pueden consultar en la norma NTC 471 sección 4.3

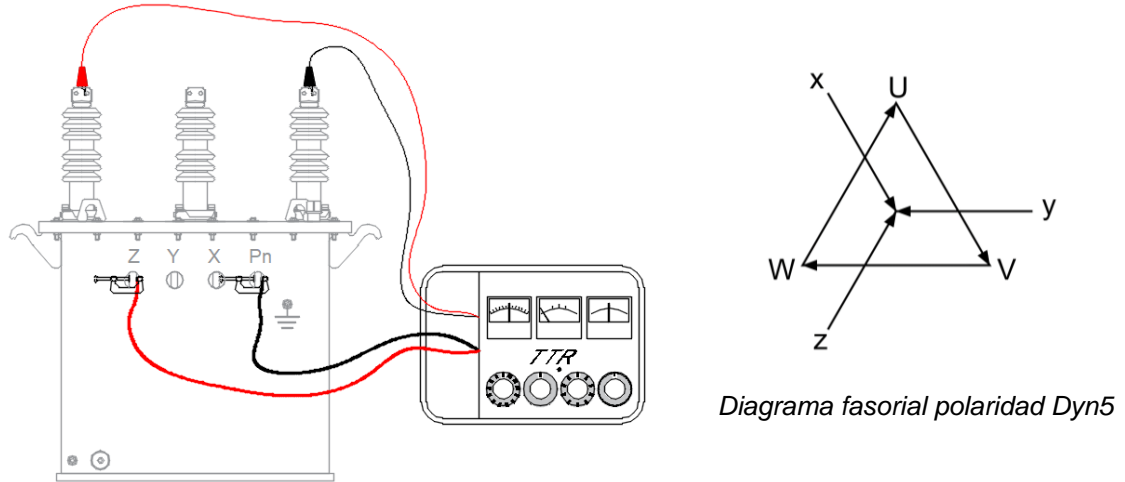


Ilustración 1. Esquema de conexión del TTR en transformador trifásico.

Para interpretar los resultados es necesario calcular el % de diferencia que exista entre los valores reales y los valores teóricos de acuerdo a la expresión:

$$\%DIFERENCIA = \frac{\text{Valor Teórico} - \text{Valor medido}}{\text{Valor Teorico}} \times 100$$

El valor medido no debe diferir del valor teórico en más del $\pm 0.5\%$.

La norma técnica colombiana que rige este ensayo es la *NTC 471 transformadores. Relación de transformación, polaridad y relación de fase.*

La prueba de relación de transformación es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de un transformador y se realiza con regularidad como parte del mantenimiento preventivo.

4.2. ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La prueba de resistencia de aislamiento en transformadores es un procedimiento utilizado para determinar la calidad del aislamiento de los devanados y los núcleos del transformador. La prueba implica la aplicación de una tensión continua entre los devanados y la carcasa del transformador, mientras que se mide la corriente que fluye a través del aislamiento.

El objetivo de la prueba es detectar posibles fallos en el aislamiento, como la presencia de humedad, suciedad o daños en el aislamiento. Estos fallos pueden afectar el rendimiento del transformador y, en casos extremos, pueden provocar fallos eléctricos y cortocircuitos.

La prueba se realiza con un instrumento llamado medidor de aislamiento o comúnmente conocido como MEGGER o MEGOHMETRO; El equipo aplica una

tensión continua a los terminales del transformador mide la corriente que fluye a través del aislamiento.

Es necesario poner en cortocircuito solido los dos devanados del transformador para realizar la prueba

Esta prueba se realiza durante un periodo de diez minutos y se determinan dos factores importantes característicos de cada transformador el índice de polarización IP y el índice de absorción dieléctrica RA, el primero indicara la calidad del aislamiento en general y el segundo la capacidad para retener la carga eléctrica. Los valores obtenidos determinaran la calidad del aislamiento del transformador.

$$IP = \frac{R \text{ aislamiento a } 10 \text{ min}}{R \text{ aislamiento a } 1 \text{ min}} \qquad RA = \frac{R \text{ aislamiento a } 1 \text{ min}}{R \text{ aislamiento a } 0,5 \text{ min}}$$

Las condiciones del aislamiento según los parámetros calculados pueden determinarse según la tabla 5.

ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP)		ÍNDICE DE ABSORCIÓN (RA)		ESTADO DEL AISLAMIENTO
DESDE	HASTA	DESDE	HASTA	
0	1	0	1.1	PELIGROSO
1	1.5	1.1	1.25	DUDOSO
1.5	2.0	1.25	1.4	BUENO
2	>4	1.4	1.6	EXCELENTE

Tabla 6. Valores referentes a índice de polarización e índice de Absorción. [12]

La prueba de resistencia de aislamiento de un transformador debe incluir las siguientes pruebas

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO				
AT: DEVANADO DE ALTA TENSIÓN BT: DEVANADO DE BAJA TENSIÓN				
PRUEBA	DESCRIPCIÓN	TERMINAL POSITIVO	TERMINAL NEGATIVO	TERMINAL DE GUARDA
1	AT- TIERRA	AT	TIERRA	BT
2	BT- TIERRA	BT	TIERRA	AT
3	AT-BT	AT	BT	TIERRA

Tabla 7. Conexiones de prueba de Resistencia de aislamiento. Fuente. El Autor.

Las conexiones físicamente pueden verse representadas en la ilustración 2.

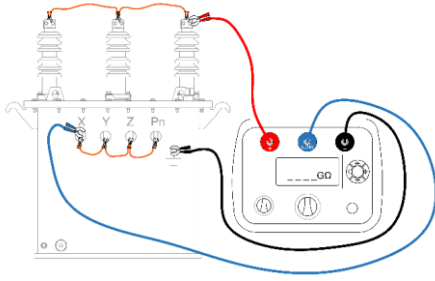


Ilustración 2a. Esquema de conexión prueba N°1

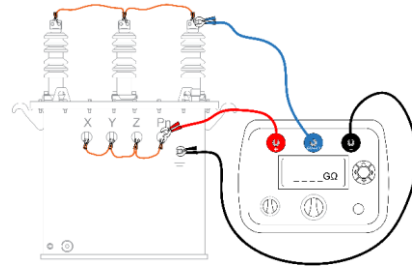


Ilustración 1b. Esquema de conexión prueba N°2

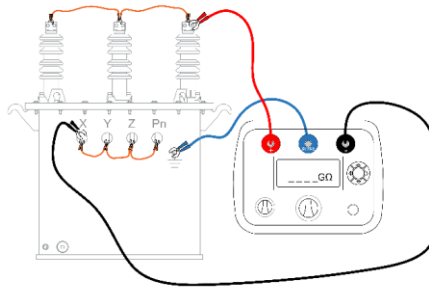


Ilustración 1c. Esquema de conexión prueba N°3

Ilustración 2. Esquema de conexión del TTR en transformador trifásico.

La tensión aplicada durante el ensayo es característico de cada devanado, pero se sugiere que para devanados de alta tensión sea de 5000 V DC y en devanados de BT no deberá exceder el doble de la tensión nominal de línea del devanado.

la prueba de resistencia de aislamiento es una prueba importante para garantizar el buen funcionamiento de los transformadores y para detectar posibles problemas de aislamiento antes de que ocurran fallos eléctricos graves.

4.3. ENSAYO DE RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS. [7]

La prueba de resistencia de devanados en transformadores es un procedimiento utilizado para medir la resistencia eléctrica de los devanados del transformador. La prueba se realiza para determinar si hay algún problema en el devanado, como una conexión suelta, una sección del devanado dañada o una sección del devanado que esté en cortocircuito.

La prueba implica la aplicación de una corriente directa que no supere el 15% de la corriente nominal del devanado de prueba y la medición de la caída de tensión en el devanado. A partir de la caída de tensión y la corriente de prueba, se puede calcular la resistencia eléctrica del devanado basándose en la ley del ohm.

Dado que la resistencia se toma a temperatura ambiente es necesaria referirla a la temperatura de operación del transformador a plena carga por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{T1} = R_{T2} \frac{T_A + T_1}{T_A + T_2}$$

Donde

R_{T1} : Resistencia referida a la temperatura de operación del transformador en °C

R_{T2} : Resistencia medida a temperatura ambiente.

T_2 : Temperatura ambiente a la que se realizó la prueba en °C.

T_A : Constante del material del devanado 234,5 para el Cu y 225 para el Al.

T_1 : Temperatura de operación del transformador en °C.

La prueba se realiza utilizando un microhmímetro especializado, que puede proporcionar mediciones precisas de la resistencia eléctrica del devanado. Los resultados de la prueba se comparan con los valores de referencia entre los demás devanados. Si la resistencia medida es superior o inferior y difiere en más de 15% a los valores de referencia, indica que hay un problema en el devanado.

La prueba se debe realizar entre todas las terminales del transformador y permitirá entre otras cosas:

- Verificación de resistencias altas debido a malos contactos
- Conexiones sueltas dentro del transformador
- Espiras en cortocircuito de los devanados

El objetivo de la prueba es detectar posibles problemas en el devanado que puedan afectar el rendimiento del transformador. Los problemas en el devanado pueden provocar pérdidas de energía, sobrecalentamiento y daños a los componentes del transformador.

Las conexiones a realizar con el microhmímetro se pueden representar en la ilustración 3

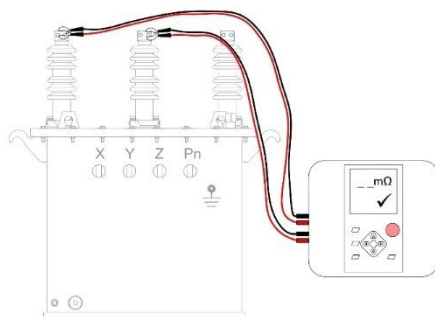


Ilustración 3a. Esquema conexión devanado AT

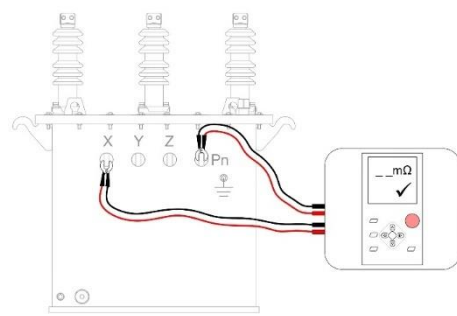


Ilustración 3b. Esquema conexión devanado BT.

Ilustración 3. Esquemas de conexión prueba de resistencia óhmica de los devanados

4.4. MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE VACÍO. [9] [10] [11]

La finalidad de la prueba es determinar las pérdidas de existen el transformador cuando se energiza en vacío, estas pérdidas también son denominadas perdidas en el hierro

Las pérdidas en el hierro se dividen en dos categorías: las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault. Las pérdidas por histéresis son causadas por el ciclo de magnetización y desmagnetización del núcleo de hierro, lo que resulta en una pérdida de energía debido a la fricción entre las moléculas del material del núcleo de hierro. Las pérdidas por corrientes de Foucault son causadas por la corriente inducida en el núcleo de hierro debido al cambio de flujo magnético, lo que resulta en una pérdida de energía debido a la resistencia del material del núcleo de hierro.

Esta prueba se realiza alimentando generalmente el transformador por el lado de baja tensión, mientras que el lado de alta tensión se deja abierto, se aplica una tensión variable hasta lograr conseguir la tensión nominal del transformador. En este momento se leerá la corriente de línea, conocida como corriente en vacío y la potencia absorbida por la magnetización del transformador.

