



UNIVERSIDAD  
DE LOS ANDES  
MÉRIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

**ELABORACIÓN DE MANUAL DE MÉTODOS DE ENSAYO  
PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE  
DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA PARA BOBINADOS  
OCCIDENTE, C.A.**

Br. Frank José Guadua Ramírez

Mérida, Marzo 2021

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

**ELABORACIÓN DE MANUAL DE MÉTODOS DE ENSAYO  
PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE  
DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA PARA BOBINADOS  
OCCIDENTE, C.A.**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electricista.

Br. Frank José Guadua Ramírez  
Tutor: Prof. Pedro Omar Mora  
Asesores: Ing. Jesús Atilio Márquez  
Ing. Daniel Alejandro Márquez

Mérida, Marzo 2021

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

**ELABORACIÓN DE MANUAL DE MÉTODOS DE ENSAYO PARA  
TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN Y  
POTENCIA PARA BOBINADOS OCCIDENTE, C.A.**

Br. Frank José Guadua Ramírez

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

---

Dr. Carlos A. Muñoz B.

Jurado

---

Dra. Marisol Dávila C.

Jurado

---

MSc. Pedro Omar Mora.

Tutor

## **DEDICATORIA**

A DIOS primeramente por haberme dado el regalo de la vida, permitirme llegar hasta este punto tan importante en mi formación profesional y haberme dado principalmente salud y sabiduría para lograr mis objetivos.

A mi padre ENRIQUE GUADUA, pilar fundamental en mi vida, ejemplo de vida, siempre fue tu sueño mi formación profesional, aunque ya no estas entre nosotros este logro es tuyo. “TE AMO PAPÁ”

A mi madre ELY RAMIREZ, siempre con tu apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, has sido ejemplo de superación, motivación, valores, sin ti en este caminar no lo habría logrado, “TE AMO MAMÁ”.

A MARIA LAURA PEREZ M, eres la persona que ha transitado conmigo este largo camino siempre en las buenas y en las no tan buenas, pero con un objetivo claro, así lo hemos logrado unidos, gracias amor, “TE AMO”.

A mi FAMILIA, han sido el respaldo y fuente de inspiración siempre creyendo en mí, gracias por estar siempre ahí, este logro se los dedico a ustedes.

**“DIOS LOS BENDIGA”**

## AGRADECIMIENTOS

A la Ilustre Universidad De Los Andes y La Facultad de Ingeniería, por ser mi casa de estudios y abrirme las puertas para mi formación profesional, a todo el personal que hace vida en la institución en especial a los que laboran en el Escuela de Ingeniería Eléctrica porque gracias a su arduo trabajo contamos con tan buena Escuela.

**Siempre será un orgullo haber sido parte de tan Ilustre Universidad.**

A mis compañeros de estudio, amigos con quienes compartí momentos de alegrías, tristezas y frustraciones, apoyándonos mutuamente para seguir adelante con nuestra meta.

A mi tutor académico, PEDRO OMAR MORA, por haberme brindado su tutoría, impartíendome su conocimiento y apoyo cuando lo necesité.

A Bobinados Occidente C.A. por haberme dado la oportunidad de desarrollar el presente proyecto, hicieron posible que mi trabajo se llevara a cabo, brindándome sus conocimientos.

Y a todas esas personas que contribuyeron a que esta meta se materializara.

**¡Muchas Gracias!**

**Frank José Guadua Ramírez. Elaboración de manual de métodos de ensayo para transformadores trifásicos de distribución y potencia para Bobinados Occidente, C.A.**

Universidad de Los Andes. Tutor: Pedro Omar Mora. Marzo 2021.

## **Resumen**

En el siguiente trabajo se elabora una investigación exhaustiva sobre el funcionamiento de los transformadores trifásicos de distribución y de potencia sumergidos en baño de aceite, así como también sus características constructivas. Bobinados Occidente C.A tiene certificado con la norma ISO 9001:2015 con un alcance que abarca solo el servicio de reconstrucción y mantenimiento a transformadores monofásicos, con el propósito de ampliar el alcance de la certificación mediante una nueva auditoría ante FONDONORMA del servicio de reconstrucción y mantenimiento de transformadores trifásicos de potencia, se planteó elaborar un manual de procedimientos y métodos de ensayo al proceso de “producción potencia”. Para la elaboración del manual se aplicó una metodología de investigación descriptiva y de campo, donde se logró la elaboración de dicho manual y se explica de forma concisa, las actividades que se deben aplicar durante la prestación del servicio, además cómo aplicar cada uno de los ensayos, ya sea para realizar el diagnóstico de recepción a transformadores, conformidad de sub productos durante el proceso productivo y la conformidad de producto final. Este manual es de gran importancia ya que mediante su aplicación permite a la empresa, orientación al personal responsable de ejecutar las actividades definidas para el proceso y a su vez documentarlas a través de procedimientos, formularios, reportes, instructivos de trabajo e instructivos de métodos de ensayos facilitando así su aplicación continua y sistemática.

### **Descriptor:**

Manual de procedimientos, Reconstrucción, mantenimiento o reparación de transformadores, Transformadores trifásicos de distribución y de potencia, Métodos de ensayo.

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pag.</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1 MARCO PROBLEMATICO .....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.3.1 General.....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 METODOLOGÍA .....	6
1.5 ALCANCES .....	6
CAPITULO II.....	7
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 EL TRANSFORMADOR.....	7
2.2 TRANSFORMADORES TRIFASICOS .....	8
2.3 PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS .....	8
2.3.1 Núcleo.....	8
2.3.2 Devanados. ....	10
2.3.3 Parte activa. ....	11
2.3.4 Aislamiento.....	11
2.3.5 Sistema de refrigeración. ....	12
2.3.6 Tanque o Cuba.....	14
2.3.7 Cambiador de tomas de regulación. ....	14
2.3.8 Aisladores (bornes) y pasantes (Salidas).....	15
2.3.9 Conexiones de los transformadores en sistemas trifásicos.....	17
2.3.10 Elementos de medición y protección en Transformadores Trifásicos.....	21
2.3.11 Placa Característica.....	23

2.4	TIPOS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE.....	23
2.4.1	Transformador tipo subestación. ....	23
2.4.2	Transformador tipo Pedestal (PAd Mouted). ....	23
2.4.3	Transformador Tipo Sumergible .....	25
2.5	MÉTODOS DE ENSAYOS A TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS .....	26
2.5.1	Inspección por atributos.....	26
2.5.2	Ensayo de Relación de Transformación (TTR).....	26
2.5.3	Ensayo de verificación del grupo vectorial .....	28
2.5.4	Ensayo de medida de resistencia de aislamiento. ....	30
2.5.5	Ensayo de medida de resistencia de los devanados.....	33
2.5.6	Ensayo de medida de las pérdidas y la corriente de vacío. ....	35
2.5.7	Ensayo de medida de las pérdidas debidas a la carga y tensión de cortocircuito. 39	
2.5.8	Ensayo de tensión aplicada.....	47
2.5.9	Ensayo de tensión inducida. ....	48
2.5.10	Ensayo de factor de potencia de aislamiento.....	50
2.5.11	Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.....	51
2.5.12	Ensayo de hermeticidad.....	52
2.6	EQUIPOS DE MEDICION UTILIZADOS EN LOS METODOS DE ENSAYOS 53	
2.7	NORMA ISO 9001:2015 .....	54
	CAPITULO III .....	56
3	MARCO METODOLOGICO .....	56
3.1	IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DONDE SE LLEVÓ A CABO EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	56
3.1.1	Misión.....	56
3.1.2	Visión. ....	56

3.1.3	Valores.....	57
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	57
3.2.1	Entrevistas. ....	57
3.2.2	Muestra .....	58
3.2.3	Material Documentado .....	58
3.3	SINTESIS DE CALIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION POTENCIA ..	58
3.3.1	Documentos .....	59
3.3.2	Procedimientos .....	61
3.3.3	Planes de calidad .....	61
3.3.4	Planos .....	62
3.3.5	Formularios.....	62
3.3.6	Instructivos de trabajo .....	63
3.3.7	Instructivos de métodos de ensayo. ....	64
3.3.8	Definición y distribución de áreas de trabajo.....	64
3.4	ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS A TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS COMO DIAGNÓSTICO DE RECEPCIÓN. ....	66
3.5	ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS AL SUBPRODUCTO DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO. ....	67
3.6	ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS A LA CONFORMIDAD DEL PRODUCTO FINAL.....	71
CAPITULO IV .....		73
4	ANALISIS Y RESULTADOS .....	73
4.1	RECEPCION DESARME Y DIAGNOSTICO.....	73
4.1.1	Ensayo De Resistencia De Aislamiento: .....	74
4.1.2	Ensayo de Rigidez Dieléctrica del Aceite. ....	74
4.1.3	Ensayo De Relación De Transformación (TTR). ....	75
4.2	SEGUIMIENTO AL TRANFORMADOR.....	77
4.2.1	Área 2: Prelavado, Lavado y Pintado. ....	77

4.2.2	Área 3: Carpintería Metalmecánica.....	81
4.2.3	Área 5: Parte Activa.....	81
4.2.4	Área 6: Preparación de Aislamiento y Refrigeración de Bobinas.....	84
4.2.5	Área 7: Fabricación de Bobinas.....	84
4.2.6	Área 8: de Horneo.....	85
4.2.7	Área 9: Ensamblaje del Transformador.....	85
4.3	PROTOCOLO DE ENSAYOS FINALES.....	87
4.3.1	Ensayo de Relación de Transformación.....	88
4.3.2	Ensayo de Resistencia de Aislamiento.....	88
4.3.3	Ensayo de Medición de Pérdidas en Vacío.....	89
4.3.4	Ensayo de Medición de Pérdidas en Cortocircuito.....	90
4.3.5	Ensayo de Tensión Inducida.....	90
4.3.6	Ensayo de Tensión Aplicada.....	90
4.3.7	Ensayo de Rigidez Dieléctrica del Aceite.....	91
4.3.8	Ensayo de resistencia de los devanados.....	91
4.3.9	Ensayo de Factor de Potencia y Capacitancia.....	92
4.4	DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL BANCO DE PRUEBAS TRIFÁSICO DE BOBINADOS OCCIDENTE C.A.....	93
	CONCLUSIONES.....	94
	RECOMENDACIONES.....	96
	BIBLIOGRAFÍA.....	97

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pag.</b>
2.1 Circuito magnético de Transformadores Monofásicos [2].	8
2.2 Circuito Magnético de Transformadores Trifásicos [2].	9
2.3 Sección Transversal de Núcleos de Transformadores Trifásicos [2].	9
2.4 Nomenclatura utilizada para designación de la estrella fasorial de un montaje de transformación trifásico [2].	18
2.5 Conexiones fundamentales de los devanados en los transformadores o bancadas trifásicas permiten establecer un desfase entre los voltajes de A. T. y B. T. [2].	18
2.6 Conexión del sistema estrella – zig – zag (Y – Z) [1].	21
2.7 Aspectos constructivos del transformador trifásico tipo subestación.	22
2.8 Transformador tipo subestación con garganta y sin garganta.	24
2.9 Transformador tipo Pad Mouted.	25
2.10 Transformador tipo sumergible.	25
2.11 Circuito básico del puente para medir la relación de transformación [7].	28
2.12 Determinación de la polaridad de un transformador usando una fuente de corriente alterna [7].	29
2.13 Medición del Resistencia de devanados método Voltmetro-Ampermetro [7].	34
2.14 Conexiones de Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Vacío [9].	36
2.15 Conexiones de Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Cortocircuito [9].	40
2.16 Configuración general del puente de impedancia [9].	41
2.17 Puente de impedancia tipo RC; Puente de impedancia tipo brazo de relación de transformación [9].	42
2.18 Descomposición fasorial de la corriente de aislamiento [6].	50
3.1PRP-PLN-001 Plano de distribución de áreas del proceso “Producción Potencia PRP”	65
4.1 PRP-FOR-001 FICHA TECNICA del Transformador "LUISCERRANO1/19".	73
4.2 PRP-FOR-002 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (resultados de ensayos de diagnóstico).	75
4.3 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (resultados de ensayos de TTR).	75
4.4 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (IMÁGENES DE LA INSPECCIÓN).	76

4.5 PRP-FOR-005 PARTIDAS GENERALES DE SERVICIO. (Planificación de actividades transformador "LUISCERRANO") (PARTE I). .....	78
4.6 PRP-FOR-005 PARTIDAS GENERALES DE SERVICIO. (Planificación de actividades transformador "LUISCERRANO") (PARTE II). .....	79
4.7 Antes y después de la aplicación de pintura al transformador "LUISCERRANO1/19".	80
4.8 PRP-FOR-009 CARPETA DE RURA (Registro de aplicación de mantenimiento y pintura a los accesorios del transformador). .....	80
4.9 PRP-FOR-010 PLANO TECNICO (Plano para corte de adecuación de aisladores de A.T.). .....	81
4.10 Desarme de parte activa. ....	82
4.11 PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA (Datos obtenidos durante el desarme de la parte activa). .....	82
4.12 Visualización del proceso de armado de parte activa. ....	83
4.13 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de TTR posterior al ensamble de la parte activa). .....	83
4.14 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de TTR posterior al ensamble del cambiador de tomas). .....	83
4.15 PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA (Características constructivas de las bobinas). .....	84
4.16 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de resistencia de aislamiento después del proceso de secado). .....	85
4.17 Transformador "LUISCERRANO1/19" luego de ensamblado. ....	86
4.18 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Resultados de TTR posterior al ensamblaje del transformador). .....	86
4.19 PRP-FOR-012 INSPECCION POR ATRIBUTOS TRANSFORMADOR "LUISCERRANO1/19". .....	87
4.20 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de TTR). .....	88
4.21 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de resistencia de aislamiento). .....	89
4.22 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo en vacío). .....	89
4.23 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de cortocircuito). .....	90
4.24 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de Tensión Inducida y Tensión Aplicada). .....	91

4.25 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de rigidez dielectrica del aceite).....	91
4.26 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de resistencia de los devanados). ....	91
4.27PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de factor de potencia de aislamiento). ....	92

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pag.</b>
2.1 Símbolos para señalar la naturaleza del refrigerante y su modo de circulación [2]. ....	13
2.2 Tipos de enfriamiento para transformadores sumergidos en aceite [2]. .....	13
2.3 Posibles conexiones de los devanados de A. T. y B. T. de un transformador trifásico o de una bancada trifásica [2]. .....	21
2.4 Transformadores con terminales marcados y conexión según el diagrama fasorial de voltaje para transformadores de tres fases [7]. .....	30
2.5 Factores de corrección de resistencia de aislamiento a 20° C [7]. .....	31
2.6 Valores de referencia para determinar la condición del aislamiento con índice de absorción [7]. .....	32
2.7 Valores de referencia para determinar la condición del aislamiento por índice de polarización [7]. .....	33
2.8 Requerimiento para la corrección de errores por ángulo de fase [7]. .....	43
2.9 Valores de tensión para el ensayo de tensión aplicada [7]. .....	48
3.1 Control documentado de manual de procedimientos “Producción Potencia (PRP)”. ...	59
3.2 Documentos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice B) ...	59
3.3 Documentos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP” (cont.). (Ver apéndice B) .....	60
3.4 Procedimientos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice C) .....	60
3.5 Planes de Calidad elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice D) .....	61
3.6 Formularios elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice F) ...	62
3.7 Instructivos de Trabajo elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice G) .....	63
3.8 Instructivos de Metodos De Ensayo elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice H). .....	64
3.9 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 3. ....	68
3.10 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 3. ....	68

3.11 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 4. ....	68
3.12 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 5. ....	69
3.13 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 6. ....	70
3.14 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 7. ....	70
3.15 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 8. ....	70
3.16 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 9. ....	71

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## INDICE DE APÉNDICE

<b>Apéndice</b>	<b>Ítem</b>	<b>Contenido</b>
A		MANUAL
	1	GLOSARIO DE TÉRMINOS.
	2	OBJETIVO DEL MANUAL.
	3	CONSERVACIÓN DEL MANUAL.
	4	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.
	5	DOCUMENTOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN:
B	5.1	DOCUMENTACIÓN:
C	5.2	PROCEDIMIENTOS:
D	5.3	PLANES DE CALIDAD:
E	5.4	PLANOS:
F	5.5	FORMULARIOS:
G	5.7	INSTRUCTIVOS DE TRABAJO
H	5.8	INSTRUCTIVOS DE METODOS DE ENSAYO:

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo que se desarrolla a continuación da a conocer, los principales aspectos constructivos de los transformadores trifásicos de distribución y de potencia sumergidos en líquido aislante, así como los ensayos que son aplicables para realizar diagnósticos de fallas, así como para su conformidad antes de la puesta en servicio.

El transformador es una máquina eléctrica, destinada a funcionar con corriente alterna, que permite transformar la energía eléctrica de unas magnitudes de tensión y voltaje a otros valores diferentes, la importancia de los transformadores se debe a que gracias a ellos ha sido posible el desarrollo en la utilización de la energía eléctrica, haciendo posible la aplicación práctica del transporte de la energía a grandes distancias, es importante destacar que la transmisión de la energía eléctrica desde los lugares donde se produce hasta los numerosos centros de consumo es tanto más económico como más alta la tensión en las líneas, pues con ello se hace menor la corriente por lo tanto la sección de los conductores es menor. Los transformadores permiten realizar de forma idónea estas necesidades.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un manual de procedimientos para la recuperación de transformadores trifásicos de distribución y potencia, en Bobinados Occidente, C.A. con la finalidad de ampliar el alcance de la certificación ante FONDONORMA mediante una nueva auditoría.

El proceso investigativo desarrollado, fue planificado previamente tomando como punto de partida la problemática que motivo a el desarrollo de la investigación, a partir de allí se plantearon IV capítulos:

Capítulo I, en él, se presentará el planteamiento del problema, haciendo una descripción de los objetivos, justificación, metodología y alcances.

Capítulo II, en el que se exponen las bases teóricas que fundamentan el proyecto a través de definiciones.

Capítulo III, se describe la metodología utilizada para de la recopilación de datos, diseño de la investigación seleccionada, tipo de investigación ejecutada y los recursos usados para llevar a cabo de manera correcta la aplicación del presente proyecto.

Capítulo IV, donde se hace referencia a los resultados de las metodologías aplicadas en el proyecto para lograr el objetivo de la elaboración de un “Manual de Procedimientos para el Proceso de Producción Potencia (PRP)” para Bobinados Occidente C.A.

Los resultados serán presentados mediante el seguimiento a un transformador trifásico al que se ejecutaron todas las actividades correspondientes al servicio de reconstrucción.

Finalmente se presenta una serie de conclusiones y recomendaciones que hacen referencia al proyecto elaborado.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# **CAPITULO I**

## **MARCO PROBLEMÁTICO**

El presente capítulo expone el planteamiento del problema, la justificación, la metodología a utilizar y los objetivos trazados para llevar a cabo el manual de métodos de ensayo para transformadores trifásicos y de potencia en Bobinados Occidente C.A.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Bobinados Occidente C.A. es una organización que se dedica a la reconstrucción y mantenimiento de transformadores eléctricos de distribución y potencia, asume el compromiso de satisfacer las necesidades de sus clientes buscando garantizar excelentes productos y servicios con altos estándares de calidad. Actualmente la organización cuenta con una certificación según las normas ISO 9001:2015 con un alcance que abarca la reconstrucción y mantenimiento de transformadores monofásicos de distribución, la empresa cuenta con un manual de procesos de producción por el cual se rige para cada una de las actividades que se realiza desde la recepción, prestación del servicio y entrega del producto final. En el área de transformadores trifásicos y potencia existe un déficit con lo que respecta a la existencia de un manual de procedimientos para la reconstrucción y mantenimiento dichos transformadores, en el proceso de producción se realizan actividades de manera similar que para los servicios prestados a los transformadores monofásicos de distribución, sin embargo no existe un procedimiento que permita mantener documentadas las actividades que se realizan en el proceso de producción a través de procedimientos, formularios, reportes, instructivos de trabajo, instructivos de métodos de ensayo o cualquier otro

documento que sea necesario para asegurar la eficaz planificación, operación y control del proceso.

Debido a esto se presenta la propuesta de realizar un manual de métodos de ensayo para la reconstrucción y mantenimiento de transformadores trifásicos y de potencia desde la recepción, prestación del servicio y entrega del producto final bajo la norma venezolana (FONDONORMA 3860:2005), con la finalidad de ampliar el alcance de la certificación mediante una nueva auditoría del servicio de reconstrucción y mantenimiento de transformadores trifásicos de potencia.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad la energía eléctrica es parte esencial para el desarrollo de un país, hoy en día la mayor parte de generación de energía eléctrica es producida con plantas hidráulicas y plantas termoeléctricas. El sistema Eléctrico Nacional está conformado básicamente por las siguientes etapas: generación, transmisión y distribución siendo esta la manera más eficiente para lograr el suministro eléctrico a todo un país.

En un sistema eléctrico de potencia los transformadores son máquinas de vital importancia dentro de su estructura al momento de poner en marcha dicho sistema. El transformador es la máquina que permite elevar o reducir la tensión luego de que la energía es generada, dicha elevación o reducción de tensión permite transmitir la energía a largas distancias de una manera más eficiente minimizando así las pérdidas en el sistema. Hoy en día se presentan diversas fallas por diferentes causas que traen como consecuencias pérdidas del servicio eléctrico, estas fallas pueden ocasionar daños en los transformadores y equipos que conforman la red.

Actualmente Bobinados Occidente, C.A. se dedica a la reconstrucción, mantenimiento y servicios integrales de transformadores de distribución y potencia, la organización atiende a una gran cantidad de estados tanto de occidente como centro del país, posicionándola como una de las empresas importantes en el sector de servicios para transformadores eléctricos y siendo parte importante para la industria y la población venezolana. Bobinados Occidente, C.A. tiene certificado con la norma ISO 9001:2015 con un alcance que abarca solo el servicio de reconstrucción y mantenimiento a transformadores monofásicos, la norma ISO 9001 es una herramienta que permite llevar un sistema de gestión de la calidad de manera correcta,

con la finalidad de ampliar su alcance se requiere normalizar el área de transformadores trifásicos de distribución y potencia y de esta manera ofrecer una gama de servicios más amplia con altos estándares de calidad garantizando así la plena satisfacción de sus clientes.

El presente trabajo de grado propone diseñar un manual de métodos para la recuperación de transformadores trifásicos de distribución y potencia, en Bobinados Occidente, C.A. a través de la recopilación de conocimiento técnico y procedimental aportado por dicha organización y la Universidad de los Andes.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 General**

Diseñar un manual de procedimientos de los métodos de ensayo para transformadores trifásicos de distribución y potencia, que se ajuste a la normativa desde la recepción, prestación del servicio y entrega del producto final.

#### **1.3.2 Específicos**

- 2..1 Familiarizarse con la organización, su cultura, sus valores y su estilo de trabajo.
- 2..2 Revisar las normas técnicas de referencias existentes y vigentes.
- 2..3 Elaborar la síntesis de calidad del proceso teniendo como referencia las definidas para otros procesos productivos de la organización.
- 2..4 Determinar los métodos de ensayos, formularios y validación con las normas ISO 9001, donde se registrarán los resultados de la recepción de los transformadores trifásicos.
- 2..5 Determinar los métodos de ensayos, formularios y validación con las normas ISO 9001, donde se registrarán los resultados de verificación del subproducto durante el proceso productivo.
- 2..6 Determinar los métodos de ensayos, formularios y validación con las normas ISO 9001, donde se registrarán los resultados de la conformidad del producto final.

- 2..7 Analizar, diagnosticar y documentar las limitaciones existentes para realizar ensayos a transformadores de capacidades hasta 100 MVA y tensiones hasta 115 kV.

## 1.4 METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se utilizará una metodología de investigación descriptiva y de campo, con el apoyo de Bobinados Occidente, C.A. y sus instalaciones para la reconstrucción y mantenimiento de los transformadores trifásicos de distribución y potencia.

El presente trabajo de grado propone diseñar un manual de métodos para la recuperación de transformadores trifásicos de distribución y potencia, en Bobinados Occidente, C.A. a través de la recopilación de conocimiento técnico y procedimental aportado por dicha organización y la Universidad de los Andes.

## 1.5 ALCANCES

El alcance principal del presente proyecto es diseñar un manual de métodos de ensayo para transformadores trifásicos de distribución y potencia el cual permita mantener documentadas las actividades que se realizan en el proceso de Producción Potencia a través de:

- La creación de procedimientos y planes de calidad que describan de forma ordenada y precisa las actividades que deben ser ejecutadas durante cada proceso.
- La elaboración de formularios que permitan realizar registros y seguimientos de evaluaciones, actividades y resultados de ensayos aplicados a cada transformador procesado.
- La generación de instructivos de trabajo para orientar y formar al personal responsable en ejecutar cada actividad que se realiza durante cada proceso.
- La realización de instructivos de métodos de ensayos donde especifique el procedimiento, los equipos de medición a utilizar y los criterios de aceptación según como lo establece las normativas existentes para la reconstrucción de transformadores trifásicos de potencia.
- La distribución de áreas donde se realizarán los trabajos necesarios durante el proceso de producción

# CAPITULO II

## MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se tratará todo lo relacionado a las teorías fundamentales para el abordaje del tema de estudio.

### 2.1 EL TRANSFORMADOR

Es una máquina eléctrica estática que mediante la inducción electromagnética transforma energía eléctrica de un nivel de tensión y corriente alterna a otros niveles de tensión y corriente alterna de igual frecuencia, consta de dos o más bobinas o devanados de conductor enrollados alrededor de un núcleo ferromagnético común, las bobinas usualmente no están conectadas entre sí, la única conexión existente es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo, el arrollamiento de mayor tensión recibe el nombre de devanado de alta tensión (A.T.) y el de menor tensión se denomina devanado de baja tensión (B.T.). Con su implementación se ha logrado el gran desarrollo en la energía eléctrica, haciendo posible la realización práctica y económica del transporte de la energía a grandes distancias, téngase en cuenta que cuanto más alta es la tensión en las líneas menor es la corriente y en consecuencia menor será la sección transversal de los conductores, los transformadores permiten conciliar de forma idónea estas necesidades debido a que las tensiones generadas por los alternadores de las centrales eléctricas están limitadas a tensiones relativamente bajas, que no son insuficientes para alcanzar tal objetivo; por otro lado la corriente a alta tensión no puede enviarse directamente a los equipos consumidores ya que normalmente estos requieren de tensiones más bajas. Los transformadores permiten realizar estas adecuaciones de la energía de tal forma que para reducir las pérdidas en las líneas, se realiza una primera transformación que eleva la tensión de salida de los generadores a valores que permite realizar el transporte de la energía, existiendo en centros receptores otros

transformadores que realizan el proceso inverso, reduciendo la tensión hasta niveles que se consideran convenientes para la distribución y el consumo de esta energía [1][2].

## 2.2 TRANSFORMADORES TRIFASICOS

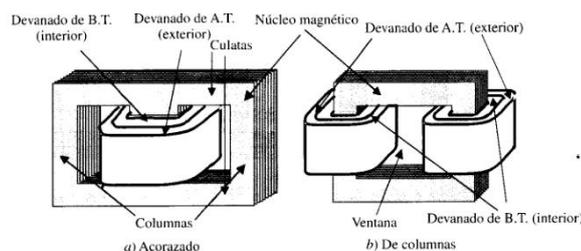
Actualmente los principales sistemas de generación y distribución de energía eléctrica son sistemas trifásicos de corriente alterna, los transformadores para circuitos trifásicos se suelen construir de dos maneras. La primera opción consiste en simplemente en conectar tres transformadores monofásicos en una bancada trifásica, de esta manera se forman circuitos magnéticos independientes, este sistema es poco económico ya que emplea gran volumen de hierro, esta forma tiene la ventaja de reemplazar cada unidad del banco individualmente en caso de alguna falla. Otra alternativa es construir un transformador trifásico que consiste en emplear un solo núcleo magnético sobre el cual se incorporan los devanados necesarios, este caso está formado por tres columnas iguales sobre las que se arrollan las espiras que constituyen los bobinados primarios y secundarios de cada fase [1][2].

