



unitec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y MEJORA EN RVR TRANSFORMADORES.

**INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE HUMEDAD DE LA PARTE ACTIVA
DE LOS TRANSFORMADORES.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO.

INGENIERO

PRESENTADO POR:

21541283 OSCAR EDUARDO ROBLES DURÓN

ASESOR: ING. VIELKA BARAHONA

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JUNIO, 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y permitir continuar este proceso de obtener uno de los deseos de mi corazón.

A los Ingenieros de RVR Transformadores por instruirme y dejarme ser parte de su equipo al realizar este proyecto.

A mi familia por ser ese apoyo emocional y monetario en toda esta etapa de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme, protegerme durante esta etapa de mi vida y guiarme siempre dándome fortalezas en aquellos momentos de oscuridad.

Le doy gracias a mis padres Oscar Robles y Lilian Durón por ser ese apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento detalla la investigación del proceso de extracción de humedad de los componentes aislantes del transformador previo a ser encubados. Siendo el objetivo conocer los parámetros ideales que deberían tener los componentes aislantes. La aplicación de esta investigación es lograr un proceso de extracción de humedad de los materiales aislantes exitoso y con estándares dentro de las normativas ya que el control de estos parámetros durante el proceso determina la calidad final del producto. En este informe se detallan las causas de la humedad dentro de los componentes de los transformadores y los efectos negativos que la humedad aporta a estos. Se detallará el funcionamiento básico de los transformadores y los fenómenos que ocurren dentro de él. Dentro de este informe se encontrará la explicación de todo tipo de medición hecha a los transformadores durante su fabricación y control de calidad. También se detallarán las mediciones que se hicieron para poder determinar parámetros deseados como ser la temperatura, resistencia, rigidez dieléctrica y el tiempo ideal de los procesos. Se demostrará el análisis y las muestras que fueron utilizadas para llegar a los resultados. Al final del informe habrá recomendaciones para mejorar el proceso de curado de la parte activa de los transformadores y la extracción de la humedad de los materiales utilizados. Es muy importante que a este proyecto se le siga dando seguimiento ya que hay muchas maneras de mejorar estos procesos en un futuro.

EXECUTIVE SUMMARY

The present document details the investigation of the process of extraction of humidity of the insulating components of the transformer prior to being concealed. Being the objective to know the ideal parameters that the insulating components should have. The application of this research is to achieve a process of moisture extraction of the insulating materials successfully and with standards within the regulations since the control of these parameters during the process determines the final quality of the product. In this report the causes of the humidity within the components of the transformers are detailed and the negative effects that the humidity contributes to these. It will detail the basic operation of the transformers and the phenomena that occur within it. Within this report you will find the explanation of all types of measurements made to transformers during their manufacture and quality control. It will also detail the measurements that were made in order to determine desired parameters such as temperature, resistance, dielectric strength and the ideal time of the processes. The analysis and the samples that were used to arrive at the results will be demonstrated. At the end of the report there will be recommendations to improve the curing process of the active part of the transformers and the extraction of moisture from the materials used. It is very important that this project is followed up as there are many ways to improve these processes in the future.

TABLA DE CONTENIDOS

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	2
	2.1 Precedentes del Problema.....	2
	2.2 Definición del Problema.....	2
	2.3 Justificación.....	3
	2.4 Preguntas de Investigación.....	3
	2.5 Objetivos.....	4
	2.5.1 Objetivo General.....	4
	2.5.2 Objetivos Específicos	4
III.	Marco Teórico	5
	3.1 Transformador de potencia	5
	3.2 Partes componentes de un transformador.....	5
	3.3 Sistema de aislamiento y conservación del transformador	8
	3.4 Aislamiento eléctrico	9
	3.5 Tipos de conexiones en la alta y baja de los transformadores.....	13
	3.6 Relación de transformación	16
	3.7 Tipos de Cargas.....	17
	3.8 Humedad en Transformadores	19
	3.9 La Humedad y la Vida Útil.....	21

3.10 Factor de potencia	22
3.11 Bajo factor de potencia.....	23
3.12 Prueba de factor de potencia en los transformadores	24
3.13 Proceso de secado del conjunto núcleo-bobina.....	28
3.14 Proceso de Termo Vacío del aceite	32
3.15 Normas para pruebas de Transformadores de Potencia.	35
IV. Metodología	37
4.1 Enfoque.....	37
4.2 Variables de Investigación.....	37
4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	38
4.4 Muestras.....	44
4.5 Metodología de Estudio.....	44
4.6 Cronograma de Actividades (Revisar que se vea bien en el formato impreso)	46
V. Resultado y Análisis.....	47
VI. Conclusiones.....	55
VII. Recomendaciones.....	56
VIII. Bibliografía.....	57
IX. Anexos.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 2: Cronograma de Actividades.....	46
Tabla 3: Equipo de 1 Giga (Temperatura Vs Aislamiento).....	47
Tabla 4:Temperatura vs Aislamiento.....	48
Tabla 5: Aumento Porcentual del Aislamiento.....	48
Tabla 6: Aumento porcentual de Aislamiento.....	48
Tabla 7:Progreso del proceso de curado equipo 3542-1.	49
Tabla 8: Incremento Porcentual equipo 3542-1.....	49
Tabla 9: Progreso del proceso de curado equipo 3503-3.	50
Tabla 10: Incremento porcentual del equipo 3503-3.....	50
Tabla 11: Progreso del proceso de curado equipo 3529-1.....	50
Tabla 12: Incremento porcentual del equipo 3529-1.....	51
Tabla 13: Progreso del proceso de curado equipo 3247-1.....	51
Tabla 14:Incremento porcentual del equipo 3247-1.	51
Tabla 15: Progreso del proceso de curado equipo 3536-1.....	52
Tabla 16: Incremento porcentual de aislamiento del equipo 3536-1.	52
Tabla 17: Nuevo formato de protocolo.....	53
Tabla 18: Continuación horizontal del nuevo formato de protocolo.....	54

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Bobina de transformador trifásico	6
Ilustración 2: Bobinas con su núcleo.....	7
Ilustración 3: Aislamiento seco sin aceite.....	8
Ilustración 4: Prueba de rigidez dieléctrica de aceite mineral.....	11
Ilustración 5: Instalación de la muestra de aceite.....	12
Ilustración 6: Punto de ruptura de rigidez dieléctrica	13
Ilustración 7: Conexión en Estrella.....	14
Ilustración 8: Conexión en Delta (Triángulo)	15
Ilustración 9: Conexión en Zigzag.....	15
Ilustración 10: Relación de transformación.....	17
Ilustración 11: Carga Inductiva.	17
Ilustración 12: Desfase de la corriente.	18
Ilustración 13: Triángulo de potencias.....	19
Ilustración 14: PPM de agua vs temperatura.....	20
Ilustración 15: Expectativa de vida útil de la celulosa a diferentes temperaturas y contenidos de humedad.....	21
Ilustración 16: Triángulo de potencias.....	22
Ilustración 17: Retrasos y adelantos de las cargas.....	23
Ilustración 18: Ángulo y Factor de potencia.....	23

Ilustración 19: Perdidas vs FP,	24
Ilustración 20: Diagrama de Prueba de FP.	25
Ilustración 21: Triangulo de potencias.....	26
Ilustración 22: Polarización del aislamiento durante los ciclos.....	27
Ilustración 23: Aislamiento en presencia de corriente alterna.....	28
Ilustración 24: Horno para curado de bobinas y núcleos.....	30
Ilustración 25: Temperatura de la parte activa 30 minutos después de apagar el horno.....	31
Ilustración 26: Controlador de temperatura del horno.	32
Ilustración 27: Tablero programable.....	33
Ilustración 28: Termo filtro.	34
Ilustración 29: Termo vacío.	35
Ilustración 30: Valores de Resistencia de Aislamiento según la norma.....	36
Ilustración 31: Micro-ohmetro	39
Ilustración 32: Pistola Termográfica.....	39
Ilustración 33: TTR.....	40
Ilustración 34: Chispometro.	41
Ilustración 35: Factor de Potencia.....	42
Ilustración 36: Amperímetro.	43
Ilustración 37: Mega óhmetro.....	43
Ilustración 38: Sensor de Humedad.....	44
Ilustración 39: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	59

Ilustración 40: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	60
Ilustración 41: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	61
Ilustración 42: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	62
Ilustración 43: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	63
Ilustración 44: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	64
Ilustración 45: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3503-3.....	65
Ilustración 46: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	66
Ilustración 47: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1.....	67
Ilustración 48: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3529-1.....	68
Ilustración 49:3529-1	69
Ilustración 50: : Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1	70
Ilustración 51: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1.....	71
Ilustración 52: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1.....	72
Ilustración 53: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1.....	73
Ilustración 54: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1.....	74
Ilustración 55: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1.....	75
Ilustración 56: : Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1	76
Ilustración 57: Ilustración 58: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1	77
Ilustración 59: Ilustración 60: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1	78
Ilustración 61: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1.....	78

I. INTRODUCCIÓN

Los transformadores de potencia están conformados por varias partes, las más importantes son el núcleo y los devanados. El aislamiento entre estas partes es muy importante ya que, por estas, pasan corrientes altas y el malfuncionamiento del aislamiento podría llevar a un cortocircuito lo que daña el equipo y peligra la vida de los seres vivos que lo rodean, por lo tanto, es muy importante que el aislamiento de los transformadores esté dentro de su rango para poder resistir cualquier sobretensión por cualquier tipo de falla. Para poder aislar estos componentes se utilizan varios tipos de papeles, barnices, y cartón, pero existe algo que es inevitable y rompe la rigidez eléctrica de los materiales con su presencia, este agente externo es la humedad que está en los devanados y en el núcleo. Para erradicar la humedad de la parte activa se someten los devanados armados con el núcleo a ciertas temperaturas en un horno seco el cual según sea el tipo de transformador, será su tiempo dentro el horno. En RVR Transformadores utilizan este proceso de extracción de humedad por medio de hornos secos, pero no se monitorea ni controla como debería, por lo tanto, en este informe se detallará el proyecto de mejora para poder tener un mejor control y poder monitorear cada equipo que pasa por este proceso para así tener altos niveles de aislamientos y el factor de potencia adecuado.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En la fábrica de transformadores RVR se ha utilizado el proceso de extracción de humedad mediante hornos secos desde el principio. Durante las pruebas de aislamiento y factor de potencia los Ingenieros se daban cuenta que cada transformador no tenían los niveles adecuados de estas dos pruebas lo cual significaba que todavía había humedad en el núcleo y en los diferentes devanados, por lo tanto, decidieron aumentar las horas en las cuales la parte activa estaba sometida a los hornos, pero en realidad no existe un protocolo el cual asegure que todos los transformadores que pasaron por este proceso están completamente secos y listos para continuar con el proceso. Debido a los malos resultados en las pruebas de aislamiento y de factor de potencia lo único que se acordó realizar es duplicar las horas en las cuales la parte activa estaría en el horno.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El verdadero problema del proceso de secado de la parte activa del transformador, es que no existe el debido control del tiempo en el que pasa dentro del horno, ni el tiempo que pasa afuera del horno para continuar con el proceso. Ocasionando diferentes y bajos niveles de aislamiento y factor de potencia en cada transformador terminado. Los malos resultados de aislamiento pueden ocasionar un corto circuito que daña el equipo y podría afectar la salud de los seres vivos que rodean el equipo. Los altos resultados del porcentaje de factor de potencia generan altas pérdidas en el transformador lo cual no es nada atractivo.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante realizar un control adecuado para así tener un protocolo estandarizado, el cual nos garantice que los transformadores no tienen humedad y que cada uno de ellos tienen las mismas características, teniendo así, la certeza de que el transformador no ocasionara ningún tipo de falla durante las pruebas dentro de la empresa o peor aún, fuera de la empresa. Cuando no se tiene el control adecuado el proceso, los resultados al realizar las pruebas, obligan a que el transformador sea destapado y regrese al proceso lo cual genera 3 días de retraso. Cuando la falla ocurre en las manos del cliente la garantía obliga a RVR a entregarles otro equipo nuevo de las mismas características generando una gran pérdida monetaria y de tiempo.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué equipos de medición son los necesarios para saber las características de humedad de los equipos?
2. ¿Qué temperatura es la ideal para secar la parte activa del transformador?
3. ¿Cuánto tiempo es necesario para evaporar la humedad de la parte activa del transformador?
4. ¿Cuáles son las normas y los estándares que debe cumplir el transformador terminado?
5. ¿Qué tipo de formato debería de crearse para que sea fácil de utilizar?
6. ¿Es determinante la dimensión de cada transformador con respecto al proceso?
7. ¿Qué valores son los que serían óptimos para pasar las pruebas de aislamiento de la parte activa?
8. ¿Qué repercusiones tiene un mal proceso de extracción de humedad de los componentes de un transformador?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Crear un protocolo estandarizado para el proceso de secado de la parte activa del transformador, el cual garantice ciertos niveles adecuados de aislamiento y factor de potencia, teniendo así una mejor calidad en el transformador finalizado, y un mejor control del equipo que ingresa a este proceso.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar las repercusiones de un mal proceso de extracción de humedad en la parte activa.
2. Identificar el tiempo ideal en el cual el horno extrae la mayor cantidad de humedad de la parte activa del transformador.
3. Definir los horarios en los cuales el equipo estará en el horno.
4. Hacer las respectivas mediciones de temperatura y de humedad durante el proceso.
5. Determinar los estándares y las normas a las cuales deberá estar sometido el proceso.
6. Implementar todos los equipos de medición que sean necesarios.
7. Crear un formato de control y registro.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

En este capítulo se mostrarán varios conceptos, demostraciones, formulas, ilustraciones y ecuaciones que son esenciales para tener un mejor entendimiento y comprensión del tema de los transformadores. También se podrá mostrar un poco acerca del principio y el funcionamiento del transformador trifásico y algunas de sus pruebas que son importantes en su fabricación. También se podrá mostrar acerca del tema de la humedad y el aislamiento y los problemas que estos pueden causar.