El montaje de las conexiones es como se muestra en la ilustración 4

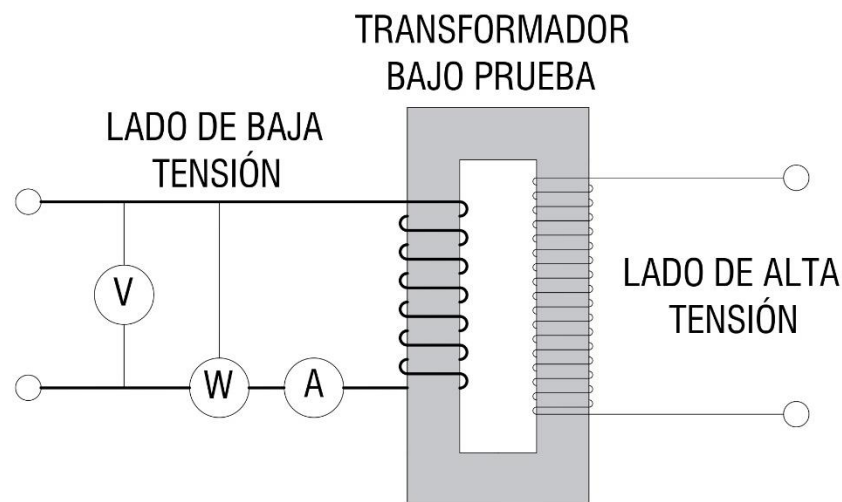


Ilustración 4. Esquemas eléctricos para el ensayo de circuito abierto (lado de Alta tensión abierto). Fuente: El Autor.

En la ilustración 4 se observa que el Voltímetro medirá la tensión nominal del transformador, el amperímetro la corriente de vacío y el Vatímetro medirá las pérdidas de vacío del transformador.

La NTC 818 y 819 establece los valores máximos de corriente de vacío y de pérdidas de circuito abierto tanto en transformadores monofásicos como

trifásicos mientras que la NTC 1954 da una tolerancia para transformadores reparados total o parcialmente. Las tablas 8 y 9 describen estos valores máximos

NTC 818. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO					
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE 5 KVA A 167,5 KVA SERIE AT <15 KV, SERIE BT < 1,2 KV			TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE 25 KVA A 167,5 KVA 15 KV < SERIE AT< 34,5, SERIE BT < 1,2 KV		
Potencia nominal kVA	Io % de In	Po W	Potencia nominal kVA	Io % de In	Po W
5	2,5	30	25	2,4	185,0
10	2,5	50	38	2,0	230,0
15	2,4	70	50	2,0	265,0
25	2,0	100	75	1,9	330,0
37,5	2,0	135	100	1,7	385,0
50	1,9	160	167,5	1,6	510,0
75	1,7	210			
100	1,6	260			
167,5	1,5	375			

Tabla 8. Valores máximos permisibles de corriente y perdidas de vacío para transformadores monofásicos. Modificado de NTC 818.

NTC 819. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO					
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 15 KVA A 3750 KVA SERIE AT <15 KV, SERIE BT < 1,2 KV			TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 75 KVA A 10000 KVA 15 KV < SERIE AT< 34,5, SERIE BT < 1,2 KV		
Potencia nominal kVA	Io % de In	Po W	Potencia nominal kVA	Io % de In	Po W
15	4,4	80	75	3,5	390
30	3,6	135	113	2,6	500
45	3,5	180	150	2,5	610
75	3,0	265	225	2,5	790
113	2,6	365	300	2,0	950
150	2,4	450	400	2,0	1150
225	2,1	615	500	1,7	1330
300	2,0	765	630	1,7	1540
400	1,9	930	750	1,5	1730
500	1,7	1090	800	1,5	1800
630	1,6	1285	1000	1,2	1980
750	1,6	1450	1250	1,0	2370
800	1,6	1520	1600	1,0	2880
1000	1,6	1780	2000	1,0	3430
1250	1,5	2090	2500	1,0	4100
1600	1,5	2520	3000	1,0	4740
2000	1,5	3010	3750	1,0	5650
2500	1,5	3620	4000	0,8	5950
3000	1,5	4230	5000	0,8	7100
3750	1,5	5160	6000	0,8	8200
			7500	0,8	9790
			10000	0,8	12300

Tabla 9. Valores máximos permisibles de corriente y perdidas de vacío para transformadores trifásicos. Modificado de NTC 819.

4.5. MEDICIÓN DE PÉRDIDAS DE CORTOCIRCUITO. [9] [10] [11]

La finalidad de esta prueba es determinar las pérdidas que existen en el material del devanado, se utiliza para hallar la impedancia de cortocircuito del transformador.

La prueba se realiza alimentando generalmente el transformador por el lado de alta tensión con una tensión variable mientras el lado de baja tensión se pone sólidamente en cortocircuito, (*nota: no necesariamente la prueba se realiza siempre aplicando la prueba por el lado de alta tensión, depende de las condiciones de la prueba y de la potencia absorbida por la red o por el generador de tensión disponible en el laboratorio*) La tensión se eleva hasta obtener la corriente nominal del devanado y en ese momento se leerán las pérdidas de cortocircuito del transformador.

El montaje de conexiones se muestra en la figura 5

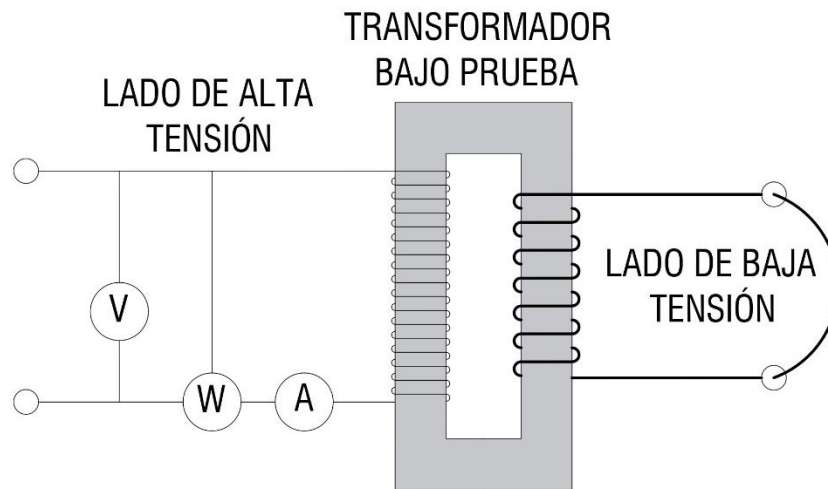


Ilustración 5. Esquemas eléctricos para el ensayo de corto circuito (lado de baja tensión en cortocircuito). Fuente: El Autor

En la ilustración 5 el amperímetro indica la corriente que circula del devanado, el voltímetro indica la tensión de cortocircuito del transformador a la corriente que circula por el devanado y el vatímetro medirá las pérdidas por cortocircuito o pérdidas en el cobre. Si la prueba no se realiza al 100% de la corriente nominal se deberán referir las pérdidas medidas al 100% con la siguiente expresión:

$$P_{cc} (100\%) = P_{cc} \text{ medidas} \cdot \left(\frac{I \text{ nominal}}{I \text{ medida}} \right)^2$$

La NTC 818 y 819 establece los valores máximos de tensión de cortocircuito y de pérdidas de cortocircuito tanto en transformadores monofásicos como trifásicos mientras que la NTC 1954 da una tolerancia para transformadores reparados total o parcialmente.

Las tablas 10 y 11 describen estos valores máximos

NTC 818. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO					
TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE 5 KVA A 167,5 KVA SERIE AT <15 KV, SERIE BT < 1,2 KV			TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE 25 KVA A 167,5 KVA 15 KV < SERIE AT< 34,5, SERIE BT < 1,2 KV		
Potencia nominal kVA	UZ (%)	Pcc W	Potencia nominal kVA	UZ (%)	Pcc W
5	3,0	90	25	4,0	360
10	3,0	140	38	4,0	490
15	3,0	195	50	4,0	605
25	3,0	290	75	4,0	820
37,5	3,0	405	100	4,0	1020
50	3,0	510	167,5	4,0	1500
75	3,0	710			
100	3,0	900			
167,5	3,0	1365			

Tabla 10. Valores máximos permisibles de tensión de cortocircuito y pérdidas de cortocircuito para transformadores monofásicos. Modificado de NTC 818.

NTC 819. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO					
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 15 KVA A 3750 KVA SERIE AT <15 KV, SERIE BT < 1,2 KV			TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE 75 KVA A 10000 KVA 15 KV < SERIE AT< 34,5, SERIE BT < 1,2 KV		
Potencia nominal kVA	UZ (%)	Pcc W	Potencia nominal kVA	UZ (%)	Pcc W
15	3,0	310	75	6,0	1370
30	3,0	515	113	6,0	1890
45	3,0	710	150	6,0	2400
75	3,5	1090	225	6,0	3330
113	3,5	1540	300	6,0	4210
150	4,0	1960	400	6,0	5320
225	4,0	2890	500	6,0	6370
300	4,5	3675	630	6,0	7690
400	4,5	4730	750	6,0	8860
500	5,0	5780	800	6,0	9330
630	5,0	7140	1000	6,0	12000
750	5,0	8380	1250	6,0	14300
800	5,0	8900	1600	6,0	17400
1000	5,0	11100	2000	6,0	20900
1250	6,0	13500	2500	6,5	25000
1600	6,0	16700	3000	6,5	29000
2000	6,0	20400	3750	6,5	34400
2500	6,0	25000	4000	6,5	36100
3000	6,0	29700	5000	6,5	42600
3750	6,0	36600	6000	7,2	48200
			7500	7,2	55100
			10000	7,2	63000

Tabla 11. Valores máximos permisibles de tensión de cortocircuito y pérdidas de cortocircuito para transformadores trifásicos. Modificado de NTC 819.

4.6. ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA. [13]

Este ensayo permitirá conocer el estado del aislamiento entre devanados y devanados y tierra; esta prueba se realiza a frecuencia nominal del sistema

aplicando una tensión a 60 Hz durante 1 minuto. Se incrementa gradualmente hasta alcanzar la tensión de prueba durante los primeros 15 segundos, allí se mantendrá la tensión de prueba durante 1 minuto, posteriormente se reducirá gradualmente la tensión en los 15 segundos posteriores. Si la tensión de prueba se suspende por medio de un interruptor los transitorios de la prueba podrán dañar el aislamiento existente. Solo en caso de falla la prueba podrá suspenderse repentinamente por medio de la parada de emergencia.

Para elevar la tensión hasta esos niveles se emplea un transformador intermedio denominado transformador de tensión aplicada, este transformador no requiere de potencias muy elevadas, pero si requiere una relación de transformación grande.

Además, cuenta con una resistencia limitadora de corriente, esto con el fin de que, si se presenta una falla durante la prueba, ésta disipe gran parte de la corriente de falla.

El esquema de conexiones se muestra en la ilustración 6.