## 2.3 PRINCIPALES ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

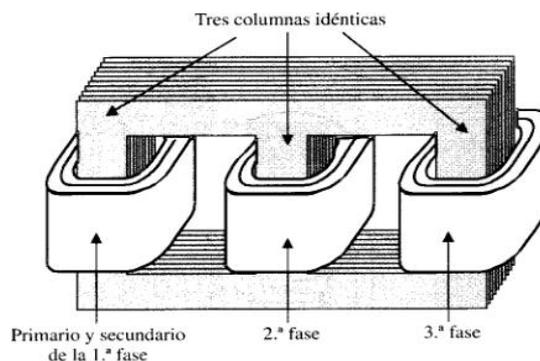
El transformador consta principalmente de las siguientes partes:

### 2.3.1 Núcleo.

El núcleo del transformador es el sistema que forma su circuito magnético, está constituido por chapas de acero al silicio, se compone de columnas, que son las partes donde van insertados las bobinas, las culatas son las partes donde se realiza la unión entre las columnas, los espacios por donde pasan los devanados se le llama ventana (figura 2.1). En el circuito magnético de un transformador trifásico (figura 2.2) utiliza menor cantidad de material magnético que el equivalente al necesario para construir una bancada trifásica de la misma capacidad, por esto las pérdidas del circuito magnético de la bancada son superiores, originando un menor rendimiento que el del transformador trifásico equivalente; sin embargo presentan la ventaja de que sus circuitos magnéticos son independientes y no existe interferencia entre ellos, problema que aqueja al transformador trifásico [2][3].

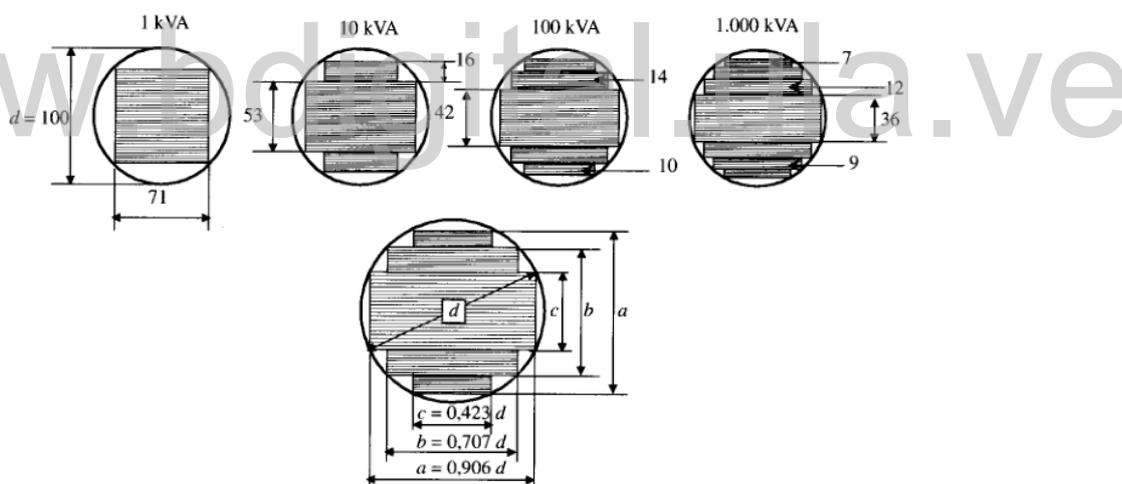


**Figura 2.1** Circuito magnético de Transformadores Monofásicos [2].



**Figura 2.2 Circuito Magnético de Transformadores Trifásicos [2].**

Otro aspecto característico en los núcleos lo muestra la sección transversal de las columnas, en los transformadores de capacidades pequeñas se construyen de forma cuadrada, sin embargo, para obtener un mejor aprovechamiento del área interior de los devanados, la sección transversal de cada columna tiene forma de un polígono escalonado, con un número de escalones que es tanto mayor como elevada sea la capacidad del transformador (figura 2.3) [2].



**Figura 2.3 Sección Transversal de Núcleos de Transformadores Trifásicos [2].**

- Núcleo tipo columna.

Esta configuración del circuito magnético produce un ligero desequilibrio en las corrientes magnetizaste al quedar la fase central con un circuito magnético de diferente reluctancia, sin embargo, se obtiene una gran ventaja debido a que su configuración plana reduce hasta un 25% del material necesario para construir una bancada con 3 transformadores monofásicos con la misma capacidad [3].

En estos transformadores se reduce la inducción del circuito magnético con el objetivo de minimizar las pérdidas, esto se logra aumentando la sección transversal del núcleo hasta un 15%, lo cual trae como consecuencia un aumento de altura en la columna del transformador proporcional a esta disminución [3].

- Núcleo de 5 columnas.

El aumento de altura en los transformadores con núcleo tipo columna ocasiona problema de transporte, sobre todo en aquellos de gran capacidad. Para solucionar este problema y a la vez disminuir las pérdidas magnéticas, se diseña entonces con 2 columnas adicionales las cuales no llevan devanados, permitiendo así la disminución de la sección transversal sin la necesidad de recurrir a un aumento de altura [3].

### **2.3.2 Devanados.**

Los devanados forman el circuito eléctrico del transformador, se realizan por medio de conductores de corriente eléctrica los cuales pueden ser de aluminio o cobre, en el caso de conductores de cobre se utiliza hilos redondos (diámetros inferiores a 4 mm) o de sección rectangular (pletina de cobre), los conductores están recubiertos por una capa aislante, suele ser barniz o en caso de pletinas se utiliza un recubrimiento de una o varias capas de fibra de algodón o cinta de papel, por otro lado los devanados de conductor de aluminio generalmente es fabricado en foil con una sección transversal mayor al requerido para conductor de cobre, debido que las características de conductividad del aluminio es menor a las del conductor de cobre, se utiliza con aislamiento de papel dieléctrico diamantado entre capas de arrollamiento [2].

Generalmente existen dos configuraciones para la fabricación de los devanados. En los devanados concéntricos los bobinados tienen forma de cilindros coaxiales, normalmente se ubica más cerca de las columnas del núcleo el devanado de baja tensión B.T. ya que requiere menor aislamiento con respecto al núcleo, entre ambos bobinados se intercala un cilindro aislante de cartón o papel dieléctrico, en los devanados alternados los arrollamientos se subdividen en secciones o galletas, de tal forma que los devanados de A.T. y B.T. se alternan a lo largo de la columna del núcleo [2].

La disposición constructiva de los devanados consiste básicamente en dos o más bobinas de  $N_1$  y  $N_2$  espiras que reciben y entregan energía a una carga eléctrica, la unidad receptora se denomina primario y al que entrega se denomina secundario. El primario puede ser cualquier

de las dos bobinas, ya que el transformador funciona de forma reversible, por este motivo lo más conveniente es indicar los lados del transformador en términos de A.T. y B.T. coincidiendo con los lados de mayor y menor número de espiras respectivamente, esta relación se conoce con el nombre de relación de transformación del transformador [3].

$$RT = \frac{e_1}{e_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{ecu 2.1})$$

La ecuación 2.1 expresa la relación entre los voltajes eficaces de alta y baja tensión, así como la relación de corriente respectivamente, también expresa la relación del número de espiras de cada bobina [3].

### 2.3.3 Parte activa.

Se denomina parte activa al conjunto formado por el circuito magnético y circuito eléctrico del transformador.

### 2.3.4 Aislamiento.

Uno de los aspectos importantes en la vida útil de un transformador de potencia es la conservación de los aislamientos, que deben permanecer íntegros ante la presencia de humedad y agentes contaminantes. Con el fin de preservar su integridad se procura mantener la hermeticidad dentro del transformador [2].

Los transformadores eléctricos buscan aislar:

- Devanados entre sí.
- Devanados de diferentes fases.
- Devanados de la cuba del transformador.
- Devanados de las láminas del núcleo magnético.
- Ayudar en la transferencia de calor al exterior.
- Proveer soporte mecánico a los devanados.

Un buen material aislante debe poseer las siguientes características:

- Muy alta resistencia de aislamiento.
- Alta rigidez dieléctrica.
- Baja expansión térmica.
- No inflamable cuando se expone a arcos eléctricos.
- Resistente a aceites y líquidos, vapores, ácidos y alcalinos.

- No debe tener efectos deteriorantes con el material con el que entra en contacto.
- Buena conductividad térmica.
- Alta resistencia mecánica.
- Alta resistencia térmica.
- Debe ser resistente al deterioro térmico y químico.
- Debe ser resistente a la absorción de humedad.

Materiales aislantes según sus formas:

Los materiales aislantes están disponibles en diferentes formas y tamaños, Algunos son: Cintas, rollos, manguitas, forros, papel y tela [2].

- Forros y Cintas aislantes: Las cintas aislantes son usadas para cubrir los devanados (bobinas) en la porción que sobresale del núcleo. Se aplica Shellac o barniz se aplican sobre esta cubierta para prevenir que absorban humedad y mejorar la rigidez dieléctrica. Los forros aislantes se usan para cubrir las soldaduras entre la terminación de las bobinas y los conductores que salen afuera. Les da protección física y también mejora el aislamiento [2].
- Cartón y papel Aislante: Hay una gran variedad de papeles específicamente diseñados para aislar circuitos eléctricos. En transformadores se utilizan para aislar capas de bobinados, barreras entre devanados de la misma fase [2].

### **2.3.5 Sistema de refrigeración.**

En el transformador existen una serie de pérdidas que se transforman en calor y contribuyen al calentamiento de la máquina, de manera de evitar que se consigan altas temperaturas que puedan afectar la vida de los aislamientos de los devanados es necesario dotar al transformador de un sistema de refrigeración adecuado [2].

En transformadores que manejan potencias elevadas se utiliza como refrigerante el aceite, de esta manera existen los transformadores en baño de aceite. El aceite cumple una doble función de refrigerante y aislante, ya que posee una capacidad térmica y rigidez dieléctrica mayor a la del aire. El aceite mineral procede de un subproducto de la destilación fraccionada del petróleo y con el tiempo puede experimentar un proceso de envejecimiento, lo anterior indica que el aceite se oxida y polimeriza formando lodos, el proceso de envejecimiento es activado por la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire. En estos transformadores la parte activa se introduce en una cuba de aceite mineral, cuyo aspecto

externo puede tener forma plana, ondulada con tubos o radiadores adheridos, realizándose la eliminación de calor por radiación y por convección natural. A medida que la potencia va siendo mayor, se va añadiendo radiadores externos de esta manera se aumenta la superficie de enfriamiento de la cuba, el aceite circula alrededor de los devanados hacia los radiadores extrayendo el calentamiento al aire exterior. En caso de transformadores en el orden de los MVA se aplican métodos de refrigeración mediante un intercambio de aceite-agua. Este sistema es muy eficaz y a su vez es más costoso, ya que a su vez es necesario enfriar el agua para ponerla en circulación nuevamente (Ver tabla 2.1) [2].

**Tabla 2.1 Símbolos para señalar la naturaleza del refrigerante y su modo de circulación [2].**

Naturaleza del refrigerante	Símbolo	Naturaleza del refrigerante	Símbolo
Aceite Mineral	O	Natural	N
Pyraleno	L	Forzada	F
Gas	G		
Agua	W		
Aire	A		
Aislante solido	S		

**Tabla 2.2 Tipos de enfriamiento para transformadores sumergidos en aceite [2].**

Tipo de enfriamiento	Definición
ONAN	Refrigeración mediante circulación natural de aceite y del aire en los radiadores.
ONAF	Refrigeración mediante circulación natural del aceite y circulación forzada de aire a través de los radiadores.
OFAF	Refrigeración mediante circulación forzada del aceite (bombas de aceite hacia los radiadores) y circulación forzada de aire a través de los radiadores.
ODAF	Circulación forzada y dirigida del aceite (bombas de aceite hacia los radiadores y elementos direccionamiento en el interior del transformador hacia los canales del aceite) y circulación forzada de aire a través de los radiadores.

El tipo de refrigeración se designa por cuatro letras según normas CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), las dos primeras indican el tipo de refrigerante en contacto con

los devanados y a la naturaleza de su circulación y las dos letras restantes hacen referencia al refrigerante en contacto con el sistema de refrigeración exterior y a su modo de circulación. En el caso de un transformador sumergido en baño de aceite, con circulación natural por convección, que a su vez esta refrigerado por aire con movimiento natural, se designa por las letras ONAN, si por el contrario el movimiento del aire llegase con la ayuda de ventiladores se asigna por ONAF [2].

### **2.3.6 Tanque o Cuba.**

En transformadores sumergidos en baño de aceite es necesario que la parte activa esté encerrada en tanques que eviten las pérdidas del refrigerante, cuyo aspecto externo puede ser plana, ondulada, con tubos o radiadores adheridos, realizándose la eliminación del calor por radiación y convección natural. Estos tanques deben tener una holgura suficiente para permitir la dilatación y contracción térmicas del aceite, en algunas ocasiones se dota a la cuba de un depósito de expansión o conservación colocado en la parte alta del transformador. La misión de este depósito es doble: por una parte, se logra que la parte alta este completamente llena de aceite, de tal forma que solo existe una pequeña superficie de contacto con el aire en el conservador; por otra parte, el depósito es el que absorbe las dilataciones del aceite al calentarse. En otros transformadores es corriente utilizar un tanque hermético con una cámara de aire suficiente entre la tapa y el aceite que permita que éste comprima o dilate el aire encerrado. En algunos transformadores grandes, la cámara sobre el aceite se llena de nitrógeno mantenido a una presión ligeramente superior a la atmosférica [2].

El tanque se fabrica de lámina de acero pulido y tiene un reborde en el fondo para la protección contra la corrosión y posibles daños en el manejo. La combinación de la preparación de la superficie metálica con la pintura provee una muy buena resistencia a la corrosión.

### **2.3.7 Cambiador de tomas de regulación.**

El cambiador de tomas de un transformador es el mecanismo que permite la regulación mediante varias relaciones de tensión por medio de pasos discretos. De esta manera se consigue un transformador con un número de espiras variable, permitiendo la regulación de voltaje en el devanado secundario. Generalmente, las tomas son hechas en el devanado de alta tensión, o baja corriente del transformador para minimizar los requerimientos de los contactos en el manejo de niveles de corriente. Para minimizar el número de espiras y el

tamaño del transformador se puede utilizar el devanado de baja tensión [5]. Cuando existen varias tomas (variación que puede oscilar entre el 2% y el 10%), estas se indican en la placa; así si un transformador indica:  $13.800\text{ V} \pm 5\%$  / 120 V; significa que existe la posibilidad de disminuir o aumentar en 5% el Número de espiras del devanado primario a fin de que a la carga lleguen los 120 V [1].

- Cambiador de tomas sin carga.

El cambiador de tomas sin carga (NLTC), también conocido como cambiador de tomas sin circuito (OCTC) o cambiador de tomas desenergizado (DETC), es un cambiador de tomas que se utiliza en transformadores que permite quitar la energía al sistema. Este tipo de cambiador de tomas se emplea con frecuencia en transformadores de baja potencia y bajo voltaje en los que el punto de toma puede tomar la forma de una terminal de conexión del transformador. Requiere que la línea de entrada se desconecte manualmente y se conecte al nuevo terminal [5].

Los cambiadores de tomas sin carga, también se utilizan en transformadores de distribución de alta tensión en los que el sistema incluye un cambiador de tomas sin carga en el devanado primario. Esto, se realiza para ajustar las variaciones del sistema de transmisión dentro de un rango estrecho respecto al valor nominal. En tales sistemas, el cambiador de tomas a menudo se configurará solo una vez en el momento de la instalación, aunque puede cambiarse más tarde para acomodar un cambio a largo plazo en el perfil de voltaje del sistema [5].

- Cambiador de tomas bajo carga.

Como la interrupción de suministro eléctrico usualmente no es viable, los transformadores comúnmente vienen equipados con un mecanismo más complejo y costoso que permite hacer los cambios en caliente [5]. Existen dos tipos de mecanismos para cambiadores de tomas bajo carga:

- Mecánico.
- Electrónico.

### **2.3.8 Aisladores (bornes) y pasantes (salidas).**

Un borne es una estructura aislante que facilita el paso de un conductor de corriente energizado a través de la cuba generalmente de porcelana, el conductor puede estar integrado

en el borne, o bien puede estar construida para el paso de un conductor aparte a través de su centro, o, lo que es lo mismo, un pasante de conductor desmontable. La sección transversal de los conductores de salida debe adecuarse a la corriente nominal según la capacidad del transformador. Los aisladores de A.T. y B.T. en un transformador se distinguen por su altura siendo tanto más altos como mayor es la tensión [4].

Los dos tipos principales de construcción de los aisladores son de tipo sólido y de tipo pasante condensador (conocidos también como de tipo condensador). Los bornes utilizados para bobinados de baja tensión de un transformador a menudo son de tipo sólido con un aislante de porcelana o epoxi. Los bornes de tipo condensador, diseñadas para tensiones nominales más altas, se utilizan en bobinados de alta tensión de un transformador [4].

- Designación de bornes de los transformadores trifásicos

Usualmente las Normas Americanas (ANSI) son las utilizadas para la nomenclatura de identificación de las bornes de salidas de los transformadores, para A.T. se utiliza la letra H, para B.T. con la letra X de la siguiente manera [1]:

$$\begin{array}{l} N - H1 - H2 - H3 \\ n - X1 - X2 - X3 \end{array}$$

Según la Comisión Electrotécnica Internacional (C.E.I), se identifica similar a la anterior, pero con las siguientes letras [1]:

$$N - A - B - C$$

$$n - a - b - c$$

Las Normas Europeas Alemanas (VDE) utilizan las siguientes letras:

$$N - U - V - W$$

$$n - u - v - w$$

Además, establecen que en las conexiones en las cuales las tensiones de A.T. y B.T. están desfasadas 30°; La tensión H1 respecto al neutro debe estar adelantada 30° respecto a la tensión de X1 respecto al neutro; en forma similar para las demás fases.

Se tomará la fase central como referencia de acuerdo al sentido de un reloj (sentido horario), con el fasor H2 según sea el caso, indicando la posición vertical [1].

### 2.3.9 Conexiones de los transformadores en sistemas trifásicos.

Los devanados de A.T. y B.T. de un transformador trifásico o de una bancada trifásica pueden conectarse en estrella o en delta; o en una combinación de los dos; en todo caso, las relaciones que definen estas conexiones, también se cumplen en los transformadores, es decir que [1]:

$$\begin{array}{l}
 V_L = \sqrt{3} * V_f \quad \text{conexión en estrella} \quad (\text{ecu 2.2}). \\
 \\
 I_L = I_f \\
 V_L = V_f \\
 I_L = \sqrt{3} * I_f \quad \text{conexión en delta} \quad (\text{ecu 2.3})
 \end{array}$$

Se tomará la fase central como referencia de acuerdo al sentido de un reloj (sentido horario), con el fasor (V, B o H2) según sea el caso, indicando la posición vertical.

Designación de la estrella fasorial de un montaje de transformación trifásico el número característico que designa el grupo de conexión al cual pertenece la bancada o el transformador trifásico puede obtenerse suponiendo que el fasor H2 del primario representa al minutero del reloj y el fasor x2 del secundario, el indicador horario. Como la ubicación de este indicador puede ocupar las 12 posiciones del reloj y como cada posición desfasa respecto de la otra un ángulo de 30°, bastará con obtener el desfase total entre la tensión por fase equivalente del secundario con respecto al primario y dividir por 30°, para obtener el número que identifica la conexión del sistema [1].

Según lo indicado anteriormente existen cuatro conexiones fundamentales:

- Estrella – Estrella
- Delta – Delta
- Estrella – Delta
- Delta – Estrella

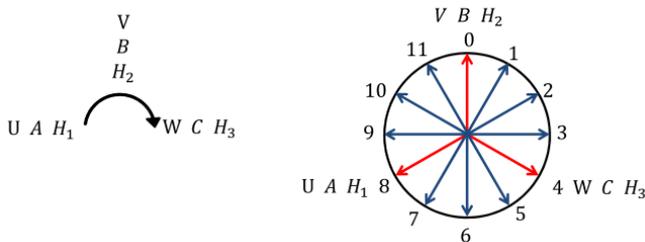


Figura 2.4 Nomenclatura utilizada para designación de la estrella fasorial de un montaje de transformación trifásico [2].

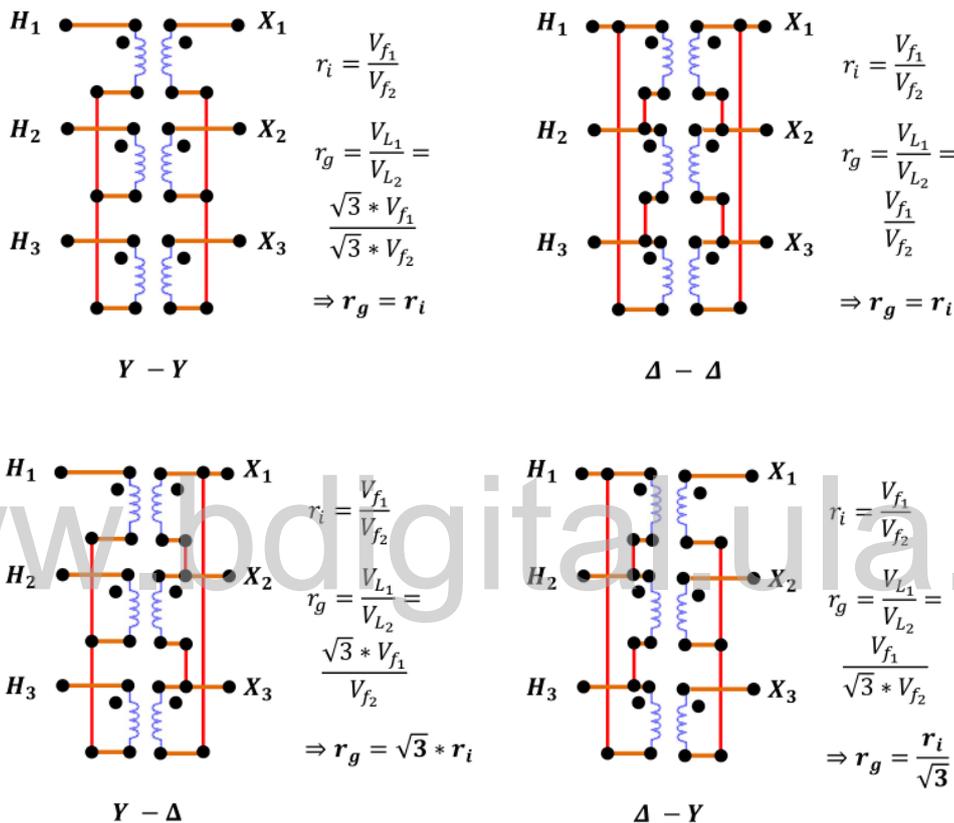


Figura 2.5 Conexiones fundamentales de los devanados en los transformadores o bancadas trifásicas permiten establecer un desfase entre los voltajes de A. T. y B. T. [2].

A continuación, se presentan las conexiones más utilizadas en el sistema eléctrico nacional en transformadores inferiores a 20 MVA y 34.5 KV.

- Conexión estrella – estrella (Y – Y)

La conexión estrella – estrella representa la unión de los 3 devanados de A.T. en estrella y los 3 devanados de B.T. en estrella de un transformador trifásico o de una bancada trifásica conectada a un sistema de 3 hilos. La tensión por devanado será en este caso  $\sqrt{3}$  veces menor que la tensión correspondiente a la línea, ventaja apreciable en el aislamiento de los devanados [1].

En una conexión en estrella la suma de las componentes fundamentales de la corriente de excitación será cero por estar desfasadas  $120^\circ$ , no así la suma de las componentes armónicas de orden 3º, o de cualquier armónico cuyo orden sea múltiplo de 3, las cuales quedarán en fase y por lo tanto no se anulan [1].

$$i_u^{(1)} = 0.68 * i_{m\acute{a}x} * \sin(\omega * t)$$

$$i_v^{(1)} = 0.68 * i_{m\acute{a}x} * \sin(\omega * t - 120^\circ)$$

$$i_w^{(1)} = 0.68 * i_{m\acute{a}x} * \sin(\omega * t - 240^\circ)$$

$$i_n = i_u^{(1)} + i_v^{(1)} + i_w^{(1)} = 0 \quad (\text{ecu 2.4})$$

Las respectivas corrientes armónicas de orden 3 seran:

$$i_u^{(3)} = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * (\omega * t)) = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * \omega * t)$$

$$i_v^{(3)} = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * (\omega * t - 120^\circ)) = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * \omega * t)$$

$$i_w^{(3)} = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * (\omega * t - 240^\circ)) = 0.22 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * \omega * t)$$

Las componentes del tercer armónico quedan en fase:

$$i_n = i_u^{(3)} + i_v^{(3)} + i_w^{(3)} = 0.66 * i_{m\acute{a}x} * \sin(3 * \omega * t) \quad (\text{ecu 2.5})$$

Es necesario el hilo neutro en A.T. para dar un camino de retorno a estas corrientes; esto implica que su paso provocará perturbaciones en sistemas de comunicación adyacentes al circuito de Potencia; de aquí que existan reglamentos que prohíben en algunos países el uso del hilo neutro en las redes de A.T [1].

Eliminar el hilo neutro en A.T. y B.T., obliga a que la suma de las corrientes de excitación sea nula, originando un flujo de inducción no sinusoidal, de componentes armónicas de orden impar que causarán sobretensiones de valores peligrosos por quedar estas componentes en fase [1].

Si se coloca hilo neutro en B.T. circularán las armónicas de la corriente de magnetización por el mismo, (inducidas por la onda de flujo no sinusoidal del primario), creando graves problemas de desequilibrio de tensión cuando ocurra un desequilibrio de carga. Efecto más pronunciado en una bancada trifásica que en un transformador trifásico [1].

El devanado de un transformador conectado en estrella tendrá menos espiras, necesitará un conductor de mayor sección transversal que un transformador equivalente conectado en triángulo y su construcción será algo menos costosa [1].

La conexión Y – Y presenta dos inconvenientes graves:

- Si la carga es desequilibrada, se producen flujos alternos en las columnas los cuales van en fase, dando lugar a tensiones en fase que provocan un desequilibrio en las tensiones de fase (desplazamiento del neutro) tanto en el primario como en el secundario.
- Existen terceros armónicos de tensión.
- Conexión triángulo – estrella ( $\Delta - Y$ )

En esta conexión el devanado de A.T. se encuentra conectado en triángulo y el devanado de B.T. en estrella, entregando energía por este lado; en este caso el devanado de A.T. debe soportar la tensión total de la línea correspondiente, y si la corriente es reducida resultará un elevado número de espiras de pequeña sección, por esta razón la conexión pudiese ser utilizada para bajas tensiones y elevadas corrientes de carga, ya que si la corriente por cada devanado puede disminuirse en la proporción  $1/\sqrt{3}$  veces la corriente de línea, el tamaño de los conductores resultará más apropiado; la existencia o no en el lado B.T. conexión en estrella del hilo neutro, no afectará para nada el sistema de Potencia conectado al transformador, ya que las terceras armónicas de la corriente magnetizante se establecerán localmente en el lado primario conectado en delta, sin afectar el devanado secundario conectado en estrella. En los transformadores trifásicos que tengan esta disposición, la conexión de cargas desequilibradas no provoca el cierre de los flujos magnéticos a través del aire, ya que el desequilibrio se compensa magnéticamente en las 3 columnas [1].