Los transformadores son maquinas eléctricas, pero a diferencia de la mayoría son maquinas estáticas que permiten reducir o elevar las tensiones y corrientes alternas, utilizando a su favor los fenómenos de inducción electromagnética, lo cual permite que se puedan tener los resultados finales.(RVR Transformadores, 2019).

3.2 PARTES COMPONENTES DE UN TRANSFORMADOR

Las partes más importantes que conforman un transformador son cuatro, los cuales comprenden(RVR Transformadores, 2019):

1. Circuito Magnético (núcleo).
2. Circuito eléctrico (bobinas).
3. Sistema de Aislamiento.
4. Tanque, herrajes y accesorios.

En la ilustración 1 está un embobinado recién fabricado en los moldes de madera donde posteriormente ira el núcleo.



Ilustración 1: Bobina de transformador trifásico

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

En la ilustración 2 podemos observar que están 3 bobinados ensamblados en su núcleo listos para hacer las respectivas conexiones de los taps. Este equipo posteriormente se encubrirá en el tanque con su respectivo aceite aislante. Cada una de las bobinas posee capas de cartón y papel aislante.



Ilustración 2: Bobinas con su núcleo.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

El papel y cartón que están hechos de celulosa, son utilizados para proteger y evitar el contacto entre cada bobina. La mala instalación de este papel y cartón aislante puede llegar a provocar un nefasto accidente el cual dañaría el equipo y lo que este a sus alrededores. En la ilustración 3 se muestran el papel y el cartón formando una especie de ductos donde el aceite será el material que rellene esos espacios. Este papel al unirse con el aceite aumenta sus capacidades de rigidez dieléctrica (RVR Transformadores, 2019).



Ilustración 3: Aislamiento seco sin aceite.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

3.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL TRANSFORMADOR

El sistema de aislamiento de un transformador está compuesto por la combinación de aceite con papel y cartón. El papel y cartón es un tipo de celulosa que se comporta como un aislante sólido prensado. Estos materiales tienen un objetivo específico el cual es proporcionar aislamiento eléctrico entre las diferentes partes del transformador donde fluye una corriente y por consecuencia un campo eléctrico. El aceite particularmente tiene funciones muy importantes (RVR Transformadores, 2019):

- 1) Refrigerar el transformador.
- 2) Conservar el núcleo y las partes metálicas.
- 3) Llenar los vacíos en el papel o cartón.
- 4) Minimiza el contacto del oxígeno con los materiales de la parte activa del transformador.
- 5) Aislante eléctrico.

La celulosa (Cartón y Papel) tiene las siguientes funciones(RVR Transformadores, 2019):

1. Función mecánica ya que sirve como soporte para los devanados.
2. Función térmica en la creación de ductos refrigerantes.
3. Aislante eléctrico.

El diseño de aislamiento para cada transformador es bien especializado ya que hay varios aspectos que se deben tomar en cuenta como ser las características de los materiales y sus reacciones, ya que la rigidez eléctrica difiere entre los diferentes tipos de aceites y celulosas. También es muy importante el aspecto físico como la cantidad, las formas y el peso de dichos materiales(RVR Transformadores, 2019).

3.4 AISLAMIENTO ELÉCTRICO

Los equipos eléctricos respetan la mayoría de las veces características de aislamiento eléctrico para que puedan funcionar de una forma segura. Ya sea en los cables de conexión o en dispositivos de seccionamiento u otros métodos de protección en las diferentes maquinas eléctricas como ser los generadores, los transformadores o las maquinas eléctricas. El aislamiento de los conductores eléctricos está conformado de materiales que presentan una rigidez dieléctrica alta para así poder separar la circulación de corrientes fuera de los conductores (Megger, 2016).

Las características dieléctricas de estos aislamientos se ven alterada al cabo de los años por las exigencias a las que son sometidas puede ser por las características del interior donde se encuentran o por el uso del sistema. Esta alteración provoca una reducción de su rigidez eléctrica, provocando una serie de fenómenos que no están a favor del buen funcionamiento tal como ser las corrientes de fuga que puede ocasionar incidentes cuyo efecto puede traer graves

consecuencias como a la salud de los seres vivos que rodean el equipo y también a los bienes materiales(Chauvin Arnoux, 2010)

Con respecto a los transformadores, durante la producción antes de ser aprobados por los encargados de control y calidad ya sean nuevos o renovados se realizan una serie de mediciones previas, las cuales certifican si el equipo paso la prueba de aislamiento cumpliendo así con unos límites los cuales debe superar, con esta prueba se evitan posibles accidentes mediante el funcionamiento de estos. También se pueden hacer cálculos para poder detectar el envejecimiento y la degradación prematura de las características de aislamiento antes de que alcance un nivel en específico y así provocar accidentes(RVR Transformadores, 2019)

La prueba de rigidez dieléctrica permite que se pueda medir la capacidad de un aislante de retener el paso de corriente sin que haya una descarga disruptiva. En una situación real de funcionamiento de los equipos en este caso un transformador podría generarse una sobretensión por un fallo de la red o una descarga eléctrica natural la cual se puede simular con una prueba de rigidez eléctrica, por lo tanto, se puede determinar cuántos kilos Voltios puede soportar dicho material aislante. El objetivo principal de esta prueba es garantizar que se respeten las normas de construcción de aislamiento de las maquinarias eléctrica, y que logren sobrepasar los niveles de líneas de fugas y las distancias de aislamiento. Estas pruebas se deben de realizar cada vez que se estén implementando en la construcción de maquinarias eléctricas tales como los transformadores Esta prueba se suele realizar aplicando una tensión alterna con especificaciones especiales y con las distancias requeridas por las normas, el instrumento de medición necesario para este tipo de mediciones es un dielectrómetro. La prueba de rigidez tiende a continuar hasta el punto de ruptura de la rigidez dieléctrica, esto quiere decir que logra romper en algún punto la rigidez eléctrica, esto es alcanzado elevando el voltaje hasta su punto de ruptura, por lo tanto, es una prueba destructiva. Por ejemplo, el aceite que se utiliza en los transformadores se somete a esta prueba hasta que rompe la rigidez dieléctrica del aceite,

generando un arco a través del aceite como se puede mostrar en la siguiente fotografía de una prueba de aceite mineral con 2mm de separación (RVR Transformadores, 2019)

Esta prueba en la ilustración 4 busca el punto de ruptura del aceite para determinar si el aceite pasa la prueba que como mínimo debería de tener 40 kV de rigidez dieléctrica, durante la prueba el equipo llega al punto de ruptura 5 veces y posteriormente hace un promedio de las 5 mediciones e imprime el resultado(RVR Transformadores, 2019).

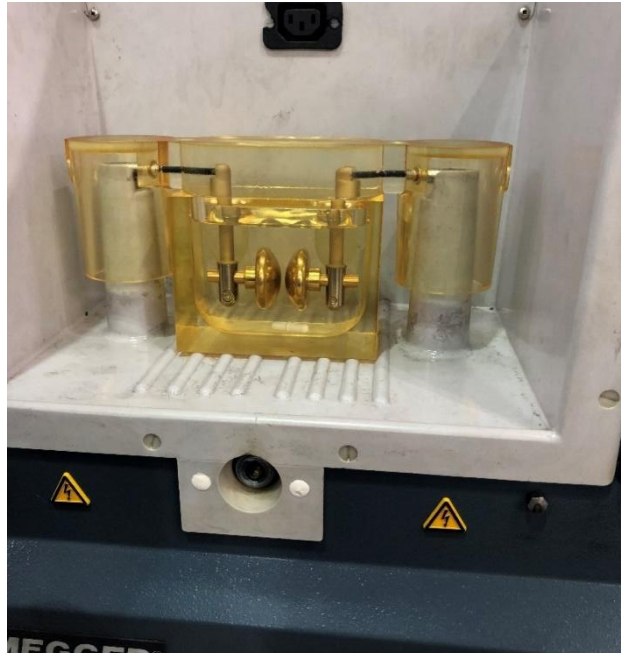


Ilustración 4: Prueba de rigidez dieléctrica de aceite mineral.

FUENTE: (RVR Transformadores, 2019).

En la ilustración 5 se puede observar la muestra de aceite en el dielectrómetro, a continuación, se procede a cerrar con una cubierta protectora el dispositivo de medición para proceder con la prueba y obtener el promedio de las mediciones.



Ilustración 5: Instalación de la muestra de aceite.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

Algunos de estos equipos permiten seleccionar a qué tipo de norma se está sometiendo y de acuerdo con esto se regula la separación de los terminales. También dentro de la muestra existe un imán que gira lo cual permite que el aceite pueda recircularse en el recipiente, simulando el movimiento natural del aceite en el transformador.

En la ilustración número 6 se puede observar el momento exacto cuando se rompe la rigidez eléctrica y se forma el arco eléctrico a través de los terminales conductores. Esta medición fue de 46 kV lo cual posteriormente la maquina saco un promedio de esta y las otras 4 mediciones (RVR Transformadores, 2019).

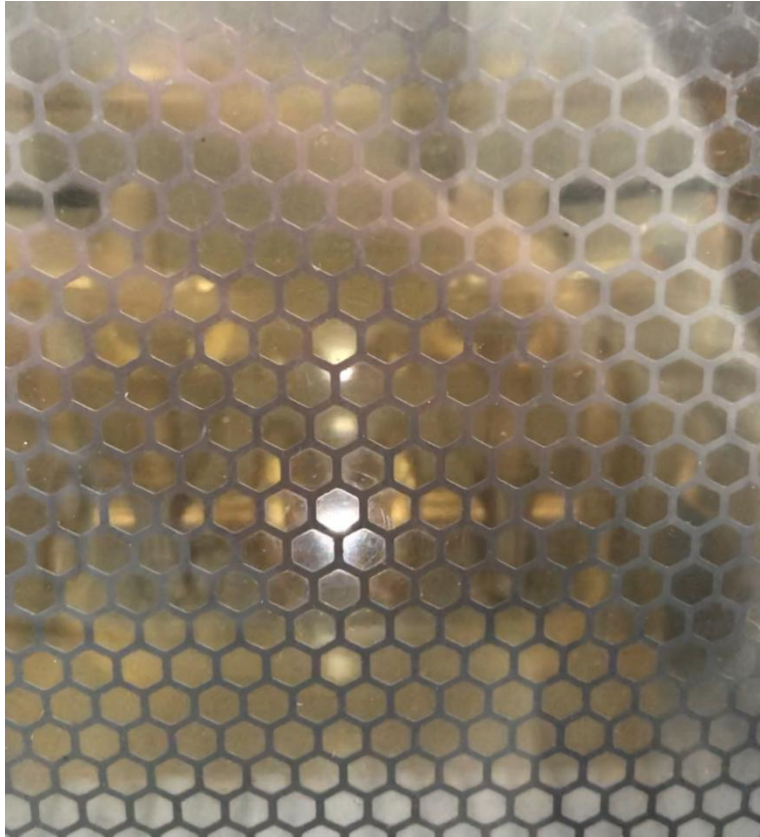


Ilustración 6: Punto de ruptura de rigidez dieléctrica.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

3.5 TIPOS DE CONEXIONES EN LA ALTA Y BAJA DE LOS TRANSFORMADORES

Las conexiones entre las fases de una red eléctrica son especializadas según la necesidad por lo tanto todos los transformadores al ser diseñados se pueden adecuar para cada tipo de necesidad, las configuraciones pueden ofrecer diferentes ventajas según sea conveniente (Pozuela, 2012).