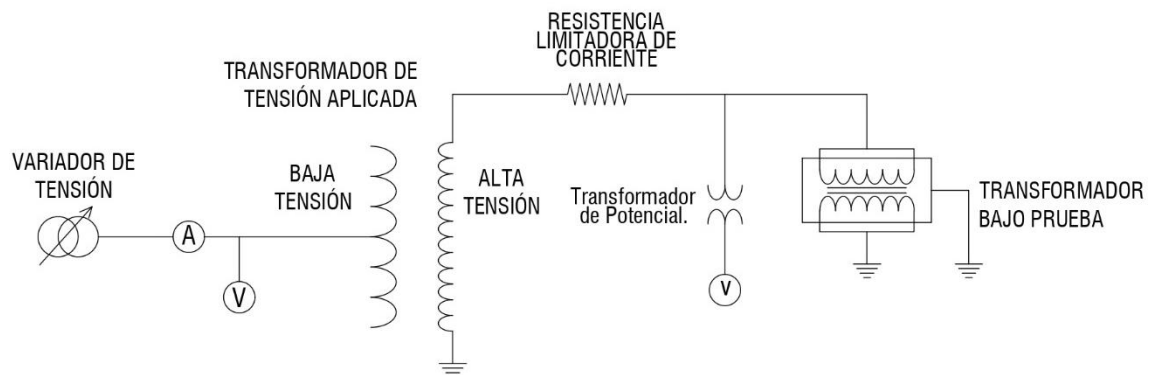


Ilustración 6. Esquemas eléctricos para el ensayo de tensión aplicada. Fuente: El Autor.

El amperímetro indica la corriente de fuga del aislamiento que se mide por facilidad por el lado de baja tensión y con la relación de transformación del transformador elevador se podrá referir la corriente de fuga que existe en el aislamiento del transformador según la conexión que se realice. De la misma manera el voltímetro mide la tensión en baja tensión y se podrá referir al secundario del transformador para calcular la tensión aplicada al transformador, además de eso se puede contar con un transformador de potencial con una precisión de clase 1 o superior para poder medir la tensión aplicada al transformador.

Cabe resaltar que esta es una de las pruebas más exigentes a transformadores de distribución y para llevarla a cabo se prueba tanto por alta tensión como por baja tensión luego de cortocircuitar los devanados; así pues, se alimenta por un

devanado y se deja el otro referenciado a tierra y luego se hace lo mismo con el otro devanado.

Se considera que la prueba es exitosa si no presentan ruidos extraños dentro del transformador o si la corriente de fuga se mantiene en un valor estable durante la prueba.

Las normas que rigen los valores de tensión aplicados son la NTC 836 sin embargo también se pueden utilizar los criterios de la IEC 60076-3 [14]

NORMA NTC 836		
APLICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA US KV EFICACES	NIVEL DE TENSIÓN DE AISLAMIENTO PARA BAJA FRECUENCIA, KV EFICACES
DISTRIBUCIÓN	<1,2	10
	2,5	15
	4,4; 5,0	19
	7,2; 8,7	26
	11,4; 13,2; 13,8; 15	34
[2]POTENCIA	1,2	10
	2,5	15
	4,4; 5,0	19
	7,2; 8,7	26
	11,4; 13,2; 13,8; 15	34
	25	40
	34,5	70
	46	95
69	140	

Tabla 12. Niveles de tensión aplicada para transformadores sumergidos en líquido refrigerante norma NTC 836. Fuente: El Autor, Modificado de NTC 836

NORMA ANSI IEC 60076-3	
TENSIÓN MAS ELEVADA PARA EL MATERIAL DEL ARROLLAMIENTO U_m kV	TENSIÓN APLICADA O TENSIÓN SOPORTADA AC DE LOS BORNES DE LÍNEA
<1,1	3
3,6	10
7,2	20
12	28
17,5	38
24	50
36	70

Tabla 13. Niveles de tensión aplicada para transformadores sumergidos en líquido refrigerante norma IEC 60076-3. Fuente: El Autor, Modificado de IEC 60076-3

Es de resaltar que ambas normas establecen que esta prueba se puede hacer al 75% de la sobretensión aplicada para transformadores reparados total o parcialmente o transformadores nuevos que hayan superado la prueba previamente, tal como se expresa en la NTC 836 y el la IEC60076-3.

4.7. ENSAYO DE TENSIÓN INDUCIDA. [13]

La finalidad de esta prueba consiste en comprobar si el aislamiento entre vueltas y entre capas de los bobinados del transformador es el adecuado o está en buen estado, la prueba se realiza aplicando el doble de la tensión nominal del transformador y a una frecuencia superior a la de operación normal del transformador; el tiempo de la prueba dependerá de la frecuencia de prueba, basándose en la siguiente ecuación:

$$t_{prueba (seg)} = 60 \frac{f_{nominal}}{f_{prueba}}$$

La prueba se realiza elevando la tensión gradualmente hasta alcanzar la tensión nominal de la prueba en no más de 15 segundos, llegando a la tensión nominal y sosteniendo la prueba durante el tiempo específico, posteriormente se reduce gradualmente la tensión hasta alcanzar un valor bajo para poder interrumpir la tensión.

Para lograr una tensión alterna diferente a la frecuencia industrial se utiliza un generador ya se autoexcitado o con excitación independiente asíncrono, ya que el generador tiene una tensión de salida máxima se puede utilizar un transformador intermedio para elevar la tensión con valores determinados según el transformador bajo prueba.

Si se cuenta con un generador monofásico la prueba se puede realizar individualmente en cada devanado del transformador.

El diagrama unifilar de la prueba se presenta en la ilustración 7.

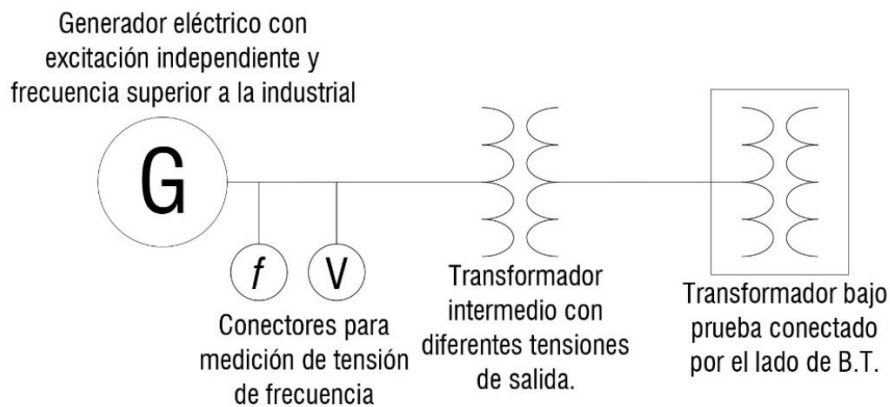


Ilustración 7. Esquemas eléctricos para el ensayo de tensión inducida. Fuente: El Autor.

CAPÍTULO CINCO

Este capítulo muestra el laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ y se presenta en dos partes, la primera la parte física que comprende la ubicación del laboratorio dentro del taller de mantenimiento, la disposición de los elementos del laboratorio, normas de seguridad del laboratorio y equipos que comprenden el laboratorio de pruebas y una segunda parte que presenta la documentación con la que cuenta el laboratorio que incluye todos los procedimientos y formatos, además de la plantilla de Excel para el tratamiento de datos de las pruebas que se realizan dentro del laboratorio.

5. LABORATORIO DE PRUEBAS ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

El laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ cuenta con elementos de control eléctrico industrial como contactores, interruptores termomagnéticos y breaker industriales, todo esto con el fin de poder llevar una adecuada coordinación a la hora de realizar los ensayos, evitar que se cometan errores humanos de interpretación de esquemas y, además, que se lleven a cabo satisfactoriamente las pruebas con Tensión que se realicen.

5.1. DISPOSICIÓN FÍSICA DEL LABORATORIO DE PRUEBAS

El laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ se encuentra dentro del taller ubicado Calle 22A No. 40A - 31 en la ciudad de Duitama. Dentro del taller se encuentra la línea de cargue y descargue de transformadores, y toda la línea operativa del taller, el laboratorio de pruebas estará ubicado en la planta con un cerramiento físico de malla ciclónica, a continuación, en la ilustración 8 se muestra el esquema de la disposición física de los equipos dentro del cerramiento.

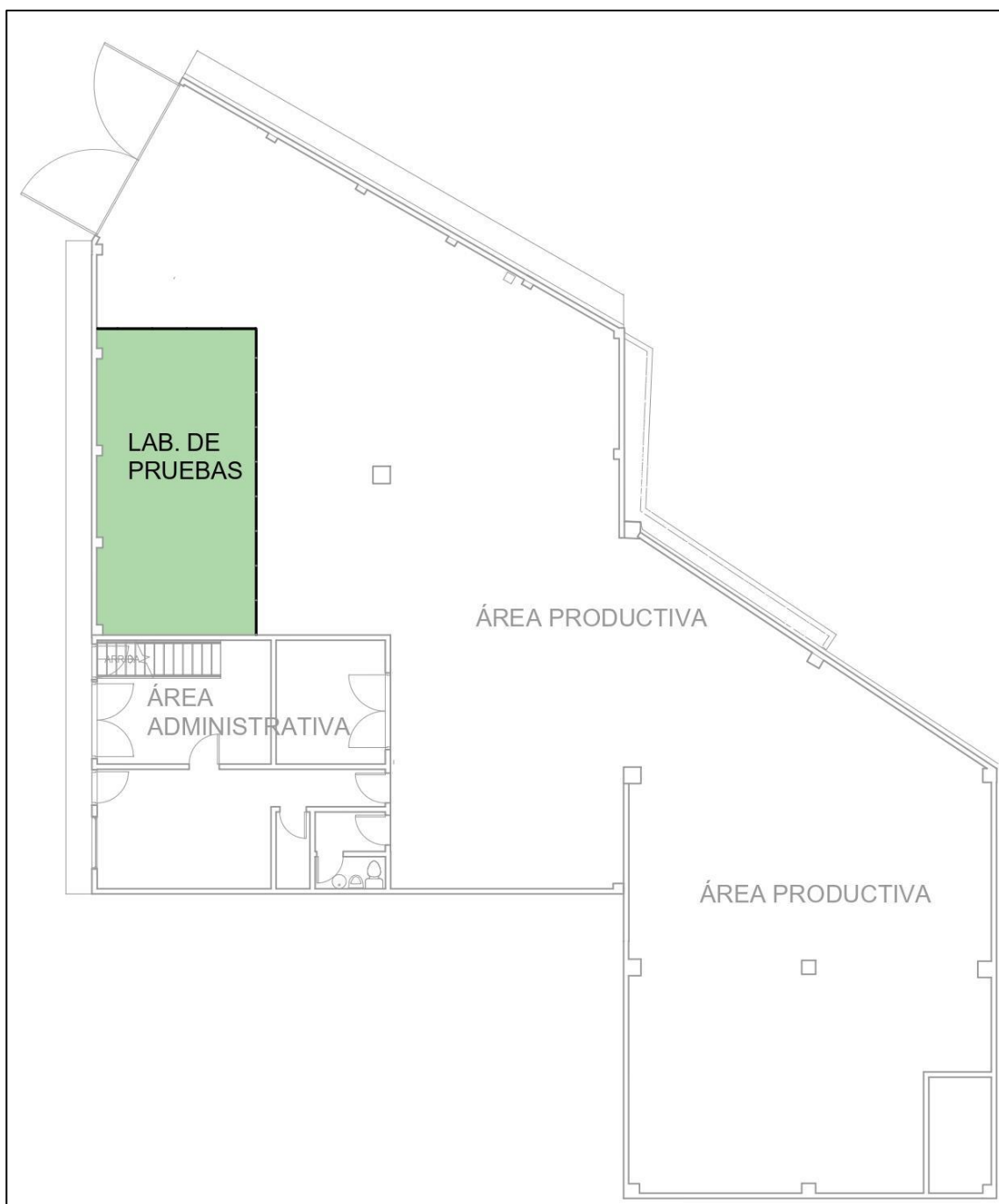


Ilustración 8. Ubicación del laboratorio de pruebas dentro del taller de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

La disposición dentro del laboratorio de pruebas será la adecuada para que el personal de ELECTRICOS GONZALEZ pueda realizar las pruebas de forma correcta, y tenga siempre la visual del transformador que está bajo ensayo, la disposición interna del laboratorio se presenta en la ilustración 9.