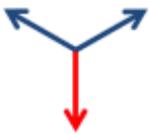
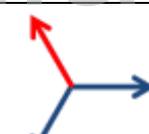
En esta conexión las tensiones por devanado pueden estar en fase o en contrafase, pero las tensiones de líneas desfazarán  $30^\circ$  o  $150^\circ$  dependiendo de la conexión respectiva.

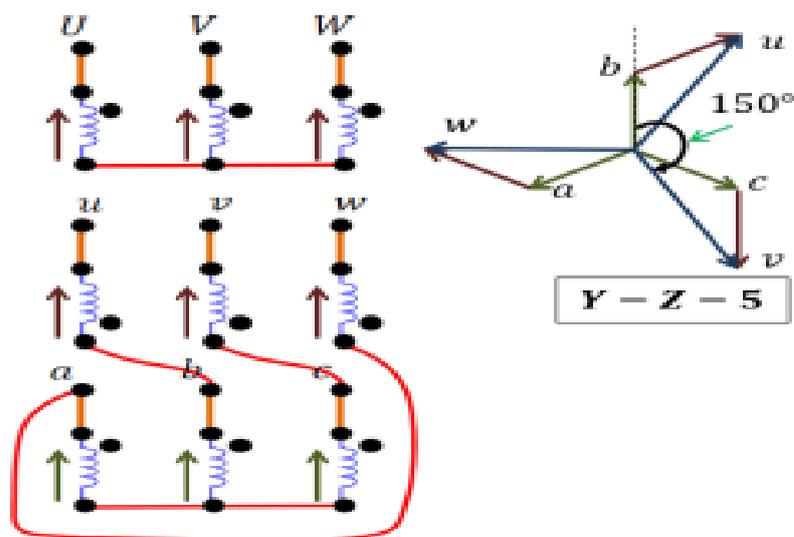
- Conexión estrella – zig – zag (Y – Z)

La conexión en z ó en zig-zag en el devanado secundario se ha creado con el fin de poder utilizar las ventajas en alimentación de redes de alumbrado y fuerza motriz, esta conexión se forma al dividir en dos partes iguales cada una de las fases del secundario, conectando en serie las mitades de 2 fases distintas por sus terminales de igual polaridad. Con esta disposición se logran dos ventajas; la primera es debida al hecho de que las corrientes que

circula por cada línea de la red afecta siempre a 2 fases, con lo cual un desequilibrio de cargas, se reparte por igual; la segunda deriva del hecho de que el quedar conectados los devanados de la forma indicada en la Figura. 2.6, las componentes armónicas de 3er orden, las cuales quedan en fase se restarían aritméticamente, resultando el sistema libre de ellas con una onda de tensión más sinusoidal [1].

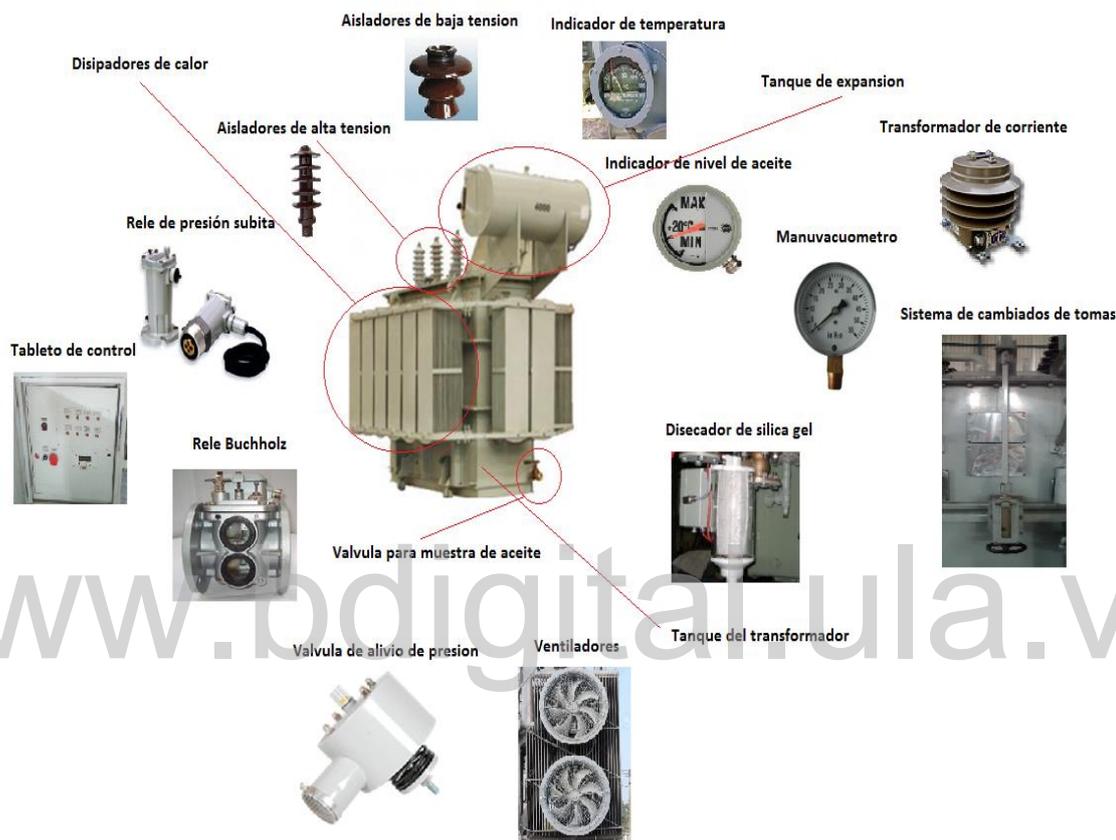
**Tabla 2.3 Posibles conexiones de los devanados de A. T. y B. T. de un transformador trifásico o de una bancada trifásica [2].**

Conexión	Índice	Estrella secundaria
Y - Y - 0,4,8 $\Delta - \Delta - 0,4,8$ $\Delta - Z$	0	
Y - Y - 2,6,10 $\Delta - \Delta - 2,6,10$ $\Delta - Z$	6	
Y - $\Delta$ - 1,5,9 $\Delta$ - Y - 1,5,9 Y - Z	5	
Y - $\Delta$ - 3,7,11 $\Delta$ - Y - 3,7,11 Y - Z	11	



**Figura 2.6 Conexión del sistema estrella - zig - zag (Y - Z) [1].**

El uso de la conexión Y-z es factible en aquellos sistemas donde se desee reducir tensión, es decir como transformador reductor en redes de distribución y solo hasta una potencia de 400 KVA, para mayores potencias es preferible la conexión Y -  $\Delta$ , debido al mayor costo de la conexión zig-zag, a causa del incremento del número de espiras en el secundario para obtener una tensión equivalente [1].



**Figura 2.7 Aspectos constructivos del transformador trifásico tipo subestación.**

### 2.3.10 Elementos de medición y protección en Transformadores Trifásicos

Los transformadores trifásicos son máquinas que pueden llegar a ser de gran envergadura y muy costosas, es por ello que según su capacidad suelen llevar elementos adicionales con la finalidad de protegerlos de algunos agentes que puedan ocasionar la falla del mismo, por otro lado, poseen instrumentos de medición que permiten conocer algunos parámetros de interés durante el funcionamiento de los mismos:

- Válvula de alivio de presión
- Fusible limitador de corriente
- Bay-on-net

- Relé buchholz
- Relé de presión súbita
- Disecador silica gel
- Indicador de nivel de aceite
- Indicador de temperatura
- Manuvacuometro
- Transformador de corriente

### **2.3.11 Placa Característica**

La placa característica de un transformador es una chapa adosada al tanque del transformador donde se incluye los datos de potencia asignada, tensiones asignadas, frecuencia e impedancia equivalente en porcentaje o caída de tensión relativa de cortocircuito, si tiene varias posiciones incluye las tensiones de las diferentes derivaciones, también incluye el esquema de conexiones interna, clase de refrigeración, nombre del fabricante, serial de fabricación, en caso de reconstrucción también debe indicar un respectivo serial [2].

## **2.4 TIPOS DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE.**

### **2.4.1 Transformador tipo subestación.**

Las subestaciones están destinadas a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. El transformador elemento más importante y costoso dentro de una subestación eléctrica de transformación, su diseño se ajusta a las características y requerimientos de la subestación, según su capacidad y niveles de tensión. Existen dos arreglos típicos: transformador tipo subestación con gargantas, usualmente usados en subestaciones exteriores; transformador tipo subestación sin gargantas, este tipo de arreglo se utiliza en donde tanto la alta tensión como la baja tensión se acoplan directamente a tableros, también son utilizados en interiores como exteriores (figura 2.8).

El diseño de transformadores tipo subestación suele contar con una cantidad de accesorios e instrumentos de medición que permiten realizar un monitoreo constante durante el tiempo de operación del equipo, así como para proteger el transformador ante posibles fallas en el sistema (figura 2.7).

### **2.4.2 Transformador tipo Pedestal (Pad Mouted).**

Este tipo de transformadores se utilizan en sistemas de distribución, idealmente para aplicaciones en residencias, plazas, edificios, hoteles y pequeñas industrias gracias a su

estética y diseño altamente protegido. Principalmente es un equipo estándar equipado con gabinetes para una mejor y óptima protección externa, son aptos para la instalación en espacios exteriores como interiores empleados para la distribución subterránea, con compartimiento en baja y alta tensión, este transformador usualmente se coloca sobre una base o un pedestal. Dispone de una estructura envolvente con protecciones internas en alta tensión, diseñado de forma compacta con tal que ocupe el menor espacio posible [8].



**Figura 2.8 Transformador tipo subestación con garganta y sin garganta.**

Asimismo, pueden disponer también de interruptores de alta tensión y termomagnéticos con baja tensión. Cuenta con los mismos accesorios estándar que un transformador de distribución normal, sin embargo, se le pueden añadir elementos adicionales como:

- Base deslizante para revestimiento indestructible.
- Interruptores de alta tensión
- Fusibles tipo bayoneta o cannister en alta tensión
- Barra de tierra
- Aisladores de baja tensión.
- Válvula de sobrepresión.
- Indicador del nivel de líquido aislante.
- Termómetro.



**Figura 2.9 Transformador tipo Pad Mouted.**

### 2.4.3 Transformador Tipo Sumergible

Es el tipo de transformador diseñado para ser instalado en pozo o bóvedas, para conectarse en sistemas de distribución subterráneos, en estas bóvedas existe la posibilidad de sufrir inundaciones, por esta razón debe ser de frente muerto y con los accesorios de conexión disponibles en el superior de sus cubas, deben estar inmersos en aceite dieléctrico con tanques herméticamente sellados, estos equipos pueden aplicarse en hoteles, edificios, residencias, industrias.

Al igual que los transformadores de distribución tipo Pad mouted los transformadores sumergibles pueden con los mismos accesorios solo que deben adecuarse en el superior del tanque debido a posibles inundaciones.



**Figura 2.10 Transformador tipo sumergible.**

## **2.5 MÉTODOS DE ENSAYOS A TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS**

Los metodos de ensayo según los indicados en la norma FONDONORMA 3860:2005 NORMA VENEZOLANA RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE POTENCIA. REQUISITOS DE METODOS DE ENSAYOS, son aplicables a transformadores que se encuentran en operación o en proceso de puesta en servicio y se clasifican de la siguiente manera:

Diagnostico de recepcion: se realizan a todo equipo de recepcion ya sea por falla, mantenimiento o reparacion menor, efectuando primeramente una inspeccion detallada de cada una de sus partes .

Durante la prestación del servicio (reconstrucción o mantenimiento): Se realizan a cada transformador que está en proceso según el servicio diagnosticado, son aplicados en conformidad de las actividades definidas a realizar.

Protocolo final luego de prestación de servicio: Se realizan a cada uno de los equipos después de haber sido procesados según el tipo de servicio diagnosticado (Reconstrucción, mantenimiento o reparación menor) para dar conformidad del producto final.

Durante la prestación del servicio: Se realizan a cada transformador que está en proceso según el servicio diagnosticado, son aplicados en conformidad de las actividades definidas a realizar.

A continuacion se realizara una descripcion de los principales ensayos a los transformadores trifasicos sumergidos en baño de aceite según FONDONORMA 3860:2005 NORMA VENEZOLANA RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE POTENCIA. REQUISITOS DE METODOS DE ENSAYOS.

### **2.5.1 Inspección por atributos.**

Consiste en realizar una inspección detalladamente de cada uno de los accesorios, esta inspección se debe aplicar antes de realizar los ensayos.

### **2.5.2 Ensayo de Relación de Transformación (TTR).**

La relación de transformación se define como la relación de espiras o de voltajes del devanado de A.T. al de B.T. también la relación de corrientes de B.T. a A.T.

Mediante la aplicación de este método de ensayo es posible identificar espiras en cortocircuito, la cantidad de espiras en los devanados del transformador, circuitos abiertos en espiras, cambiadores de tomas, conexiones a las salidas de los transformadores.

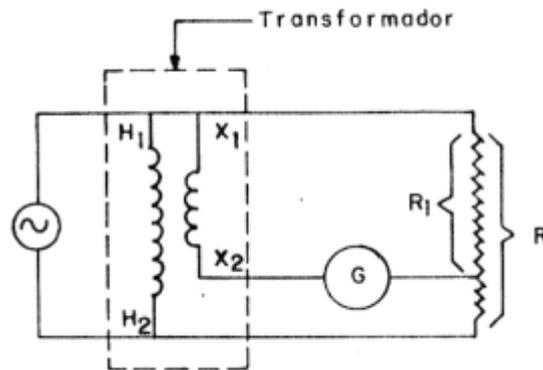
Se debe realizar la prueba en todas las posiciones del cambiador de tomas. También se realiza cada vez que las conexiones internas del transformador son removidas debido a reparación de devanados, reemplazo de *bushings*, mantenimiento al cambiador de tomas.

La relación de transformación de cada fase de un transformador trifásico se podrá realizar de acuerdo con uno de los métodos descriptos a continuación:

- Método del Voltímetro.
  - Deben ser usados dos voltímetros, uno para leer la tensión de la bobina de alta tensión y el otro para medir la bobina de baja tensión.
  - Se aplica por lo menos el 10 % de la tensión nominal por el devanado de alta tensión y se realiza una primera serie de lecturas de tensión en los dos voltímetros para distintas tensiones aplicadas (los dos voltímetros deben leerse simultáneamente).
  - Se realiza una segunda serie de lecturas con los voltímetros intercambiados y usando los mismos valores de tensión usados aplicados en el aparte 2 y se registra el promedio de las dos series de lecturas para compensar los errores de los instrumentos.
  - El ensayo se realiza al menos con cuatro tensiones diferentes, separadas entre sí en pasos de 10 % del valor de la tensión inicialmente aplicada. Para cada valor de tensión, se calcula la relación de transformación y luego se calcula la media de esta serie de valores, la cual se tomará como el valor verdadero. Cada valor de relación de transformación no debe diferenciar de la media en más del 1 %, en caso contrario, debe repetirse las mediciones con otros voltímetros [7].
- Método del Puente de Relación de Transformación
  - El método del puente utiliza el circuito básico mostrado en la figura 2.11 y se utiliza para medir la relación de transformación de cualquier devanado.
  - Cuando el galvanómetro G esta balanceado, la relación de transformación es igual a:  $N_1/N_2$  [7].

Donde:

- N1: Número de vueltas en el devanado de alta tensión.
- N2: Número de vueltas en el devanado de baja tensión.



**Figura 2.11 Circuito básico del puente para medir la relación de transformación [7].**

Para cada método descrito se debe efectuar las lecturas para todas las posiciones del cambiador de toma, y se considera aprobado el ensayo si la medida no excede el 0,5 % de tolerancia (según norma IEEE C57.12.00) [7].

Si en los resultados a los ensayos no se logra obtener resultados similares en las tres fases, el problema puede considerarse como un cortocircuito o circuito abierto en los devanados; una corriente excesiva de excitación y voltaje pequeño, son indicativos de un cortocircuito en uno de los devanados [6].

### 2.5.3 Ensayo de verificación del grupo vectorial

Este ensayo permite determinar cómo se encuentran conectados los devanados unos con respecto a los otros de un transformador trifásico [7].

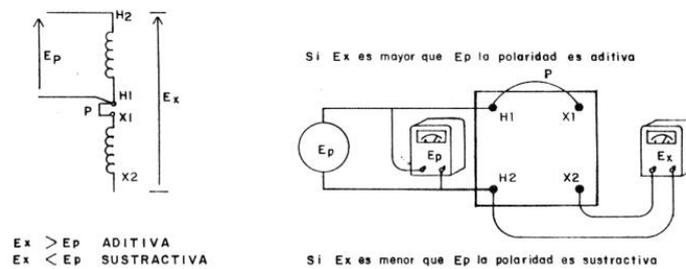
Cada fase de un transformador trifásico se probará de acuerdo con uno de los métodos descritos a continuación:

- Método de Polaridad por Corriente Alterna.

Conecte el devanado de alta tensión a una fuente de corriente alterna y los terminales adyacentes de alta y baja tensión entre sí (ver figura 2.12).

Se aplica una tensión alterna en el devanado de alta tensión (No mayor de 600 V), tomando las lecturas de la tensión aplicada ( $V_p$ ) y la tensión entre los otros terminales adyacentes

( $V_x$ ); si la lectura de  $E_x$  es superior a la lectura de  $E_p$  la polaridad es aditiva, si la lectura de  $E_x$  es menor a la lectura  $E_p$  la polaridad es sustractiva [7].



**Figura 2.12 Determinación de la polaridad de un transformador usando una fuente de corriente alterna [7].**

No es recomendable este ensayo para transformadores con una relación de transformación menor de 30 a 1.

- Método de Puente de Relación de Transformación.

El puente de relación descrito para el método de ensayo de relación de transformación también puede ser usado para el ensayo de polaridad.

- Ensayo de Verificación del Grupo Vectorial.

Un transformador trifásico, tiene una placa de datos o característica que incluye un diagrama (diagrama vectorial) que muestra las relaciones entre las tensiones de la fase.

- Para verificar el grupo vectorial, debe utilizarse uno de los siguientes métodos:
  - Método de Corriente Alterna.

1.1 Conecte temporalmente el terminal H1 al terminal X1, y aplique el 10% de la tensión nominal trifásica a los terminales X1, X2 y X3.

Mida las tensiones resultantes en los otros pares de terminales.

Verifique que se cumplan las relaciones comparativas indicadas en la tabla 2.4.

- Método de Puente de Relación de Transformación.

El puente para medir relación de transformación puede también ser usado para verificar el grupo vectorial en un transformador trifásico. Según el grupo vectorial a verificar, el puente debe ser conectado de acuerdo a lo indicado en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Transformadores con terminales marcados y conexión según el diagrama fasorial de voltaje para transformadores de tres fases [7].**

Símbolo de grupo vectorial	Mediciones	Comparaciones
Yy0 Dd0	H1 – H2	H2 – X3 = H3 – X2
	H2 – X2	H2 – X2 < H1 – H2
	H2 – X3	H2 – X2 < H2 – X3
	H3 – X2	H2 – X2 = H3 – X3
	H3 – X3	
Dy1 Yd1	H1 – H3	H3 – X2 = H3 – X3
	H2 – X2	H3 – X2 < H1 – H3
	H2 – X3	H2 – X2 < H2 – X3
	H3 – X2	H2 – X2 < H1 – H3
	H3 – X3	
Dy5 Yd5	H1 – H3	H2 – X3 = H2 – X2
	H2 – X2	H2 – X3 > H1 – H3
	H2 – X3	H3 – X3 > H3 – X3
	H3 – X2	H3 – X3 > H1 – H3
	H3 – X3	
Dy11 Yd11	H1 – H2	H2 – X3 = H2 – X2
	H2 – X2	H2 – X3 < H1 – H2
	H2 – X3	H3 – X3 < H3 – X2
	H3 – X2	H3 – X3 < H1 – H2
	H3 – X3	

#### 2.5.4 Ensayo de medida de resistencia de aislamiento.

El modelo circuital de un material aislante cuando se aplica un campo eléctrico está compuesto por una resistencia en paralelo con un capacitor, al someterlo a un campo eléctrico aparecen dos corrientes: una capacitiva debido a la polarización de las cargas eléctricas y otra corriente resistiva producto del movimiento de electrones por conducción del material. En régimen permanente el capacitor se carga y se comporta como un circuito abierto quedando solamente la resistencia pura del modelo [6].

Este ensayo comprueba la resistencia de aislamiento entre devanado y devanado y contra la tierra del transformador. La resistencia de aislamiento varía directamente con el espesor del

aislamiento, al aplicar una tensión de corriente directa a un aislamiento, la resistencia inicia con un valor muy bajo y va aumentando gradualmente con el tiempo hasta estabilizarse [7].

La resistencia de aislamiento de los equipos eléctricos está sujeto a una amplia variación en la temperatura, la humedad y limpieza. Cuando la resistencia del aislamiento cae por debajo de los valores establecidos, puede, en la mayoría de los casos ocurrir debido a la existencia de humedad y suciedad, para alcanzar el estándar requerido es necesario realizar un proceso de limpieza y secado [9].

Graficando los valores de resistencia de aislamiento vs el tiempo, se obtiene una curva llamada índice de absorción dieléctrica; la pendiente indica el grado relativo de limpieza y secado del aislamiento. Si el aislamiento está sucio o húmedo, la curva alcanza un valor estable en uno o dos minutos después de comenzar el ensayo, el resultado será una curva con baja pendiente [6].

La pendiente de la curva puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de las medidas de resistencia de aislamiento en diferentes intervalos de tiempo durante la misma prueba. Índice de absorción para una relación de 60 a 30 segundos, Índice de polarización a relación de 10 a 1 minuto [6].

La medición de resistencia de aislamiento se ve afectada por las variaciones de temperatura, para comparar los valores periódicamente es necesario tomar medidas a una misma temperatura, o convertir cada medición tomada a una misma base, se recomienda 20° C para transformadores [6].

$$Rp_{20} = \frac{Rpt}{k'} \quad (\text{ecu 2.6})$$

Donde:

- $Rp_{20}$ : Es la resistencia de aislamiento corregida a 20 °C.
- $Rp_{pt}$ : Es la resistencia de aislamiento a temperatura T.
- $t$ : Es la temperatura de prueba.
- $k'$ : es el factor de corrección.

Otro factor a considerar que puede afectar la medición de resistencia de aislamiento es la presencia de carga previa, esta carga puede originarse debido a que el transformador trabaja

aislado de tierra o por una aplicación de tensión DC, por lo tanto, es recomendable realizar la descarga del equipo previo a realizar el ensayo [6].

**Tabla 2.5 Factores de corrección de resistencia de aislamiento a 20° C [7].**

Temperatura °C	Factor de corrección
0	0,25
5	0,36
10	0,50
15	0,74
20	1,00
25	1,40
30	1,98
35	2,80
40	3,95
45	5,60
50	7,85
55	11,20
60	15,85
65	22,40
70	31,75
75	44,7

**Tabla 2.6 Valores de referencia para determinar la condición del aislamiento con índice de absorción [7].**

Condición del Aislamiento	Relación (60/30 seg)
POBRE	Menor que 1,1
CUESTIONABLE	De 1,1 a 1,25
DUDOSA	De 1,25 a 1,4
BUENA	De 1,4 a 1,6
EXCELENTE	Por encima de 1,6

Las mediciones se toman entre cada conjunto de devanados con sus conexiones de salidas en cortocircuito tanto para alta tensión como para baja tensión, también se toman las lecturas de las mediciones entre devanados y tierra [6].

Según la lectura del índice de polarización tabla 2.7

**Tabla 2.7 Valores de referencia para determinar la condición del aislamiento por índice de polarización [7].**

Condición del Aislamiento	Relación (10/1 min)
PELIGROSA	Menor que 1,0
POBRE	De 1,0 a 1,1
CUESTIONABLE	De 1,1 a 1,25
JUSTA	De 1,25 a 2,0
BUENA	Por encima de 2,0

### 2.5.5 Ensayo de medida de resistencia de los devanados.

Esta prueba es utilizada para conocer el valor de la resistencia óhmica de los devanados de un transformador cuando es sometido a una corriente continua. Es importante para conocer el valor de las pérdidas en el cobre ( $I^2R$ ) y detectar falsos contactos en conexiones internas del transformador (bushings, cambiadores de tomas, soldaduras) [6].

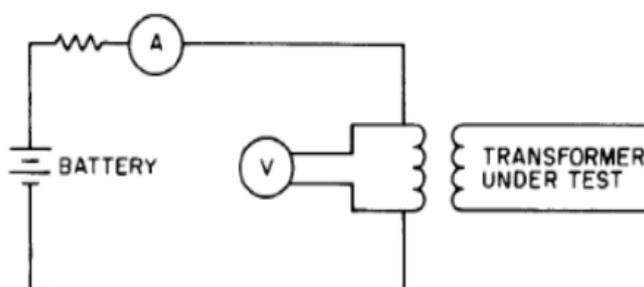
La corriente inyectada en la medición no debe exceder el 15% del valor nominal del devanado, ya que con valores que exceden dicho porcentaje se pueden obtener resultados inexactos por variación en la resistencia debido al calentamiento del devanado. Algunos factores que afectan la medición son los cables, suciedad en los terminales del transformador y contactos mal soldados que generan puntos de alta resistencia [6].

- Método del Puente.

El método de puente se realiza generalmente con instrumentos digitales de alta precisión, por su exactitud y comodidad, y además pueden ser empleados para medir resistencias por encima de 10000  $\Omega$ . Debe ser usado en casos donde el rango de corriente del devanado del transformador a ser medido esté por debajo de 1 A [7].

- Método del Voltímetro-Amperímetro

La medición se realiza inyectando corriente DC, se toman lecturas simultáneas de corriente y voltaje usando las conexiones de la figura 2.13. La resistencia requerida se calcula a partir de la ley de ohm, estas medidas son afectadas debido al aumento de la temperatura provocando grandes valores de inexactitud, para minimizar estos errores es importante tener en cuenta los siguientes aspectos: los instrumentos de medida deben tener rangos que den una gran deflexión; la polaridad de la magnetización del núcleo debe mantenerse constante durante toda la lectura de la resistencia.



**Figura 2.13 Medición del Resistencia de devanados método Voltímetro-Amperímetro [7].**

Los cables del voltímetro deben ser conectados lo más cerca posible a los terminales del devanado a ser medido, esto es para evitar incluir en las lecturas la resistencia que presentan los cables y contactos [7].

Para proteger el voltímetro al dejar libre la escala, el voltímetro debe ser desconectado del circuito antes de la interrupción de la corriente. Para proteger al personal en la prueba de un impulso inductivo, la corriente debe ser interrumpida con un adecuado interruptor aislado [7].

En general, los devanados exhiben una larga constante de tiempo dc, para reducir el tiempo requerido para que la corriente alcance su valor estable, se debe adicionar una resistencia externa no inductiva en serie con la fuente c.c. la resistencia debe ser mucho mayor comparada a la inductancia del devanado. Esto es necesario para incrementar el voltaje de la fuente para compensar la caída de voltaje en serie al resistor [7].

La corriente usada no debe ser mayor al 15% de la corriente nominal del devanado [7].

La resistencia medida debe estar normalizada a una temperatura de referencia igual a 20 °C, por lo tanto, en casos de tomar la medida a diferentes temperaturas es necesario convertir la resistencia medida [7].

$$R_r = R_m * \left( \frac{T_r + T_k}{T_m + T_k} \right)$$

Donde:

- $R_r$ : es la resistencia a la temperatura deseada (Ohm).
- $R_m$ : es la resistencia medida (Ohm).
- $T_r$ : es la temperatura de referencia deseada (°C).
- $T_m$ : es la temperatura a la cual fue medida la resistencia (°C).
- $T_k$ : es 234.5 para el cobre (°C); 225 para el aluminio (°C).