Hay varias maneras de conectar entre sí las tres fases del primario, por un lado, y del secundario, por otro. Estas son: en estrella (con o sin hilo neutro), triángulo o zigzag (con o sin hilo neutro). En la conexión zigzag cada una de las fases está dividida en dos mitades idénticas conectadas.

(Pozuela, 2012, pág. 24)

En la ilustración 7,8 y 9 podemos observar las conexión estrella, delta y zigzag que son las conexiones mas comunes que se utilizan en las conexiones trifasicas.

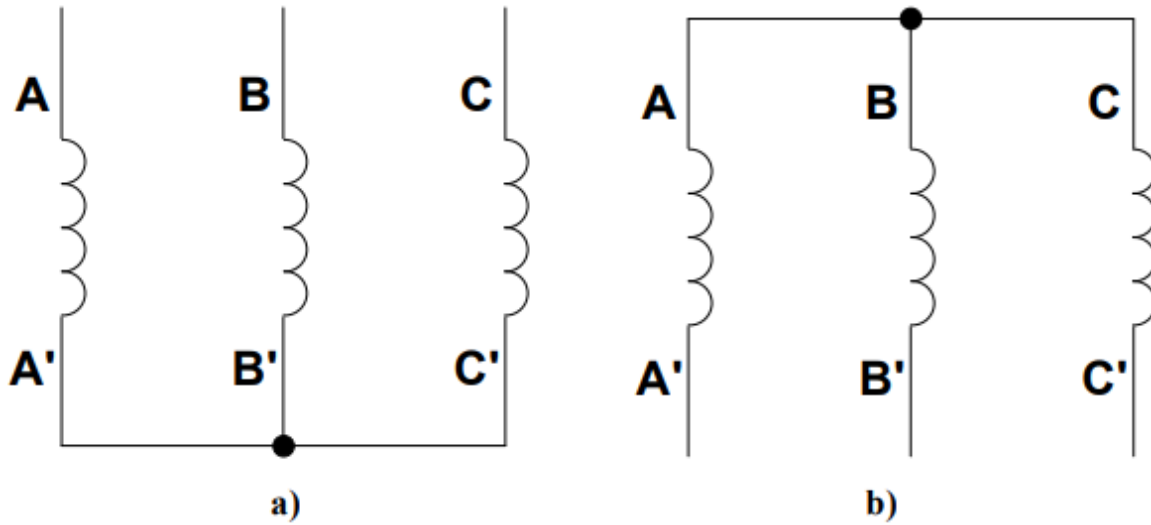


Ilustración 7: Conexión en Estrella.

Fuente: (Pozuela, 2012, pág. 25)

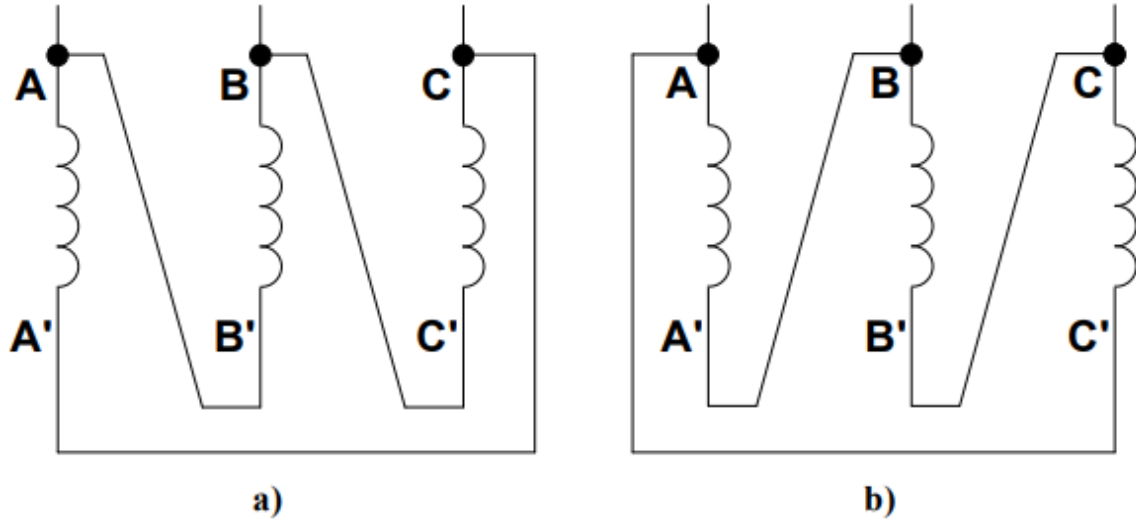


Ilustración 8: Conexión en Delta (Triangulo).

Fuente: (Pozuela, 2012, pág. 25).

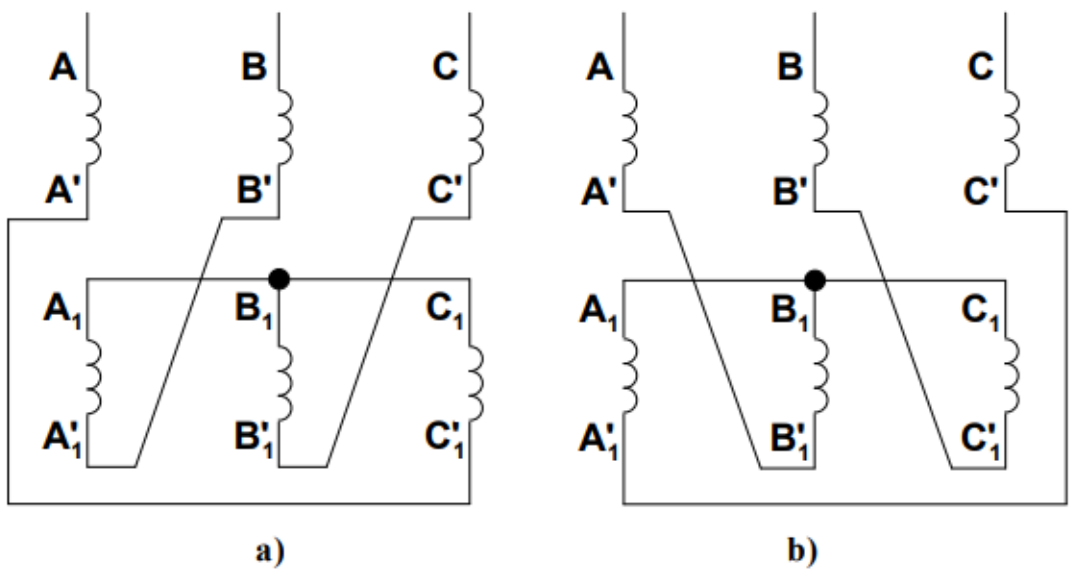


Ilustración 9: Conexión en Zigzag.

Fuente: (Pozuela, 2012, pág. 25).

La forma de nombrar el tipo de conexión de un transformador se realiza utilizando números y letras como ser Dy0 o Dy11. En esta nomenclatura la primera letra es mayúscula y representa a el tipo de conexión que tiene la alta tensión, posteriormente sigue la letra minúscula que significa el tipo de conexión en baja tensión, luego de nombrar los tipos de conexiones se coloca lo que es el número lo que simboliza el índice horario o mejor dicho el ángulo de desfase con nomenclatura horaria. Por ejemplo, el 1 es 30, el 2 es 60 y así sucesivamente hasta cumplir con las horas del reloj. Las letras que representan la forma de conexión son(Pozuela, 2012):

Y, y: Estrella.

D, d: Triángulo.

Z, z: Zigzag.

3.6 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

La relacion de transformacion es un tema bastante facil de entender pero al mismo tiempo juega un papel muy importante y puede ser critico un error en sus parametros.

En un transformador o en un banco trifásico se pueden distinguir dos relaciones de transformación distintas: la relación de transformación m y la relación de transformación de tensiones mT . La relación de transformación m es el cociente entre las tensiones asignadas de fase del primario y del secundario (Pozuela, 2012)

En la siguiente ilustración 10 podemos observar la fórmula de transformación que es bastante simple pero importante,

$$m = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} = \frac{I_{2N}}{I_{1N}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Ilustración 10: Relación de transformación.

Fuente: (Pozuela, 2012)

3.7 TIPOS DE CARGAS

Como dijo (Poma, 2015) existen tres tipos de cargas en la electricidad, una de ellas es la carga óhmica como ser las planchas, las estufas eléctricas, lámparas incandescentes, o calentadores resistivos. La segunda carga es la carga capacitiva que normalmente son capacitores o generadores síncronos sobre excitados, la tercera es una carga inductiva que es la que nos interesa en este tema ya que dentro de esta categoría están los transformadores y todas aquellas máquinas eléctricas que tienen bobinas. La ilustración 11 nos muestra la información de las cargas inductivas.

Cargas Inductivas	<ul style="list-style-type: none"> ▲ La mayoría de las carga industriales son inductivas por naturaleza, por ejemplo: motores, transformadores, etc. Debido a la reactancia inductiva de la carga, la corriente tomada por la carga se retrasa eléctricamente con respecto a la forma de onda de la tensión en un ángulo ϕ. ▲ La magnitud de ϕ es proporcional a la reactancia inductiva. ▲ Impedancia-$X_L = 2 * 3.14 * f * L$
U adelanta 90° a I	
desfase = 90°	
Penalidad !	

Ilustración 11: Carga Inductiva.

Fuente: (Poma, 2015, pág. 6)

Las cargas inductivas causan cierto desfase entre la onda de corriente y la de tensión, como se puede observar en la siguiente imagen existe una potencia positiva y negativa.

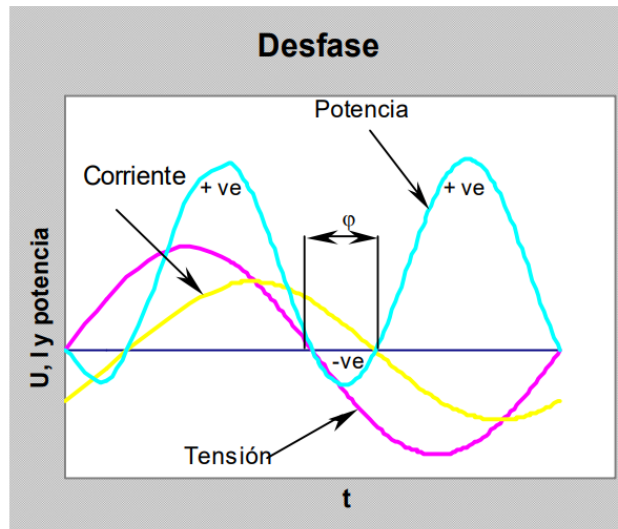


Ilustración 12: Desfase de la corriente.

Fuente: (Poma, 2015, pág. 7)

Un tema muy importante con respecto a los tipos de cargas es el factor de potencia y relacionado al factor de potencia está lo que es la potencia reactiva la cual se puede explicar de una mejor forma, las máquinas eléctricas funcionan basadas en un principio de conversión de energía electromagnética, por lo tanto, una parte de la energía que se utiliza para crear y mantener el campo magnético, esta parte de la energía no logra convertirse en energía activa y por lo tanto regresa a la red y esta potencia se conoce como potencia reactiva. En la ilustración 13 se puede observar el triángulo de potencia y la demostración de los desfases.