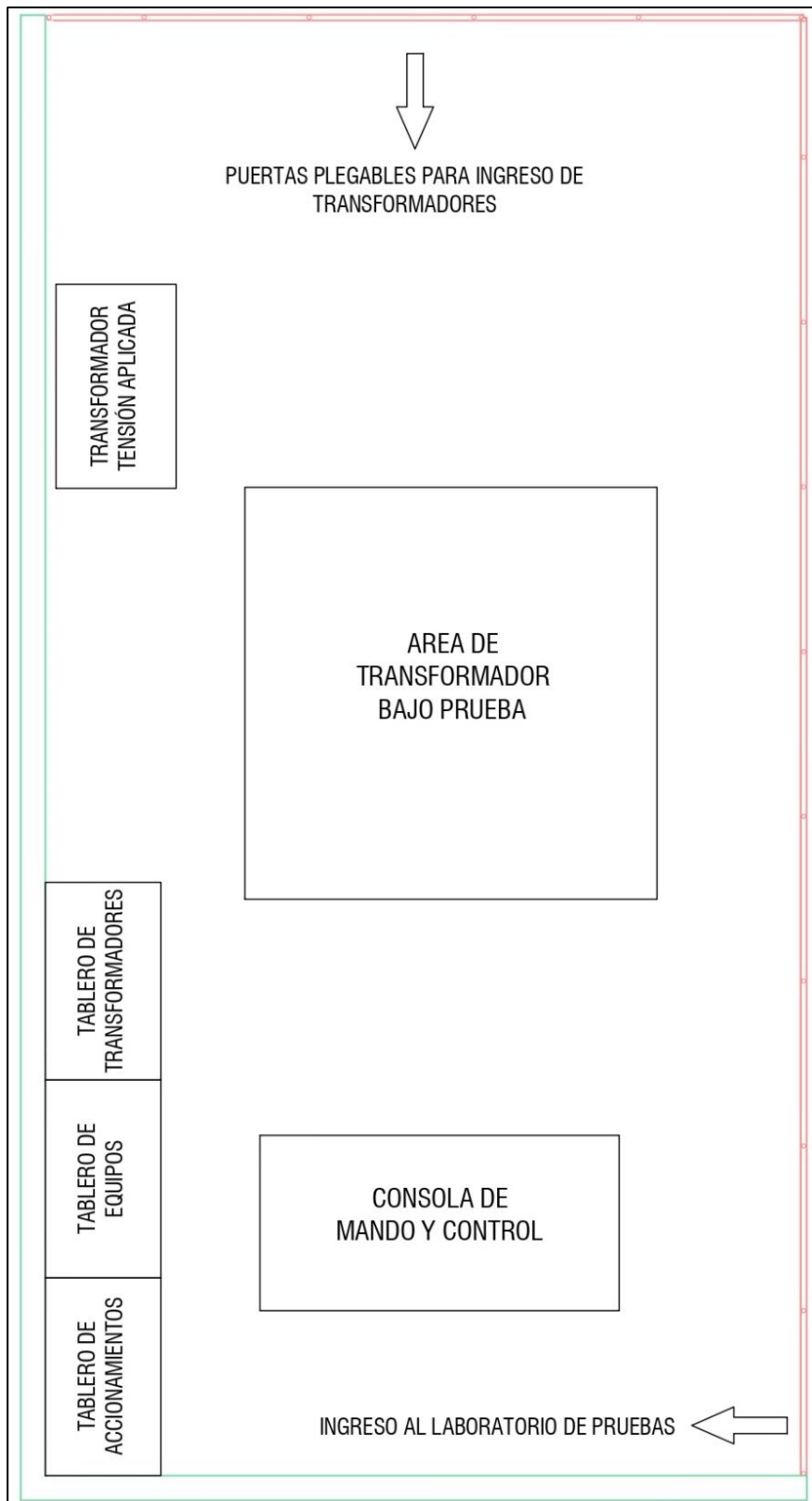


Ilustración 9. Ubicación del laboratorio de pruebas dentro del taller de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

5.2. CONDICIONES FÍSICAS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS

El laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ cuenta con las siguientes especificaciones físicas como mínimo.

- El laboratorio está en un lugar accesible con ventilación al aire libre e iluminación natural o artificial adecuada.
- Cuenta con un área específica, ordenada y limpia para el resguardo de equipos como multímetros, TTR, medidor de resistencia de aislamiento, medidor de resistencia de los devanados y suministros del laboratorio.
- El laboratorio debe contar con Simbología de señales de prohibido (No fumar, No comer, No correr, Prohibido ingreso a personal no autorizado); señales de Precaución (Riesgo eléctrico, Riesgo Mecánico); señales de elementos de protección personal (Usar Casco, Usar Guantes, Usar Botas Dieléctricas) y señales de rutas de Evacuación, salidas, entradas, punto de encuentro y demás señales que se consideren necesarias.
- El laboratorio cuenta con demarcación en el piso para clasificar las áreas dentro del laboratorio como lo son la consola, el tablero de potencia, el área del transformador bajo carga, el generador y transformador para tensión inducida; El transformador de tensión aplicada y los límites de aproximación a los transformadores bajo prueba.
- El foso de la puesta tierra esta demarcado con una tapa de color visible y el logo de sistema de puesta tierra sobre ella.
- El piso está pintado con pintura dieléctrica
- El laboratorio debe contar con un botiquín de primeros auxilios y con un extintor vigente y de buenas condiciones.
- El laboratorio debe contar con botes de basura para clasificación de reciclaje.
- El laboratorio debe contar con un tablero para anotaciones, aclaraciones, explicaciones sobre las ordenes de trabajo que se ejecuten.
- Dentro del laboratorio están los esquemas eléctricos en una cartelera para su estudio e interpretación cada vez que se realice una prueba o ensayo.
- El laboratorio cuenta con una carpeta específica de documentación como:
 - Manual de procedimientos de pruebas a transformadores de distribución
 - Banco de Normas impresas para su consulta en cualquier momento.
 - Formatos impresos y listos para diligenciar a la hora de la ejecución de las pruebas.
- Todos los equipos deben tener su respectiva placa de características, así como su hoja de vida actualizada.

5.3. EQUIPOS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS

El laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ cuenta con los siguientes equipos para la realización de las pruebas a transformadores de distribución los cuales se presentan en la tabla 14

EQUIPOS DE LABORATORIO DE PRUEBAS		
HOJA DE VIDA	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
LP-EQ-01	VARIAC TRIFÁSICO 35 KVA	<ul style="list-style-type: none"> • Variac trifásico conectado en estrella con alimentación nominal de 220 V y salida regulada desde 10 V-220 V • Potencia del Variac: 35 kVA • Corriente máxima: 40 A. • Utilizado en pruebas de Perdidas por vacío y cortocircuito y en Tensión aplicada. • Fabricación propia
LP-EQ-02	TRANSFORMADOR INTERMEDIO 1	<ul style="list-style-type: none"> • Transformador intermedio elevador para prueba de tensión inducida. • Transformador conectado en Y/Y-Δ con 5 TAP's • Potencia del transformador: 35 kVA • Tensión de alimentación: 220 V desde el generador • Fabricación propia
LP-EQ-03	TRANSFORMADOR DE PERDIDAS	<ul style="list-style-type: none"> • Transformador intermedio elevador para prueba de pérdidas de vacío y cortocircuito • Transformador conectado en Y/Y-Δ con 8 TAP's • Potencia del transformador: 45 kVA • Tensión de alimentación nominal: 220 V desde el variac trifásico • Fabricación propia
LP-EQ-04	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN APLICADA 75 kVA	<ul style="list-style-type: none"> • Transformador monofásico elevador para prueba de tensión aplicada • Potencia del transformador: 75 kVA • Tensión: 220 V/ 70.000 V fase tierra. • Alimentación desde el variac trifásico. • Fabricación propia.
LP-EQ-05	VARIAC MONOFÁSICO 1 KVA	<ul style="list-style-type: none"> • Variac monofásico para excitación del generador • Tensión variable desde 0 a 120 V con posibilidad de conexión hasta 220 V de salida • Potencia del variac: 1 kVA
LP-EQ-06	GENERADOR	<ul style="list-style-type: none"> • Generador de 30 kW impulsado por motor trifásico • Conexión del generador Y-Y a 220 V con posibilidad de conexión a 420 V • Excitación independiente en corriente directa CD • Frecuencia de operación a 417 Hz • Marca: Hobart Brothers Company

Continua..

EQUIPOS DE LABORATORIO DE PRUEBAS		
HOJA DE VIDA	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
LP-EQ-07	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	<ul style="list-style-type: none"> Transformadores de corriente para medición de perdidas, con posibilidad de cambiar la relación de transformación Marca: YOKOGAWA TRANSFORMERS Corriente primaria: 10 A, 15 A, 30 A, 50 A, 100 A, 1500 A Corriente secundaria: 5 A. Burden: 15 VA Precisión $\pm 0.2\%$ Cantidad: 3 Calibración: 12 meses.
LP-EQ-08	MEDIDOR MULTIFUNCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Medidor multifuncional, utilizado para medir perdidas por vacío y por cortocircuito. Marca: El Net Referencia: LT Alimentación: 90-250 V AC Rango de tensión: L-L 0-950 V AC; L-N 0-550 V Rango de corriente: 0-5 A Precisión: $\pm 0.2\%$ Calibración: 12 meses.
LP-EQ-09	MEDIDOR DE TENSIÓN APLICADA	<ul style="list-style-type: none"> Medidor multifunción, utilizado para medir el voltaje aplicado en baja tensión en la prueba de tensión aplicada Marca: Autonics Referencia MT4W Alimentación: 220 V Rango de tensión: 0-500 V CA Precisión: $\pm 0.5\%$ Calibración: 12 meses

Tabla 14. Equipos del laboratorio de pruebas. Fuente: El Autor.

5.3.1. Hojas de vida actualizadas equipos laboratorio de pruebas.

Todas las hojas de vida de los equipos a utilizar se encuentran actualizadas bajo el documento con código y nombre: “*FORMATO DE HOJA DE VIDA DE MAQUINARIA Y/O EQUIPOS F-MT-03*”. En los anexos del presente documento se encuentran las hojas de vida realizadas a los equipos del laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ. Estas hojas de vida incluyen características técnicas del equipo, así como el historial de mantenimientos, calibraciones e inspecciones realizadas a los equipos del laboratorio de pruebas. También permiten llevar un control y seguimiento de mantenimientos programados para garantizar el continuo y óptimo funcionamiento de los equipos disponibles.