### **2.5.6 Ensayo de medida de las pérdidas y la corriente de vacío.**

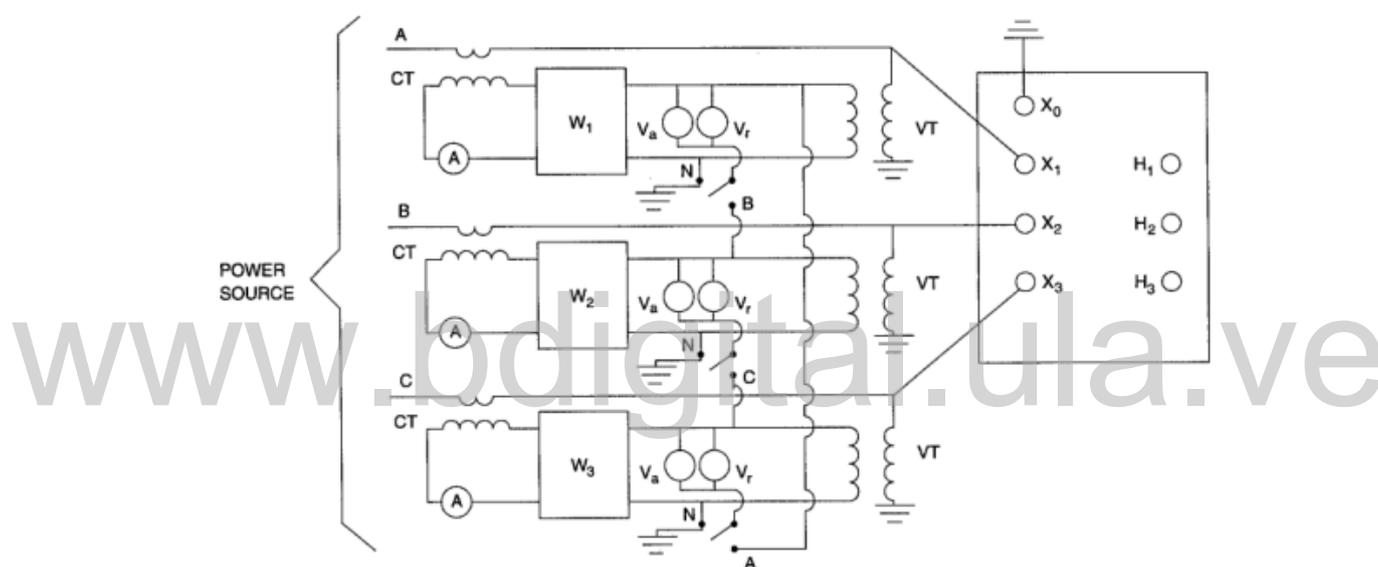
Las pérdidas sin carga son las pérdidas que inciden en la excitación del transformador. Las pérdidas en vacío incluyen la pérdida en el núcleo (las cuales comprenden pérdidas por histéresis y pérdidas por corriente de Foucault), pérdidas del dieléctrico, la pérdida de conductor en el devanado debido a la corriente de excitación y la pérdida de conductor debido a la corriente circulante en los devanados paralelos. Estas pérdidas dependen de la tensión de excitación [9].

La corriente en vacío es la corriente que fluye en cualquier bobina utilizada para excitar el transformador cuando todas las demás bobinas están en circuito abierto. Se expresa generalmente en porcentaje de la corriente nominal del devanado en el que se mide [9].

Las pérdidas en vacío consisten principalmente en la pérdida del núcleo del transformador, las pérdidas en vacío también varían con la temperatura y son particularmente sensibles a las diferencias en la forma de onda; por lo tanto, las mediciones de las pérdidas en vacío variarán notablemente con la forma de onda de la tensión de prueba [9].

Además, hay varios otros factores que afectan a las pérdidas en vacío y a la corriente de un transformador. Entre los factores relacionados con el diseño se encuentran el tipo y el grosor del núcleo de acero, la configuración del núcleo, la geometría de las uniones del núcleo y la densidad de flujo del núcleo [9].

El propósito de la prueba de pérdidas en vacío es medir las pérdidas en vacío a un voltaje de excitación especificado y una especificación de la frecuencia de la onda corta. La determinación de la pérdida en vacío se basará en un voltaje de onda sinusoidal. El método del voltímetro de media tensión es el más método preciso para corregir las pérdidas medidas sin carga a una base de onda sinusoidal y se recomienda. Esta emplea dos voltímetros conectados en paralelo; uno calibrado para medir el valor eficaz de una tensión sinusoidal pero que responda al valor medio de la tensión; el otro es un verdadero voltímetro de respuesta rms. El voltaje de prueba se ajusta al valor especificado como leído por el voltímetro de respuesta media. Las lecturas de ambos voltímetros se emplean para corregir las pérdidas en vacío a una base de onda sinusoidal, utilizando la ecuación (2.6) [9].



**Figura 2.14 Conexiones de Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Vacío [9].**

Las pruebas para la determinación de la pérdida en vacío de un transformador trifásico se llevarán a cabo utilizando los tres el método del vatímetro. La figura 2.14 es una representación esquemática del equipo y las conexiones necesarias para realizando mediciones de pérdida de carga de un transformador trifásico [9].

Se puede energizar el bobinado de alta o baja tensión del transformador sometido a la prueba, pero generalmente es más conveniente realizar esta prueba utilizando el bobinado de baja tensión. En cualquier caso, siempre que sea posible se debe utilizar el bobinado completo (no sólo una parte del bobinado). Si, por alguna razón inusual, sólo se excita una parte del devanado, esta parte no será inferior al 25% del devanado [9].

Para determinar las pérdidas en vacío de un transformador monofásico o trifásico, la frecuencia de la fuente de prueba debe estar dentro del  $\pm 0,5\%$  de la frecuencia nominal del transformador sometido a prueba. La tensión se ajustará al valor especificado según lo indicado por el voltímetro de tensión media. Para un transformador trifásico el promedio de las tres lecturas del voltímetro será el deseado valor nominal [9].

El componente de corriente de Foucault de la pérdida en vacío varía con el cuadrado del valor eficaz del voltaje de excitación y es sustancialmente independiente de la forma de onda del voltaje. Cuando la tensión de prueba se mantiene en el valor especificado según se lee en el voltímetro de tensión media, el valor eficaz real de la tensión de prueba puede no ser igual al valor especificado. Las pérdidas en vacío del transformador corregidas a una base de onda sinusoidal se determinarán a partir del valor medido mediante la ecuación (2.6):

$$Pc(tm) = \frac{Pm}{P1+kP2} \quad (\text{ecu 2.6})$$

$$k = \left(\frac{Vr}{Va}\right)^2 \quad (\text{ecu 2.7})$$

Donde:

- $Pm$ : Es las pérdidas en vacío medida, a la temperatura  $t_m$  expresado en (W)
- $t_m$ : Es la temperatura en el punto superior del aceite en el momento del ensayo ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $Pc(tm)$ : Es la pérdida en vacío corregida por la forma de onda, a temperatura  $t_m$  (W).
- $P1$ : Pérdida de histéresis en por unidad.
- $P2$ : Pérdidas de Foucault en por unidad.
- $Va$ : Es el voltaje medido por el voltímetro que responde al valor medio (V).
- $k$ : Constante.
- $Vr$ : Es el voltaje de prueba medido por el voltímetro que responde al valor eficaz (V).

Si no están disponibles los valores de  $P1$  y  $P2$ , se recomiendan que las dos componentes de pérdidas sean asumidas de igual valor, asignando a cada uno un valor de 0,5 en por unidad [9].

La ecuación 2.6 es válida sólo para los voltajes de prueba con una distorsión moderada de la forma de onda. Si la distorsión de la forma de onda en el voltaje de prueba hace que la

magnitud de la corrección sea superior al 5%, entonces la forma de onda del voltaje de prueba se mejorará para una adecuada determinación de las pérdidas y corrientes en vacío [9].

Se requiere una temperatura de referencia cuando se indican las pérdidas en vacío, porque las pérdidas en vacío varían con la temperatura del núcleo. Si al realizar el ensayo de pérdidas en vacío se tienen las siguientes condiciones [9]:

- La temperatura en la superficie del aceite está dentro de  $\pm 10$  °C de la temperatura de referencia.
- La diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo del aceite no excede de 5 °C.

No se necesita una corrección de pérdidas por temperatura. Si el rango de temperatura esta fuera de estos rangos, la siguiente formula debe ser usada para corregir la medida de las pérdidas de vacío para la temperatura de referencia [9]:

$$Pr(tr) = Pc(tm) * (1 + (tm + tr) * kt) \quad (\text{ecu 2.8})$$

Donde:

- $Pr(tr)$ : Es la pérdida en vacío corregida a la temperatura de referencia  $tr$  (W).
- $Pc(tm)$ : Es la pérdida en vacío, corregida para la forma de onda a la temperatura  $tm$  (W).
- $tr$ : Es la temperatura de referencia normalizada (°C).
- $kt$ : Es un derivado empírico en por unidad para el cambio en las pérdidas en vacío (°C).

Si el valor de  $kt$  no está disponible, un valor de 0,00065 en por unidad debe ser usado. Este valor es típico para núcleos construidos de granos orientados al silicio y es satisfactorio para la corrección de pérdidas en vacío por temperatura [9].

La corriente de excitación suele expresarse en por unidad o en porcentaje de la corriente de línea de aceleración del devanado en el que se mide. La medición de la corriente de excitación suele realizarse junto con las pruebas de pérdidas en vacío. La corriente eficaz se registra simultáneamente durante la prueba de pérdidas en vacío utilizando el método del voltímetro de tensión media. Este valor se utiliza en el cálculo de la corriente de excitación

por unidad o porcentaje. Para un transformador trifásico, la corriente de excitación se calcula tomando el promedio de las magnitudes de las tres corrientes lineales [9].

### **2.5.7 Ensayo de medida de las pérdidas debidas a la carga y tensión de cortocircuito.**

Las pérdidas debido a la carga de un transformador son las pérdidas que inciden en una carga específica transportada por el transformador. Las pérdidas incluyen la pérdida de  $I^2R$  en los devanados debido a la corriente de carga y las pérdidas por las corrientes inducidas por fuga de flujo en los devanados. Las pérdidas de carga se miden aplicando un cortocircuito a través del bobinado de alta o baja tensión y aplicando suficiente voltaje a través del otro devanado para hacer que una corriente específica fluya en los devanados. La potencia pérdida dentro del transformador en estas condiciones es igual a las pérdidas de carga del transformador en la temperatura de prueba para la corriente de carga especificada [9].

La tensión de cortocircuito de un transformador es el voltaje necesario para hacer circular la corriente nominal a través de uno de los dos devanados especificados cuando el otro devanado está en cortocircuito, con los devanados conectados como para el funcionamiento con voltaje nominal. La tensión de cortocircuito o impedancia de cortocircuito se expresa normalmente en por unidad o en porcentaje del voltaje nominal del devanado a través del cual se aplica y se mide el voltaje. La impedancia de cortocircuito comprende un componente resistivo y un componente reactivo, el componente resistivo está en fase con la corriente y corresponde a las pérdidas de carga.; el componente reactivo está en cuadratura con la corriente y corresponde a la las fugas y flujo de las bobinas [9].

Independientemente del método de prueba seleccionado, deberán cumplirse los siguientes requisitos preparatorios para que los resultados de la prueba sean precisos:

Para determinar la temperatura de los bobinados con suficiente precisión, se cumplirán las siguientes condiciones, salvo lo indicado en la nota siguiente:

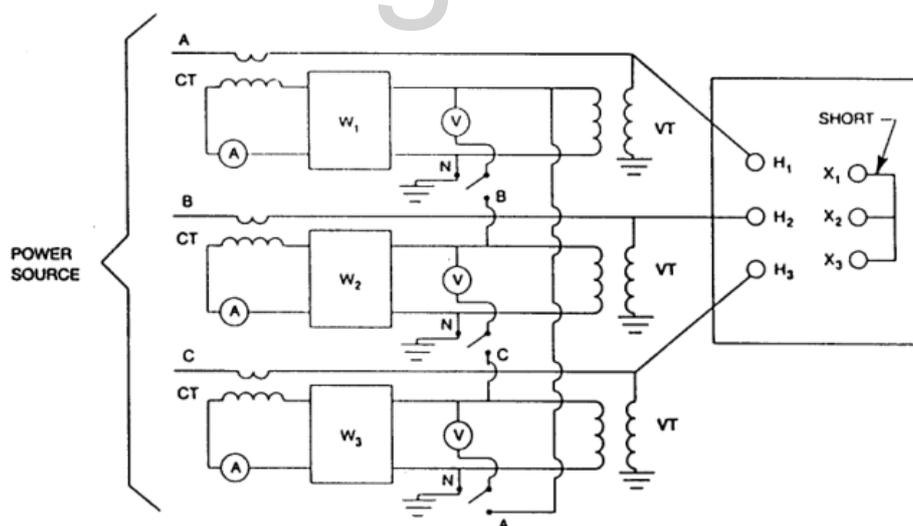
- La temperatura del líquido aislante se ha estabilizado, y la diferencia entre la parte superior y la inferior La temperatura del aceite no excede los 5 °C.
- La temperatura de los bobinados se tomará inmediatamente antes y después de realizar el ensayo, el promedio será tomado como la verdadera temperatura.
- La diferencia de temperatura del devanado antes y después del ensayo no será superior a 5 °C.

En el caso de los transformadores de distribución y pedestal de hasta 2500 kVA, en los que puede no ser práctico esperar el equilibrio térmico, el método utilizado para determinar la temperatura del devanado tendrá en cuenta la falta de equilibrio térmico y el efecto del calentamiento óhmico de los conductores del devanado por la corriente de carga durante el ensayo. El método utilizado puede verificarse realizando una medición repetida de las pérdidas de carga en un momento posterior cuando se cumplan las condiciones anteriores [9].

Los conductores utilizados para cortocircuitar el devanado de baja tensión de un transformador deberán tener un área de sección transversal igual o mayor que los correspondientes cables del transformador [9].

La frecuencia de la fuente de prueba utilizada para medir las pérdidas de carga y será dentro de  $\pm 0,5\%$  del valor nominal [9].

El valor máximo de corrección de las pérdidas de carga medidas debido al ángulo de fase del sistema de prueba el error se limita a  $\pm 5\%$  de las pérdidas medidas. Si se requiere más del 5% de corrección, los métodos de prueba y/o los aparatos de prueba deben ser mejorados para una adecuada determinación de las pérdidas de carga [9].



**Figura 2.15 Conexiones de Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Cortocircuito [9].**

Para los transformadores trifásicos, la medición de la potencia trifásica utilizando dos vatímetros es posible, pero puede dar lugar a errores muy grandes en los factores de baja potencia que se encuentran en las pruebas de pérdida de carga de los transformadores. El método de dos vatímetros no debe utilizarse para las pruebas de pérdida en transformadores

trifásicos. La figura 2.15 muestra los aparatos y las conexiones que utilizan el medidor de tres vatios método [9].

Los métodos de puente de impedancia pueden utilizarse como alternativa al método de vatímetro-voltímetro-amperímetro para medir las pérdidas de carga y el voltaje de impedancia [9].

Si bien son posibles muchas configuraciones de redes de puentes de impedancia, la elección de una red particular está determinada por consideraciones del entorno de medición y la instalación de prueba disponible. La forma general del puente de impedancia, como se muestra en la figura 2.16, es una red eléctrica dispuesta de manera que una tensión proporcional a la corriente que pasa por el transformador sometido al ensayo se compara con una tensión de referencia que es una función de la tensión aplicada  $E_T$ . La comparación de la tensión se realiza ajustando uno o más de los brazos del puente ( $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_3$ ) hasta que la tensión a través de  $Z_2$  y  $Z_3$  sea exactamente igual en magnitud y fase. El equilibrio de la tensión se indica mediante una lectura nula del detector DET. Las características de impedancia del transformador bajo prueba pueden entonces calcularse a partir de los valores de  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_3$  [9].

En la figura 2.17 se muestran dos de las redes de puentes más utilizadas para las pruebas de transformadores. A la izquierda se ilustra una técnica de puente que emplea un condensador de alta tensión de precisión y baja pérdida y un transformador de corriente de precisión. A la derecha, se muestra otra técnica de puente que emplea un condensador de alto voltaje, un transformador de corriente de precisión y un puente de brazo de relación de transformación [9].

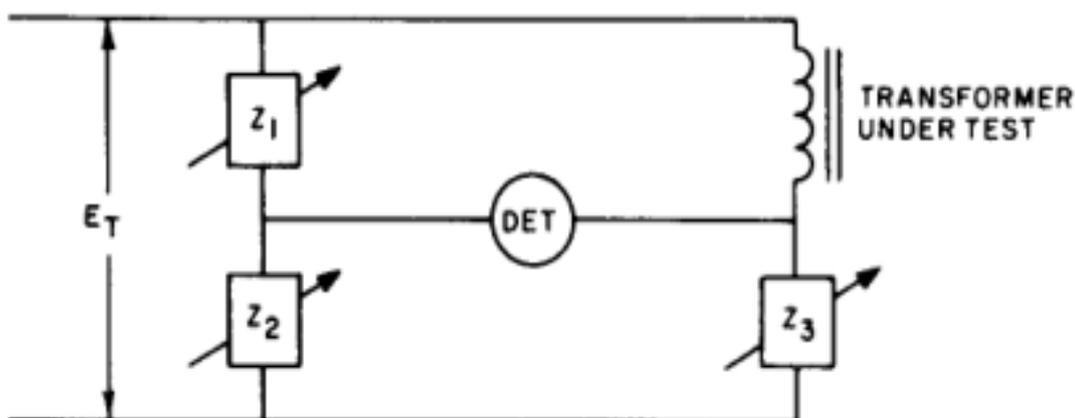
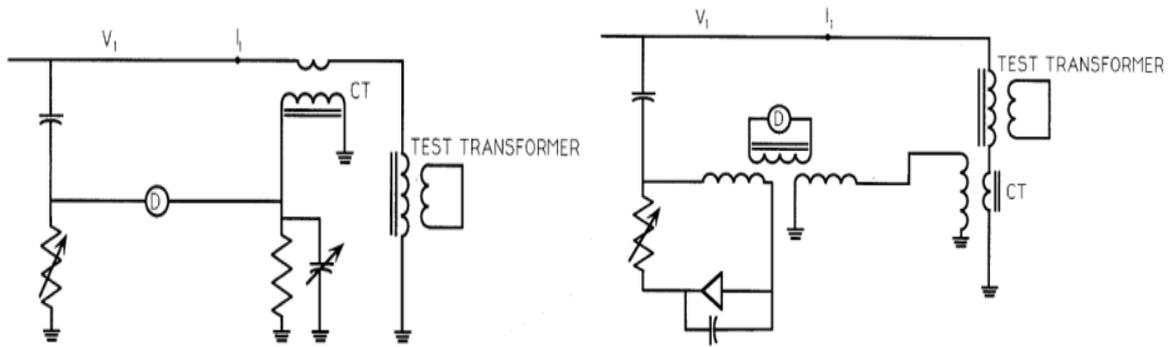


Figura 2.16 Configuración general del puente de impedancia [9].



**Figura 2.17 Puente de impedancia tipo RC; Puente de impedancia tipo brazo de relación de transformación [9].**

En general, los ajustes de la red de puentes para el equilibrio de la tensión dependen de la frecuencia; por lo tanto, la excitación del puente se hará con una fuente de energía que tenga una baja distorsión armónica y una excelente estabilidad de frecuencia [9].

Las mediciones de las pérdidas en los transformadores trifásicos que utilizan una fuente trifásica se realizan conectando la red del puente a cada fase sucesivamente y calculando las pérdidas totales a partir de las tres mediciones monofásicas [9].

- Procedimientos de prueba del transformador

Las pruebas de pérdida de carga y de voltaje de impedancia se realizan utilizando las conexiones y los aparatos que se muestran en la figura 2.15. Con un bobinado en cortocircuito, se aplica un voltaje de magnitud suficiente a la frecuencia nominal al otro bobinado y se ajusta para que circule la corriente nominal en el bobinado excitado. Se toman lecturas simultáneas de vatímetro, voltímetro y amperímetro. Si es necesario, se deben hacer las correcciones de las pérdidas en las conexiones externas y en los instrumentos de medición conectados [9].

El procedimiento para probar los transformadores trifásicos es muy similar, excepto que todas las conexiones y medidas son trifásicas en lugar de monofásicas, y se utiliza una fuente de energía trifásica equilibrada para la prueba. Si las tres corrientes de línea no pueden ser equilibradas, su valor medio rms debe corresponder al deseado valor. Deben registrarse lecturas simultáneas de vatímetros, voltímetros y amperímetros [9].

Si se hace circular una corriente menor a la nominal, el valor de la potencia que corresponde a las pérdidas de cortocircuito debe ser referido al valor de la corriente nominal del

transformador, multiplicando la potencia medida por el factor de corrección  $F_{cc}$  indicado en la ecuación 2.9:

$$P_m = F_{cc} * P'm \quad (\text{ecu 2.9})$$

$$F_{cc} = \left(\frac{I_n}{I_a}\right)^2 \quad (\text{ecu 2.10})$$

Donde:

- $P_m$ : Es la potencia corregida a la corriente nominal (W).
- $P'm$ : Es la lectura de los vatímetros (W).
- $F_{cc}$ : Factor de corrección de la potencia medida a temperatura ambiente.
- $I_n$ : Corriente nominal (A).
- $I_a$ : Corriente utilizada en el ensayo (A).

La corrección de las pérdidas de cortocircuito debido a errores por ángulos de fase en los vatímetros, circuitos de medida de voltaje y circuitos de medida de corriente deben aplicarse de acuerdo con la tabla 2.8 usando la ecuación 2.11.

$$P_c = P_m - V_m * A_m * (W_d - V_d + C_d) \quad (\text{ecu 2.11})$$

Donde:

- $P_c$ : Es la lectura del vatímetro, corregida por ángulo de fase. (W).
- $P_m$ : Es la lectura corregida a  $F_{cc}$  de cada vatímetro (W).
- $V_m$ : Es la lectura del voltaje en la bobina voltimétrica del vatímetro (V).
- $A_m$ : Es la lectura de corriente en la bobina amperimétrica del vatímetro (A).
- $W_d$ : Es el error de ángulo de fase del vatímetro. (radianes).
- $V_d$ : Es el error de ángulo de fase del transformador de corriente (radianes).
- $C_d$ : Es el error de ángulo de fase del transformador de corriente (radianes).

El error de ángulo de fase del vatímetro es una función del factor de potencia aparente del circuito. Se recomienda utilizar transformadores de instrumentación con una clase de 0,3 o mejor para las estas mediciones [7].

Tabla 2.8 Requerimiento para la corrección de errores por ángulo de fase [7].

Factor de Potencia Aparente de Perdidas Bajo carga ( $F_p = P_m / (V \cdot A)$ ).	Comentarios
$F_p < 0,03$	Aplica corrección de ángulo de fase
$0,03 \leq F_p \leq 0,10$	Aplica corrección de ángulo de fase si $Wd - Vd + Cd > 290$ microradianes (1 minuto)
$F_p \geq 0,10$	Aplica corrección de ángulo de fase si $(Wd - Vd + Cd) > 870$ microradianes (3 minuto)

El uso de la ecuación 2.11, está limitada a condiciones de factor de potencia aparente menor de 0,20. En caso que se requiera de corrección para un factor de potencia o error de fase del sistema fuera de este rango la siguiente formula se aplica [9]:

$$\phi_a = \cos\left(\frac{P_m}{V_m + A_m}\right) \quad (\text{ecu 2.11})$$

$$P_c = V_m \cdot A_m \cos(\phi_a - Wd - Vd + Cd) \quad (\text{ecu 2.12})$$

Las correcciones son aplicadas a la lectura de cada vatímetro empleado. La pérdida en cortocircuito del transformador a la temperatura  $t_m$ , es entonces como sigue [9]:

$$P(t_m) = \sum_{i=1}^n (R_v \cdot R_a \cdot P_{ci}) \quad (\text{ecu 2.13})$$

Donde:

- $P(t_m)$ : Es la pérdida de cortocircuito del transformador, corregida por error de ángulo de fase a la temperatura  $t_m$  (W).
- $n$ : número de fases.
- $P_{ci}$ : Es la lectura del vatímetros corregida al  $i$  n vatímetro. (W).
- $R_v$ : Relación de transformación del transformador de potencial.
- $R_a$ : Relación del transformador del transformador de corriente.

Tanto las pérdidas de  $I^2 R$  como las pérdidas de un transformador varían con la temperatura. Las pérdidas  $I^2 R$ ,  $P_r(t_m)$ , de un transformador se calculan a partir de las mediciones de resistencia óhmica (corregidas a la temperatura  $T_m$  a la que se hizo la medición de las

pérdidas de carga y la tensión de impedancia) y la corriente que se utilizó en la medición de la impedancia. Se calculan las pérdidas adicionales que es el resultado de la diferencia entre las pérdidas debidas a la carga y a las pérdidas debido a la resistencia [9]:

$$P_s(tm) = P(tm) - Pr(tm) \quad (\text{ecu 2.14})$$

Donde:

- $P_s(tm)$ : Pérdidas adicionales calculada a la temperatura  $tm$  (W).
- $P(tm)$ : Es la pérdida del transformador corregida de acuerdo a 11, por ángulo de fase a la temperatura  $tm$  (W).
- $Pr(tm)$ : Es la pérdida calculada  $I^2R$  a la temperatura  $tm$  (W).

La componente  $I^2R$  de las pérdidas bajo carga aumenta con la temperatura y las pérdidas adicionales disminuyen con la temperatura, por consiguiente, cuando se requiera convertir las pérdidas bajo carga de la temperatura  $tm$  a la temperatura  $tr$  de referencia, las dos componentes de pérdidas bajo carga deben ser corregidas separadamente [9]:

$$Pr(tr) = Pr(tm) * \left( \frac{Tk+tr}{Tk+tm} \right) \quad (\text{ecu 2.15})$$

$$P_s(tr) = P_s(tm) * \left( \frac{Tk+tm}{Tk+tr} \right) \quad (\text{ecu 2.16})$$

Entonces: 
$$P(tr) = Pr(tr) + P_s(tr) \quad (\text{ecu 2.17})$$

Donde:

- $Pr(tr)$ : Pérdidas  $I^2R$  a la temperatura  $tr$  (W).
- $P_s(tr)$ : Pérdidas a la temperatura  $tr$  (W).
- $P(tr)$ : Pérdidas bajo carga del transformador corregida a temperatura  $tr$  (W).
- $Tk$ : 234.5 para el cobre (°C); 225 para el aluminio (°C).

Cuando los devanados estén fabricados de cobre y aluminio, un valor de  $Tk = 229$  °C debe ser aplicado para la corrección de pérdidas. Según norma IEEE Std. C57.12.00 la temperatura de referencia usada en el ensayo de pérdidas en cortocircuito debe ser de 85 °C [9].

Calculo de la tensión de cortocircuito.