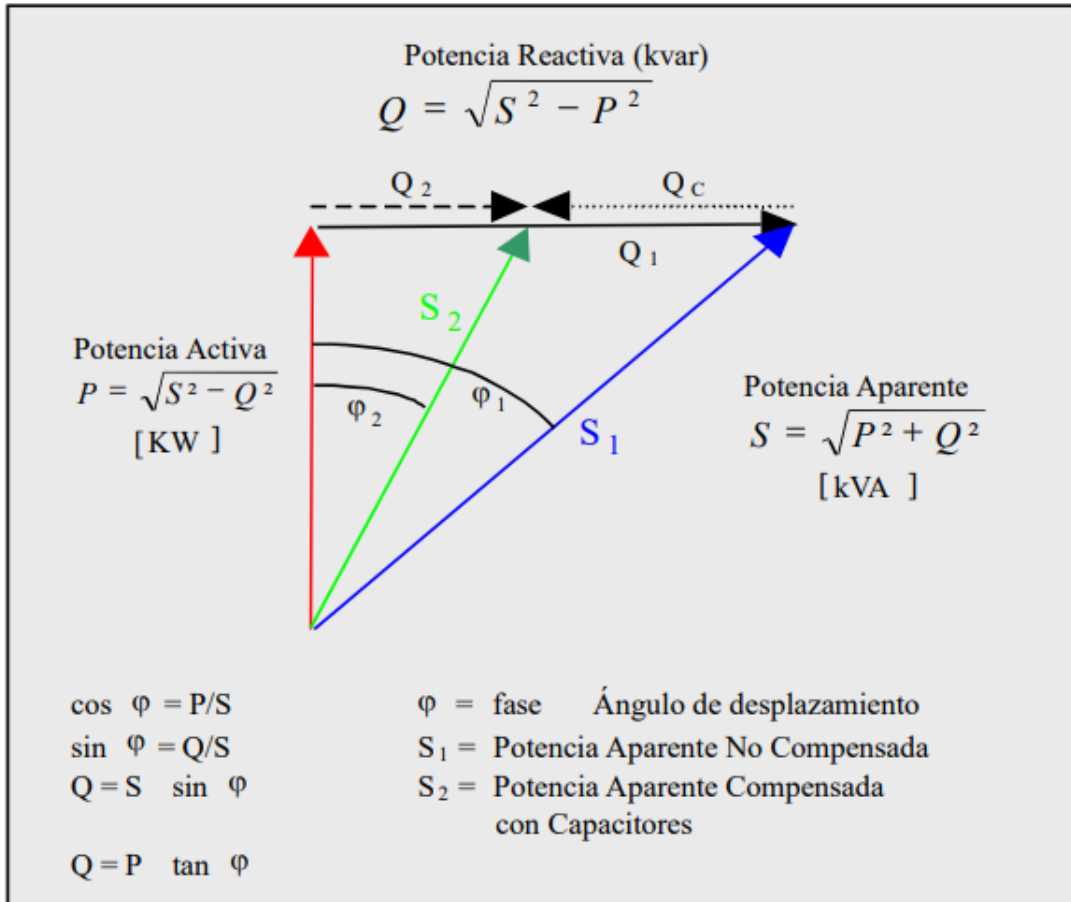


Ilustración 13: Triangulo de potencias.

Fuente: (Poma, 2015, pág. 8)

3.8 HUMEDAD EN TRANSFORMADORES

Los transformadores a lo largo de su fabricación pasan por varios procesos en donde se unen partes como ser los embobinados y papel aislante, el núcleo y las bobinas, las conexiones con conmutadores, durante todo este proceso inevitablemente estos materiales se impregnan de humedad. Como ya sabemos la humedad les suma conductividad a los materiales presentes lo cual no es deseado. La humedad en el aislamiento de los transformadores puede afectar en grandes maneras, afectando su rendimiento y provocando descargas parciales, burbujas, envejeciendo el aislamiento prematura y obviamente disminuyendo su rigidez dieléctrica. Según

el estudio de Losada, un transformador deja la fábrica con un porcentaje de humedad, el cual depende de las dimensiones y su construcción. "Para transformadores con tensiones superiores a 230kV, la humedad contenida debe ser típicamente de 0,5%. Estos valores pueden ser disminuidos a petición del cliente, pero un nivel de humedad de 0,3% es difícil de conseguir" (Losada, 2010).

La localización del agua se puede estimar con unos cálculos relacionados a la temperatura. Si se logra que el transformador permanezca durante un tiempo específico, el agua podrá encontrar cierto equilibrio entre la cantidad de papel contenido dentro del transformador y el aceite. "Existe una relación entre la cantidad de humedad contenida en el aceite y la cantidad que retiene el papel para cada temperatura de trabajo" (Losada, 2010).

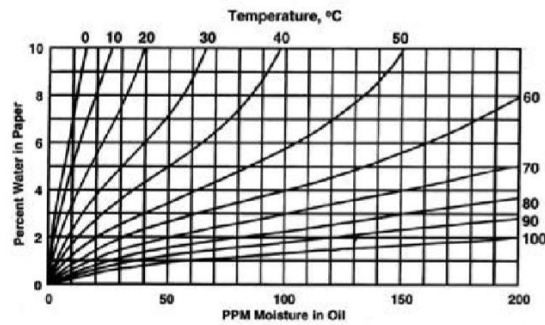


Ilustración 14: PPM de agua vs temperatura.

3.9 LA HUMEDAD Y LA VIDA ÚTIL

La vida útil de un transformador de potencia está totalmente relacionada con la humedad dentro del transformador, como vimos anteriormente, la concentración de la humedad está en su mayor parte en la celulosa.

La presencia de agua en la parte sólida del aislamiento, incluso en concentraciones pequeñas, incrementa la tasa de envejecimiento, reduce la temperatura permisible de los puntos calientes en el transformador e incrementa el riesgo de formación de burbujas y el subsecuente fallo dieléctrico. Además, la humedad reduce la rigidez dieléctrica del aceite del transformador, así como el nivel de inicio de la actividad de descarga parcial.

(CIGRE, 2010, pág. 2).

En la ilustración número 15 se describe la vida útil del aislamiento a diferentes rangos de temperatura y humedad. Como podemos ver a una temperatura de 90°C y 1% de humedad se podrían lograr 12 años de vida útil, pero si aumentamos la humedad al 3%, la expectativa de vida útil solo es de 3 años. Este dato nos da a entender que la humedad es el peor enemigo del transformador (CIGRE, 2010).

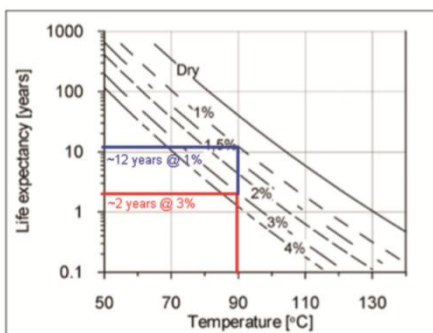


Ilustración 15: Expectativa de vida útil de la celulosa a diferentes temperaturas y contenidos de humedad.

Fuente: (CIGRE, 2010, pág. 3)

3.10 FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia se define como el cociente de la relación de potencia activa entra la potencia aparente. Como concepto el factor de potencia se puede conocer como la cantidad de energía eléctrica que si se logra aprovechar siendo el mayor porcentaje y el ideal el número uno. Esto significa que, si tenemos un factor de potencia igual a uno, no se está desaprovechando ninguna cantidad de energía. Por lo contrario, un bajo factor de potencia nos da a conocer que hay bastante perdidas para producir un trabajo útil. Con respecto a las variables, la potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de energía eléctrica se aprovecha como trabajo. Esta potencia efectiva o real se simboliza con la P y con las unidades de Watts. La potencia opuesta, es decir, la que puede ocasionar mayor efecto negativo es la potencia reactiva, eta potencia es la que se encarga de generar el campo magnético para las diferentes maquinas eléctricas haciendo que estas puedan funcionar. Las unidades para esta potencia son los VAR de símbolo Q (Anonimo, Factor de Potencia, 2002). En la ilustracion 16 podemos observar el triangulo de potencias.

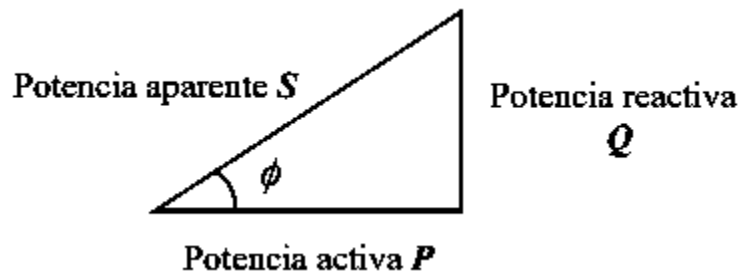


Ilustración 16: Triangulo de potencias.

Fuente: (Anonimo, Factor de Potencia, 2002, pág. 4)

Anteriormente se pudo explicar los tipos de cargas y un poco acerca de los desfases que existen entre las cargas inductivas y las capacitivas. Donde en una la corriente está atrasada y en la otra adelantada, a continuación, se podrá observar los vectores de esta carga con respecto a sus características. En la ilustracion 17 podemos observar los vectores de las cargas.

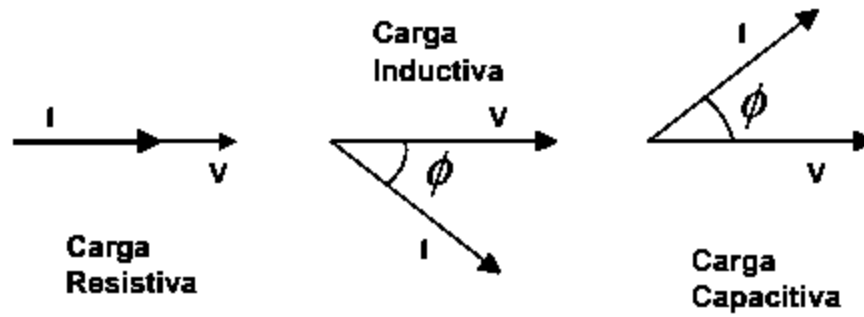


Ilustración 17: Retrasos y adelantos de las cargas.

Fuente: (Anonimo, Factor de Potencia, 2002, pág. 6)

3.11 BAJO FACTOR DE POTENCIA.

El bajo factor de potencia es un problema muy grande ya que desbalancea la red, la principal causa de un consumo con bajo factor de potencia es cuando las maquinas que convierten la electricidad en trabajo no son eficientes y consumen más potencia reactiva haciendo que se incremente el ángulo y así disminuyendo el factor de potencia(RVR Transformadores, 2019). En la ilustracion numero 18 podemos observar los respectivos angulos con respecto a el factor de potencia.

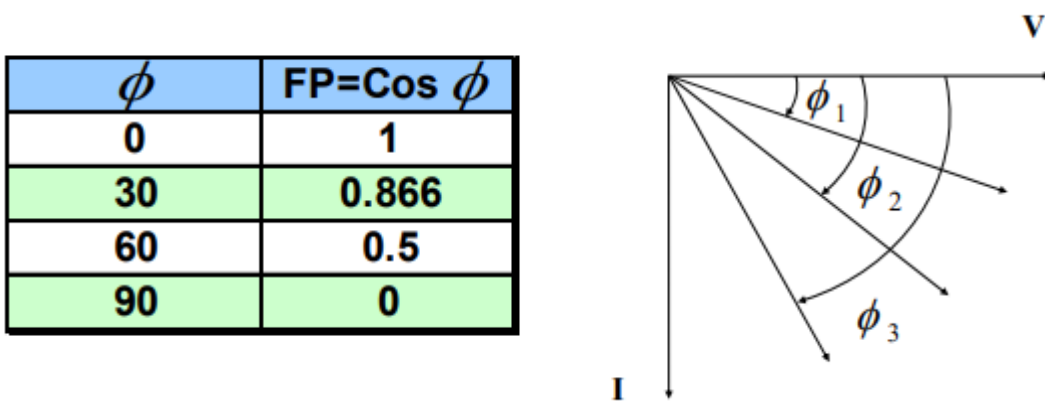


Ilustración 18: Angulo y Factor de potencia.

Fuente: (Poma, 2015, pág. 16)

Consecuencias de un bajo factor de potencia(RVR Transformadores, 2019):

1. Mayor consumo de corriente.
2. Aumento en las perdidas en los conductores.
3. Incremento de las caídas de voltaje.

En la ilustracion numero 19 podemos observar la grafica que nos muestra las perdidas según el factor de potencia. Entre mayor sea el valor del porcentaje de factor de potencia, mayor seran las perdidas.