En la ilustración 10 se encuentra el formato de hoja de vida para el generador de tensión inducida, el formato se utiliza dentro del sistema de gestión de calidad para tener control sobre la maquinaria y equipo con la que cuenta la empresa

ELÉCTRICOS GONZÁLEZ. Para el caso del laboratorio de pruebas se realizaron las hojas de vida de los equipos mencionados en la tabla 14.



	ELÉCTRICOS GONZÁLEZ		Código: F-MT-03			
	HOJA DE VIDA DE MAQUINARIA Y/O EQUIPOS		Ver: 01			
			Fecha de aprobación: 17 de noviembre del 2022			
		Pág: 1 de 1				
NOMBRE DEL EQUIPO		GENERADOR DE TENSION INDUCIDA 30kW				
CÓDIGO DEL EQUIPO		LP-EQ-06				
CENTRO DE TRABAJO AL QUE PERTENECE		LABORATORIO DE PRUEBAS				
RESPONSABLE DE LA MAQUINA Y/O EQUIPO		TÉCNICO DE PRUEBAS				
PERIODICIDAD DE MANTENIMIENTO		12 MESES				
FECHA DE COMPRA DEL EQUIPO		N/A				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
MARCA		HOBART BROTHERS COMPANY				
REFERENCIA		HF30GM				
SERIE		HF30GM-2000				
MODELO		N/A				
REGISTRO DE MANTENIMIENTO						
REALIZADOS (correctivo, preventivo, predictivo)	FECHA			DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD REALIZADA	PROFESIONAL O TÉCNICO ENCARGADO	COSTO (VALOR TOTAL)
	D	M	A			
CORRECTIVO	28	8	21	PUESTA EN MARCHA DE LA EXCITACIÓN INDEPENDIENTE	PERSONAL ELECTRICOS GONZALEZ	\$ -
REGISTRO FOTOGRÁFICO				OBSERVACIONES	SE INDEPENDIZO LA EXCITACIÓN PARA LOGRAR UN CONTROL EN LA TENSION GENERADA, SE DISEÑO UN RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA MONOFÁSICO PARA EXCITAR LOS ANILLOS COLECTORES CON CORRIENTE DIRECTA	
						

Ilustración 10. Formato de hoja de vida de maquinaria y/o equipos F-MT-03. Fuente: SG ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

En el anexo 4. Se presentan las hojas de vida de los demás equipos.

5.4. MANUAL PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS

El manual de procedimientos de la empresa quedará como archivo adjunto de manera digital para control de cambios dentro del sistema de gestión de calidad de la empresa, el manual contendrá las normas y protocolos a seguir dentro del laboratorio de pruebas, los equipos con los que cuenta el laboratorio, la disposición física dentro del laboratorio, y los elementos de control con los que cuenta la consola de mando, y los tableros de control y de transformadores. También quedara incluido en el sistema de gestión de calidad de la empresa bajo un código un nombre y una versión según lo consideren la profesional de calidad y el gerente de la empresa.

El manual de procedimientos también estará adjunto al presente documento.

La ilustración 11 muestra la tabla de contenido del manual de procedimientos del laboratorio de pruebas.


	MANUAL	Código:
	LABORATORIO DE PRUEBAS	Ver.: Fecha de aprobación: Pág.: 2 de 25

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. NORMAS DE SEGURIDAD DENTRO DEL LABORATORIO DE PRUEBAS	5
3. METROLOGIA.....	6
4. PERSONAL	6
5. EQUIPOS Y ELEMENTOS DEL LABORATORIO DE PRUEBAS.....	7
6. DISPOSICION FISICA DEL LABORATORIO DE PRUEBAS.....	8
7. PRUEBAS DEL LABORATORIO.....	11
8. CONSOLA DE MANDO.....	12
9. TABLERO DE CONTROL.....	17
10. TABLERO DE TRANSFORMADORES	21
11. PLANOS Y ESQUEMAS ELECTRICOS	23
11.1 PLANO DE FUERZA	23
12. PRUEBAS	25

Ilustración 11. Contenido del manual del laboratorio de pruebas. Fuente: El Autor

5.5. MANUAL PROCEDIMIENTOS DE LAS PRUEBAS A REALIZAR

Se realizan 6 manuales de procedimientos de pruebas según la capacidad del laboratorio de pruebas, de la misma manera que el manual del laboratorio de pruebas, los manuales de las pruebas quedaran abiertos a la codificación por parte de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ, los manuales incluyen desde el objeto de los procedimientos, la norma de referencia, la descripción del ensayo, los resultados a obtener y el alistamiento del transformador a probar y además incluye acciones correctivas en caso de resultados insatisfactorios.

En la ilustración 12 se muestra el ejemplo del manual de procedimientos de la prueba de relación de transformación, en este caso bajo dos métodos, el método del TTR (TRANSFORMER TURN RATIO) o el método de los voltímetros.


	MANUAL	Código:
	PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	Ver:
		Fecha de aprobación:
		Pág.: 2 de 6

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE	3
3. DOCUMENTOS REFERENCIAS	3
4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.....	3
5. PERSONAL.....	4
6. ALISTAMIENTO.....	4
6.1. Equipos.....	4
6.2. Alistamiento.....	4
6.2.1. Alistamiento del Equipo. (TTR)	4
6.2.2. Alistamiento del Equipo. (VOLTÍMETROS).....	4
6.2.3. Alistamiento del Transformador	4
7. PROCEDIMIENTO	5
7.1. Procedimiento TTR.....	5
7.2. Procedimiento VOLTÍMETROS	5
8. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	6
9. ACCIONES CORRECTIVAS.....	6

Ilustración 12. Contenido del manual de procedimientos, prueba de relación de transformación. Fuente: El Autor

El documento cuenta con el encabezado establecido por la empresa para otros documentos y formatos el cual se deja abierto para incluirlo en el sistema de calidad de la empresa, que incluye campos de codificación, versión del documento y fecha de aprobación.

5.6. FORMATOS DE TOMA DE DATOS PARA PRUEBAS

EL formato de toma de datos de pruebas a transformadores tanto monofásicos como trifásicos es un documento o plantilla que se utiliza para recopilar y registrar información detallada sobre las pruebas realizadas a un transformador eléctrico una vez se ha terminado para la salida al cliente del taller de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

Este formato se utiliza durante la realización de pruebas de diagnóstico para evaluar el estado de aislamientos y pérdidas y detectar posibles fallos o problemas.

El formato diseñado para la documentación incluye los campos para las pruebas mencionadas en el capítulo 4; adecuando según corresponda si es transformador es monofásico o trifásico

El formato corresponde a los datos primarios que se toman de las pruebas de salida a los transformadores y serán la base para que mediante la interfaz diseñada y explicada en el ítem 5.7 se pueda realizar el protocolo del transformador a conformidad del cliente.

La ilustración 13 y 14 muestran los formatos diseñados para la toma de datos de las pruebas tanto para transformadores monofásicos como trifásicos.


		FORMATO				Código		
		PRUEBAS DE SALIDA TRANSFORMADORES 1Ø				Ver.:	Fecha de aprobación:	
						Pág.: 1 de 1		
DATOS DEL TRANSFORMADOR								
MARCA	POTENCIA [kVA]	AISLAMIENTO		Nº FASES				
VOLTAJE BT [V]	VOLTAJE AT [V]	CORRIENTE BT [A]		CORRIENTE AT [A]				
NUMERO DE TAP'S		TAP NOMINAL		CONFIGURACIÓN TAP'S				
RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN								
TAP	V AT	V BT		FASE MEDIDA				
1				UX/lux				
2								
3								
4								
5								
RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS								
MATERIAL DEVANADO ALTA TENSIÓN	COBRE		ALUMINIO					
MATERIAL DEVANADO BAJA TENSIÓN	COBRE		ALUMINIO					
MEDICIONES								
ALTA TENSIÓN								
TAP	TEMPERATURA PRUEBA °C			FASES MEDIDAS				
	U-X							
1								
2								
3								
4								
5								
BAJA TENSIÓN								
TAP	FASES MEDIDAS							
N/A	x-Pn		u-Pn		x-u			
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, [GΩ]								
TERMINALES	V PRUEBA	TIEMPO DE PRUEBA [minutos]						
	(VDC)	0,5	1	3	5	7	9	10
AT-TIERRA								
BT-TIERRA								
AT-BT								
PERDIDAS DE VACÍO TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS								
VOLTAJE NOMINAL BT		CORRIENTES DE VACÍO [A]				PERDIDAS [W]		
%	MEDIDO	FASE R		FASE S		MEDIDAS		
90%								
100%								
110%								
PERDIDAS POR CORTOCIRCUITO TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS								
CORRIENTE NOMINAL A.T.		% ALCANZADO		PARIDAS [W]		VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO		
ESPERADA				MEDIDAS		U-V		
MEDIDA								
ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA								
TENSIÓN APLICADA ESPERADA						NORMA		
PRUEBA	POR A.T.	POR B.T.	V EN EL PT	POR B.T.	V EN EL PT	I en BT	I FUGA	
AT vs BT Y TIERRA								
BT vs AT Y TIERRA								
ENSAYO DE TENSIÓN INDUCIDA								
VOLTAJE DE PRUEBA [V]	FREQ. DE PRUEBA [Hz]	VOLTAJE APLICADO BT [V]		VOLTAJE APLICADO AT [V]		TIEMPO DE PRUEBA [Seg]		

Ilustración 13. Formato toma de datos transformador monofásico. Fuente: El Autor

		FORMATO			Código	
		PRUEBAS DE SALIDA TRANSFORMADORES 3Ø			Ver.:	
					Fecha de aprobación:	
					Pág.: 1 de 1	
DATOS DEL TRANSFORMADOR						
MARCA	POTENCIA [kVA]	AISLAMIENTO		Nº FASES	Nº SERIE	
VOLTAJE BT [V]	VOLTAJE AT [V]	CORRIENTE BT [A]	CORRIENTE AT [A]		CONEXIÓN	
NUMERO DE TAP'S		TAP NOMINAL	CONFIGURACIÓN TAP'S			
RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
TAP	V AT	V BT	FASE MEDIDA			
			UV/PnX	VW/PnY	VW/PnY	
1						
2						
3						
4						
5						
RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS						
MATERIAL DEVANADO ALTA TENSIÓN			COBRE		ALUMINO	
MATERIAL DEVANADO BAJA TENSIÓN			COBRE		ALUMINO	
MEDICIONES						
ALTA TENSIÓN						
TEMPERATURA PRUEBA °C						
TAP			FASES MEDIDAS			
	U-V	V-W	W-U			
1						
2						
3						
4						
5						
BAJA TENSIÓN						
TAP			FASES MEDIDAS			
	X-PN	Y-PN	Z-PN			
N/A	X-Y	Y-Z	Z-X			
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, [GΩ]						
TERMINALES	V PRUEBA (VDC)	TIEMPO DE PRUEBA (minutos)				
		0,5	1	3	5	7
AT-TIERRA						
BT-TIERRA						
AT-BT						
PERDIDAS DE VACÍO TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS						
VOLTAJE NOMINAL BT		CORRIENTES DE VACÍO [A]			PERDIDAS MEDIDAS [W]	
%	MEDIDOS	FASE R	FASE S	FASE T		
90%						
100%						
110%						
PERDIDAS POR CORTOCIRCUITO TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS						
CORRIENTE NOMINAL A.T.		PERDIDAS [W]		VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO		
ESPERADA		% ALCANZADO	MEDIDAS	U-V	V-W	W-U
MEDIDA						
ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA						
TENSIÓN APLICADA ESPERADA				MEDICIONES		
PRUEBA	POR A.T.	POR B.T.	V EN EL PT	POR B.T.	V EN EL PT	I en BT
AT vs BT Y TIERRA						I FUGA
BT vs AT Y TIERRA						
ENSAYO DE TENSIÓN INDUCIDA						
VOLTAJE DE PRUEBA [V]	FREQ. DE PRUEBA [Hz]	VOLTAJE APLICADO BT [V]	VOLTAJE APLICADO AT [V]	TIEMPO DE PRUEBA [Seg]		

Ilustración 14. Formato toma de datos transformador trifásico. Fuente: El Autor

De la misma manera que toda la documentación que se implementó para ELÉCTRICOS GONZÁLEZ el formato cuenta con las casillas de codificación para ser incluidos dentro del sistema de gestión de la empresa¹⁰.