La tensión de cortocircuito a temperatura de prueba ( $tm$ ) se obtiene con el promedio de los tres voltímetros. Si se hace circular una corriente menor a la nominal, el valor de la tensión de cortocircuito debe ser referida al valor de la corriente nominal del transformador, multiplicando la tensión medida por el factor de corrección  $F'cc$  como se indica en la ecuación 2.18 [9].

$$V_z(tm) = F'cc * V'z(tm) \quad (\text{ecu 2.18})$$

$$F'cc = \left(\frac{I_n}{I_a}\right) \quad (\text{ecu 2.19})$$

Donde:

- $V_z(tm)$ : Es la tensión corregida a la corriente nominal (V).
- $V'z$ : Es promedio de las lecturas de los voltímetros (V).
- $F'cc$ : Factor de corrección de la tensión de cortocircuito medida a temperatura ambiente.
- $I_n$ : Corriente nominal(A).
- $I_a$ : Corriente utilizada en el ensayo (A).

La tensión de cortocircuito a la temperatura de referencia se obtiene usando las siguientes ecuaciones:

$$V_r(tm) = \frac{P(tm)}{I_n} \quad (\text{ecu 2.20})$$

$$V_x = \sqrt{(V_z(tm))^2 - (V_r(tm))^2} \quad (\text{ecu 2.21})$$

$$V_r(tr) = \frac{P(tr)}{I_n} \quad (\text{ecu 2.22})$$

$$V_z(tr) = \sqrt{(V_r(tr))^2 + (V_x(tm))^2} \quad (\text{ecu 2.23})$$

Donde:

- $V_r(tm)$ : Es la componente resistiva de la tensión de cortocircuito a la temperatura  $tm$  (V).

- $V_r(tm)$ : Es la componente resistiva de la tensión de cortocircuito a la temperatura  $tr$  (V)
- $V_x$ : Es la componente en cuadratura de la tensión de cortocircuito a la temperatura  $tr$  (V).
- $V_z(tm)$ : Es la tensión de cortocircuito a la temperatura  $tm$ . (V).
- $V_z(tr)$ : Es la tensión de cortocircuito a la temperatura  $tr$  (V).
- $P(tr)$ : Es la pérdida de cortocircuito del transformador corregida a la temperatura  $tr$  (V).
- $P(tm)$ : Es la pérdida de cortocircuito del transformador a la temperatura  $tm$  (V).
- $I_n$ : la corriente nominal del devanado de alta tensión (A).

Los valores en por unidad de la componente resistiva, en cuadratura y la tensión de cortocircuito se obtienen dividiendo  $V_r$ ,  $V_x$  y  $V_z$  por el voltaje nominal del devanado de alta tensión. El porcentaje se obtiene multiplicando los valores en por unidad por cien (100) [9].

Si se quiere obtener la impedancia de cortocircuito debe calcularse con la siguiente ecuación:

$$Z_{cc} = \sqrt{\frac{(P_s(tr))^2 - (P_s(tm))^2}{(P_n)^2} + \frac{(V_z(tr))^2}{(V_n)^2}} \quad (\text{ecu 2.24})$$

Donde:

- $Z_{cc}$ : Impedancia de cortocircuito (%).
- $P_n$ : Potencia nominal del transformador (W).
- $V_n$ : Tensión nominal del primario (V).

### 2.5.8 Ensayo de tensión aplicada

El ensayo de tensión aplicada consiste en verificar el perfecto estado del aislamiento de los devanados de alta y baja tensión, entre estos y el tanque y cualquier otro elemento puesto a tierra con el objetivo de asegurar que el transformador resistirá los esfuerzos eléctricos a los que se verá sometido durante su operación [9].

El ensayo debe realizarse por A.T. y luego por B.T. la tensión aplicada se utilizará a una frecuencia de 60 Hz y la duración del ensayo será de 1 min. Se debe cortocircuitar los devanados de alta tensión, de igual manera para los devanados de baja tensión, todas las demás y partes (incluidos el núcleo y el tanque) se conectarán a tierra [9].

- Ensayo de los devanados de alta tensión.

Los devanados de B.T. ya cortocircuitados se deben poner a tierra, comience el ensayo con una tensión 1/4 o menos del valor de la tensión de ensayo (según el nivel de aislamiento del devanado de alta tensión) y aumente gradualmente la tensión hasta el valor de la tensión de ensayo (indicada en la tabla 2.9) en no más de 15s manteniendo esta tensión por un tiempo de un (1) minuto. Luego reduzca gradualmente (en no más de 5 s) a 1/4 o menos del valor máximo de la tensión de ensayo [7].

- Ensayo de los devanados de baja tensión.

El procedimiento para el ensayo del devanado de baja tensión es igual al indicado en el punto 2.5.8.1, excepto que debe aplicarse con los devanados de A.T. puestos a tierra una tensión de ensayo de acuerdo al nivel de aislamiento del devanado de baja tensión (indicado en la tabla 2.9) [7].

**Tabla 2.9 Valores de tensión para el ensayo de tensión aplicada [7].**

Tensión Nominal del Sistema (kV)	Nivel Básico de Aislamiento (kV)	Tensión de Ensayo (kV)
1,2	30	10
2,4	45	15
4,8	60	19
8,32	75	26
14,4	95	34
24,0	150	50
34,5	200	70

Se debe prestar atención durante la aplicación del ensayo debido a posibles fallos, como la indicación de humo, burbujas, que se elevan en el aceite, un sonido audible o un aumento repentino de la corriente del circuito de prueba. Toda indicación de este tipo debe investigarse cuidadosamente mediante la observación, la repetición de la prueba o mediante otras pruebas para determinar si se ha producido un fallo [7].

### **2.5.9 Ensayo de tensión inducida.**

El objetivo de este ensayo es verificar el buen aislamiento entre espiras, seccionadores de bobinas y devanados de diferentes fases a frecuencias superiores a las nominales para evitar la saturación del núcleo al ser sometido a tensiones superiores [7].

La forma de voltaje deberá ser lo más cercano posible a una onda sinusoidal y su frecuencia suficientemente por encima de la frecuencia nominal, la mínima frecuencia de ensayo para conseguir esta condición es [7]:

$$Fe = \frac{Ve}{1.1 * Vn} * Fn \quad (\text{ecu 2.24})$$

Donde:

- $Fe$ : Frecuencia de ensayo (Hz).
- $Fn$ : Frecuencia nominal (Hz).
- $Vn$ : Tensión nominal (V).
- $Ve$ : Tensión de ensayo (V).

El tiempo durante el cual se aplica la tensión de ensayo del transformador según la siguiente expresión:

$$Te = \frac{7200}{Fe} \quad (\text{ecu 2.25})$$

Donde:

- $Fe$ : Frecuencia de ensayo (Hz).
- $Te$ : Tiempo de ensayo (s).

Se debe aplicar la tensión de ensayo en los terminales de baja tensión, igual a dos veces el valor nominal, dejando los bornes de alta tensión en circuito abierto, poniendo a tierra el tanque del transformador [7].

El ensayo comienza con una tensión 1/4 o menos del valor de la tensión de ensayo (dos veces el valor de la tensión nominal del devanado secundario) y aumente gradualmente la tensión hasta el valor de la tensión de ensayo en no más de 15s, manteniendo esta tensión por un tiempo descrito en la ecuación 2.25. Luego reduzca gradualmente (en no más de 5 s) a 1/4 o menos del valor máximo de la tensión de ensayo [7].

Se consideran aprobados los ensayos de tensión aplicada y tensión inducida si durante los mismo no se presentan ninguna de las siguientes anomalías: presencia de humo, ruido audible, burbujeo en el aceite o un incremento repentino de la corriente de prueba. En caso de que sea necesario realizar nuevamente estos ensayos, la tensión aplicada no debe exceder el 75 % del valor de la tensión de ensayo [7].

Al igual que para el ensayo de tensión aplicada es necesario prestar atención a posibles fallos, como la indicación de humo, burbujas, que se elevan en el aceite, un sonido audible o un aumento repentino de la corriente del circuito de prueba. Toda indicación de este tipo debe investigarse cuidadosamente mediante la observación, la repetición de la prueba o mediante otras pruebas para determinar si se ha producido un fallo [7].

### 2.5.10 Ensayo de factor de potencia de aislamiento.

El factor de potencia de aislamiento es otra manera de evaluar y juzgar las condiciones del aislamiento de los devanados de los transformadores, es recomendado para diagnosticar humedad y suciedad en los mismos. El objetivo fundamental del ensayo es detectar el cambio de características del aislamiento producto del envejecimiento, contaminación, como resultado del tiempo, condiciones de operación del equipo y efecto corona.

Todo material es capaz de conducir corriente eléctrica, aunque sea valores muy pequeños, el material aislante es pésimo conductor, pero a altos niveles de tensión se puede lograr una circulación de corriente, la cual está formada por una corriente capacitiva ( $I_C$ ) y una corriente de pérdidas ( $I_R$ ) así como se muestra en el diagrama fasorial de la figura 2.18. Cuando el ángulo delta es muy pequeño el factor de potencia y el factor de disipación son iguales [6].

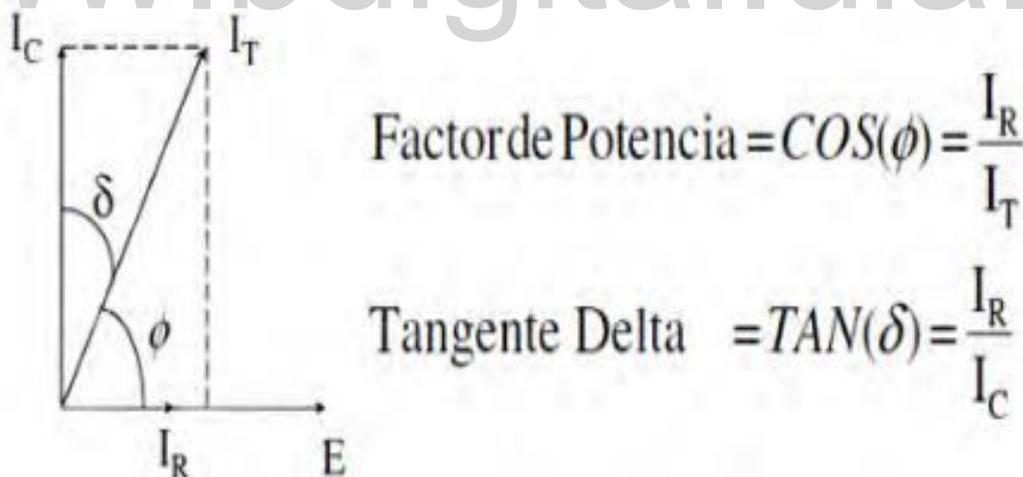


Figura 2.18 Descomposición fasorial de la corriente de aislamiento [6].

Con la inducción de una tensión AC aparece una corriente como consecuencia del proceso de polarización del material aislante (orientaciones de carga en sentido del campo eléctrico), este fenómeno disminuye en el tiempo, en transformadores puede durar desde algunos segundos hasta varios minutos [6].

El voltaje que se aplicará para medir el factor de potencia de aislamiento no deberá exceder la mitad del nivel de aislamiento del devanado a probar (indicado en la tabla 2.9), sin embargo, las pruebas de la mayoría de los equipos eléctricos se realizan normalmente a un voltaje nominal o a un máximo de 10 kV [7].

Como el FP aumenta directamente con la temperatura del transformador, se debe referir los resultados a una temperatura base de 20 °C, para fines de comparación [6].

A continuación, se explican 3 métodos de ensayo más comunes para la medición de factores de potencia, los cuales se realizan variando la conexión interna de los transformadores.

- UST

Equipo bajo prueba no puesto a tierra, en este modo solo se mide la corriente que circula por el cable de alto voltaje (donde se inyecta la fuente) y el cable de bajo voltaje, no se mide la corriente que circula hacia tierra [6].

- GST

Equipo bajo prueba puesto a tierra, en este modo se mide la corriente de fuga que circula hacia tierra y la que circula por el cable de bajo voltaje [6].

- GST-g

Equipo bajo prueba puesto a guarda, este modo mide la corriente de fuga hacia tierra [6].

Es necesario hacer énfasis en cortocircuitar cada grupo de devanados, si los devanados quedan flotando, la inductancia de los mismos será introducida en el circuito, por lo tanto, el equipo de prueba registrará esta corriente dando como resultado un factor de potencia mayor [6].

Los transformadores nuevos con aislamiento de papel-aceite típicamente presentan factores de potencia entre 0,25% a 0,30%; cualquier valor superior a 0,5% se considera deteriorado, para valores mayores a 1%, se recomienda investigar la causa que lo origina, puede ser degradación del aceite aislante, humedad y/o suciedad en los aislamientos [6].

### **2.5.11 Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.**

El ensayo de rigidez dieléctrica consiste en tomar la medida de la diferencia de potencial máxima aplicada entre dos electrodos sumergidos en aceite, separados a una distancia

determinada antes de que ocurra un arco eléctrico. Esta prueba indica la resistencia del aceite al paso de corriente eléctrica, es decir su capacidad como aislante, refleja la presencia de partículas polares y conductoras y la presencia de agua disuelta en el aceite [6].

Previo a la realización del ensayo es importante tener en cuenta [7]:

- El aceite debe ser tomado directamente del tanque del transformador, se debe dejar drenar previamente la válvula de muestreo, esperar que el aceite que sale por la válvula estabilice y tenga una mínima cantidad de burbujas de aire.
- El envase a utilizar debe estar limpio y libre impurezas o humedad.
- El aceite debe permanecer en el equipo de medición en completo reposo cinco minutos antes de iniciar el ensayo.
- Los electrodos deben estar separados a la distancia correcta, se mide con el calibrador circular que posee el equipo que realiza la prueba.
- Los electrodos son energizados a partir de cero voltios a razón de  $3 \text{ KV/s} \pm 20\%$  hasta que ocurra la descarga que es indicada por el equipo de medición.
- Se debe realizar cinco lecturas disruptivas con un tiempo de 1 minuto de intervalo entre ellas.
- De las cinco lecturas tomadas se elimina la mayor y la menor, se calcula el promedio de las lecturas restantes, el cual no debe ser menor de 35 kV.
- Debe cumplirse el criterio de consistencia estadística considerando las cinco lecturas tomadas ordenadas en forma creciente, se resta del valor más elevado el valor mínimo, se multiplica esta diferencia por tres. Si este valor es mayor al valor que le sigue al mínimo, es posible que la desviación normal de los cinco valores sea excesiva y por lo tanto también lo sea el error probable en su valor promedio.

#### **2.5.12 Ensayo de hermeticidad.**

El ensayo permite determinar la inexistencia de fugas de gas y de filtraciones de líquido aislante [7].

Se debe utilizar un gas inerte (nitrogeno) o en su defecto aire seco, para someter al transformador a la presión del ensayo, en el caso de la presencia de algún dispositivo de sobrepresión interna se debe impedir su activación [7].

El ensayo consiste en someter al transformador a una presión de ensayo de 49 kPa (0,5  $\text{Kg/cm}^2$ ) durante 1 hora como mínimo [7].

## 2.6 EQUIPOS DE MEDICION UTILIZADOS EN LOS METODOS DE ENSAYOS

Para realizar cada uno de los ensayos antes descritos se mencionarán algunos de los equipos que permiten la aplicación de dichos ensayos:

- Voltímetros A.C. y D.C.
- Amperímetros A.C y D.C.
- Vatímetros.
- Termómetros.
- Cronómetros.
- TTR.
- Megaóhmetro.

Estos equipos son los más conocidos y comunes para la implementación de los ensayos a transformadores, además existen otros equipos utilizados para la ejecución de los respectivos ensayos, uno de ellos son los equipos de medición marca OMICRON, esta marca se ha dedicado a desarrollar equipos de prueba compactos para pruebas de dispositivos de protección y de medida en las compañías eléctricas.

El equipo de medición CPC 100 es uno de sus productos, el cual se basa en un sistema multifuncional de pruebas primarias para la puesta en servicio y el mantenimiento de subestaciones, Este sistema de prueba patentado sustituye a numerosos dispositivos de prueba individuales y ofrece nuevos métodos de prueba. La potente unidad de prueba proporciona hasta 800 A o 2 kV (2 kA o 12 kV con accesorios) con hasta 5 kVA en un rango de frecuencias de 15 Hz a 400 Hz o 400 A CC [10].

La ejecución de los ensayos con el equipo CPC 100 se puede realizar directamente desde el panel de control de la unidad o también mediante un software “*Primary Test Manager (PTM)*” que ha diseñado la marca para una interacción más dinámica entre el usuario y el equipo.

Con la unidad CPC 100, se pueden realizar pruebas eléctricas en varios activos:

- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión
- Transformadores de potencia
- Líneas eléctricas
- Cables de alta tensión (AT)

- Sistemas de puesta a tierra
- Máquinas rotativas
- Sistemas GIS
- Celdas e interruptores de potencia
- Instalaciones IEC 61850
- Relés de protección

Para la implementación de los ensayos a los transformadores la marca Omicron ha desarrollado unidades complementarias como el equipo CP SB1 y el equipo CP TD1, a continuación, se mencionan las pruebas que se pueden aplicarse con estos equipos:

- Resistencia del devanado en CC hasta 100 A CC.
- Desmagnetización de transformadores con CP SB1.
- Relación de transformación del transformador (TTR) hasta 2 kV CA | incluidas la polaridad y la corriente de excitación | IEC 61387-1 soporte de transformadores con grupos vectoriales no convencionales.
- Determinación automática del grupo vectorial del transformador con CP SB1.
- Impedancia de reactancia de dispersión / cortocircuito hasta 6 A CA.
- Factor de potencia ( $\tan \delta$ ) + capacitancia del aislamiento, hasta 12 kV/15 kV, 300 mA | frecuencia de 15 Hz a 400 Hz | con CP TD1.
- Corriente de excitación por toma hasta 12/15 kV, 300 mA | con CP TD1.

## 2.7 NORMA ISO 9001:2015

La norma ISO 9001:2015 es una de las tantas normas existentes de la familia ISO, está en común se centra en la satisfacción del cliente y en la capacidad de proveer productos y servicios que tengan los más altos niveles de calidad internos y externos de la organización. La obtención de esta norma convierte a las empresas certificadas en un grupo de estas dependiendo de la rama de producción que tenga, en una empresa competitiva dentro del ámbito del mercado.

Al ser una norma que es dirigida a la satisfacción del cliente tanto externo como interno de la empresa, es a quien se debe oír y seguir los requisitos que este exija para así definir y gestionar los procesos necesarios dentro de la empresa para asegurar que los productos y servicios sean conformes con los requisitos de estos. Se considera una norma abierta a la mejora continua pues cumple con los requisitos del cliente y de partes interesadas relevantes

para la empresa, todo esto se usa como retroalimentación para evaluar y validar si se han logrado los objetivos propuestos dentro de la organización.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# **CAPITULO III**

## **MARCO METODOLOGICO**

Este capítulo consta de la recopilación de datos, diseño de la investigación seleccionada, tipo de investigación ejecutada y los recursos usados para llevar a cabo de manera correcta la aplicación del presente proyecto.

### **3.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN DONDE SE LLEVÓ A CABO EL DESARROLLO DEL PROYECTO.**

Bobinados Occidente C.A es una empresa privada que presta un servicio de alta calidad, encargada del mantenimiento, reconstrucción, fabricación y servicios integrales de transformadores de generación eléctrica de distribución y potencia. Su sede se encuentra ubicada en El Vigía, estado Mérida, específicamente en la Zona Industrial de El Vigía Galpones 1 y 2 de Corpoindustria. Mediante la filosofía del “Proceso Listo” implementada por su fundador el Ing. Ramón Atilio Márquez se logra que cada uno de ellos se encuentre comprometido con todas las actividades realizadas dentro de la empresa y que a la vez intervengan en la realización del producto final, transformadores del tipo monofásico, trifásico, entre otros servicios que presta la organización.

#### **3.1.1 Misión.**

Su misión es: “Consolidarnos como la mayor y mejor organización venezolana de servicios integrales a transformadores eléctricos.”

#### **3.1.2 Visión.**

Su visión es “Producir y prestar servicios integrales a transformadores eléctricos, garantizando altos estándares de calidad que logren la plena satisfacción, confianza y lealtad de nuestros clientes.”

### 3.1.3 Valores.

- El **Respeto** fortalece la confianza entre nosotros.
- Con **Eficiencia** optimizamos nuestros recursos.
- El **Trabajo en equipo** facilita el logro de nuestras metas.
- Con **Organización** trabajamos de forma meticulosa y precisa.
- El buen **Servicio** garantiza un cliente conforme y dispuesto a recomendarnos.
- Somos **Honestos** y responsables.
- Sentimos el **Compromiso** de construir un país próspero e industrializado.

## 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se aplicó diseño de campo, ya que es el que mejor se adapta al desarrollo del proyecto, este se realiza y se lleva a cabo directamente en el ambiente o lugar de trabajo donde se aprecia el fenómeno que se desea estudiar. En este tipo de diseño se suele aplicar las diferentes herramientas como lo son: entrevistas, observación, revisión de documentación y recopilación de data existente.

El proyecto académico se realizó dentro del proceso de producción, específicamente llamado “Producción Potencia (PRP)”, este proceso es el encargado de llevar a cabo todas las actividades relacionadas con la reconstrucción, mantenimiento o reparación de transformadores eléctricos trifásicos dentro de la empresa. Todos los demás procesos definidos por la organización cuentan con un manual de procedimiento por el cual se rigen para realizar cada una de sus actividades diarias, en el caso del proceso de producción distribución, allí se realizan todas las actividades para la reconstrucción de transformadores monofásicos de distribución desde la recepción, prestación del servicio hasta la conformidad del producto final, cumpliendo con las actividades que están descritas en el Manual de Procedimientos de dicho proceso.

### 3.2.1 Entrevistas.

Es una forma específica de interacción social. El investigador se sitúa frente al investigado y le formula preguntas, a partir de cuyas respuestas habrán de surgir los datos de interés. Se establece así un diálogo, pero un diálogo asimétrico, donde una de las partes busca recoger información y la otra se presenta como fuente de esta información. Dentro de la empresa se realizó entrevistas a 3 personas de la directiva como lo fueron el líder de producción, líder de gestión técnica y presidencia, así como a todo el personal operativo de planta, que son los encargados de la ejecución de las actividades del proceso productivo, las entrevistas fueron del tipo mixta con preguntas abiertas y cerradas para recolectar información que ayudaría a

la estructuración del manual de procedimientos y métodos de ensayo a realizar en el presente proyecto.

### **3.2.2 Muestra**

Son los equipos (transformadores) seleccionados para el seguimiento de las actividades que son ejecutadas durante el proceso de producción que ayuda a la recopilación de la información necesaria para plasmar los procedimientos a seguir de manera idónea. Para dicho seguimiento fue tomado en cuenta un transformador trifásico que se encontraba en el proceso durante el tiempo en que se realizó la investigación y recopilación de datos necesarios para realizar el presente proyecto.

### **3.2.3 Material Documentado**

Se recolectó toda la información posible almacenada en la empresa, bien sea archivos históricos del proceso, manuales de procesos paralelos, normativas nacionales e internacionales, catálogos, despieces, información vía web, entre otros. Con el propósito de obtener información detallada acerca de todo el proceso que se debe realizar en la reconstrucción, mantenimiento o reparación de transformadores trifásicos de distribución y de potencia y así llevar a cabo la conceptualización del manual requerido para dicho proceso.

## **3.3 SINTESIS DE CALIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCION POTENCIA**

En cada proceso dentro de la organización existe un manual de procedimientos que contempla detalladamente cada actividad que debe realizarse, de esta manera se busca asegurar una gestión eficaz que dirige y controla cada área de la organización a fin de que los productos y servicios ofrecidos permitan satisfacer las expectativas del cliente.

El proceso de gestión de la calidad es el encargado de velar por la documentación, pruebas, detección de no conformidades, gestión de procesos y aseguramiento de la calidad dentro de las distintas áreas de la empresa, quien conlleva todo esto es el líder de gestión de la calidad junto con un Auxiliar, que es quien ejecuta las actividades programadas por el líder, velan por el cumplimiento de todas las actividades y acciones plasmadas en el Manual de Gestión de la Calidad, para así cumplir con todas las directrices que exige la norma dentro de la empresa.

Para establecer las principales pautas a seguir en la elaboración del manual de procedimientos del proceso de producción potencia se ha tomado en cuenta el manual correspondiente al proceso paralelo de producción, el cual ya se encuentra definido por la

organización, bajo este esquema la organización ha demostrado en el tiempo que trabajando de forma meticulosa y precisa se obtienen productos y servicios de calidad. Bobinados Occidente C.A., tiene definida una codificación interna para el control de toda su documentación, es por ello que para la elaboración del presente manual utilizo una codificación para el manual y sus diferentes secciones que lo conforman.

**Tabla 3.1 Control documentado de manual de procedimientos “Producción Potencia (PRP)”.**

<b>Apéndice</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
A	MAN-PRP-001	Manual del proceso de “Producción Potencia” (PRP).
B	PRP-DOC-00X	5.1 Documentos.
C	PRP-PRO-00X	5.2 Procedimientos
D	PRP-PLC-00X	5.3 Planes de Calidad
E	PRP-PLN-00X	5.4 Planos
F	PRP-FOR-00X	5.5 Formularios
G	PRP-INS-00X	5.7 Instructivos de Trabajo
H	PRP-IME-00X	5.8 Instructivos de Métodos de Ensayo.

La tabla 3.1 describe la estructura por la cual se ha elaborado el manual de procedimientos “Producción Potencia” el cual se muestra en el apéndice A del presente trabajo, de esta manera el manual cumple con el objetivo principal de mantener documentadas las actividades que se realizan durante el proceso productivo a través de procedimientos, formularios, instructivos de trabajo, instructivo de método de ensayo o cualquier otro documento que sea necesario para asegurar la eficaz planificación, operación y control del proceso.

### 3.3.1 Documentos

**Tabla 3.2 Documentos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice B)**

<b>5.1</b>	<b>Documentación:</b>	
	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
5.1.1	PRP-DOC-001	Mapa de proceso de producción potencia.
5.1.2	PRP-DOC-002	Mapa de proceso de área de recepción, desarme y diagnóstico.
5.1.3	PRP-DOC-003	Mapa de proceso de área de prelavado, lavado y pintado.
5.1.4	PRP-DOC-004	Mapa de proceso de área de carpintería metalmecánica.
5.1.5	PRP-DOC-005	Mapa de proceso de área de soldadura.
5.1.6	PRP-DOC-006	Mapa de proceso de área de parte activa.

Consta de archivos de cualquier tipo que contienen información complementaria que prestan apoyo a los usuarios del manual (ver tabla 3.2), dentro de este ítem se encuentran los mapas de proceso cuyo objetivo es dar una noción general acerca de las actividades que están definidas en el proceso, apoyándose en entradas, salida y partes interesadas, por otro lado, define los objetivos planteados en dicho proceso y menciona la documentación asociada.

**Tabla 3.3 Documentos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP” (cont.). (Ver apéndice B)**

5.1	Documentación:	
	Código	Descripción
5.1.7	PRP-DOC-007	Mapa de proceso de área de preparación de aislamiento y refrigeración de bobinas.
5.1.8	PRP-DOC-008	Mapa de proceso de área de fabricación de bobinas.
5.1.9	PRP-DOC-009	Mapa de proceso de área de horneado.
5.1.10	PRP-DOC-010	Mapa de proceso de área de ensamblaje del transformador.
5.1.11	PRP-DOC-011	Mapa de proceso de rea de ensayos del producto terminado y despacho.
5.1.12	PRP-DOC-012	Manejo de equipo de medición Omicron CPC 100
5.1.13	PRP-DOC-013	Manejo de equipo de medición Omicron CP SB1
5.1.14	PRP-DOC-014	Manejo de equipo de medición Omicron CP TD1

**Tabla 3.4 Procedimientos elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice C)**

5.2	Procedimientos:	
	Código	Descripción
5.2.1	PRP-PRO-001	Área de recepción, desarme y diagnóstico.
5.2.2	PRP-PRO-002	Área de prelavado, lavado y pintado.
5.2.3	PRP-PRO-003	Área de carpintería metalmecánica.
5.2.4	PRP-PRO-004	Área de soldadura.
5.2.5	PRP-PRO-005	Área de parte activa.
5.2.6	PRP-PRO-006	Área de preparación de aislamiento y refrigeración de bobinas.
5.2.7	PRP-PRO-007	Área de fabricación de bobinas.
5.2.8	PRP-PRO-008	Área de horneado.
5.2.9	PRP-PRO-009	Área de ensamblaje del transformador.
5.2.10	PRP-PRO-010	Área de ensayos del producto terminado y despacho.