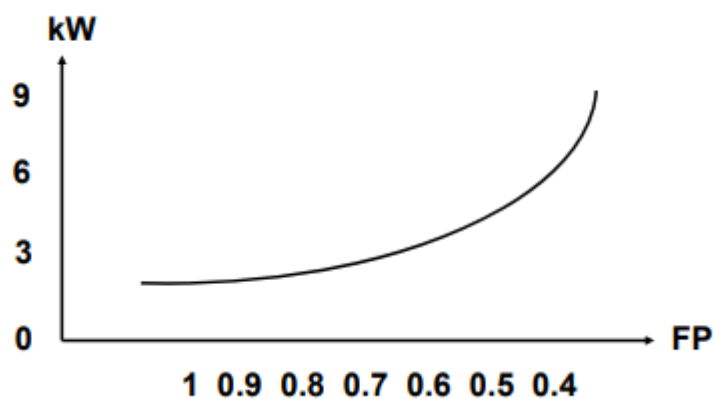


Ilustración 19: Perdidas vs FP,

Fuente: (Poma, 2015, pág. 17)

3.12 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA EN LOS TRANSFORMADORES

La prueba de factor de potencia es esencial para saber la calidad del transformador y de sus componentes en el interior. A continuación, se mostrará cómo funciona esta prueba y que significan los resultados y cuáles son las principales causas de los malos resultados. "El principal objetivo de la prueba de factor de potencia es conocer el estado operativo de los aislamientos.

Permite identificar cambios en sus propiedades dieléctricas debidos a los efectos de contaminación o envejecimiento” (Vega, 2004, pág. 3).

La prueba de factor de potencia consiste básicamente en aplicar voltaje de corriente alterna (VCA) al objeto bajo prueba y medir la corriente (A), el voltaje (V) y la potencia (W)” (Vega, 2004, pág. 4). En la ilustracion 20 podemos observar el circuito del medidore del factor de potencia.

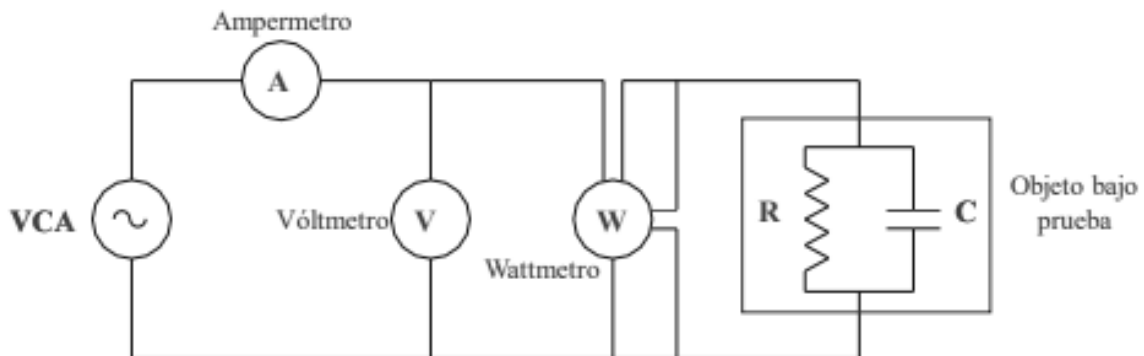


Ilustración 20: Diagrama de Prueba de FP.

Fuente: (Vega, 2004, pág. 4)

Para poder determinar el factor de potencia es importante recordar lo que es el triangulo de potencias, pero al aplicarlo al transformador lo podemos ver e otra manera. Las cargas que tiene un transformador se suman para poder determinar el factor de potencia. En el eje X se representa la carga resistiva de los conductores lo cual como ya lo sabemos son los Watts. La carga reactiva que es la mas importante se encuentra en el eje Y y esta totalmente relacionada con la potencia que consume el aislamiento y corresponde a la parte capacitiva del transformador, posteriormente explicaremos de una mejor forma este fenomeno(Vega, 2004). En la ilustracion 21 de la siguiente pagina podemos observar el triangulo de potencia.

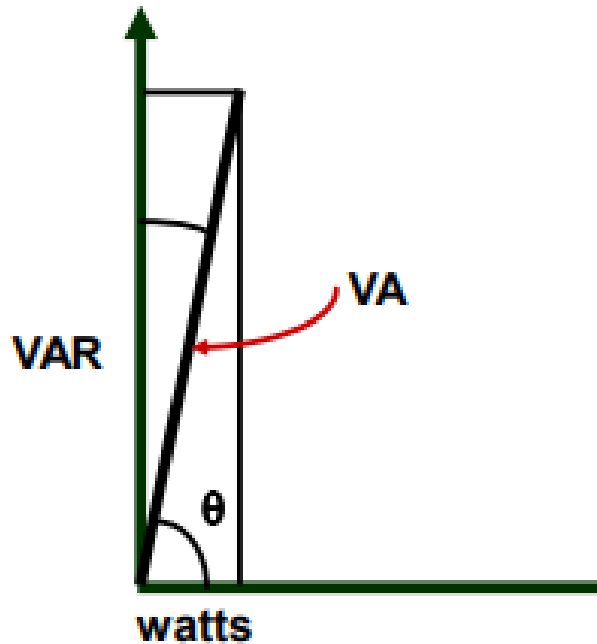


Ilustración 21: Triangulo de potencias.

Fuente: (Vega, 2004, pág. 5)

Por definición ya sabemos que el factor de potencia es el cociente de los watts ósea la carga resistiva entre los VA que es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. En resumen, durante la prueba lo que se calcula son los Watts y los VA y calcular el cociente para así tener el factor de potencia. Usualmente lo que se obtiene es una medición pequeña de los watts y una más grande de la potencia aparente. Por ejemplo 30 mili watts entre 10,000 mili VA esto significa que la respuesta será 0.003 lo cual es mejor expresarlo en porcentaje, por lo tanto, lo que se hace es multiplicarlo por 100 y así se obtendrá un porcentaje pequeño, pero así evitamos los decimales, en este caso el porcentaje seria 0.3%(Vega, 2004).

En la siguiente ilustracion 22 se puede observar cómo se comportan las cargas dentro del material aislante. Cuando el aislamiento se encuentra sin tensión, las cargas se encuentran distribuidas al azar dentro de su espacio. Cuando se aplica un voltaje en corriente alterna las cargas se polarizan, pero como ya sabemos cada semiciclo cambia de signo positivo a signo

negativo y cada semiciclo dura 8 milisegundos lo cual pasa muy rápido. En cada uno de estos ciclos las cargas se alinean como se ilustra en la ilustración 22.

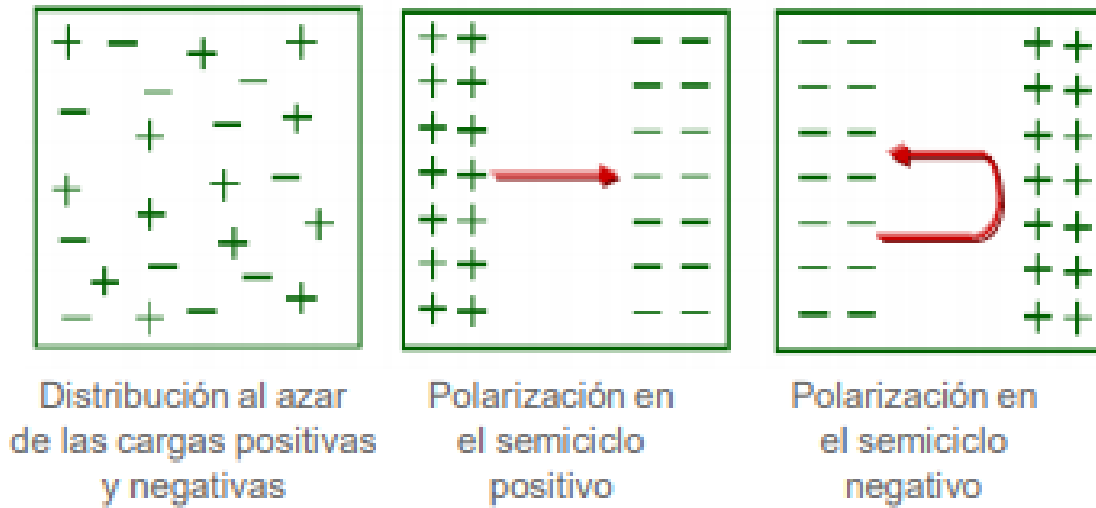


Ilustración 22: Polarización del aislamiento durante los ciclos.

Fuente: (Vega, 2004, pág. 8).

Este movimiento constante de las moléculas dentro del aislamiento produce lo que es la fricción molecular. Como ya sabemos la fricción libera calor en forma de pérdidas medidas en watts. Todos los tipos de aislamientos tienen un cierto nivel de pérdidas, pero estas pérdidas se aumentan cuando el aislamiento este húmedo o esta degradado y como consecuencia aumenta el factor de potencia. El aislamiento ideal sería aquel que no tiene pérdidas en watts haciendo que el cociente quede 0 entre la potencia aparente dando como resultado un factor de potencia igual a 0.

En la ilustración 23 podemos observar las pérdidas en forma de calor. Esta energía no es aprovechada y nos afecta el factor de potencia.

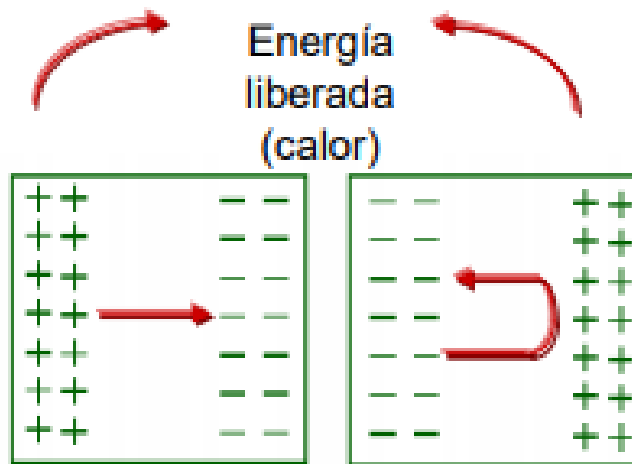


Ilustración 23: Aislamiento en presencia de corriente alterna.

Fuente: (Vega, 2004, pág. 9).

3.13 PROCESO DE SECADO DEL CONJUNTO NÚCLEO-BOBINA

Es muy importante este proceso ya que es esencial tener la confiabilidad de que las diferentes partes están secas. El proceso de secado de la parte activa consiste en tener de 12 a 16 horas dentro de un horno seco a temperaturas entre 105 y 110 a modo que la humedad se evapore y así poder remover la humedad del interior del núcleo y las bobinas. Anteriormente se ha explicado las causas de un aislamiento húmedo, en RVR el proceso de secado funciona de la siguiente manera:

1. Se meten al horno las bobinas prensadas toda una noche equivalente a 10 horas.
2. El día siguiente se sacan las bobinas y se les ensambla el núcleo lo cual hace que vuelva a estar expuesta a humedad aproximadamente 10 horas.
3. Se introduce ya la parte activa completa (Las bobinas con su núcleo) 12 horas.
4. Finalmente se encubren las partes activas en la carcasa del transformador con su respectivo aceite.

El tiempo en el que el transformador está dentro del horno debe ser monitoreado cuidadosamente. Al terminar el proceso de secado es muy importante tener todo lo necesario como ser la parte metal mecánica y el aceite curado, siendo esto necesario ya que si la parte activa al salir del horno permanece mucho tiempo a la intemperie esta volverá a absorber humedad haciendo que el proceso de secado quede en nulo. Hay muchos casos en los cuales por estos tipos de errores de tener la parte activa hornada en la intemperie provoca bajos niveles de aislamiento y bajos niveles de factor de potencia en el transformador terminado (RVR Transformadores, 2019).

A continuación, se presentara la ilustracion 24 y demuestrael proceso de secado y las temperaturas a las cuales quedan las partes activas después de abrir el horno y esperar 30 minutos.