¹⁰ La codificación y revisión de toda la documentación hace parte de la confidencialidad del trabajo presentado.

5.7. PLANTILLA EXCEL PARA TRATAMIENTO DE DATOS DE LAS PRUEBAS

Se diseñó una plantilla en Excel para el tratamiento de los datos que se recojan en los formatos de tomas de datos del ítem 5.6. funciona de manera semiautomática de auto relleno según los datos consignados a mano de los formatos de toma de datos bien sea en transformadores monofásicos o trifásicos.

El objetivo de la interfaz es generar el protocolo de pruebas de manera automática para el cliente. Así pues, la interfaz se divide en 2 partes tanto para transformadores monofásicos como para transformadores trifásicos.

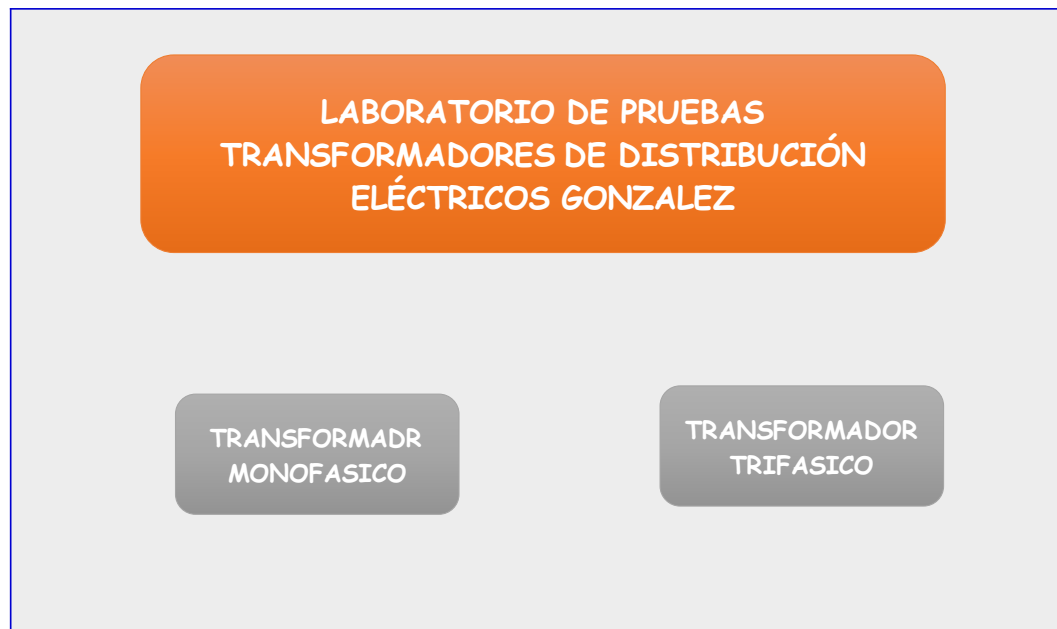


Ilustración 15. Inicio plantilla de Excel. Fuente: El Autor.

Una vez elegido el transformador al cual se le realizará el protocolo se despegará una plantilla con las pruebas que se le realizan al transformador. Tal como se indica en la ilustración 16 que para este caso es el de transformadores trifásicos.

Se ven las pestañas de:

- Datos del transformador
- Datos del cliente
- Relación de transformación
- Resistencia de los devanados
- Resistencia de aislamiento
- Perdidas en vacío
- Perdidas por cortocircuito
- Tensión aplicada
- Tensión inducida

- Rigidez dieléctrica del aceite
- Protocolo de pruebas



Ilustración 16. Plantilla de transformadores trifásicos. Fuente: El Autor.

En las diferentes pestañas que se pueden navegar y ver el esquema que contiene la interfaz.

DATOS DEL TRANSFORMADOR				
MARCA	POTENCIA [kVA]	AISLAMIENTO	Nº FASES	Nº SERIE
		Ao	3	
VOLTAJE BT [V]	VOLTAJE AT [V]	CORRIENTE BT [A]	CORRIENTE AT [A]	CONEXIÓN
NUMERO DE TAP'S		TAP NOMINAL	CONFIGURACIÓN TAP'S	

INICIO

Ilustración 17. Pestaña de datos del transformador. Fuente: El Autor.

En todas las pestañas existe el botón inicio que retorna la plantilla a menú de la ilustración 16 para facilidad y edición de datos en diferentes pestañas

DATOS DEL CLIENTE	
NOMBRE	
DOCUMENTO	
NIT	
TELEFONO	
CORREO ELECTRONICO	
OFERTA	

INICIO

Ilustración 18. Pestaña de datos del cliente. Fuente: El Autor.

El laboratorio de pruebas de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ registra en su sistema de gestión todos los datos de los clientes con los que tienen relaciones comerciales.

Las pruebas denominadas sin tensión son aquellas que se realizan con equipos independientes del laboratorio de pruebas y ya descritos en el capítulo 4. Son los resultados arrojados por los equipos:

- Relación de transformación: TTR
- Resistencia de los devanados: Microhmímetro
- Resistencia de aislamiento: Megohmetro o Megger

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN											
TAP	V AT	V BT	RELACIÓN TEÓRICA			FASE MEDIDA			%ERROR		
			CALC.	MAX	MIN	UV/PhX	VW/PhY	VW/PhY	UV/PhX	VW/PhY	WU/PhZ
1	0	0,00									
2	0										
3	0										
4	0										
5	0										

INICIO

RESISTENCIA OHMICA DE LOS DEVANADOS						
MATERIAL DEVANADO ALTA TENSIÓN					CONSTANTE	MATERIAL
MATERIAL DEVANADO BAJA TENSIÓN					CONSTANTE	MATERIAL
MEDICIONES						
TAP	ALTA TENSIÓN Ω			REFERIDAS A 85°C		
	TEMPERATURA PRUEBA °C			FASES MEDIDAS		
	FASES MEDIDAS			FASES MEDIDAS		
	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U
1						
2						
3						
4						
5						

RESISTENCIA OHMICA DE LOS DEVANADOS						
TAP	BAJA TENSIÓN $m\Omega$			REFERIDAS A 85°C		
	TEMPERATURA PRUEBA °C			FASES MEDIDAS		
	FASES MEDIDAS			FASES MEDIDAS		
	X-PN	Y-PN	Z-PN	X-PN	Y-PN	Z-PN
N/A						
	X-Y	Y-Z	Z-X	X-Y	Y-Z	Z-X

INICIO

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO, [GΩ]										
TERMINALES	V PRUEBA (VDC)	TIEMPO DE PRUEBA [minutos]						RA	IP	
		0,5	1	3	5	7	9			10
AT-TIERRA										
BT-TIERRA										
AT-BT										

INICIO

Ilustración 19. Pestañas de pruebas sin tensión. Fuente: El Autor.

Una vez realizadas las pruebas sin tensión con los equipos correspondientes se procede a realizar las pruebas de pérdidas de vacío y cortocircuito, dado que la plantilla es semiautomática una vez ingresados los datos del transformador en la pestaña descrita en la ilustración 17 ya habrá casillas llenas para que el personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ que realice las pruebas solo tenga que transcribir los datos obtenidos de las pruebas.

La ilustración 20 muestra las pestañas de las pruebas con tensión

PERDIDAS DE VACIO TRANSFORMADORES TRIFASICOS										
VOLTAJE NOMINAL BT			CORRIENTES DE VACIO [A]					PERIDAS [W]		
%	ESPERADOS	MEDIDOS	FASE R	FASE S	FASE T	PROMEDIO	MEDIDAS	GARANTIZADA	MEDIDAS	GARANTIZADAS
	VOLTIOS						Io %In	Io %In		
90%	0									
100%	0									
110%	0									

INICIO
TABLA DE PERIDAS EN VACIO

PERDIDAS POR CORTOCIRCUITO TRANSFORMADORES TRIFASICOS												
CORRIENTE NOMINAL A.T.				VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO				PERIDAS REFERIDAS AL 100% [W]		PERIDAS REFERIDAS A 85°C [W]		
%	ESPERADA	% ALCANZADO	PERDIDAS MEDIDAS	U-V	V-W	W-U	PROMEDIO	CALCULADA	GARANTIZADA	MEDIDAS	MEDIDAS	GARANTIZADAS
	0,00							UZ %	UZ % 1*			
MINIMA												
MAXIMA												
MEDIDA												

INICIO
TABLA DE PERIDAS POR CORTOCIRCUITO

ENSAYO DE TENSION APLICADA								NORMA	
TENSION APLICADA ESPERADA				MEDICIONES					
PRUEBA	POR A.T.	POR B.T.	V EN EL PT	POR B.T.	V EN EL PT	Referida a AT	I en BT	I FUGA AT [mA]	
AT vs BT Y TIERRA									
BT vs AT Y TIERRA									

INICIO

ENSAYO DE TENSION INDUCIDA				
VOLTAJE DE PRUEBA [V]	FRECUENCIA DE PRUEBA [Hz]	VOLTAJE APLICADO BT [V]	VOLTAJE APLICADO AT [V]	TIEMPO DE PRUEBA [Seg]

INICIO

Ilustración 20. Pestañas de pruebas con tensión. Fuente: El Autor.

Una vez transcritos todos los datos recolectados de las pruebas sin tensión y con tensión para transformadores monofásicos o trifásicos según corresponda el protocolo de pruebas se habrá auto llenado y estará listo para su impresión.

5.8. PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES

El protocolo de pruebas de transformadores ayuda tanto a ELÉCTRICOS GONZÁLEZ como al cliente a tener una garantía de que el producto que se está entregando cumple lo establecido por las normas colombianas y está dentro de los parámetros máximos establecidos.

El protocolo que se diseñó está basado en la norma NTC 1358¹¹ la cual establece los datos mínimos que debe tener un protocolo de pruebas de transformador, así pues, la ilustración 20 y 21 muestra los protocolos para transformadores monofásicos y trifásicos, que se diseñaron para incluirlos en el sistema de gestión de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.

¹¹ ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas. NTC 1358. Protocolo de pruebas para transformadores de distribución. Tercera. 2020.