### 3.3.2 Procedimientos

Los procedimientos describen una guía y secuencia de actividades para llevar a cabo las operaciones productivas de cada área de trabajo dentro del proceso de producción potencia (ver tabla 3.3). Las actividades descritas en los procedimientos fueron definidas siguiendo una secuencia lógica que describe todo el proceso según como se contempla en la normativa nacional FONDONORMA 3860 NORMA VENEZOLANA RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE POTENCIA. REQUISITOS Y METODOS DE ENSAYO.

### 3.3.3 Planes de calidad

Los planes de calidad al igual que los procedimientos definen la secuencia de actividades definidas dentro del proceso (ver tabla 3.4), en él se toman en cuenta los puntos clave de evaluación de sub-productos a lo largo de todo el proceso productivo, en estos puntos de atención se definen criterios de aceptación según las normativas nacionales e internacionales consultadas, así como también indica los responsables directos en la ejecución de cada actividad, además toma en cuenta la información documentada asociada, maquinaria involucrada y materia prima requerida, de esta manera los planes de calidad dan cuenta de todos los ámbitos involucrados para la ejecución eficaz y precisa de cada actividad que se contempla para llevar a cabo las operaciones productivas en la reconstrucción, mantenimiento o reparación de transformadores trifásicos.

**Tabla 3.5 Planes de Calidad elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice D)**

5.3	Planes de calidad:	
	Código	Descripción
5.3.1	PRP-PLC-001	Área de recepción, desarme y diagnóstico.
5.3.2	PRP-PLC-002	Área de prelavado, lavado y pintado.
5.3.3	PRP-PLC-003	Área de carpintería metalmecánica.
5.3.4	PRP-PLC-004	Área de soldadura.
5.3.5	PRP-PLC-005	Área de parte activa.
5.3.6	PRP-PLC-006	Área de preparación de aislamiento y refrigeración de bobinas.
5.3.7	PRP-PLC-007	Área de fabricación de bobinas.
5.3.8	PRP-PLC-008	Área de horneado.
5.3.9	PRP-PLC-009	Área de ensamblaje del transformador.
5.3.10	PRP-PLC-010	Área de ensayos del producto terminado y despacho.

### 3.3.4 Planos

En esta sección se contempla los planos asociados al proceso, por ejemplo: PRP-PLN-001 Distribución de áreas de PRP (ver apéndice E).

### 3.3.5 Formularios

Los formularios es la documentación diseñada principalmente para levantar registros durante el proceso de servicio que se preste a cada transformador con la evidencia correspondiente (ver tabla 3.5). Los formularios permiten realizar la trazabilidad a cada transformador haciendo un registro histórico donde se plasma la identificación del equipo en proceso, resultados de ensayos de diagnóstico, planificación de partidas a ejecutar, recopilación de datos de diseño y características constructivas, resultado de ensayos durante el proceso, reportes de falla y no conformidades, inspecciones y resultados de ensayos de conformidad del producto final.

**Tabla 3.6 Formularios elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice F).**

5.5	Formularios:	
	Código	Descripción
5.5.1	PRP-FOR-001	Ficha técnica.
5.5.2	PRP-FOR-002	Evaluación externa e interna del transformador tipo sub estación.
5.5.3	PRP-FOR-003	Evaluación externa e interna del transformador tipo pedestal.
5.5.4	PRP-FOR-004	Evaluación externa e interna del transformador tipo sumergible.
5.5.5	PRP-FOR-005	Partidas generales del servicio.
5.5.6	PRP-FOR-006	Identificación de partes del transformador.
5.5.7	PRP-FOR-007	Estatus de producción potencia.
5.5.8	PRP-FOR-008	Carpeta de ruta.
5.5.9	PRP-FOR-009	Datos de la parte activa y bobinas.
5.5.10	PRP-FOR-010	Plano técnico.
5.5.11	PRP-FOR-011	Reporte de rechazo.
5.5.12	PRP-FOR-012	Inspección por atributos.
5.5.13	PRP-FOR-013	Protocolo de pruebas.

### 3.3.6 Instructivos de trabajo

Los instructivos de trabajo cumple con el objetivo de orientar al personal responsable de ejecutar las actividades mediante una descripción detallada paso a paso de las actividades anteriormente definidas en los procedimientos del proceso (ver tabla 3.6).

**Tabla 3.7 Instructivos de Trabajo elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice G).**

5.7	Instructivos de trabajo:	
	Código	Descripción
5.7.1	PRP-INS-001	Carga y descarga del transformador.
5.7.2	PRP-INS-002	Manejo de grúas y montacargas.
5.7.3	PRP-INS-003	Manejo de máquinas herramientas.
5.7.4	PRP-INS-004	Desarme del transformador.
5.7.5	PRP-INS-005	Verificación de los instrumentos de medición del transformador.
5.7.6	PRP-INS-006	Extracción de la parte activa.
5.7.7	PRP-INS-007	Desarme y lavado de la parte activa.
5.7.8	PRP-INS-008	Prelavado, lavado de tanque-cuba, radiadores y partes metálicas.
5.7.9	PRP-INS-009	Lavado de accesorios.
5.7.10	PRP-INS-010	Pintado de tanque-cuba, radiadores y partes metálicas.
5.7.11	PRP-INS-011	Elaboración del archivo dibujo digital.
5.7.12	PRP-INS-012	Generación del archivo digital de corte.
5.7.13	PRP-INS-013	Corte en CNC con arco de plasma mediante carga de archivo .nc usando unidad USB.
5.7.14	PRP-INS-014	Ensamblaje de la parte activa
5.7.15	PRP-INS-015	Preparación de aislamiento y refrigeración de bobinas.
5.7.16	PRP-INS-016	Fabricación de bobinas de B.T.
5.7.17	PRP-INS-017	Fabricación de bobinas de A.T.
5.7.18	PRP-INS-018	Soldadura.
5.7.19	PRP-INS-019	Horneo de parte activa y aisladores.
5.7.20	PRP-INS-020	Ensamblaje de los radiadores.
5.7.21	PRP-INS-021	Ensamblaje de la tapa del transformador.
5.7.22	PRP-INS-022	Encubado de la parte activa adentro del tanque-cuba.
5.7.23	PRP-INS-023	Ensamblaje del transformador.
5.7.24	PRP-INS-024	Aplicación de vacío al transformador.
5.7.25	PRP-INS-025	Prueba de hermeticidad.
5.7.26	PRP-INS-026	Marcaje, identificación y embalaje del transformador.

### 3.3.7 Instructivos de métodos de ensayo.

Los instructivos de métodos de ensayo se han definido de acuerdo a los requisitos establecidos en las normas nacionales e internacionales en lo que refiere a la reconstrucción de transformadores eléctricos trifásicos (ver tabla 3.7), principalmente de acuerdo a FONDONORMA 3860 NORMA VENEZOLANA RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE POTENCIA. REQUISITOS Y METODOS DE ENSAYO y IEEE Std C57.12.90-1999 IEEE *Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*. Para la elaboración de estos instructivos se realizó un estudio exhaustivo de las normativas antes mencionadas a fin de establecer un paso a paso que describa el procedimiento completo de cada ensayo, ajustándose a los equipos de medición y banco de pruebas con las que cuenta la organización. Estos instructivos tienen como objetivo instruir al personal responsable de realizar los ensayos aplicables a los transformadores trifásicos.

**Tabla 3.8 Instructivos de Metodos De Ensayo elaborados en el “Manual de Procedimientos PRP”. (Ver apéndice H).**

5.8	Instructivos de métodos de ensayo:	
	Código	Descripción
5.8.1	PRP-IME-001	Ensayo de relación de transformación (TTR).
5.8.2	PRP-IME-002	Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.
5.8.3	PRP-IME-003	Ensayo de resistencia de aislamiento.
5.8.4	PRP-IME-004	Ensayo de resistencia de los devanados.
5.8.5	PRP-IME-005	Ensayo de pérdidas de corriente en vacío ó corriente de excitación.
5.8.6	PRP-IME-006	Ensayo de pérdidas de corriente en corto circuito o impedancia de corto circuito.
5.8.7	PRP-IME-007	Ensayo de tensión aplicada.
5.8.8	PRP-IME-008	Ensayo de tensión inducida.
5.8.9	PRP-IME-009	Ensayo de factor de potencia de aislamiento.
5.8.10	PRP-IME-010	Ensayo de núcleos.

### 3.3.8 Definición y distribución de áreas de trabajo.

Inicialmente se realizó el estudio a las principales actividades requeridas que definen el proceso productivo en la prestación de los diferentes servicios de los transformadores trifásicos, quedando de la siguiente manera:

- Descarga en taller: Recibir, descargar y almacenar los transformadores.
- Ensayos preliminares según normas, desencubado y diagnóstico externo e interno del transformador.

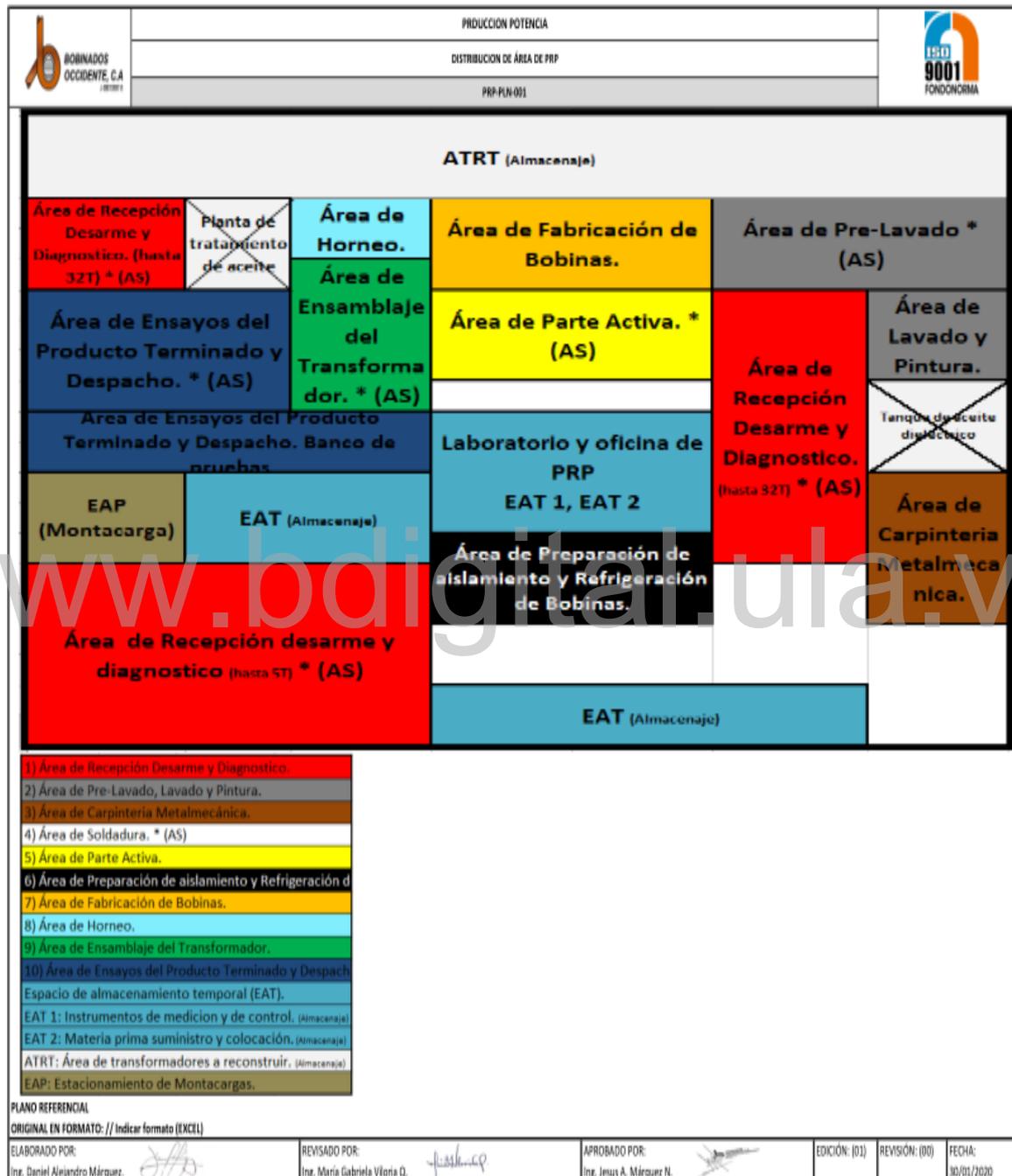


Figura 3.1PRP-PLN-001 Plano de distribución de áreas del proceso “Producción Potencia PRP”

- Definir y solicitar los recursos necesarios.

- Ejecutar actividades definidas.
- Levantar registros durante el proceso de servicio que se preste a cada transformador con la evidencia correspondiente.
- Realizar los ensayos y pruebas eléctricas de aceptación según las normas correspondientes y registrar los protocolos de prueba de los transformadores.
- Consolidar el expediente del transformador y mantener su archivo histórico ordenado.

Una vez definidas las principales actividades para el proceso de producción potencia y evaluando los espacios físicos disponibles se realizó una propuesta para definir la distribución de las áreas de trabajo, quedando como se muestra en la figura 3.1 según el registro PRP-PLN-001.

Todas las áreas señaladas en el plano de distribución de áreas productivas (figura 3.1) fueron identificadas físicamente dentro de las instalaciones de Bobinados Occidente C.A., además cuentan con el espacio, la maquinaria y las herramientas necesarias para la ejecución de cada actividad establecida en los procedimientos y planes de calidad que se han elaborado para cada área del proceso.

### **3.4 ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS A TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS COMO DIAGNÓSTICO DE RECEPCIÓN.**

El área de recepción, desarme y diagnóstico es el espacio que se ha establecido para realizar la recepción de los transformadores trifásicos que llegan a Bobinados Occidente C.A., para esta área se ha establecido una secuencia de actividades que se deben realizar y están descritas en el Procedimiento PRP-PRO-001 y en el plan de calidad PRP-PLC-001 (ver apéndice C y D).

Entre las principales actividades definidas en el procedimiento **“PRP-PRO-001 ÁREA RECEPCIÓN, DESARME Y DIAGNÓSTICO”** (ver apéndice C) se encuentra: descargar transformador de potencia del camión, llenar la ficha técnica (PRP-FOR-001 apéndice F), realizar evaluación externa e interna del transformador. La evaluación externa e interna se realiza con el objetivo de obtener un diagnóstico inicial del equipo, para dicho diagnóstico se determinó aplicar los siguientes ensayos:

**PRP-IME-001:** prueba de relación de transformación (TTR).

**PRP-IME-002:** Ensayo de rigidez dieléctrica de aceite.

**PRP-IME-003:** Ensayo de resistencia de aislamiento.

**PRP-IME-004:** Ensayo de resistencia de devanados.

**PRP-IME-005:** Ensayo de pérdidas de corriente en vacío ó corriente de excitación.

La aplicación de cada ensayo mencionado (ver apéndice H) depende del tipo de falla con que llegue el equipo, los resultados arrojados durante la evaluación se registran en los siguientes formularios según el tipo de transformador en estudio (ver apéndice F):

**PRP-FOR 002:** evaluación externa e interna del transformador tipo sub estación.

**PRP-FOR-003:** evaluación externa e interna del transformador tipo pedestal.

**PRP-FOR-004:** evaluación externa e interna del transformador tipo sumergible.

De acuerdo al resultado del diagnóstico se obtiene una respuesta del tipo de servicio que aplica (reconstrucción, mantenimiento o reparación) al transformador, ya definido el servicio que debe ejecutarse se genera una planificación mediante el formulario **PRP-FOR-005: PARTIDAS GENERALES DEL SERVICIO**, el cual define el alcance real con que el transformador debe ser procesado.

### **3.5 ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS AL SUBPRODUCTO DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO.**

El sub producto es toda aquella pieza, accesorio u otro componente del transformador que sale de un área de producción y sirve de entrada a otra área, todo sub producto lleva una respectiva evaluación, ya sea por atributos propios visibles o que requiera de la aplicación de un método de ensayo que de la conformidad del mismo.

Durante el proceso productivo se ha definido una serie de subproductos los cuales generan un punto de atención, ya que requieren ser evaluados a fin de garantizar la conformidad en cada una de las áreas de producción, los resultados de estas evaluaciones deben ser registrados con el objetivo de llevar una evidencia y trazabilidad de los equipos en proceso, debido a esto se crearon una serie de formularios (apéndice F) donde se deben plasmar estos resultados.

**Tabla 3.9 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 3.**

<b>Área 2: prelavado, lavado y pintado.</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Medición espesor de Pintura.	Las mediciones de espesor deben ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Micras de pintura de fondo &lt; 50</li> <li>• Micras de pintura de acabado final &lt;150</li> </ul> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>
2	Accesorios del transformador sucios, sin pintar (cuando aplique) y/o mal identificados. Aisladores, conectores, herrajes, tornillería, conmutador, válvulas entre otros.	Los accesorios del transformador libre impurezas y evidencia de aplicación de pintura (en caso que aplique). <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b> <b>PRP-FOR-006: IDENTIFICACIÓN PARTE COMPONENTE</b>
3	Proceso de estañado de conectores de A.T. conectores de B.T.	Evidencias de la ejecución del proceso de estañado en los conectores de A.T. y B.T. mediante inspección visual. <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>

**Tabla 3.10 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 3.**

<b>Área 3: de carpintería metalmecánica.</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Verificar el corte de pieza.	Dimensiones de corte coinciden con las requeridas para la adecuación de accesorios en el transformador. <b>PRP-FOR-010: PLANO TÉCNICO</b>

**Tabla 3.11 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 4.**

<b>Área 4: de soldadura</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Verificar soldadura mediante ensayo de hermeticidad.	No presencia de fugas de aceite en áreas donde se realizó el proceso de soldadura durante o después del armado del transformador. <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>

**Tabla 3.12 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 5.**

<b>Área 5: de parte activa.</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Parte activa libre de impurezas después del lavado (aplica para el servicio de mantenimiento).	No presencia de suciedad en la parte activa del transformador. <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>
2	Datos de parte activa y bobinas.	Cuando los valores del formulario Datos de la parte activa y bobinas coinciden con las medidas tomadas directamente de los núcleos, lo que ocasiona la fabricación de la bobina Conforme. <b>PRP-FOR-009: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b>
3	Ensayo de núcleos.	Se cumplen los requisitos descritos en cuanto a las propiedades magnéticas del núcleo, según instructivo <b>PRP-IME-010: ENSAYO DE NÚCLEOS PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.</b>
4	Ensayo de relación de transformación (TTR) para la conformidad del armado de la parte activa.	La relación de espiras no debe exceder en más +/- del 0,5% del valor real para cada posición del cambiador de tomas. Según instructivo <b>PRP-IME-001: ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (TTR) PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.</b> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA.</b>
5	Ensayo de relación de transformación (TTR) para la conformidad del cambiador de tomas.	La relación de espiras no debe exceder en más +/- del 0,5% del valor real para cada posición del cambiador de tomas. Según instructivo <b>PRP-IME-001: ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (TTR) PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.</b> <b>PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA.</b>

**Tabla 3.13 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 6.**

<b>Área 6: de preparación de aislamiento y refrigeración de bobinas.</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Verificar las medidas del aislamiento y de la refrigeración preparada.	Las medidas del aislamiento y de la refrigeración preparada están conformes con las medidas requeridas e indicadas en el registro del <b>PRP-FOR-009: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA.</b>

**Tabla 3.14 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 7.**

<b>Área 7: de fabricación de bobinas.</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Bobina de B.T. después de fabricada.	Conformidad en la cantidad de vueltas en la bobina de B.T. según el <b>PRP-FOR-010: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b> La bobina de B.T. se encuentra el rango de las dimensiones establecidas en <b>PRP-FOR-010: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA.</b>
2	Bobina de A.T. después de fabricada.	Conformidad en la cantidad de vueltas en la bobina de A.T. según el <b>PRP-FOR-010: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b> La bobina de A.T. se encuentra el rango de las dimensiones establecidas en <b>PRP-FOR-010: DATOS DE LA PARTE ACTIVA Y BOBINAS.</b> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>

**Tabla 3.15 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 8.**

<b>Área 8: horneado</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Ensayo de resistencia de aislamiento para transformadores trifásicos.	Si el ensayo da como resultado un valor de resistencia de aislamiento superior a 2000 MΩ a 20°C. Según instructivo <b>PRP-IME-003 ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.</b> <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>

**Tabla 3.16 Subproductos y Ensayos definidos en el manual del proceso “Producción Potencia PRP”, durante el proceso productivo, área 9.**

<b>Área 9: ensamble del transformador</b>		
<b>N°</b>	<b>Subproducto/Ensayos</b>	<b>Subproducto Conforme/Formulario de Registro.</b>
1	Verificación del correcto ensamble del transformador	Excelentes condiciones en los accesorios ensamblados al transformador (conexión de los terminales de alta y baja tensión, conectores puesta a tierra, estado del tanque, condiciones de operatividad del cambiador de tomas y válvula de alivio). <b>PRP-FOR-008: CARPETA DE RUTA</b>
2	Prueba de hermeticidad	El transformador no presenta fugas de aceite, una vez aplicada la presión de hermeticidad según lo establece el instructivo <b>PRP-INS-025: PRUEBA DE HERMETICIDAD EN TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.</b> <b>PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA</b>
3	Ensayo de relación de Transformación (TTR) para la conformidad del ensamble del Transformador.	La relación de espiras no debe exceder en más +/- del 0,5% del valor real para cada posición del cambiador de tomas. Ver <b>PRP-IME-001: ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (TTR) PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.</b> <b>PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA</b>

Las tablas descritas anteriormente (tabla 3.9 – tabla 3.16) hablan de los criterios para la conformidad del subproducto y del formulario donde se debe realizar el registro de los mismos, por otro lado, para el caso en que la evaluación al subproducto resulte no conforme se hace un estudio de la razón por la cual no se encuentra conforme y se registra en el formulario **PRP-FOR-011 REPORTE DE RECHAZO** (apéndice F).

### **3.6 ENSAYOS Y REGISTROS APLICADOS A LA CONFORMIDAD DEL PRODUCTO FINAL.**

El área de ensayos del producto terminado y despacho es donde se recibe el transformador luego de haberse ejecutado todas las actividades definidas para el servicio prestado, en esta área se estableció realizar todo el protocolo de ensayos finales como se encuentra definido según la norma nacional FONDONORMA 3860 “NORMA VENEZOLANA

## RECONSTRUCCION DE TRANSFORMADORES TRIFASICOS DE POTENCIA. REQUISITOS Y METODOS DE ENSAYO”.

Previo a la aplicación de los ensayos en esta área se debe realizar una inspección por atributos, que consiste en inspeccionar detalladamente todos los accesorios que posee el transformador y de esta manera asegurarse que el transformador se encuentra conforme para proceder a realizar los ensayos finales, el registro de esta actividad se realiza en el formulario **PRP-FOR-012 INSPECCION POR ATRIBUTOS** (apéndice F).

Los ensayos determinados a realizar al producto final son los siguientes:

**PRP-IME-001:** Ensayo de relación de transformación (TTR).

**PRP-IME-002:** Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.

**PRP-IME-003:** Ensayo de resistencia de aislamiento.

**PRP-IME-004:** Ensayo de resistencia de los devanados.

**PRP-IME-005:** Ensayo de pérdidas de corriente en vacío ó corriente de excitación.

**PRP-IME-006:** Ensayo de pérdidas de corriente en corto circuito o impedancia de corto circuito.

**PRP-IME-007:** Ensayo de tensión aplicada.

**PRP-IME-008:** Ensayo de tensión inducida.

**PRP-IME-009:** Ensayo de factor de potencia de aislamiento.

El registro de cada uno de estos ensayos se refleja en el formulario **PRP-FOR-013: PROTOCOLO DE PRUEBAS**, con la conformidad en la aplicación de la totalidad de los ensayos se garantiza que el transformador se encuentra apto para ser puesto en funcionamiento, posteriormente se procede a realizar la identificación para luego liberarlo para la entrega al cliente.



Al llegar un transformador a Bobinados Occidente C.A. luego de la recepción en planta se realiza la recopilación de los datos de placa del equipo en el formulario **PRP-FOR-001 FICHA TECNICA**.

La figura 4.1 muestra la identificación del transformador trifásico tipo sub estación, marca siemens, capacidad 75 KVA, relación de voltajes 2400/231-133 V, grupo vectorial Yz5, la empresa lo ha nombrado “LUISCERRANO1/19” siendo este el código (número BOCA) que lo identifica durante todo el proceso.

Luego del registro de identificación del transformador “LUISCERRANO1/19” se procede a realizar la evaluación externa e interna, para ello se selecciona el formulario **PRP-FOR-002 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN**, inicialmente se realiza una inspección externa donde se toma en cuenta el estado (bueno o malo) de cada pieza, accesorio y componente perteneciente al equipo, seguidamente se analiza y selecciona los ensayos que aplican:

#### **4.1.1 Ensayo De Resistencia De Aislamiento:**

La aplicación de este ensayo se realiza según lo establecido en el instructivo **PRP-IME-003 ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO**, esta prueba se realizó con un medidor de aislamiento (megaohmetro) por un tiempo de 10 minutos, los datos de resistencia de aislamiento se expresan en la figura 4.2, donde los resultados obtenidos dan cuenta de un aislamiento bajo, ya que los valores obtenidos entre devanado y devanado, entre devanados y tierra están por debajo del mínimo permitido el cual es de  $2\text{ G}\Omega$  a una temperatura de referencia de  $20^{\circ}\text{C}$  según la norma IEEE C57.152. Además, el resultado del índice de polarización también describe un aislamiento cuestionable.

#### **4.1.2 Ensayo de Rigidez Dieléctrica del Aceite.**

Para la aplicación de este ensayo se utiliza el instructivo **PRP-IME-002 ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE**, con la ejecución se conocen las propiedades dieléctricas del aceite que contiene el transformador en estudio, el ensayo se aplica con un espinterómetro para líquidos aislantes (Chispómetro). Los resultados arrojados en este ensayo se muestran en la figura 4.2, indican que las propiedades dieléctricas del aceite ya se encuentran por debajo del mínimo establecido como tensión de ruptura, que es de 35 KV según FONDONORMA 3860, además el criterio de consistencia estadística arroja que la desviación normal de 5 valores es excesiva por lo tanto el error probable de las 5 lecturas también lo es.