Ilustración 24: Horno para curado de bobinas y núcleos.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

Este es el horno utilizado en RVR para curar la parte activa, en otras palabras, es donde se introduce la parte activa (Bobinas con su núcleo) o bobinas prensadas para extraer la mayor cantidad de humedad posible. También este horno se utiliza para secar los papeles y cartones aislantes mencionados anteriormente. Este horno tiene 2 cámaras y un piso especial para los papeles aislantes. Funciona con resistencias tipo lamina y unas ventiladoras que hacen que

circule el aire caliente en todo el horno. Este horno este encendido normalmente durante las noches por cuestión de seguridad y porque durante el día se introducen o se sacan boninas o bobinas con su nucleo que ya están listas para encubar. En la ilustracion 25 podemos obserbar la temperatura a la que se encuentran los equipos 30 minutos despues de haber apagado el horno manteniendo las puertas cerradas.



Ilustración 25: Temperatura de la parte activa 30 minutos después de apagar el horno.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

Esta parte activa que ha estado durante toda la noche en el horno, sin embargo, ya llevaba 30 minutos de estar apagado el horno cuando se realizó la medición de la temperatura y por esos motivos la temperatura ya se había reducido a 90. La noche anterior se había programado la temperatura del horno a 150 grados Celsius. Durante toda la noche el horno se está regulando automáticamente para mantener la temperatura deseada.

En la ilustracion numero 26 podemos observar el panel de control donde se puede temporizar y regular la temperatura del horno seco.



Ilustración 26: Controlador de temperatura del horno.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019)

3.14 PROCESO DE TERMO VACÍO DEL ACEITE

Para los transformadores de potencia existen varios tipos de aceite que se utilizan como aislante y a la vez refrigerante, cada aceite necesita cierto nivel de rigidez dieléctrica para poder cumplir con la tarea de aislar la electricidad. Hay varios aspectos que afectan lo que es la rigidez dieléctrica de un aceite como ser: la humedad, las impurezas y el origen. En el proceso de producción de transformadores de potencia antes de utilizar el aceite y llenar los tanques de los transformadores pasa por un proceso de extracción de humedad que se llama Termo filtrado y termo vacío, en este proceso se extraen impurezas y la humedad que afectara en un futuro el aislamiento y el factor de potencia. Se configura el equipo por medio del tablero mostrado en la ilustración 27.

El aceite dieléctrico es inicialmente recirculado a través de filtros de diferente porosidad, después es sometido a calentamiento por medio de resistencias y a continuación sigue el proceso de vacío que se lleva a cabo en una cámara en donde el aceite es inyectado en forma

de ducha (por aspersión) para que el secado y desgasificado del aceite sea más eficiente, después del proceso de vacío pueden existir otra serie de filtros antes de que el aceite entre al transformador nuevamente.

(PORRAS, 2008, pág. 36)

En la ilustración 27 podemos observar el tablero programable de la maquinaria de termo filtrado donde se puede programar los parametros de temperatura y temporizadores.



Ilustración 27: Tablero programable.

Es muy importante que este proceso sea supervisado por personas especialistas en el tema ya que podrían ocasionarse daños. "Exceder las temperaturas y presiones recomendadas hasta ocasionar daños en el aceite de forma tal que pierda importantes propiedades y se degrade hasta el punto de producir lodos en un tiempo muy corto" (PORRAS, 2008, pág. 37).

El agua en el aceite puede estar de diferentes maneras como se mencionarán a continuación:

1. Agua disuelta.
2. Agua emulsificada.
3. Agua libre.

Durante el proceso de Termo vacío no solo se le extrae humedad, sino que también otras sustancias. "Además de remover la humedad del aceite, el termo vacío realiza un proceso de desgasificación y eliminación de los compuestos ácidos más volátiles" (PORRAS, 2008, pág. 37). A continuación, en la imagen 28 y 29, las máquinas de Termo vacío y Termo filtro (RVR Transformadores, 2019):



Ilustración 28: Termo filtro.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).



Ilustración 29: Termo vacío.

3.15 NORMAS PARA PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

A continuación, se enumeran las normas para pruebas de transformadores (Amperis, 2007):

1. Examen Visual Norma ASTM D-1524.
2. Rigidez Dieléctrica Norma ASTM D-877.
3. Índice Colorimétrico Norma ASTM D-1500.
4. Número de Neutralización Norma ASTM D-974.
5. Tensión Interfacial Norma ASTM D-971.
6. Contenido de Agua Norma ASTM D-1533.
7. Gravedad Específica Norma ASTM D-1298.
8. Análisis cromatográfico del aceite según Norma ASTM D-3612-93.
9. Relación de transformación y Polaridad; ANSI/IEEE C57.12.91.
10. Resistencia de devanados; ANSI/IEEE Std. 62-1995.
11. Corriente de Excitación; ANSI/IEEE Std. 62-1995.
12. Impedancia; ANSI/IEEE Std. 62-1995.
13. Factor de potencia y capacitancia de los devanados; ANSI/IEEE Std. 62-1995.

14. Resistencia de aislamiento; ANSI/IEEE C57.12.91.
15. Respuesta de frecuencia de barrido. (FRA); IEEE C57-159/D5.
16. Físico - Químico (Según IEEE C57.106-2006).
17. Compuestos Furanicos (Según estándar ASTM D5837, IEC 61198).
18. Gases Disueltos por el proceso de Cromatografía (Según IEC 60599).
19. Análisis de PCB's (Según estándar ASTM-D4059) y Contenido de Inhibidor (Según estándar ASTM-D2668).
20. Pruebas dieléctricas. (IEC-60076-3).
21. Medida del nivel de ruido. (IEC-60076-10).

En la ilustración 30 se muestra los valores requeridos en la prueba de Resistencia de aislamiento por la norma (ANSI/NETA, 2013):

Tensión nominal del bobinado del Transformador (V)	Tensión mínima de prueba en DC (V)	Recomendación mínima de aislamiento (MΩ)	
		Inmerso en liquido	Seco
0-600	1000	100	500
601-5000	2500	1000	5000
Mayor a 500	5000	5000	25000

Ilustración 30: Valores de Resistencia de Aislamiento según la norma.

Fuente: (ANSI/NETA, 2013).

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

Este proyecto de investigación está enfocado en identificar como se puede mejorar las condiciones de aislamiento de los transformadores como ser también las mejoras en los procesos a los cuales estos materiales aislantes son sometidos, así evitando varios problemas como ser un alto porcentaje de factor de potencia y niveles bajos de aislamiento los cuales causan severos problemas como ser los cortocircuitos los cuales dañan el equipo y puede causar accidentes que involucren las vidas de las personas. Este enfoque es un enfoque mixto ya que se busca tener un resultado de investigación cualitativo y también cuantitativo.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación hay varias variables de ya que los materiales y sus características atómicas varían con respecto a las condiciones en las que se encuentran, por ejemplo:

1. En las pruebas de resistencia de devanados, el resultado va a depender de la temperatura a la cual se encuentre el metal. Cuando un metal está caliente los átomos de dicho material empiezan a agitarse impidiendo el paso libre de los electrones, por lo tanto, significa que su resistencia varía con respecto a su temperatura.
2. En las pruebas de aislamiento, el resultado va a depender de la temperatura. Cuando los materiales aislantes como ser el cartón y el papel seco están calientes la resistencia disminuye siendo este un problema para las mediciones que se realizan a diferentes tiempos ya que la temperatura de todo este material no va a ser exactamente la misma en cada muestra o prueba que se hace.
3. En la prueba de aislamiento, el resultado también va a depender de la humedad en el ambiente o la humedad que existe entre las capas de papel y cartón, entre menos humedad tenga mayor es la rigidez dieléctrica del material.

4. En la prueba de rigidez dieléctrica del aceite, el resultado va a depender de la cantidad de partículas de agua que tenga el aceite, entre más cantidad de agua en el aceite, menos rigidez dieléctrica tendrá, esto debido a la conductividad del agua, también si el aceite tiene partículas sólidas como ser carbón, la rigidez dieléctrica disminuirá.
5. Cualquier tipo de medición varia si el equipo de medición no esta bien calibrado por lo tanto en algunas pruebas difieren los resultados al utilizar dos equipos de medición de diferentes marcas.

Estas variables mencionadas se tomaron en cuenta, y se procedió a tratar de tener las mismas características para cada muestra y prueba realizada.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Durante esta investigación se utilizaron varios instrumentos de medición. A continuación, se mostrarán los instrumentos utilizados para hacerles las pruebas de calidad y control, también estas fueron utilizadas para el proyecto.

La ilustración 31 muestra el micro-ohmetro utilizado, este equipo mide la resistencia entre los devanados, este equipo puede configurarse a diferentes escalas, permitiendo que la resolución de cada medición sea más precisa. La prueba de resistencia de devanados es importante ya se puede comprobar que la resistencia entre cada devanado debería de ser casi idénticas si estas no lo son, provocan desbalances entre las fases.



Ilustración 31: Micro-ohmetro

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

La ilustración 32 muestra una pistola termográfica, este equipo de medición fue uno de los más utilizados para el proyecto ya que la temperatura es una variable muy importante en este proyecto.



Ilustración 32: Pistola Termográfica.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

Este equipo de la ilustración numero 33 e un TTR el cual mide la relación de transformación, este es un equipo muy sofisticado ya que puede medir las relaciones de las 3 fases en la misma prueba, por lo tanto, es un equipo trifásico. También este equipo puede funcionar como un

micro-ohmetro automático, ya que puede medir la resistencia de los tres devanados en una sola prueba, incluyendo alta y baja. También tiene otros tipos de mediciones como la despolarización, sin embargo, no se utilizaron para este proyecto. Para realizar la prueba de relación de transformación, por medio de la pantalla táctil se configura que tipo de conexión existe en alta y en baja, también se tiene que seleccionar el desfase que existe entre el alta y la baja, luego se procede a ir cambiando los taps físicamente y en el TTR de igual forma.



Ilustración 33: TTR.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

La ilustración numero 34 nos muestra el Chispometro utilizado para hacer las mediciones de rigidez dieléctrica, este equipo puede programarse para hacer la misma prueba, pero a diferentes características esto debido a que no todas las normas requieren la misma separación entre los electrodos. Este Chispometro determina si el aceite probado esta apto para ser utilizado en los transformadores nuevos o de reparación. Si la prueba no supera lo que la norma

ASTM requiere, se da la orden de recircular el aceite en el proceso de termo vacío ya que por medio de este proceso se obtiene mejorar la rigidez dieléctrica al extraer la humedad y las partículas que se encuentran en el aceite.

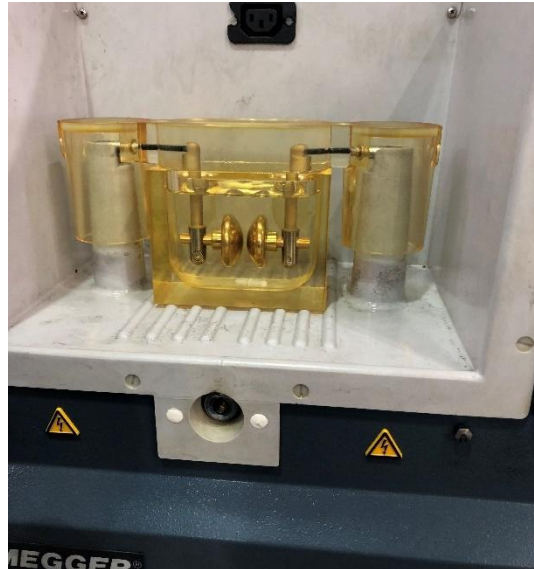


Ilustración 34: Chispometro.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

En la ilustración numero 35 podemos observar el equipo de factor de potencia. Este equipo es muy sofisticado, al igual que el TTR tiene una pantalla táctil, la cual sirve para configurar el equipo, el funcionamiento de este equipo fue mencionado anteriormente en el marco teórico. El resultado de esta prueba va a depender de la humedad que existe en el aislamiento y la calidad de lo materiales en el aislamiento. El resultado es en porcentaje, y con este resultado podemos calcular la energía que no será utilizada y se tomará como perdida.



Ilustración 35: Factor de Potencia.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

La ilustración numero 36 nos muestra lo que es el amperímetro utilizado en la prueba de cortocircuito. En esta prueba lo que se quiere es que no haya desbalances de corriente entre las X y Y, ya que esto significaría que se estaría entregado diferente potencia en las dos bajas, lo cual no es lo deseado.