	FORMATO				CODIGO					
	PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES				VERSION					
					F. APROBACION					
				PAG 1, DE 1						
CLIENTE			OFERTA			TIPO				
TRANSFORMADOR			FABRICANTE			No. SERIE				
DESCRIPCION TECNICA										
Potencia (KVA)		Frecuencia (Hz)		Tension Serie (kV)		Calent. Dev (°C)	Altura Diseño			
Fases		Refrigeración		BIL AT/BT (kV)		Clase Aislam.				
VALORES NOMINALES										
Devanado		Tension (V)	Despacho (V)	Derivaciones		Corriente (A)	Despacho (A)			
Primario										
Secundario										
Resultado de Los Ensayos			Temp. Amb (°C)	0	Hum. Rel. (%)	Pos. Conm.	0			
1	Rigidez Dielectrica	Líquido Aislante		Tension Ruptura (kV)		Método				
2	Resistencia De Aislamiento	Tiempo prueba [min]	Tension de prueba DC				AT	0		
			A.T. vs TIERRA [GΩ]		A.T. vs B.T. [GΩ]		B.T. vs TIERRA [GΩ]	IA	IP	
			IA	IP	IA	IP	IA	IP		
3	Relación De Transformación	Polaridad		Grupo De Conexión		Fase	Fase	Fase	Neutro	
				N/A						
		TAP	A. T. [V]	B. T. [V]	Teorica			Fase medida		% ERROR
					CALC.	MAX	MIN	UX/ux		UX/ux
		1								
2										
3										
4										
5										
4	Resistencia Entre Terminales	Devanado		U-X			Promedio	Material		
		Primario (Ω)								
		Devanado		x-Pn	u-Pn	u-x	Promedio	Material		
		Secundario (mΩ)								
5	Ensayos de Aislamiento	TENSION APLICADA				TENSION INDUCIDA				
		Tension aplicada durante 60 segundos		A.T. contra BT y Tierra		Tension Aplicada en [V]	EN BT			
				B.T. contra A.T. y Tierra		Frecuencia (Hz)	Tiempo de prueba			
6	Ensayo sin carga	Tension [V]	CORRIENTES [A]		Promedio (%)	Garantia (%)	Po Medidas [W]	Po Garantia [W]		
			R	S						
7	Ensayo Cortocircuito	PARAMETROS		Medidas a T° Amb	Ref. al 100% a T° Amb	Referidas al 100% a 85°C	Garantia a 85°C			
		Corriente [A]								
		Tension [V]								
		Perdidas [W]								
		Impedancia [%]								
REGULACION A PLENA CARGA Y F. P. 0.8 (%)				EFICIENCIA PLENA CARGA Y F. P. (%)						
CARACTERISTICAS MECANICAS										
MASA TOTAL (kg)				VOLUMEN DEL LIQUIDO AISLANTE						
				LITROS		GALONES				
DIMENSIONES APROXIMADAS DEL TANQUE PRINCIPAL (m)						PINTURA				
LARGO		ANCHO	ALTO		COLOR:	ESPESOR:				
DIMENSIONES EXTERNAS DEL TRANSFORMADOR (m)			FRENTE	PROFUNDIDAD		ALTURA				
OBSERVACIONES:		Libre de PCE								
CLIENTE:			PROVEEDOR / CONTROL DE CALIDAD			FECHA				
FIRMA			FIRMA							

Ilustración 21. Protocolo para de pruebas transformador monofásico. Fuente: El Autor.


		FORMATO				CODIGO		
		PROCOLO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES				VERSION		
						F. APROBACIÓN		
						PAG 1, DE 1		
CLIENTE		OFERTA				TIPO		
TRANSFORMADOR		FABRICANTE				No. SERIE		
DESCRIPCION TECNICA								
Potencia (KVA)		Frecuencia (Hz)		Tensión Serie (kV)		Calent. Dev (°C)	Altura Diseño	
Fases		Refrigeración		BIL AT/BT (kV)		Clase Aislam.		
VALORES NOMINALES								
Devanado		Tensión (V)		Despacho (V)		Derivaciones	Corriente (A)	
Primario								
Secundario								
Resultado de Los Ensayos				Temp. Amb (°C)		0	Hum. Rel. (%)	
							Pos. Conm.	
							0	
1	Rigidez Dielectrica	Líquido Aislante		Tensión Ruptura (kV)		Método		
2	Resistencia De Aislamiento	Tiempo prueba [min]		Tensión de prueba DC		AT	BT	
		10		A.T. vs TIERRA [GΩ]		A.T. vs B.T. [GΩ]	B.T. vs TIERRA [GΩ]	
				IA	IP	IA	IP	
3	Relación De Transformación	Polaridad		Grupo De Conexión		Fase	Fase	
				0			Neuro	
		TAP	A. T. [V]	B. T. [V]	Teorica		Fase medida	
					CALC.	MAX	MIN	% ERROR
		1			UV/PnX	VW/PnY	VW/PnY	UV/PnX
		2						VW/PnY
4	Resistencia Entre Terminales	Devanado		U-V	V-W	W-U	Promedio	
		Primario (Ω)					Material	
		Devanado		X-Pn	Y-Pn	Z-Pn	Promedio	Material
		Secundario (mΩ)						
5	Ensayos de Aislamiento	TENSION APLICADA				TENSION INDUCIDA		
		Tensión aplicada durante 60 segundos		A.T. contra BT y Tierra		Tension Aplicada en [V]		EN BT
				B.T.. contra A.T. y Tierra		Frecuencia (Hz)		EN AT
								Tiempo de prueba
6	Ensayo sin carga	Tension [V]	CORRIENTES [A]			Promedio (%)	Garantia (%)	
			R	S	T		Po Medidas [W]	
							Po Garantia [W]	
7	Ensayo Cortocircuito	PARAMETROS		Medidas a T° Amb		Ref. al 100% a T° Amb	Referidas al 100% a 85°C	
		Corriente [A]						
		Tensión [V]						
		Perdidas [W]						
		Impedancia [%]						
REGULACIÓN A PLENA CARGA Y F. P. 0.8 (%)				EFICIENCIA PLENA CARGA Y F. P. (%)				
CARACTERISTICAS MECANICAS								
MASA TOTAL (kg)				VOLUMEN DEL LIQUIDO AISLANTE				
				LITROS		GALONES		
DIMENSIONES APROXIMADAS DEL TANQUE PRINCIPAL (m)				PINTURA				
LARGO		ANCHO		ALTO		COLOR:	ESPESOR:	
DIMENSIONES EXTERNAS DEL TRANSFORMADOR (m)		FRENTE		PROFUNDIDAD		ALTURA		
OBSERVACIONES:		Libre de PCE						
CLIENTE:				PROVEEDOR / CONTROL DE CALIDAD			FECHA	
FIRMA				FIRMA				

Ilustración 22. Protocolo para de pruebas transformador trifásico. Fuente: El Autor.

CAPÍTULO SEIS

Este capítulo presenta los productos que se entregan a la empresa dentro del trabajo de grado y acorde con los compromisos adquiridos, los cuales comprenden la capacitación al personal, el acompañamiento en las pruebas piloto, además, los trabajos externos que se realizan con la empresa que también están acorde a pruebas diagnósticas a transformadores de distribución y finalmente la documentación que se realizó y se entregó en pro de la certificación con el CIDET

6. RESULTADOS DEL TRABAJO DENTRO DE LA EMPRESA

El trabajo en la empresa se desarrolló por alrededor de 10 meses de los cuales obtuvieron los siguientes trabajos:

- Capacitaciones al personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en pruebas a transformadores de distribución.
- Acompañamiento en la modificación y montaje del laboratorio de pruebas.
- Pruebas piloto durante todo el proceso para corroborar funcionalidad del laboratorio de pruebas.
- Trabajos externos con la empresa en pruebas de rutina a transformadores de distribución.
- Elaboración de documentación para homologación del taller con el CIDET.

6.1. CAPACITACIONES AL PERSONAL DE ELECTRICOS GONZALEZ

Se realizaron capacitaciones al personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en temas relacionados con las pruebas a transformadores de distribución y a seguridad y riesgo eléctrico.

El contenido de las capacitaciones incluyó la parte teórica y la parte práctica, tanto con los equipos para las pruebas sin tensión como con el banco de pruebas para las pruebas con tensión.

En las capacitaciones se incluyó todo el personal de ELECTRICOS GONZALEZ y el acompañamiento de personal externo que siguiendo todas las normas y medidas de seguridad sugeridas por la empresa se capacito también en los aspectos técnicos que se mencionaron en las capacitaciones.



Ilustración 23. Capacitaciones a personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en pruebas a transformadores de distribución.



Ilustración 24. Capacitaciones a personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ en riesgo y seguridad eléctrica.

6.2. MODIFICACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS

Inicialmente el banco de pruebas contaba con equipos adquiridos por la empresa que no estaban conectados y estaban aislados de las pruebas, equipos que se encontraban desprogramados y algunos que no tenían funcionalidad dentro de la consola de pruebas.

No existían los transformadores intermedios ni el variac monofásico para la alimentación con excitación independiente del generador.



Ilustración 25. Estado inicial de la consola de pruebas en el laboratorio de pruebas



Ilustración 26. Estado final de la consola de pruebas en el laboratorio de pruebas.

Se instaló un tablero que se denominó tablero de control T-CTRL el cual contiene las protecciones de las pruebas que se realizan y un tablero de transformadores denominado T-TRF el cual tiene los transformadores intermedios en las pruebas de pérdidas por vacío y cortocircuito y el transformador para prueba de tensión inducida

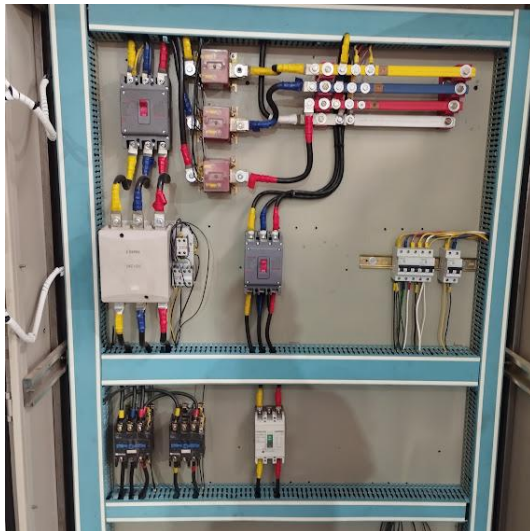


Ilustración 27. Tablero de control T-CTRL



Ilustración 28. Tablero de transformadores T-TRF

Todas las descripciones de los elementos que incluye la consola de mando y los tableros están designadas en el manual de procedimientos entregado en la documentación a ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

6.3. PRUEBAS PILOTO A TRANSFORMADORES USANDO EL LABORATORIO DE PRUEBAS

Durante todo el proceso se realizaron pruebas a transformadores de distribución de diferentes potencias y diferentes niveles de tensión, sin embargo, hubo transformadores con los cuales se verificó la capacidad del laboratorio de pruebas.

6.3.1. Transformador de 1200 KVA de una PCH

Las pruebas piloto al transformador de la PCH (pequeña central hidroeléctrica) se realizaron una vez el transformador fue reparado después de una salida por descarga atmosférica. Era un transformador especial ya que funcionaba como transformador elevador grupo de conexión Dy5 sin neutro visible en la carcasa.

Las características del transformador

CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR	
MARCA	SIEMENS
POTENCIA	1200 kVA
VOLTAJE	480/13200
GRUPO DE CONEXIÓN	Dy5
AISLAMIENTO	Ao
REFRIGERACIÓN	ONAN

El transformador se le realizaron las pruebas sin tensión las cuales resultaron satisfactorias y las pruebas con tensión las cuales también se pudieron realizar, con la ayuda de un transformador intermedio. Los resultados de las pruebas hacen parte de la confidencialidad de la empresa con el cliente.



