



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**

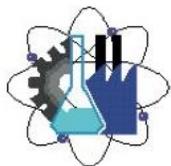
**“Análisis Teórico-Práctico de Pruebas
Eléctricas a Máquinas Estáticas y Dinámicas”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A:
SALVADOR IGNACIO GARCIA ORIHUELA

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Luis Cisneros Villalobos



**Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería**

Cuernavaca, Morelos.

Enero 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS**

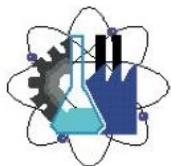
**“Análisis Teórico-Práctico de Pruebas
Eléctricas a Máquinas Estáticas y Dinámicas”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

**P R E S E N T A:
SALVADOR IGNACIO GARCIA ORIHUELA**

**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Luis Cisneros Villalobos**



**Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería**

Cuernavaca, Morelos.

Enero 2022

ÍNDICE

Índice.....	I
Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VIII
Introducción.....	IX
Justificación.....	IX
Objetivo.....	XI
General.....	XI
Específicos.....	XI
Estructura.....	XII
Capítulo 1.....	XII
Capítulo 2.....	XII
Capítulo 3.....	XII
Capítulo 4.....	XII
Capítulo 5.....	XII
Capítulo 6.....	XIII
Conclusiones.....	XIII
CAPITULO 1.....	1
Estado del arte.....	1
La Historia Del Transformador.....	1
Surgimiento Del Transformador.....	2
Desarrollo Del Transformador.....	2
La Historia Del Motor Eléctrico.....	3
CAPITULO 2.....	4
GENERALIDADES A LAS MAQUINAS ESTÁTICAS.....	4
Introducción.....	4
Principio de funcionamiento.....	5
Elementos que conforman al transformador.....	6
Núcleo.....	7
Núcleo tipo columnas.....	7

Núcleo tipo acorazado	7
Devanados.....	8
Aislamientos	8
Aceite aislante	9
Tanque.....	9
Tanque tipo respiración libre	9
Tanque tipo conservador.....	10
Tanque tipo sellado	10
Radiadores	11
Radiación	11
Convección	11
Conducción	11
Boquillas de alta y baja tensión	12
Cambiador de derivaciones (TAP's)	12
Placa de datos	13
Válvula de drenaje	14
Equipos auxiliares.....	14
Indicador de temperatura del aceite	14
Indicador de temperatura de los devanados	14
Indicador de nivel	14
Dispositivo contra sobrepresión	15
Indicador de presión/vacío	15
Relevador buchholz	15
Tipo de enfriamiento	16
Clase OA.....	16
Clase OA/FA	16
Clase OA/FA/FOA	16
Clase FOA.....	17
Clase OW	17
Clase FOW.....	17
Clase AA	17
Clase AFA	17

Clase AA/FA.....	17
CAPITULO 3	18
GENERALIDADES A LAS MAQUINAS DINÁMICAS	18
Introducción	18
Principio de funcionamiento.....	18
Elementos que conforman el motor	19
Estator	20
Rotor.....	20
Otras partes	21
Carcasa.....	21
Cojinetes	21
Tapas	22
Escobillas	23
Caja de conexiones.....	23
Base.....	23
Entrehierro	24
Refrigeración.....	24
Placa de datos	25
CAPITULO 4	26
PRUEBAS A MAQUINAS ESTÁTICAS (TRANSFORMADORES).....	26
Prueba de resistencia de aislamiento	26
Prueba de relación de transformación (TTR).....	32
Prueba de rigidez dieléctrica del aceite	40
Prueba de resistencia óhmica de los devanados.....	42
Método de caída de potencial	42
Método de los puentes Kelvin y Wheatstone	43
Prueba de factor de potencia a los aislamientos	46
Métodos de prueba con el equipo para medición de factor de potencia.	48
CAPITULO 5	53
PRUEBAS A MAQUINAS DINÁMICAS (MOTORES)	53
Pruebas estáticas	53
Prueba de Resistencia de Aislamiento (Megger)	53