Ilustración 36: Amperímetro.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019)

En la ilustración numero 37 podemos ver el equipo que más se utilizó en este proyecto. Este equipo es especial para medir la resistencia de aislamiento que normalmente esta arriba del kilo ohm.



Ilustración 37: Mega óhmetro.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

En la ilustración número 38 se puede observar un simple sensor de temperatura y humedad, el cual se utilizó para saber la humedad del ambiente.



Ilustración 38: Sensor de Humedad.

Fuente: (RVR Transformadores, 2019).

4.4 MUESTRAS

Para llegar al resultado de este proyecto de investigación fue necesario tomar varios transformadores como muestra, se hicieron pruebas a 10 equipos en proceso de producción, esto significa que no estaban encubados. En el horno se monitoreo cada transformador que ingresaba y se tomaron las diferentes características de las partes activas. Lugo ya encubado estos equipos se les hizo las respectivas pruebas de factor de potencia.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Para lograr desarrollar esta investigación se realizaron varias mediciones a varios transformadores logrando así tener una base de datos bastante amplia, de la cual se hizo

selección de cuáles eran las mediciones que tenían mejor potencial para lograr determinar un patrón y hacer los cálculos como ser: promedios, tasas de crecimiento, graficas de relación, líneas de tendencia y ecuaciones de tendencia. Para este proyecto se registraron los datos en digital y se tomó fotografía a cada resultado de las mediciones. Para obtener las mediciones se utilizaron varios equipos como ser: Chispometro, megaohmetro, pistola termográfica, sensor de humedad y temperatura ambiente, equipo trifásico para factor de potencia, DTR, TTR. En un inicio se hizo una familiarización del tema con los ingenieros encargados de la producción, para así tener una idea de la posición acerca del tema y los criterios considerados. Con el análisis de las diferentes mediciones de los transformadores se logró obtener resultados estadísticos y así una conclusión con base.

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

#	Tarea	Inicio	Final	abr-22	abr-29	may-06	may-13	may-20	may-27	jun-03	jun-10	jun-17	jun-24
1	Investigar los parametros y criterios de la empresa con respecto al aislamiento de los transformadores	abr-22	abr-29										
2	Aprender el manejo de los equipos de medicion utilizados para hacerle las pruebas a los transformadores	may-06	may-13										
3	Investigar que tipo de protocolos y reglas existen con respecto al manejo de los materiales aislantes	may-13	may-20										
4	Familiarizarse con los encargados de ensamblar los materiales aislantes	abr-22	may-20										
5	Realizar las pruebas para determinar los parametros adecuados para el proceso	may-20	jun-03										
6	Analizar los resultados de las pruebas realizadas teniendo en mente los temas investigados	jun-03	jun-17										
7	Capacitar a la empresa con respecto a las conclusiones y resultados del analisis del proceso	jun-24	jun-28										

Tabla 1: Cronograma de Actividades.

V. RESULTADO Y ANÁLISIS

El aislamiento como se mencionó en el marco teórico es dependiente de la humedad y la temperatura. En el proceso de curado de la parte activa mediante el horno seco se extrae la humedad y por lo tanto incrementa la resistencia del aislamiento. Para esta investigación se hicieron pruebas de aislamiento a cada parte activa que paso por el proceso, sin embargo, por cuestión de calidad del proceso no se podía tener el horno abierto durante el día, por lo tanto, las pruebas se realizaron en diferentes días y la temperatura de la parte activa durante las pruebas no fue la misma. El factor de corrección para igualar las temperaturas según la empresa Chauvin Arnoux Ibérica, S.A. es de un incremento del 50% cuando se disminuyen 10 °C y viceversa, cuando se incrementan 10 °C la resistencia de aislamiento disminuye entre un 50%. Pero en este caso se realizaron pruebas de resistencia de aislamiento del mismo equipo en las mismas condiciones del ambiente, pero a diferentes temperaturas, dando como resultado una idea o un promedio de lo que disminuye o incrementa la resistencia de aislamiento. La prueba de resistencia de aislamiento consiste en hacer 3 mediciones: Alta vs Baja, Alta vs Tierra, Baja vs Tierra.

Tabla 2: Equipo de 1 Giga (Temperatura Vs Aislamiento)

°C	AT-BT	AT-T	BT-T
90	8.54	8.77	22.5
80	10.9	28.7	24
70	14.6	37.6	28.9
60	18.4	49.6	36.2

En la tabla numero 3 podemos observar que efectivamente, al disminuir la temperatura en el aislamiento, la resistencia aumenta. Se hicieron las 3 mediciones de aislamiento a 4 diferentes temperaturas con una diferencia de 10 °C.

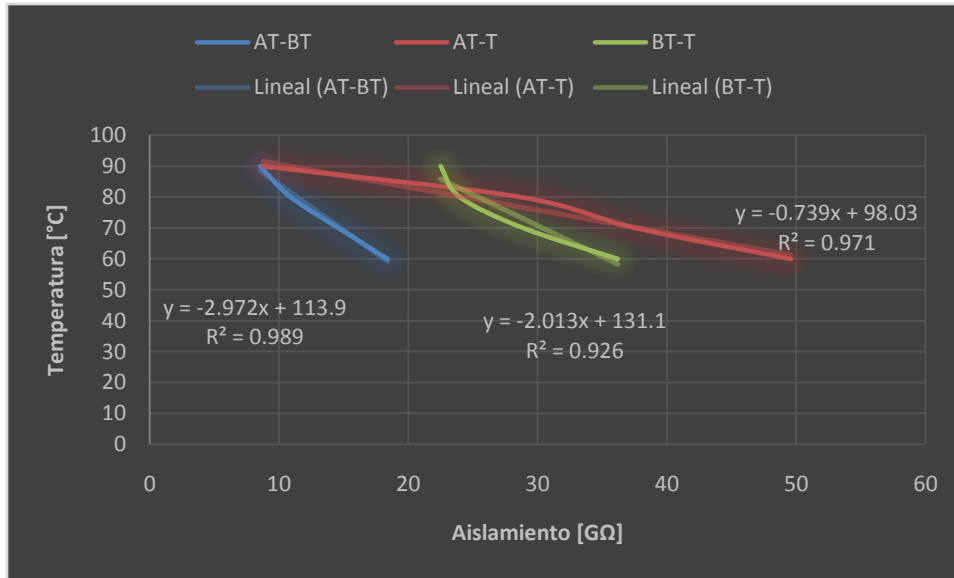


Tabla 3: Temperatura vs Aislamiento.

Así se comportó la resistencia de aislamiento versus las diferentes temperaturas. Como podemos observar en la tabla 4, la medida que incremento más su resistencia de aislamiento al disminuir la temperatura es la alta-tierra con un total de 40.83 Giga Ω. La que menos cambio fue la de alta-baja con 9.86 Giga Ω.

Cambio de °C	AT-BT	AT-T	BT-T
(90 a 80) °C	28%	227%	7%
(80 a 70) °C	34%	31%	20%
(70 a 60) °C	26%	32%	25%

Tabla 4: Aumento Porcentual del Aislamiento.

Cambio de °C	Aumento del aislamiento		
	AT-BT	AT-T	BT-T
(80 a 70) °C	14%	211%	12%

Tabla 5: Aumento porcentual de Aislamiento.

La tabla 5 y 6 muestran las pruebas de dos equipos y como aumento la resistencia de aislamiento conforme a la disminución de la temperatura. Como resultado de estas pruebas de estos dos transformadores se pudo sacar un promedio del incremento o disminución por cada

10°C de cambio. El valor que se utilizó como factor de corrección fue de 30% de aumento por cada 10°C disminuidos y 30% de disminución por cada 10°C de incremento. A continuación, se mostrarán las mediciones de resistencia de aislamiento, en color rojo están los aislamientos con el factor de corrección mencionado anteriormente, para mejorar el análisis y la comparación con las resistencias de aislamiento de los días anteriores.

Número de serie	3542-1		850kVA			
Fecha de medición	jun-11	jun-12	jun-13	jun-13	jun-13	jun-13
Temperatura [°C]	32.9	47	80	70	60	50
Aislamiento At-Bt[GΩ]	54.9	101	109	141.7	184.21	239.473
Aislamiento At-t [GΩ]	104	175	113	146.9	190.97	248.261
Aislamiento Bt-t[GΩ]	58.7	68.9	33.2	43.16	56.108	72.9404

Tabla 6: Progreso del proceso de curado equipo 3542-1.

Incremento en Aislamiento		
Aislamiento	Junio 11-12	Junio 12-13
Aislamiento At-Bt[Ω]	84%	137%
Aislamiento At-t [Ω]	68%	42%
Aislamiento Bt-t[Ω]	17%	6%

Tabla 7: Incremento Porcentual equipo 3542-1.

Como podemos ver en la tabla número 7 y 8, se muestra el aumento en forma de porcentaje entre junio 11 y junio 12 con aproximadamente 14 horas de hornada de la parte activa de los transformadores. Se puede observar que el aislamiento de baja-tierra es el que menos incremento en el equipo 3542-1. El promedio de incremento por día es del 59 %. Los valores de resistencia de aislamiento de este transformador nos indica que previo al embobinado, los materiales de aislamiento como el cartón y el papel tuvieron una buena hornada. También nos demuestra que las bobinas prensadas estuvieron más de unas 14 horas en el horno, previo a ser nucleadas. Esto nos dice que fácilmente, respetando las horas de secado de los materiales de aislamiento previo al nucleado, incrementa en gran manera la

resistencia de aislamiento, ya que la primera prueba de junio 11 fue realizada justo después del proceso de nucleado.

Número de serie	3503-3	260kVA				
Días en el horno	jun-12	jun-12	jun-12	jun-12	jun-13	jun-14
Temperatura [C]	36.1	46.1	56.1	66.1	68	67
Aislamiento At-Bt[Ω]	37.3	26.11	18.277	12.7939	12.6	14
Aislamiento At-t [Ω]	64.5	45.15	31.605	22.1235	23.1	31.1
Aislamiento Bt-t[Ω]	80.1	56.07	39.249	27.4743	29.2	36.7

Tabla 8: Progreso del proceso de curado equipo 3503-3.

Incremento en Aislamiento		
Aislamiento	Junio 12-13	Junio 13-14
Aislamiento At-Bt[Ω]	-2%	11%
Aislamiento At-t [Ω]	4%	35%
Aislamiento Bt-t[Ω]	6%	26%

Tabla 9: Incremento porcentual del equipo 3503-3.

Como podemos ver en las tablas 9 y 10 la medición de junio 12 fue realizada después de todo un día a la intemperie debido al proceso de nucleado y conexiones, por lo tanto, la temperatura a la cual se realizó la prueba de resistencia de aislamiento fue baja, dándonos como resultado una resistencia de aislamiento elevada. Se hizo la respectiva corrección de temperatura para poder hacer una comparación más adecuada. El incremento de junio 12-13 fue mínimo ya que se ingresó el equipo muy frío, el segundo día si incremento de una mejor manera, como se puede observar las temperaturas son muy parecidas.

Número de serie	3529-1	400kVA	
Días en el horno	jun-13	jun-14	jun-14
Temperatura [C]	78	68	78
Aislamiento At-Bt[Ω]	26.4	53.7	37.59
Aislamiento At-t [Ω]	58.5	86.5	60.55
Aislamiento Bt-t[Ω]	45.3	52.7	36.89

Tabla 10: Progreso del proceso de curado equipo 3529-1.

Incremento en Aislamiento	
Aislamiento	Junio 13-14
Aislamiento At-Bt[Ω]	42%
Aislamiento At-t [Ω]	4%
Aislamiento Bt-t[Ω]	-19%

Tabla 11: Incremento porcentual del equipo 3529-1.

En la ilustración numero 11 y 12 podemos ver como aumento la temperatura de junio 13-14, sin embargo, la temperatura de junio 14 fue exactamente 10 °C más, por lo tanto, se le hizo el factor de corrección para poder igualar la temperatura y así tener una mejor comparación. Después de la corrección salió que no había aumentado la resistencia de aislamiento de baja-tierra esto debido a que es muy probable que en 10 °C no disminuyo el 30% del factor de corrección.