Ilustración 29. Pruebas piloto a transformador PCH

6.3.2. Transformador de 500 KVA

Las características del transformador

CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR	
MARCA	ABB
POTENCIA	500 KVA
VOLTAJE	34500/13800
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn5
AISLAMIENTO	Ao
REFRIGERACIÓN	ONAN



Ilustración 30. Pruebas piloto a transformador de 500 KVA

6.3.3. Transformador de 225 KVA

Las características del transformador

CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR	
MARCA	SIEMENS
POTENCIA	225 KVA
VOLTAJE	34500/214-123
GRUPO DE CONEXIÓN	Dyn5
AISLAMIENTO	Ao
REFRIGERACIÓN	ONAN



Ilustración 31. Pruebas piloto a transformador de 225 KVA

Se realizó todo el acompañamiento montaje, conexión y evaluación de las pruebas a transformadores de distribución de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ cuyos resultados de las pruebas hacen parte del sistema de calidad de la empresa y están bajo acceso restringido entre el cliente y ELÉCTRICOS GONZÁLEZ

6.4. ACOMPAÑAMIENTO A TRABAJOS EXTERNOS

ELÉCTRICOS GONZÁLEZ como empresa participa en licitaciones públicas en trabajos relacionados con su misión es así como durante el proceso del trabajo se tuvo la oportunidad de participar como tesista de la empresa en trabajos importantes para la labor económica de la empresa los cuales fueron:

- Trabajos de mantenimiento a transformadores del sector público

A finales del año 2021 Eléctricos González ganó una licitación pública la cual tenía como objetivo pruebas de rutina a transformadores de edificaciones de entidades del estado en el departamento de Santander; Se realizó el acompañamiento por parte del autor del presente trabajo a la empresa como acuerdo para asegurar y respaldar los equipos utilizados en las pruebas de rutina.

En total se realizaron pruebas de relación de transformación, prueba de resistencia óhmica de los devanados, pruebas de resistencia de aislamiento y termografías con resultados satisfactorios

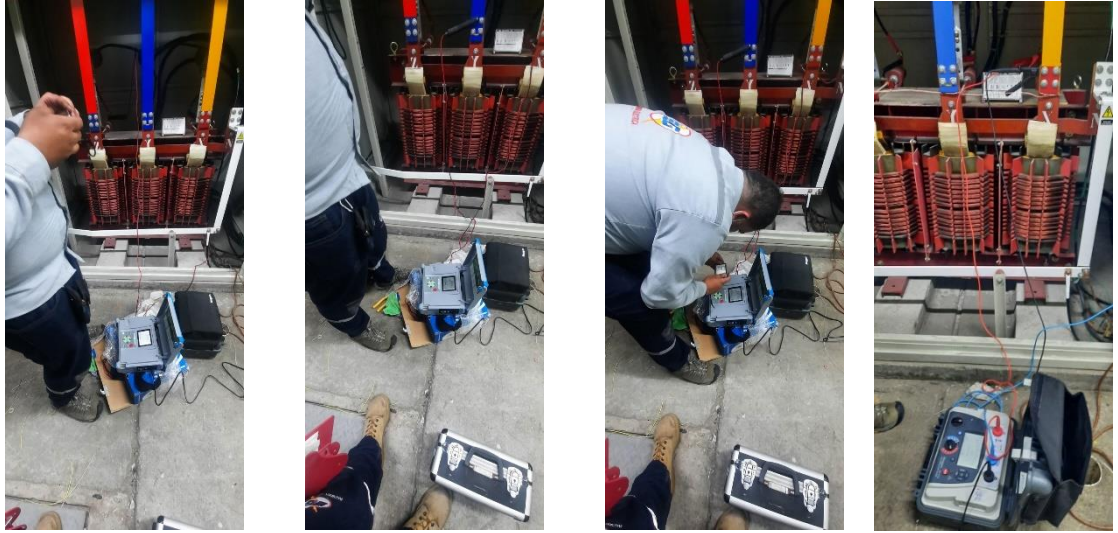


Ilustración 32. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.

- Trabajo de mantenimiento empresas de la región.

En el año 2022 se adjudicó un contrato a ELÉCTRICOS GONZÁLEZ cuyo objetivo era el retro llenado de 2 Transformadores de potencia propiedad de una empresa que opera en la región. Uno de los tiene una potencia de 1250 kVA dentro de la planta. y el otro hace parte del respaldo del banco de transformadores monofásicos de 3000 kVA. El objetivo del trabajo era realizar el retro llenado de los dos transformadores y realizar pruebas de aislamiento antes del retro llenado, con los transformadores sin aceite y con el aceite nuevo libre de PCB's.

Las pruebas se realizaron con éxito en los dos transformadores entregando las pruebas a conformidad del cliente.



*Ilustración 33. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ-
Empresas regionales transformador de 1250 KVA*



*Ilustración 34. Trabajos externos con la empresa ELÉCTRICOS GONZÁLEZ-
Empresas regionales transformador de 3000 KVA*

6.5. ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN PARA LA HOMOLOGACIÓN DEL TALLER

Como se estableció en el numeral 3.2.1. Requisitos del CIDET para homologación del taller. Del presente trabajo se entrega a la empresa la siguiente documentación:

- Manual de procedimientos del laboratorio de pruebas: Incluye los procedimientos para realizar las pruebas contempladas de:
 - Manual de procedimientos del laboratorio de pruebas.
 - Manual de procedimientos de relación de transformación.
 - Manual de procedimientos de resistencia óhmica de los devanados.
 - Manual de procedimientos de resistencia de aislamiento.
 - Manual de procedimientos de pérdidas en vacío y por cortocircuito.
 - Manual de procedimientos de prueba de tensión aplicada.
 - Manual de procedimientos de prueba de tensión inducida.
- Normas de las pruebas aplicables a pruebas de transformadores de distribución
- Hojas de vida actualizadas de los equipos utilizados en el laboratorio de pruebas.
- Formato de tomas de datos para pruebas de salida.
- Esquemas de conexión para estudio dentro del laboratorio de pruebas
- Hoja de datos de Excel para generar protocolo de pruebas a transformadores.

CONCLUSIONES

- Es necesario que se siga manteniendo la cooperación entre la industria y la UPTC especialmente en el programa de ingeniería electromecánica, esto permitirá fortalecer los conocimientos y las destrezas de los estudiantes de pregrado enfrentándolos a casos reales de la industria y, además, permitirá a las empresas obtener experiencias y alianzas beneficiosas para su parte comercial, convirtiéndolas en empresas referentes dentro del sector eléctrico en departamento y en el país.
- La acreditación de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ con el CIDET permitirá ampliar las fronteras comerciales de la empresa y ganar confianza entre los operadores de red para el mantenimiento de sus transformadores, A su vez, esto le permitirá a la empresa presentarse a ofertas en mantenimiento y pruebas a transformadores consolidándose en la región y en la ciudad como una empresa líder en el mantenimiento y pruebas a transformadores.
- Se elaboró la documentación requerida por ELÉCTRICOS GONZÁLEZ para poder presentar auditoria frente al CIDET en cuanto a la parte técnica del laboratorio de pruebas, mostrando los requisitos como lo son los procedimientos de pruebas, formatos de toma de datos y análisis de los resultados de los ensayos.
- Se realizó el acompañamiento permanente a la modificación del laboratorio de pruebas para que todas las pruebas quedaran funcionales, desde la consola de mando hasta los tableros de transformadores y equipos auxiliares, así pues, se pudieron realizar las pruebas piloto para medir la capacidad del laboratorio de pruebas de ELECTRICOS GONZÁLEZ y clasificarlo dentro de la categoría IV según la NTC 2742.
- Se capacito el personal de ELECTRICOS GONZALEZ en pruebas a trasformadores de distribución, brindándole a la empresa y a los empleados que mejoren la calidad en cuanto a las pruebas que se realizan una vez están reparados los transformadores, así como mejorar la productividad y fomentar el desarrollo de habilidades del personal en pruebas a transformadores de distribución.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de ampliar la capacidad del laboratorio de pruebas de ELECTRICOS GONZÁLEZ se recomienda una reestructuración eléctrica de todo el taller de ELECTRICOS GONZÁLEZ con un diseño que tenga subestación propia del taller, esto con el fin de probar transformadores de potencia con capacidades superiores a 1250 kVA que dependerá de la capacidad económica de la empresa.
- Se recomienda crear un nuevo proceso dentro del mapa de procesos de la empresa que incluya todo lo relacionado al laboratorio de pruebas.
- Es de vital importancia que se sigan todas las normas de seguridad descritas en el manual de procedimientos del laboratorio de pruebas ya que se manejan tensiones elevadas y en caso de falla se pueden presentar tensiones de paso y de contacto que pueden ser mortales para el personal de ELÉCTRICOS GONZÁLEZ.
- El convenio adscrito entre Eléctricos González y la UPTC permitirá que se desarrollen futuros trabajos mancomunados para el desarrollo y el bienestar de la región, se recomienda que trabajos como el presentado continúen desarrollándose bajo esta modalidad de practica con proyección empresarial.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. GONZALEZ, SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD, Duitama, 2022.
- [2] M. I. Lopez, "Normas Técnicas, qué son y para qué sirven," *Hojitas del conocimiento*, pp. 321-322, 2020.
- [3] ICONTEC, "INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS," 2022. [Online]. Available: <https://www.icontec.org/>.
- [4] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 2743. Electrotecnia. Campos de prueba para transformadores. Requisitos mínimos y clasificación, Primera ed., 1997, p. 12.
- [5] CIDET, "CIDET," 2022. [Online]. Available: <https://cidet.org.co/certificacion/homologacion-talleres/>.
- [6] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 471. TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN, POLARIDAD Y RELACIÓN DE FASE, Primera ed., 2017, p. 11.
- [7] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 375. TRANSFORMADORES. MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS, Primera ed., 2017, p. 7.
- [8] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 837. Transformadores. Ensayo del dieléctrico, Segunda ed., 2019, p. 18.
- [9] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 818. ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, EFICIENCIA Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO, Quinta ed., 2019, p. 8.
- [10] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 819. ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS AUTORREFRIGERADOS Y SUMERGIDOS EN LÍQUIDO. CORRIENTE SIN CARGA, EFICIENCIA Y TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO, Quinta ed., 2019, p. 9.
- [11] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 1954. ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES RECONSTRUIDOS Y REPARADOS. REQUISITOS., Tercera ed., 1996, p. 5.

- [12] P. A. PEREZ, TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN (TEORIA, CALCULO CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS), Tercera ed., CIUDAD DE MEXICO: EDITORIAL REVERTÉ, 2008, p. 238.
- [13] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 836 ELECTROTECNIA. NIVELES DE AISLAMIENTO Y ENSAYOS PARA TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN LÍQUIDO REFRIGERANTE, Cuarta ed., 2019, p. 9.
- [14] IEC-International Electrotechnical Commission, IEC 60076-3:2013 Power transformers - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air, Tercera ed., 2013, p. 234.
- [15] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 380. TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS. ENSAYOS ELÉCTRICOS. GENERALIDADES, Segunda ed., 2018, p. 8.
- [16] ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 1358. Protocolo de pruebas para transformadores de distribución, Tercera ed., 2020, p. 6.
- [17] ABB, Testing of Power Transformers. Routine tests, Type tests and Special tests, Zürich, 2003.