III. ENSAYOS ELECTRICOS					
<b>RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE</b>					
ENSAYO		APLICA		NO APLICA	
RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE		X		-	
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 20° C		X		-	
PERDIDAS DE CORRIENTE DE VACIO		-		X	
RELACION DE TRANSFORMACION TTR		X		-	
RESISTENCIA DE DEVANADOS		-		X	
<b>ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE</b>					
Ensayo 1: <u>29,0</u>		Ensayo 2: <u>23,0</u>		Ensayo 3: <u>30,5</u>	
Ensayo 4: <u>34</u>		Ensayo 5: <u>47</u>		Promedio: <b>32,7</b>	
X (Mayor): <b>47</b>		X (Menor): <b>23</b>			
CONSISTENCIA: $\Delta X$ : X (Mayor) - X (Menor): <b>24</b>		$\Delta X$ * 3: <b>72</b>		X (2do Menor) <b>29</b>	
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO</b>					
TIEMPO	A.T. - B.T.	A.T. - TIERRA		B.T. - TIERRA	
30 SEGUNDOS	2 GΩ	1,8 GΩ		1,1 GΩ	
1 MINUTO	2,5 GΩ	2 GΩ		1,3 GΩ	
2 MINUTO	2,7 GΩ	2,1 GΩ		1,4 GΩ	
3 MINUTO	3,1 GΩ	2,3 GΩ		1,4 GΩ	
4 MINUTO	3,7 GΩ	2,3 GΩ		1,4 GΩ	
5 MINUTO	3,8 GΩ	2,3 GΩ		1,5 GΩ	
6 MINUTO	3,8 GΩ	2,4 GΩ		1,5 GΩ	
7 MINUTO	3,9 GΩ	2,4 GΩ		1,6 GΩ	
8 MINUTO	4 GΩ	2,5 GΩ		1,6 GΩ	
9 MINUTO	4 GΩ	2,5 GΩ		1,6 GΩ	
10 MINUTO	4 GΩ	2,5 GΩ		1,6 GΩ	
Pi	1,25	1,11		1,18	
Temp. Ambiente °C	28				
Humedad (%)	62				
Temp. Tx	30				
R 10 min GΩ temp 20 °C	2,02	1,26		0,81	
Índice de Absorción	1,60	1,25		1,23	
<b>OBSERVACIONES:</b> 1. Pernos de ajuste deformados en la parte superior de la parte activa (ver imagen 6).					
2. Ensayo de rigidez dielectrica del aceite: los resultados arrojados por este ensayo indican que las propiedades dielectricas del aceite ya se encuentran por debajo del minimo establecido como tension de ruptura, que es de 35 KV según FONDONORMA 3860, ademas el criterio de consistencia estadistica arroja que la desviacion normal de 5 valores es exceciva por lo tanto el error probable de las 5 lecturas tambien lo es.					
3. Ensayo de resisencia de aislamiento: los resultados obtenidos dan cuenta de un aislamiento bajo, ya que los valores obtenidos entre devanado y devanado, entre devanados y tierra estan por debajo del minimo permitido el cual es de 2 GΩ a una temperatura de referencia de 20°C según la norma IEEE C57.152. Ademas el resultado del indice de polarizacion tambien describe un aislamiento cuestionable.-					

REVISION (00)

FECHA:29/06/2020

PG(4/6)

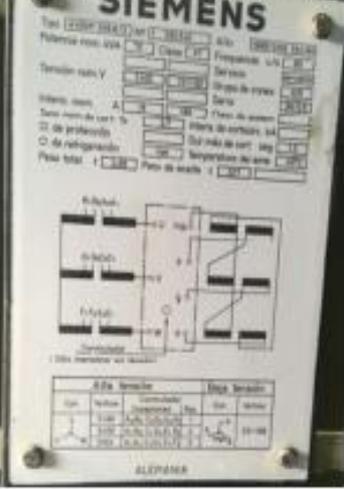
Figura 4.2 PRP-FOR-002 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (resultados de ensayos de diagnóstico).

#### 4.1.3 Ensayo De Relación De Transformación (TTR).

El ensayo de TTR se aplica según lo descrito en el instructivo **PRP-IME-001: ENSAYO DE RELACION DE TRANSFORMACION**, la prueba se aplica con un equipo TTR trifásico, los resultados del presente ensayo se pueden observar en la figura 4.3

ENSAYO RELACION DE TRANSFORMACION								
POSICION	VOLTAJE DE PLACA	RELACION DE TRANSFORMACION NOMINAL	A+B: H1 - (H3+H2) ; X3-X1		B+C: H2-(H1+H3) ; X1-X2		C+A: H3- (H2+H1) ; X2-X3	
			RELACION MEDIDA	DESVIACIÓN	RELACION MEDIDA	DESVIACIÓN	RELACION MEDIDA	DESVIACIÓN
2	2.400	8,998	8,5569	4,90%	8,6189	4,20%	8,5947	4,48%
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 4.3 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (resultados de ensayos de TTR).

	<b>PRODUCCION POTENCIA</b>		
	<b>EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN</b>		
	<b>PRP-FOR-002</b>		
<b>IV. IMÁGENES DE LA INSPECCIÓN</b>			
			
Imagen # 1 vista externa del transformador.	Imagen # 2 Placa característica	Imagen # 3 vista del aislador H3	
			
Imagen # 4 vista frontal de la parte activa	Imagen # 5 Corto circuito en AT H2	Imagen # 6 pernos de ajuste superiores deformados	
			
Imagen # 7 Prueba TTR			
<p><b>OBSERVACIONES:</b> En la imagen # 5 se observa un envejecimiento en el aislamiento de las bobinas, tomando en cuenta que el ensayo de resistencia de aislamiento arrojó unas medidas por debajo del mínimo permitido se recomienda la reconstrucción total de las 3 bobinas con el fin de reemplazar el aislamiento en su totalidad.</p>			
-			
REVISIÓN (00)		FECHA: 29/06/2020 PG.(6/6)	

**FIGURA 4.4 EVALUACIÓN EXTERNA E INTERNA DEL TRANSFORMADOR TIPO SUB ESTACIÓN (IMÁGENES DE LA INSPECCIÓN).**

La figura 4.3 muestra los resultados del ensayo de TTR, la medición arroja los valores de relación de transformación para cada fase, estos valores muestran una desviación superior al máximo permitido 0,5% indicado en FONDONORMA 3860, sin embargo, durante la aplicación se observa una corriente de excitación superior en la fase central con respecto a las otras fases, esto indica una falla en las espiras del devanado de esa fase, por esta razón no se realiza el ensayo en todas las posiciones del cambiador de tomas.

Considerando la detección de la falla en el devanado de la fase central no se recomienda la realización del ensayo de pérdidas de corriente en vacío y la realización del ensayo de resistencia de los devanados.

Luego de obtener los resultados de los ensayos para el diagnóstico inicial del transformador se puede concluir que existe una falla entre las espiras de la fase central, por lo cual se recomienda la reconstrucción del devanado correspondiente a dicha fase, por otro lado, el ensayo de resistencia de aislamiento describe un aislamiento cuestionable y según lo observado en la inspección visual de la parte activa figura 4.4, se evidencia un envejecimiento del aislamiento de los devanados, tomando en cuenta que el ensayo de resistencia de aislamiento arroja unas medidas por debajo del mínimo permitido, se recomienda la reconstrucción total de las 3 bobinas con el fin de reemplazar el aislamiento en su totalidad.

## **4.2 SEGUIMIENTO AL TRANSFORMADOR DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO.**

Una vez definido que el servicio a aplicar al transformador “LUISCERRANO1/19” es la reconstrucción total de sus tres devanados, se realiza el seguimiento al resultado de las actividades planificadas y ejecutadas según lo indica el formulario en la figura 4.5 y 4.6 **PRP-FOR-005: PARTIDAS GENERALES DEL SERVICIO** para cada área productiva figura 4.5 y 4.6.

### **4.2.1 Área 2: Prelavado, Lavado y Pintado.**

En la presente área se ejecuta el lavado y mantenimiento de aisladores A.T. y aisladores B.T., terminales de A.T. y terminales B.T., tornillería y demás accesorios, también se realiza el estañado de terminales de baja tensión, tratamiento metalmecánico a las superficies de la cuba, tanque de expansión y radiadores, así como la aplicación de fondo anticorrosivo y pintura a estas piezas.

REGLÓN	DESCRIPCIÓN DE LA PARTIDA	APLICA	UNIDAD	CANTIDAD	PORCENTAJE DE ACTIVIDAD
<b>AREA DE RECEPCIÓN, DESARME Y DIAGNÓSTICO</b>					
1	Recepción y Descarga del Transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
2	Evaluación Externa e Interna de Transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
3	Desencubado del Transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
4	Desarme del transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
5	Control y Almacenamiento de Partes y Componentes.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
<b>AREA DE PRELAVADO, LAVADO Y PINTADO</b>					
6	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de aisladores alta tensión (A.T).	X	ACTIVIDAD	3	1,887%
7	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de aisladores baja tensión (B.T).	X	ACTIVIDAD	4	1,887%
8	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de terminales de alta tensión (A.T).	X	ACTIVIDAD	3	1,887%
9	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de terminales de baja tensión (B.T).	X	ACTIVIDAD	4	1,887%
10	Estañado de terminales de alta tensión (A.T).	-	ACTIVIDAD	-	-
11	Estañado de terminales de baja tensión (B.T).	X	ACTIVIDAD	4	1,887%
12	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de tornillería.	X	ACTIVIDAD	-	1,887%
13	Prelavado / Lavado - Mantenimiento de accesorios.	X	ACTIVIDAD	-	1,887%
14	Prelavado / Lavado / Pintado de tanque - cuba.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
15	Prelavado / Lavado / Pintado de tanque de expansion conservador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
16	Prelavado / Lavado / Pintado de disipadores de calor o radiadores.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
17	Prelavado / Lavado / Pintado de cajetin garganta con tapa de conexiones alta tensión (A.T).	-	ACTIVIDAD	-	-
18	Prelavado / Lavado / Pintado de cajetin garganta con tapa de conexiones baja tensión (B.T).	-	ACTIVIDAD	-	-
19	Prelavado / Lavado / Pintado de cajetin con puerta de conexiones alta tensión (A.T).	-	ACTIVIDAD	-	-
20	Prelavado / Lavado / Pintado de cajetin con puerta de conexiones baja tensión (B.T).	-	ACTIVIDAD	-	-
21	Prelavado / Lavado / Pintado de cajetin envolvente de gabine de control.	-	ACTIVIDAD	-	-
22	Prelavado / Lavado / Pintado de otras partes metalicas presentes.	X	ACTIVIDAD	-	1,887%
<b>AREA DE CARPINTERIA METALMECÁNICA</b>					
23	Elaboración del dibujo de pieza.	-	ACTIVIDAD	-	-
24	Elaboración del dibujo del corte para modificación.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
25	Ejecución de corte.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
<b>AREA DE SOLDADURA</b>					
26	Ejecución de Proceso de Soldadura.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
<b>AREA DE PARTE ACTIVA</b>					
27	Ejecución de actividades asociadas a reparaciones en la parte activa del transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
28	Ejecución de actividades asociadas al mantenimiento de la parte activa del transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
29	Ejecución de actividades asociadas al desarme y armado de parte activa para la reconstrucción del transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
30	Ejecución del ensayo al nucleo del transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
31	Mantenimiento del cambiador de tomas / conmutador.	X	UNIDAD	1	1,887%
32	Suministro de cambiador de tomas / conmutador.	-	UNIDAD	-	-
<b>AREA DE CORTE DE PAPEL Y CARTÓN</b>					
33	Preparación para suministro de papelería de alta densidad.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
34	Preparación para suministro de cartonería de alta densidad.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
35	Preparación para suministro de carpintería de alta densidad.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
<b>AREA DE FABRICACIÓN DE BOBINAS</b>					
36	Fabricación de bobina baja tensión (B.T) X1.	X	UNIDAD	1	1,887%
37	Fabricación de bobina baja tensión (B.T) X2.	X	UNIDAD	1	1,887%
38	Fabricación de bobina baja tensión (B.T) X3.	X	UNIDAD	1	1,887%
39	Fabricación de bobina alta tensión (A.T) H1.	X	UNIDAD	1	1,887%
40	Fabricación de bobina alta tensión (A.T) H2.	X	UNIDAD	1	1,887%
41	Fabricación de bobina alta tensión (A.T) H3.	X	UNIDAD	1	1,887%

**Figura 4.5 PRP-FOR-005 PARTIDAS GENERALES DE SERVICIO. (Planificación de actividades transformador "LUISCERRANO") (PARTE I).**

AREA DE HORNEO					
42	Horneo controlado de aisladores.	X	HORAS	24	1,887%
43	Horneo controlado de parte activa.	X	HORAS	48	1,887%
AREA ARMADO DEL TRANSFORMADOR					
44	Encubado de parte activa.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
45	Suministro y colocación de aceite dielectrico.	X	LITROS	-	1,887%
46	Aplicar tratamiento aceite dielectrico.	-	ACTIVIDAD	-	-
47	Suministro y colocación de empaaduras.	X	UNIDAD	10	1,887%
48	Suministro y colocación de accesorio.	-	ACTIVIDAD	-	-
49	Armado del Transformador.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
AREA DE ENSAYOS DEL PRODUCTO TERMINADO Y DESPACHO					
50	Ensayo de relación de transformación (TTR).	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
51	Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
52	Ensayo de resistencia de aislamiento.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
53	Ensayo de resistencia de los devanados.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
54	Ensayo de pérdidas de corriente en vacío ó corriente de excitación.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
55	Ensayo de pérdidas de corriente en corto circuito o impedancia de corto circuito.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
56	Ensayo de tensión aplicada.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
57	Ensayo de tensión inducida.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
58	Ensayo de factor de potencia de aislamiento.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
59	Identificación de conexiones.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
60	Identificación de seguridad y protección.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
61	Identificación de placa característica.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
62	Inspección por atributo.	X	ACTIVIDAD	1	1,887%
DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN / INDICACIÓN / PROTECCIÓN					
63	Dispositivo de medición indicador de temperatura de aceite.	-	UNIDAD	-	-
64	Dispositivo de medición indicador de imagen termica.	-	UNIDAD	-	-
65	Dispositivo de medición indicador manovacuometro.	-	UNIDAD	-	-
66	Dispositivo indicador de nivel de aceite.	X	UNIDAD	1	1,887%
67	Dispositivo de protección valvula alivio de presión.	-	UNIDAD	-	-
68	Dispositivo de protección relé de presión subita.	-	UNIDAD	-	-
69	Dispositivo de protección y medición masa cuba.	-	UNIDAD	-	-
70	Dispositivo de protección relé bushholz.	-	UNIDAD	-	-
71	Dispositivo resistencias de protección de puesta a tierra.	-	UNIDAD	-	-
72	Disecador de silica gel.	-	UNIDAD	-	-
73	Dispositivo de protección conjunto BayONet.	-	UNIDAD	-	-
74	Dispositivo de protección fusible BayONet.	-	UNIDAD	-	-
75	Dispositivo de protección fusible BayONet.	-	UNIDAD	-	-
GABINETE DE CONTROL					
76	Mantenimiento de gabinete de control.	-	ACTIVIDAD	-	-
77	Reconstrucción del gabinete de control.	-	ACTIVIDAD	-	-
78	Ensayo de gabinete de control.	-	ACTIVIDAD	-	-

**Figura 4.6 PRP-FOR-005 PARTIDAS GENERALES DE SERVICIO. (Planificación de actividades transformador "LUISCERRANO") (PARTE II).**



Figura 4.7 Antes y después de la aplicación de pintura al transformador "LUISCERRANO1/19".

	PRODUCCIÓN POTENCIA CARPETA DE RUTA PRP-FOR-008							
	FECHA:	15/10/2019	CLIENTE:	LUIS CERRANO		NRO DE CLIENTE / BOCA:		LUISCERRANO01/19
	I. MANTENIMIENTO DE ACCESORIOS							
ACCESORIOS	MTTO EJECUTADO	SUSTITUCIÓN	N/A	ACCESORIOS	MTTO EJECUTADO	SUSTITUCIÓN	N/A	
AISLADORES DE BAJA TENSION	X	-	-	CONJUNTO BAYONET	-	-	X	
AISLADORES DE ALTA TENSION	-	X	-	FUSIBLE BAYONET	-	-	X	
TERMINALES DE BAJA TENSION	X	-	-	FUSIBLE LIMITADOR	-	-	X	
TERMINALES DE ALTA TENSION	X	-	-	MASA CUBA	-	-	X	
VALVULA DE ALIVIO DE PRESION	-	-	X	TABLERO DEL TRANSFORMADOR	-	-	X	
CONMUTADOR / CAMBIADOR DE TOMAS	X	-	-	RELE BUCHHOLZ	-	-	X	
SECCIONADOR TRIPOLAR	-	-	X	TERMOMETRO DE IMAGEN TERMICA	-	-	X	
INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE	X	-	-	ENVASE DE SILICA GEL	-	-	X	
INDICADOR DE TEMPERATURA	-	-	X	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	-	-	X	
VALVULA DE DRENAJE NTP	X	-	-	OTRO:	-	-	X	
II. MANTENIMIENTO DE COMPONENTES								
COMPONENTE	MTTO EJECUTADO	SUSTITUCIÓN	N/A	COMPONENTE	MTTO EJECUTADO	SUSTITUCIÓN	N/A	
TANQUE - CUBA	X	-	-	GABINETE DE CONEXIONES	-	-	X	
TAPA	X	-	-	YUGOS / JAULAS	X	-	-	
TANQUE DE EXPANSION	X	-	-	NUCLEO	X	-	-	
RADIADORES	X	-	-		-	-	-	
VENTILADORES	-	-	X		-	-	-	
III. MEDICIÓN DE ESPESOR DE PINTURA								
FONDO $\geq 50\mu$		PINTURA $\geq 100\mu$		X1	X2	X3		
				55 $\mu$	115 $\mu$	117 $\mu$		
OBSERVACIONES:								
				REVISIÓN (00)	FECHA: 20/06/2007	PG(1/1)		

Figura 4.8 PRP-FOR-009 CARPETA DE RURA (Registro de aplicación de mantenimiento y pintura a los accesorios del transformador).

La evidencia de la ejecución de estas actividades y medición de micras de pintura se registra en el formulario **PRP-FOR-008 CARPETA DE RURA**, ver figura 4.8.

#### 4.2.2 Área 3: Carpintería Metalmecánica.

El área de carpintería metalmecánica realiza el apoyo al proceso debido al requerimiento del ajuste de los huecos de los aisladores de A.T. ya que se realizó la sustitución de los mismos.

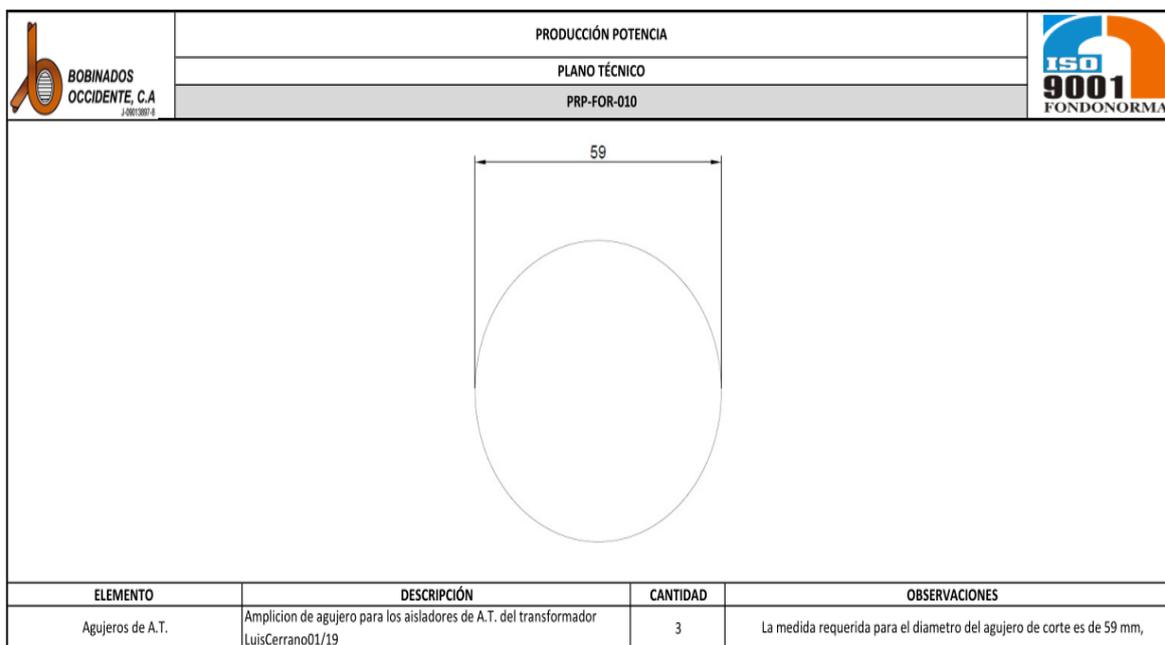


Figura 4.9 PRP-FOR-010 PLANO TÉCNICO (Plano para corte de adecuación de aisladores de A.T.).

#### 4.2.3 Área 5: Parte Activa.

En el área de parte activa se realizan todas las actividades que corresponden al desarme (figura 4.10) de parte activa y armado de parte activa luego de la reconstrucción de los devanados (figura 4.12).

Durante el desarme se realiza el registro de los datos que indica el formulario **PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA** (figura 4.11), entre estos datos se encuentra el número de vueltas de los devanados, el calibre y tipo de conductor con que están fabricados los devanados, el número de vueltas para las derivaciones del cambiador de tomas, las medidas de los devanados y del núcleo, esta información se requiere para ser utilizada durante la fabricación de las bobinas, ya que la norma FONDONORMA 3860 establece “Cualquier cambio en el diseño de los devanados debe ser realizada por sugerencia del cliente”.

Luego de la fabricación de las bobinas, el proceso continúa nuevamente en esta área para realizar el ensamble de la parte activa, finalizado este ensamble se procede a realizar el ensayo de relación de transformación para la validación de la fabricación de las bobinas en lo que refiere a la relación del número de vueltas entre devanados (figura 4.13).



Figura 4.10 Desarme de parte activa.

BOBINADOS OCCIDENTE, C.A. J-1001001-1		PRODUCCIÓN POTENCIA		ISO 9001 FONDONORMA	
DATOS DE PARTE ACTIVA Y BOBINA (A)					
PRP-FOR-009					
I. INFORMACIÓN INICIAL DE LA BOBINA					
FECHA: 17/11/2019	NRO DE CLIENTE / BOCA: LuisCerrano01/19				
BOBINA 1: X	BOBINA 2: X	BOBINA 3: X	PESO: -		
BAJA / ALTA / BAJA: -		BAJA / ALTA: X		ALTA / BAJA: -	
CONFIGURACIÓN DE BOBINA					
Al / Al: -		Cu / Cu: X		Cu / Al: -	
Otro: -					
CONDUCTOR BAJA TENSIÓN: Al: -		Cu: X		SECCIÓN/CALIBRE: 8 awg	
CONDUCTOR ALTA TENSIÓN: Al: -		Cu: X		SECCIÓN/CALIBRE: 16,30 x 5 mm	
Nro. Vueltas B.T: 34		Nro. Vueltas A.T: 322			
VUELTAS / POSICIÓN TAP:					
1. 248	2. 263	3. 278	4. -	5. -	6. -
7. -	8. -	9. -	10. -	11. -	12. -
13. -	14. -				
DENSIDAD DE CORRIENTE BAJA TENSIÓN: 2,3 A/mm <sup>2</sup>			DENSIDAD DE CORRIENTE ALTA TENSIÓN: 2,3 A/mm <sup>2</sup>		
II. ETAPAS Y DIMENSIONES DE LA BOBINA					
ETAPAS DEL BOBINADO:					
1ra ETAPA DE BOBINADO:		B.T	X	A.T	-
2da ETAPA DE BOBINADO:		B.T	-	A.T	X
3ra ETAPA DE BOBINADO:		B.T	-	A.T	-
DIMENSIONES DE BOBINA:					
A) ALTURA DE HORMA:		265 mm			
B) ANCHO DE HORMA:		265 mm			
C) ESPESOR DE FORMALETA:		3 mm			
D) LARGO DE PAPEL:		67 mm			
E) ORILLO DE PAPEL:		30,5 mm			
F) GROSOR 1ra ETAPA :		37,5 mm			
G) GROSOR 2da ETAPA :		37,5 mm			
H) GROSOR 3ra ETAPA :		40 mm			
I) GROSOR TOTAL:		115 mm			
J) ALTURA TOTAL.:		495 mm			
K) ANCHO TOTAL.:		521 mm			
III. DIMENSIONES DEL NÚCLEO					
DIMENSIONES					
A) ALTURA TOTAL ( Ht):		1260 mm			
B) ANCHO TOTAL(Wt):		1245 mm			
C) ALTURA DE VENTANA (Hi):		730 mm			
D) ANCHO DE VENTANA (Wi):		225 mm			
E) GROSOR:		0,27 mm			

Figura 4.11 PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA (Datos obtenidos durante el desarme de la parte activa).



Figura 4.12 Visualización del proceso de armado de parte activa.

		PRODUCCIÓN POTENCIA						
		CARPETA DE RUTA						
		PRP-FOR-008						
IV. ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN POSTERIOR AL ENSAMBLE DE LA PARTE ACTIVA								
FECHA: 15/11/2019								
POSICIÓN	VOLTAJE DE PLACA	RELACIÓN NOMINAL	GRUPO DE CONEXIÓN	TERMINALES			VOLTAJE EN BAJA TENSIÓN	ERROR ≤ 0.5%
				A+B: H1-(H3+H2); X3-X1	B+C: H2-(H1+H3); X1-X2	C+A: H3-(H2+H1); X2-X3		
1	2.496	9,358	Yz5	9,471	9,4725	9,4728	231/133	0,29%
2	2.400	9,0302		9,0302	9,0301	9,0308		0,35%
3	2.304	8,5907		8,5907	8,5899	8,05886		0,42%

Figura 4.13 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de TTR posterior al ensamble de la parte activa).

Los resultados del ensayo de relación de transformación mostrados en la figura 4.13 se realiza en todas las posiciones del cambiador de tomas, allí se aprecia que las desviaciones están por debajo del 0,5% que establecen las normas nacionales, lo que indica que las bobinas fueron fabricadas conformes. Ya sabiendo la conformidad del ensayo anterior se procede a la instalación del cambiador de tomas, su conformidad se evalúa realizando nuevamente el ensayo de TTR, como se observa en la figura 4.14 este arroja un resultado conforme.

		PRODUCCIÓN POTENCIA						
		CARPETA DE RUTA						
		PRP-FOR-008						
V. ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN POSTERIOR AL ENSAMBLE DEL CAMBIADOR DE TOMAS								
FECHA: 15/11/2019								
POSICIÓN	VOLTAJE DE PLACA	RELACIÓN NOMINAL	GRUPO DE CONEXIÓN	TERMINALES			VOLTAJE EN BAJA TENSIÓN	ERROR ≤ 0.5%
				A+B: H1-(H3+H2); X3-X1	B+C: H2-(H1+H3); X1-X2	C+A: H3-(H2+H1); X2-X3		
1	2.496	9,358	Yz5	9,471	9,4725	9,4728	231/133	0,29%
2	2.400	9,0302		9,0302	9,0301	9,0308		0,35%
3	2.304	8,5907		8,5907	8,5899	8,05886		0,42%

Figura 4.14 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de TTR posterior al ensamble del cambiador de tomas).

#### 4.2.4 Área 6: Preparación de Aislamiento y Refrigeración de Bobinas.

En el área de preparación de aislamiento realizan las actividades de apoyo a la fabricación de bobinas, en esta área se hace la preparación de todo el aislamiento para los devanados según los requerimientos indicados en registro **PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA** (figura 4.11).

#### 4.2.5 Área 7: Fabricación de Bobinas.

El área de fabricación de bobinas recibe el formulario **PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA** el cual contiene la información de las características constructivas originales de los devanados, en base a estos datos se realizan las nuevas bobinas manteniendo el diseño del transformador, la figura 4.15 muestra las características con que se realiza el proceso de bobinado de los devanados de A.T y B.T.