Número de serie	3247-1	630kVA			
Días en el horno	jun-15	jun-16	jun-16	jun-17	jun-18
Temperatura [C]	73	82	72	61	62
Aislamiento At-Bt[Ω]	1.69	1.22	1.586	2.15	3.39
Aislamiento At-t [Ω]	2.12	1.47	1.911	3.02	4.54
Aislamiento Bt-t[Ω]	2.35	1.46	1.898	2.54	4.32

Tabla 12: Progreso del proceso de curado equipo 3247-1.

Incremento en Aislamiento			
Aislamiento	Junio 15-16	Junio 16-17	Junio 17-18
Aislamiento At-Bt[Ω]	-6%	36%	58%
Aislamiento At-t [Ω]	-10%	58%	50%
Aislamiento Bt-t[Ω]	-19%	34%	70%

Tabla 13: Incremento porcentual del equipo 3247-1.

En la tabla numero 13 y 14 están los resultados de un equipo que permaneció más de 3 días en el horno sin contar los días en los que estuvieron las bobinas prensadas. En junio 16 se le hizo la respectiva prueba de resistencia, sin embargo, la temperatura que se encontraba es demasiado elevada, por lo tanto, se le hizo la corrección de temperatura aumentándole el 30% y 10. Este equipo era de reparación por lo tanto dos bobinas estaban con el aislamiento lleno de aceite y la otra había permanecido bastante tiempo a la intemperie. Los valores que dieron son bajos sin

embargo suele pasar esto, antes solo se esperaba que el aislamiento fuera mayor a 2 giga ohms, pero, no se estaba tomando en cuenta que esa humedad que iba a permanecer allí iba a afectar directamente el factor de potencia. Sin embargo, este equipo se decidió dejarlo más tiempo en el horno hasta llegar a superar los 3.5 giga ohms a una temperatura mayor a 60 °C esto debido a la investigación que nos dicta que va a aumentar exponencialmente hasta llegar a la temperatura ambiente. En junio 18 se puede ver que la resistencia aumento arriba del 50% las 3 mediciones, esto debido a su total permanencia en el horno, aunque el horno no estuviera encendido durante el día, siempre conserva u temperatura arriba de 60 °C y no permite que la humedad ingrese al horno.

Número de serie	3536-1	750kVA	
Días en el horno	jun-15	jun-18	jun-18
Temperatura [C]	78	96	86
Aislamiento At-Bt[Ω]	19.4	23.8	30.94
Aislamiento At-t [Ω]	47.3	71.7	93.21
Aislamiento Bt-t[Ω]	36	53	68.9

Tabla 14: Progreso del proceso de curado equipo 3536-1.

Incremento en Aislamiento	
Aislamiento	Junio 15-18
Aislamiento At-Bt[Ω]	59%
Aislamiento At-t [Ω]	97%
Aislamiento Bt-t[Ω]	91%

Tabla 15: Incremento porcentual de aislamiento del equipo 3536-1.

En la tabla numero 15 y 16 están 2 días de mediciones, pero el equipo permaneció 3 días en el horno. De junio 15 a junio 18 el aislamiento aumento 59%, como pudieron notar, la temperatura de junio 18 estaba bastante alta cuando se realizó la prueba, sin embargo, siempre supero a la medición de tres días antes. Con la temperatura que tenía en junio 18 se logró obtener altos niveles de resistencia de aislamiento, los cuales aseguran que cuando se sumerja en aceite, aumentara en gran manera hasta nivelar la temperatura a la temperatura ambiente.

Estos resultados anteriores nos muestran que errores se cometen día a día en el proceso de curado de la parte activa de los transformadores. Es muy importante que los materiales utilizados como aislamiento sean procesados previos a su utilización, el papel corrugado y el cartón que se utiliza debe pasar por el proceso de curado, ya que esto permite que los valores resistivos sean elevados, permitiendo la seguridad y la confianza que el proceso y el equipo estará dentro de los rangos y aun más elevados. También se llegó a determinar un tiempo máximo en el cual se podrá terminar el proceso de nucleado y de conexiones ya que durante este tiempo las bobinas permanecen a la intemperie impregnándose de humedad dentro de él. El factor de corrección resultante de esta investigación podrá ser utilizado con seguridad ya que es menor al promedio del posible incremento por cada 10°C.

Esta tabla es el formato resultante del analisis de los datos anteriores. El total de horas que seria permido realizar el proceso de nucleado y conecciones no deberia superar las 8 horas ya que la humedad se impregnaria en gran manera en el carton y papel. Según la norma ANSI/IEEE C57.12.90-2006 los valores de resistencia de aislamiento para un transformador de 500V deberian de superar los 2 G Ω por lo tanto se decidio utilizar el valor de 3.5 G Ω a una alta temperatura para garantizar que se logro reducir la humedad en la mayor cantidad posible

N°	SERIE	kVA	TIPO	FECHA Y HORA DE INGRESO DE LAS BOBINAS	FECHA EN LA QUE SE NUCLEARON LAS BOBINAS	FECHA EN LA QUE SE CONECTARON LAS BOBINAS	TOTAL DE HORAS EN EL PROCESO DE NUCLEADO Y CONECCIONES
Valores deseados				>1 DIA			<8 HORAS
1							
2							
3							

Tabla 16: Nuevo formato de protocolo.

FECHA Y HORA DE INGRESO DE LAS BOBINAS CONECTADAS	TEMPERATURA DURANTE LA PRUEBA DE AISLAMIENTO [°C]	MEDIDA DE AISLAMIENTO [GΩ] (AT-BT, AT-t, BT-t, Bx-By)	TEMPERATURA A LA CUAL SE ENCUBO EL EQUIPO [°C]	FECHA Y HORA EN QUE SE ENCUBO EL EQUIPO	OBSERVACIONES
	(65-90)[°C]	> 3.5 G Ω	(60-90) [°C]	>2 DIAS CURADO	

Tabla 17: Continuación horizontal del nuevo formato de protocolo.

VI. CONCLUSIONES

1. Se identifico que la humedad en el aislamiento afecta directamente a las pérdidas del transformador ya que la humedad genera fricción molecular provocando perdidas de energía en forma de calor, estas pérdidas se pudieron identificar con las pruebas de factor de potencia. La humedad afecta directamente la vida útil del transformador, así como los riesgos de fallas internas debidas a cortocircuitos no deseados.
2. También se logró identificar bajo que normas deberían de estar los parámetros de las mediciones de aislamiento las cuales son para la rigidez dieléctrica de los aceites, la resistencia de aislamiento y las pérdidas de los transformadores.
3. Por medio del análisis de las pruebas de resistencia de aislamiento se logró sacar un factor de corrección en la cual la temperatura tendrá incremento del 30% de la resistencia de aislamiento por cada disminución de 10°C y una disminución del 30% de la resistencia de aislamiento por cada aumento en la temperatura de 10°C.
4. Se determino por medio del análisis de todas las pruebas y seguimientos del proceso de curado de la parte activa, que el tiempo necesario para lograr incrementar la resistencia de aislamiento durante el proceso de extraccion de humedad de la parte activa es de un minimo de dos dias en el horno seco, despues de haber extraido la humedad de los materiales aislantes como el carton y el papel.
5. Se logro determinar y utilizar los equipos de medición que son necesarios para realizar dichas pruebas en esta investigación.
6. Por medio de esta investigación se logró identificar que es necesario que los materiales de aislamiento deben ser sometidos a procesos de extracción de humedad previo a su implementación siendo así obligatorio introducir al horno por lo menos 14 horas el cartón y el papel utilizado para el aislamiento.
7. Por medio de estos resultados se logró mejorar el protocolo del proceso de la parte activa, tomando en cuenta las variables previo a encubar el transformador.

Recomendaciones

Para mejorar la calidad de los transformadores con respecto a la confiabilidad, vida útil y seguridad se recomienda que se sigan las siguientes recomendaciones.

1. Introducir el material de aislamiento con celulosa como ser el papel corrugado y el cartón un mínimo de 14 horas al horno a 150°C antes de su instalación.
2. Introducir las bobinas prensadas al horno durante mínimo 14 horas al horno a 150°C previo al proceso de nucleado y conexiones.
3. Procurar que ambos procesos de nucleado y conexiones tenga una duración máxima de 8 horas.
4. Introducir un mínimo de 2 días al horno a 150°C las bobinas conectadas previo a ser encubadas.
5. Al hacer la medición de resistencia de aislamiento tomar en cuenta las variables de humedad y temperatura.
6. Antes de encubar se tienen que cerciorar que el equipo cumpla con un valor mayor a 3.5 GΩ a una temperatura mayor a 60°C, si los valores son diferentes a los requeridos se deberá utilizar el factor de corrección y verificar si pasa los valores estipulados anteriormente.
7. Al encubar el transformador, el aislamiento del transformador deberá estar arriba de 65°C.
8. Implementar algún tipo de captador de humedad en el horno para así condensar y extraer la humedad del horno de una forma más inmediata.
9. No abrir mucho tiempo las puertas del horno durante el día ya que la humedad se impregnaría de una forma más fácil en el papel y el cartón aislante.
10. Al encubar se deberá estar seguro de que el aceite que se utilizará tenga una rigidez dieléctrica mayor a 45 kV a 2mm de separación entre los electrodos según la norma.

VII. BIBLIOGRAFÍA

(2010). *“Dielectric Response Diagnoses For Transformer Windings.*

Amperis. (2007). *Pruebas a Transformadores de Potencia.* Obtenido de amperis:
<https://www.amperis.com/recursos/articulos/pruebas-transformadores-potencia/>

Anonimo. (Julio de 2002). *Factor de Potencia.* Obtenido de Roble Pntic:
<http://roble.pntic.mec.es/jsalinas/factor%20potencia.pdf>

Anonimo. (2010). *CIGRE Technical Brochure 414 “Dielectric Response Diagnoses For Transformer Windings.*

ANSI/NETA. (2013). *Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Equipment.* Obtenido de International Electrical Asociation : <http://159.90.80.55/tesis/000171322.pdf>

Chauvin Arnoux. (2010). *Chauvin Arnoux Group.* Obtenido de Guia de Medicion de Aislamiento:
<https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/D00VEC38.PDF>

CIGRE. (2010). *CIGRE Technical Brochure 414.* Obtenido de Dielectric Response Diagnoses For Transformer Windings:
file:///C:/Users/oscar/OneDrive/Escritorio/Practica%20Profesional/FP/TLM1_Humedad%20en%20Transformadores%20de%20Potencia_es_V03%20R1.pdf

Hurtado, M. E. (Marzo de 2015). *Universidad Politecnica Salesiana.* Obtenido de dspace:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10249/1/UPS-GT001336.pdf>

Losada, D. C. (26 de Abril de 2010). *UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID .* Obtenido de Instalación experimental para el secado de papeles aislantes: [30043395.pdf](https://www.carlosiii.com/tesis/30043395.pdf)

Megger. (2016). *Humedad en Transformadores de Potencia.* Obtenido de Megger Power on:
http://oropezaingenieros.com/mediaR/images/TLM1_Humedad%20en%20Transformadores%20de%20Potencia_es_V03%20R1.pdf

Poma, L. S. (16 de Octubre de 2015). *Osinerg*. Obtenido de Correccion del Factor de Potencia:
<http://www.osinergminorienta.gob.pe/documents/54705/339840/capitulo+7.pdf>

PORRAS, S. F. (2008). *Facultad de Ingenieria Electrica y Electronica*. Obtenido de Cybertesis:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/9942/1/pongo_ps.pdf

Pozuela, M. A. (2012). *Departamento de Ingenieria Electrica y Energetica*. Obtenido de Personales Unican .

RVR Transformadores. (MAYO de 2019). Quito.

Vega, J. G. (2004). *Intec*. Obtenido de Pruebas de Factor de Potencia:
http://www.tecsaqro.com/tecsa/Pruebas_subestaciones/factor.pdf

VIII. ANEXOS



Ilustración 39: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 40: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 41: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 42: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 43: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 44: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 45: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3503-3



Ilustración 46: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 47: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3542-1



Ilustración 48: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3529-1



Ilustración 49:3529-1



Ilustración 50::Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 51: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 52: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 53: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 54: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 55: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3247-1



Ilustración 56::Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1



Ilustración 57:Ilustración 58:Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1



Ilustración 59: Ilustración 60: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1



Ilustración 61: Prueba de Resistencia de Aislamiento 3536-1