	PRODUCCIÓN POTENCIA		
	DATOS DE PARTE ACTIVA Y BOBINA (A)		
	PRP-FOR-009		
<b>IV. DETALLES Y CARACTERÍSTICAS DE LA BOBINA DE ALTA TENSIÓN</b>		<b>V. DETALLES Y CARACTERÍSTICAS DE LA BOBINA DE BAJA TENSIÓN</b>	
MATERIAL DEL CONDUCTOR: Cobre <input checked="" type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/>		MATERIAL DEL CONDUCTOR: Cobre <input checked="" type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/>	
TIPO DE CONDUCTOR: Pletina <input type="checkbox"/> Alambre <input checked="" type="checkbox"/>		TIPO DE CONDUCTOR: Pletina <input checked="" type="checkbox"/> Alambre <input type="checkbox"/> foil <input type="checkbox"/>	
CALIBRE DEL CONDUCTOR: 8 awg		CALIBRE DEL CONDUCTOR: 16,30 x 5 mm	
AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR: Esmalte <input checked="" type="checkbox"/> Empapelado <input type="checkbox"/>		AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR: Esmalte <input type="checkbox"/> Empapelado <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>LAMINAS DE PAPEL Y ESPIRAS POR CAPA:</b>		<b>LAMINAS DE PAPEL Y ESPIRAS POR CAPA:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li> CARTON 0,020</li> <li> CARTON 0,020</li> <li> 84 VUELTAS 8 AWG</li> <li> ORILLO CARTON 1 MM , ANCHO 15 MM</li> <li> CARTON 0,010</li> <li> CARTON 0,010</li> <li> 82 VUELTAS 8 AWG</li> <li> SEPARADOR 3 MM</li> <li> CARTON 0,010</li> <li> 80 VUELTAS 8 AWG</li> <li> ORILLO CARTON 1 MM , ANCHO 20 MM</li> <li> CARTON 0,010</li> <li> CARTON 0,010</li> <li> 76 VUELTAS 8 AWG</li> <li> ORILLO CARTON 1 MM , ANCHO 15 MM</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li> 17 vueltas pletina empapelada</li> <li> 4 capas de cinta empapelado</li> <li></li> <li> 17 vueltas pletina empapelada</li> <li> 4 capas de cinta empapelado</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>1  tap posicion 1 ; vuelta 248</li> <li>2  tap posicion 2 ; vuelta 263</li> <li>3  tap posicion 3 ; vuelta 278</li> </ul>		TACOS CIRCULAR SEPARADOR ENTRE 1 RA Y 2DA Y ULTIMA Y PENULTIMA ESPIRA	
vuelta 322 Capa final con cubierta en barniz dielectrico apriete cinta de tela			

**Figura 4.15 PRP-FOR-009 DATOS DE PARTE ACTIVA (Características constructivas de las bobinas).**

#### 4.2.6 Área 8: de Horneo

El proceso de horneo o secado de la parte activa consiste en la extracción de la humedad mediante un proceso de evaporación, usando el incremento controlado de la temperatura dentro del horno. Luego de realizar el secado del transformador se realiza el ensayo de resistencia de aislamiento para evaluar dicho proceso, los resultados se observan en la figura 4.16.

ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO POSTERIOR AL ENSAMBLE DEL TRANSFORMADOR				
TEMPERATURA DEL ACEITE (°C)	TIEMPO	A.T. Y TIERRA	B.T. Y TIERRA	A.T Y B.T.
60	30 seg	122 G ohm	91,3 G ohm	190 G ohm
HUMEDAD DEL AMBIENTE (%)	1 min	141 G ohm	126 G ohm	270 G ohm
63	2 min			
TENSION INYECTADA (V)	3 min			
5000	4 min			
FACTOR DE CORRECCION A 20 °c	5 min			
60	6 min			
INDICE DE POLARIZACIÓN (Pi)	7 min			
	8 min			
INDICE DE ABSORCION	9 min			
1,16	1,38	1,42		
Resistencia de aislamiento corregida a 20°C.	-	2,35 GΩ	2,1 GΩ	4,5 GΩ
<b>OBSERVACIONES:</b> No aplica el ensayo de resistencia de aislamiento debido a su capacidad de 75 KVA. El resultado de el ensayo de resistencia de aislamiento resulta conforme.				

REVISION (00)

FECHA: 29/06/2020

PG(3/4)

**Figura 4.16 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Ensayo de resistencia de aislamiento después del proceso de secado).**

Los resultados expresados en la figura 4.16 validan el buen secado del transformador por lo tanto da conformidad a este proceso. Es importante resaltar que para el secado de transformadores de gran capacidad en kVA el durante el proceso de secado se realiza un monitoreo continuo de la resistencia de aislamiento, por otro lado, la norma IEEE C57.152 indica que la medición por el método del índice de polarización no debe usarse para evaluar la condición de aislamiento nuevo, es por ello que este método solo se utiliza en casos de servicio de mantenimiento.

#### 4.2.7 Área 9: Ensamblaje del Transformador

El ensamblaje del transformador se realiza inmediatamente culminado el proceso de secado, esto con el fin de que la parte activa tenga el mínimo contacto con la humedad del medio ambiente. Entre estas actividades a ejecutar en esta área se considera el suministro de aceite al transformador, previo al suministro se realiza un tratamiento al aceite con una planta de tratamiento, durante el tratamiento calienta el aceite haciéndolo circular por unas resistencias y a su vez se extrae la humedad mediante una bomba de vacío. Una vez suministrado el aceite se procede a culminar el ensamble del transformador colocando nuevamente todos los accesorios (aisladores de A.T. y B.T., terminales de A.T. y B.T, tapa, tanque de expansión, tornillería, entre otros).



Figura 4.17 Transformador “LUISCERRANO1/19” luego de ensamblado.

Ya finalizado el ensamblaje del transformador se realiza el ensayo de relación de transformación para la conformidad de todas sus conexiones circuitales, el cual se muestra en la figura 4.18, donde se evidencia la conformidad del mismo, por lo tanto, el transformador se encuentra apto para realizar el protocolo de ensayos finales.

		PRODUCCIÓN POTENCIA						
		CARPETA DE RUTA						
		PRP-FOR-008						
<b>VI. ENSAYO DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN POSTERIO AL ENSAMBLE DEL TRANSFORMADOR</b>								
FECHA: 30/11/2019								
POSICIÓN	VOLTAJE DE PLACA	RELACIÓN	GRUPO DE CONEXIÓN	TERMINALES			VOLTAJE EN BAJA TENSIÓN	ERROR ≤ 0.5%
				A+B: H1-(H3+H2); X3-X1	B+C: H2-(H1+H3); X1-X2	C+A: H3-(H2+H1); X2-X3		
1	2.496	9,358	Yz5	9,471	9,4725	9,4728	231/133	0,29%
2	2.400	9,0302		9,0302	9,0301	9,0308		0,35%
3	2.304	8,5907		8,5907	8,5899	8,05886		0,42%

Figura 4.18 PRP-FOR-008 CARPETA DE RUTA (Resultados de TTR posterior al ensamblaje del transformador).



**PRP-IME-002:** Ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.

**PRP-IME-003:** Ensayo de resistencia de aislamiento.

**PRP-IME-004:** Ensayo de resistencia de los devanados.

**PRP-IME-005:** Ensayo de pérdidas de corriente en vacío ó corriente de excitación.

**PRP-IME-006:** Ensayo de pérdidas de corriente en corto circuito o impedancia de corto circuito.

**PRP-IME-007:** Ensayo de tensión aplicada.

**PRP-IME-008:** Ensayo de tensión inducida.

**PRP-IME-009:** Ensayo de factor de potencia de aislamiento.

#### 4.3.1 Ensayo de Relación de Transformación.

Este ensayo se realiza para todas las posiciones del cambiador de tomas, los resultados se encuentran conforme ya que la desviación de cada medición no excede el 0,5% establecido por la norma FONDONORMA 3860 y norma IEEE C57.12.90.

BOBINADOS OCCIDENTE, C.A.		GESTIÓN DE LA CALIDAD				ISO 9001 FONDONORMA			
PROTOCOLO DE PRUEBAS.									
PRP-FOR-013									
DATOS DEL CLIENTE									
Nombre o Razón Social:	LUIS CERRANO		R.I.F.:	V-15594395		Dirección:	EL PARAISO, EL VIGÍA, ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA		
DATOS DEL TRANSFORMADOR									
Nro. BOCA	Potencia Nominal	Tensiones Nominales			Grupo Vectorial	Frecuencia	FABRICANTE	SERIAL ORIGINAL	
LuisCerrano01/19	75 KVA	Vnp:	2400V V	Vns:	231Z-133 V	Yz5 (Yzn5)	60 Hz	SIEMENS	T290540
Tipo de Servicio:	RECONSTRUCCION		Fecha de reconstrucción:	dic-19		MARCA DE RECONSTRUCCIÓN:	BOBINADOS OCCIDENTE, C.A.		
MEDICIÓN RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN									
POSICIÓN	VOLTAJE DE PLACA	RELACION DE TRANSFORMACIÓN	A: A+B: H1 - (H3+H2) ; X3-X1		B: B+C: H2 - (H1+H3) ; X1-X2		C:C+A: H3 - (H2+H1) ; X2-X3		
			RELACIÓN MEDIDA	DESVIACIÓN	RELACIÓN MEDIDA	DESVIACIÓN	RELACIÓN MEDIDA	DESVIACIÓN	
1	2.496	9,3580	9,3326	0,27%	9,3435	0,15%	9,3158	0,45%	
2	2.400	8,9980	9,0302	0,35%	9,0301	0,35%	9,0308	0,36%	
3	2.304	8,6380	8,5907	0,54%	8,6189	0,22%	8,5947	0,50%	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Figura 4.20 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de TTR).**

#### 4.3.2 Ensayo de Resistencia de Aislamiento.

En las mediciones hechas durante este ensayo se observa una mejora considerable en el aislamiento del transformador, en la medición realizada previo a la prestación del servicio al transformador los valores indicaron un bajo aislamiento, por debajo del mínimo requerido en IEEE C57.12.90 el cual es de 2 GΩ para una temperatura de referencia de 20 °C (Ver

figura 4.2), ahora en las mediciones realizada posterior a la ejecución del servicio los resultados están por encima del mínimo permitido lo cual indica que el aislamiento está conforme.

ENSAYO DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO			
TIEMPO	A.T. Vs B.T-TIERRA (GΩ)	A.T. Vs B.T. (GΩ)	B.T. Vs A.T-TIERRA (GΩ)
30 seg	83	42	155
1 min	141	78	270
Temp. Ambiente °C		29	
Humedad (%)		60	
Temp. Tx		30	
R 1 min GΩ temp 20 C	71,21	39,39	136,36
Índice de Absorción	1,70	1,86	1,74

**Figura 4.21 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de resitencia de aislamiento).**

### 4.3.3 Ensayo de Medición de Perdidas en Vacío.

El ensayo de pérdidas en vacío se realiza mediante el método de los dos voltímetros alimentando por baja tensión a voltaje nominal y tomando lectura de las medidas de voltaje, corriente y potencia, luego se procede a calcular el porcentaje de corriente en vacío de la siguiente manera utilizando los valores obtenidos en la figura 4.22:

$$I_{oL} = \frac{4,8 A + 4,5 A + 5 A}{3}$$

$$I_o = 4,66 A$$

$$I_o = \frac{4.66 A}{187,45 A} * 100$$

$$I_o = 2,48\%$$

El porcentaje obtenido en porcentaje de la corriente nominal será suministrado al cliente ya que la norma FONDONORMA 3860, así lo establece “los valores de aceptación de pérdidas y corriente en vacío, así como sus tolerancias deben ser suministradas por el cliente”.

CORRIENTE DE EXCITACIÓN								
Aplica: Si: <input type="checkbox"/> No: <input checked="" type="checkbox"/>		Tension de prueba			Tension de referencia		Tipo de cambiador de tomas (TAP)	
TOMA	FASE A			FASE B			FASE C	
	I out	Pérd. de vatios	Reactancia	I out	Pérd. de vatios	Reactancia	I out	Pérd. de vatios
ENSAYO DE VACÍO								
Aplica: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>		CORRIENTE (A)			primario		LECTURA DEL VATIMETRO (W)	
TENSIÓN (V)	Yd=			Amp	-	POL (W)		856
Vapl	X1	X2	X3	IoL	IoR	PO (W)		
231	4,8	4,5	5	4,66	2,48%	856		

**Figura 4.22 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo en vacío).**

#### 4.3.4 Ensayo de Medición de Pérdidas en Cortocircuito.

El ensayo se realiza con los equipos de medición Omicron, específicamente el CPC 100, el cual conecta una fuente AC a cada fase del transformador por el lado de alta tensión, las tres fases de baja tensión se conectan entre si haciendo un cortocircuito, el equipo CPC 100 mide la corriente y la tensión que pasa por el devanado de alta tensión en amplitud y fase. Finalmente calcula la impedancia de cortocircuito teniendo en cuenta los valores nominales específicos del transformador.

La medición de cortocircuito durante el ensayo arroja una impedancia  $Z_{cc} = 3,7 \%$ , este valor resulta ser el mismo que se encuentra registrado en la placa característica del transformador, lo cual indica que los nuevos devanados generan las mismas pérdidas que los devanados originales del transformador. Este valor de impedancia de cortocircuito será informado al cliente ya que igual como se establece para las pérdidas en vacío, la norma FONDONORMA 3860, establece “los valores de aceptación de pérdidas y corriente en vacío, así como sus tolerancias deben ser suministradas por el cliente”.

PRUEBA DE IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO											
Aplica: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>											
Corriente de prueba			Temperatura del devanado				Factor de corr. Temp			Pos. TAP	
FASE	IAC	V1 AC	Fase V1 CA	Pérd. de vatios	Zk	Rk	Xk	Lk	ZCC (%) a Tref		
A	998,40 mA	3,68 V	38,8	2,863 W	4,39 $\Omega$	3,082 $\Omega$	3,126 $\Omega$	8,291 mH	Tref= 85,9 C		
B	1,00 A	3,57 V	38,87	2,779 W	4,243 $\Omega$	2,979 $\Omega$	3,030 $\Omega$	8,039 mH	ZCC		
C	999,02 mA	3,56 V	39,89	2,731 W	4,219 $\Omega$	2,93 $\Omega$	3,036 $\Omega$	8,053 mH	3,7		

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO						
Aplica: Si: <input type="checkbox"/> No: <input checked="" type="checkbox"/>						
TENSIÓN (V)		CORRIENTE (A)		LECTURA DEL VATIMETRO (W)		PCC (W) a °C
Y1=	Y2=	Y3=	Frt=1,699			ZCC (%) a Tref
VccL	VccR	IccL	IccR	PccL	PccR	Tref= 9 C
						ZCC

Figura 4.23 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de cortocircuito).

#### 4.3.5 Ensayo de Tensión Inducida.

El ensayo de tensión inducida se aplica al doble del voltaje por el lado de baja tensión y el doble de la frecuencia, el ensayo resulta conforme ya que durante el tiempo que se aplica la tensión requerida no hubo presencia de humo, ruido audible, burbujeo en el aceite o un incremento repentino de la corriente de prueba, esto da conformidad del aislamiento entre las espiras de los devanados.

#### 4.3.6 Ensayo de Tensión Aplicada.

El ensayo de tensión aplicada fue realizado aplicando una tensión de 15 kV entre los devanados de alta tensión y tierra y 10 kV entre los devanados de B.T. y tierra, de esta manera de comprueba el buen aislamiento entre los devanados y entre los devanados con tierra y

aisladores, el ensayo resulta conforme ya que durante el el tiempo que se aplicó la tensión requerida no hubo presencia de humo, ruido audible, burbujeo en el aceite o un incremento repentino de la corriente de prueba.

ENSAYO DE TENSIÓN INDUCIDA			
Tensión (V)	Frecuencia	Tiempo	Resultado
VL	Hz	seg	OK
462	120	60	
ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA			
Aplicación	Tensión de Prueba kV/seg		Resultado
AT-BT-Tierra	15		Ok
BT-AT-Tierra	10		Ok

**Figura 4.24 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de Tensión Inducida y Tensión Aplicada).**

#### 4.3.7 Ensayo de Rigidez Dieléctrica del Aceite.

Para la realización del ensayo se toma una muestra de aceite directamente del tanque del transformador garantizando realizar el ensayo con el aceite nuevo suministrado.

El resultado refleja que el nuevo aceite tiene unas excelentes propiedades dieléctrica debido a que el promedio de las lecturas tomadas a la tensión de ruptura del aceite es de 39.6 kV, el cual está por encima del valor que indica la norma FONDONORMA 3860, esta indica que “el promedio de las lecturas restantes, el cual no deberá ser menor de 35 kV”.

RIGIDEZ DIÉLECTRICA DEL ACEITE									
Prueba 1 (kV):	33,1	Prueba 2 (kV):	36,1	Prueba 3 (kV):	37,5	Prueba 4 (kV):	38,5	Prueba 5 (kV):	39,6
CONSISTENCI	X (Mayor):	39,6	$\Delta X: X(\text{Mayor}) - X(\text{Menor}):$		6,5		Promedio (kV):	37,0	Tolerancia > 35 kV
A	X (Menor):	33,1	$\Delta X * 3:$	19,5	< Prueba 2	CONFORME			

**Figura 4.25 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de rigidez dielectrica del aceite).**

#### 4.3.8 Ensayo de resistencia de los devanados.

RESISTENCIA DEL DEVANADO DE CC PRIM									
TOMA	FASE A			FASE B			FASE C		
	R med	R desv	R corr.	R med	R desv	R corr.	R med	R desv	R corr.
3	862,207 m $\Omega$	0,07%	1,067 $\Omega$	862,445 m $\Omega$	0,06%	1,066 $\Omega$	846,723 m $\Omega$	0,09%	1,047 $\Omega$
RESISTENCIA DEL DEVANADO DE CC SEC									
TOMA	FASE A			FASE B			FASE C		
	R med	R desv	R corr.	R med	R desv	R corr.	R med	R desv	R corr.
n/a	3,872 m $\Omega$	0,10%	3,872 m $\Omega$	3,890 m $\Omega$	0,09%	3,890 m $\Omega$	3,897 m $\Omega$	0,09%	3,897 m $\Omega$

**Figura 4.26 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de resistencia de los devanados).**

El ensayo de resistencia de aislamiento se aplica con los equipos de medición Omicron CPC 100, se determina midiendo la tensión y la corriente de CC de cada devanado, de esta manera se comprueba algunos aspectos en el material de los devanados como lo son soldaduras, buen contacto en el cambiador de tomas, buenas conexiones para las salidas entre otros.

Los resultados arrojados por el ensayo tanto para alta tensión como para baja tensión son satisfactorios, ya que las mediciones no generan grandes desviaciones cuando se comparan las fases entre sí.

#### 4.3.9 Ensayo de Factor de Potencia y Capacitancia.

El ensayo de factor de potencia se aplica con los equipos de medición Omicron CPC 100 + CP TD, esta medición se realiza en el aislamiento principal entre los devanados ( $C_{HL}$ ) y el aislamiento entre los devanados y la cuba ( $C_H$ ,  $C_L$ ). Se cortocircuitaron los devanados y se aplica la tensión de prueba a un devanado mientras se mide la corriente a través del aislamiento en el devanado opuesto o en la cuba.

Las mediciones se realizaron inyectando voltaje tanto por alta tensión como por baja tensión, el factor de potencia (FP) no arrojó valores mayores a 1 %, lo que indica un aislamiento en buenas condiciones según como lo establece la norma IEEE C57.152.

FACTOR DE POTENCIA & CAPACITANCIA							
INYECCIÓN DE VOLTAJE POR ALTA TENSIÓN							
MEDIDA	MODO PRUEBA	V SALIDA	I SALIDA	PÉRDIDAS	FACTOR DE POT. MEDIDO	FACTOR DE POT. CORREGIDO (FP) <sup>†</sup>	CAPACITANCIA MEDIDA (CAP.)
ICH+ICHL	GST	7,00 kV	8,11 mA	400,12 mW	0,49%	0,42%	2149,2 pF
ICH	GSTg-A	7,00 kV	3,37 mA	259,13 mW	0,77%	0,65%	891 pF
ICHL	UST-A	7,00 kV	4,74 mA	141,40 mW	0,30%	0,25%	1258,1 pF
INYECCIÓN DE VOLTAJE POR BAJA TENSIÓN							
ICL+ICLH	GST	7,00 kV	15,31 mA	599,92 mW	0,39%	0,33%	4044,8 pF
ICL	GSTg-A	7,00 kV	10,54 mA	449,50 mW	0,43%	0,36%	2786,6 pF
ICLH	UST-A	7,00 kV	4,77 mA	143,50 mW	0,30%	0,26%	1258,1 pF

**Figura 4.27 PRP-FOR-013 PROTOCOLO DE PRUEBAS (resultados del ensayo de factor de potencia de aislamiento).**

Los resultados de todos los ensayos al transformador son conformes, por lo tanto, el transformador se encuentra apto para la identificación y entrega al cliente.

#### **4.4 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL BANCO DE PRUEBAS TRIFÁSICO DE BOBINADOS OCCIDENTE C.A.**

En la ejecución de los ensayos de conformidad del transformador “LUISCERRANO1/19”, se utiliza el banco de pruebas trifásico ubicado en el laboratorio de pruebas, este banco cuenta con una serie de arreglos con transformadores de distribución y transformadores de medida que permiten la realización de los ensayos de pérdidas en vacío, pérdidas en cortocircuito, tensión aplicada y tensión inducida.

Para la realización del ensayo en vacío el banco permite inducir un voltaje máximo de 14.200 V por el lado de baja tensión, sin embargo, el transformador variable ocasionalmente no funciona de manera incorrecta para tensiones mayores a 480 V, ya que los cambios de tensión suelen ser bruscos y generan saltos de voltajes poco confiables al momento de realizar el ensayo.

La ejecución del ensayo de corto circuito suele realizarse con los equipos de medición Omicron, debido a el inconveniente en la variación de tensión indicada en la descripción anterior para el ensayo en vacío.

El ensayo de tensión aplicada se realiza mediante un transformador monofásico unicornio con relación 240 V /70.000 V, por lo que en ensayo se puede aplicar hasta transformadores cuyo voltaje de A.T. sean de 35.500 V.

Para el ensayo de tensión inducida se realiza con un generador trifásico el cual permite la variación del voltaje y la frecuencia, el voltaje máximo que se permite realizar es de 13.800 V por el lado de B.T. por lo tanto este sería el voltaje máximo con que se permite realizar el ensayo.

El banco de pruebas con que cuenta la organización, de acuerdo a lo descrito anteriormente está diseñado para realizar ensayos a transformadores trifásicos con capacidades hasta 20 MVA, y tensiones hasta 34.5 kV, sin embargo, las variaciones bruscas de la tensión descritas anteriormente limitan en la aplicación del ensayo de cortocircuito y el ensayo de vacío si el voltaje a inyectar en B.T. es superior a 480 V.

## CONCLUSIONES

La investigación consistió en realizar un estudio de tipo descriptivo y de campo en la empresa Bobinados Occidente C.A. con la finalidad de elaborar un manual de procedimientos de métodos de ensayos para transformadores trifásicos de distribución y de potencia, desde la recepción, prestación del servicio y entrega del producto final.

En relación a los objetivos propuestos se realizó la revisión de manuales de procesos paralelos, archivos históricos del proceso de producción potencia, entrevistas al personal técnico de la organización. De esta manera se logró conceptualizar de forma general el manual de procedimiento con el fin de mantener documentadas las actividades que se realizan en el proceso de Producción Potencia a través de procedimientos, formularios, instructivos de trabajo o cualquier otro documento que sea necesario para asegurar la eficaz planificación, operación y control del proceso.

Mediante el seguimiento a transformadores trifásicos en el proceso productivo, se logró definir las actividades que se realizan en el proceso de producción potencia y así se alcanzó documentar dichas actividades en procedimientos y planes de calidad, donde servirán de orientación al personal de la organización, facilitando así su aplicación continua y sistemática. Del mismo modo fueron asignadas de las áreas de trabajo donde serán ejecutadas cada una de las actividades definidas para el proceso.

Se realizó un estudio exhaustivo a las diferentes normas nacionales e internacionales aplicables a la reconstrucción, el mantenimiento o reparación de transformadores trifásicos sumergidos en baño de aceite, de esta manera fue que se determinaron los diferentes ensayos que se deben aplicar a transformadores trifásicos para el diagnóstico y conformidad de sub productos y producto final, del cual resultó la elaboración de instructivos de métodos de ensayo y formularios donde serán plasmados los resultados y el análisis de dichos ensayos.

El seguimiento realizado al transformador trifásico “LUISCERRANO1/19” permitió validar la documentación levantada para el manual de procedimientos del proceso “Producción Potencia”, donde, las actividades ejecutadas se realizaron siguiendo las establecidas en los procedimientos y planes de calidad, así mismo se tomaron en cuenta los instructivos de trabajo siendo aplicados en las diferentes áreas del proceso mientras se realizaron las actividades pertinentes al caso. Para realizar los registros y trazabilidad correspondiente se utilizaron los formularios que se crearon para dicho fin. Así mismo se ejecutaron todos los

ensayos de conformidad del producto final, tal cual como fueron elaborados siguiendo el paso a paso establecido, los cuales dieron conformidad al producto final.

Con la implementación del presente manual permite a la empresa establecer los mecanismos necesarios que permitan al responsable del proceso de Producción Potencia asegurar el control de los documentos y de los registros, la ejecución de las auditorías internas y la toma de acciones correctivas. Así como la mejora continua y desempeño del proceso.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## RECOMENDACIONES

- Dar a conocer el Manual de Procedimientos del proceso “Producción Potencia” al personal involucrado dentro de la organización.
- Hacer uso de la información documentada en manual de procedimientos del proceso “Producción Potencia” cada vez que ingrese un transformador trifásico al proceso.
- Hacer uso de la información documentada para la capacitación de personal de nuevo ingreso a la empresa.
- Consolidar el expediente del transformador y mantener su archivo histórico ordenado.
- Evaluar continuamente las posibles mejoras que puedan realizarse al manual del proceso “Producción Potencia”.
- Se recomienda la realización de un nuevo proyecto para el diseño de un banco de pruebas que permitan ampliar el alcance, y así permitir la aplicación de ensayos a transformadores de capacidades hasta **100 MVA** y tensiones hasta **115 kV**.

www.bdigital.ula.ve

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Chapman, Máquinas Eléctricas, Mc Graw Hill, 2000.
- [2] J. F. Mora, Máquinas Eléctricas, Madrid España: Mc Graw Hill, 2003.
- [3] P. O. Mora, Máquinas Eléctricas, Transformadores: Diseño Operación y Funcionamiento, 1997.
- [4] Megger, «es.megger.com,» [En línea]. Available: <https://es.megger.com/applications/transformadores/bornas-transformadores>. [Último acceso: Enero 2021].
- [5] Wikipedia, «es.wikipedia.org,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cambiador\\_de\\_tomas](https://es.wikipedia.org/wiki/Cambiador_de_tomas). [Último acceso: Enero 2021].
- [6] L. A. José, «Pruebas Eléctricas de Diagnóstico a los Transformadores de Potencia,» Sartenejas, 2012.
- [7] FONDONORMA, «Reconstrucción de Transformadores Trifásicos de Potencia. Requisitos y Métodos De Ensayo,» *FONDONORMA 3860*, 2005.
- [8] C. Transformadores, «Transformadores.cl,» [En línea]. Available: <https://www.transformadores.cl/blog/que-es-un-transformador-pad-mounted/#:~:text=El%20Transformador%20pad%20mounted%20es,de%20una%20valla%20de%20protecci%C3%B3n..> [Último acceso: Enero 2021].
- [9] IEEE, «IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers,» *IEEE Std C57.12.90*, 1999.
- [10] OMICRON, «CPC 100 Sistema multifuncional de pruebas primarias para la puesta en servicio y el mantenimiento de subestaciones,» *OMICRON*.