Prueba de Impulso o Surge Test.....	59
Prueba estándar de C.A.....	62
Pruebas dinámicas	65
Evaluación del Rotor y del Entrehierro (AirGap) por medio de análisis espectral de la corriente	65
Corriente/Tiempo Arranque.....	67
Análisis de la potencia en el motor (Calidad de la energía)	70
Demodulación	73
CAPÍTULO 6	74
DESARROLLO PRACTICO PRUEBAS A TRANSFORMADORES Y MOTORES	74
Recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas a los equipo	74
Pruebas a transformadores	75
Pruebas ESTATICAS a motores.....	91
Resultados De Las Pruebas En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D	92
Resultados De Las Pruebas En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D	96
Pruebas DINAMICAS a motores.....	100
Prueba De Resistencia De Aislamiento.....	100
PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE.....	101
PRUEBA DE ANÁLISIS DE POTENCIA	107
PRUEBA DE DEMODULACIÓN	108
CONCLUSIONES.....	109
Conclusiones y recomendaciones finales para Transformadores.....	109
Conclusiones y recomendaciones finales para Motores.....	110
REFERENCIAS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Transformador De Potencia	4
Figura 2.2 Esquema Del Transformador Ideal.....	5
Figura 2.3 Elementos Que Conforman Un Transformador	6
Figura 2.4 Núcleo Tipo Columnas	7
Figura 2.5 Núcleo Tipo Acorazado	7
Figura 2.6 Devanados De Un Transformador De Potencia	8
Figura 2.7 Aceite Aislante	8
Figura 2.8 Tanque Tipo Respiración Libre	9
Figura 2.9 Tanque Tipo Conservador.....	10
Figura 2.10 Tanque Tipo Sellado	10
Figura 2.11 Radiador Tipo Aletas.....	11
Figura 2.12 Boquilla De Alta Tensión	12
Figura 2.13 Placa De Datos De Un Transformador.....	13
Figura 2.14 Válvula De Drenaje	14
Figura 2.15 Indicador De Temperatura	14
Figura 2.16 Indicador De Nivel Del Aceite.....	15
Figura 2.17 Dispositivo Contra Sobrepresión	15
Figura 2.18 Relevador Buchholz	16
Figura 3.1 Motor Eléctrico Y Esquema de Funcionamiento	18
Figura 3.2 Elementos Que Conforman Un Motor Eléctrico	19
Figura 3.3 Estator De Polos Salientes Y Ranurado.....	20
Figura 3.4 Rotor De Polos Salientes, Ranurado Y Jaula De Ardilla	21
Figura 3.5 Carcasa Del Motor	21
Figura 3.6 Cojinetes De Deslizamiento	22
Figura 3.7 Cojinetes De Rodamiento	22
Figura 3.8 Tapa Delantera Y Deflectora De Un Motor.....	22
Figura 3.9 Escobillas	23
Figura 3.10 Caja De Conexiones De Un Motor	23
Figura 3.11 Base Frontal Y Base Lateral De Un Motor	24
Figura 3.12 Esquema De Un Motor (Entrehierro).....	24
Figura 3.13 Ventilador De Un Motor.....	24
Figura 3.14 Placa De Datos De Un Motor	25
Figura 4.1 Megohmetro	26
Figura 4.2 Conexión Alta Tensión VS Baja Tensión.....	28
Figura 4.3 Conexión Baja Tensión VS Alta Tensión + Tierra	28
Figura 4.4 Conexión Alta Tensión VS Baja Tensión + Tierra	29
Figura 4.5 Probador De Relación De Transformación.....	32

Figura 4.6 Evaluación De TTR	32
Figura 4.7 Diagramas De La Polaridad Aditiva.....	33
Figura 4.8 Diagramas De La Polaridad Sustractiva.....	33
Figura 4.9 Conexión Delta De La Bobina De Alta Tensión.....	34
Figura 4.10 Conexión Estrella De La Bobina De Alta Tensión	34
Figura 4.11 Transformador Con Conexión Estrella-Delta $Y-\Delta$	35
Figura 4.12 Conexión Para La Fase A En $Y-\Delta$	35
Figura 4.13 Conexión Para La Fase B En $Y-\Delta$	36
Figura 4.14 Conexión Para La Fase C En $Y-\Delta$	36
Figura 4.15 Transformador Con Conexión Delta-Estrella $\Delta-Y$	37
Figura 4.16 Conexión Para La Fase A En $\Delta-Y$	37
Figura 4.17 Conexión Para La Fase B En $\Delta-Y$	38
Figura 4.18 Conexión Para La Fase C En $\Delta-Y$	38
Figura 4.19 Probador De Rigidez Dieléctrica	40
Figura 4.20 Probador De Rigidez Dieléctrica De Electrodo Planos	40
Figura 4.21 Probador De Rigidez Dieléctrica De Electrodo Semiesféricos	41
Figura 4.22 Diagrama Del Puente Wheatstone	43
Figura 4.23 Diagrama Del Puente Kelvin	44
Figura 4.24 Representación del objeto bajo prueba.....	46
Figura 4.25 Diagrama de la prueba de Factor de Potencia.....	46
Figura 4.26 Triángulo de potencias	47
Figura 4.27 Alta Tensión vs Baja Tensión y Tierra.....	49
Figura 4.28 Alta Tensión vs Tierra	49
Figura 4.29 Baja Tensión vs Alta Tensión y Tierra.....	49
Figura 4.30 Baja Tensión vs Tierra	50
Figura 4.31 Alta Tensión vs Baja Tensión	50
Figura 5.1 Componentes De La Corriente De Prueba.....	54
Figura 5.2 Conductor De Cobre Con Película Aislante	59
Figura 5.3 Equipo Para La Prueba De Impulso	59
Figura 5.4 Onda Sinusoidal Normal A La Respuesta Al Impulso	60
Figura 5.5 Detección De Falla En La Prueba De Impulso	61
Figura 5.6 Prueba Estándar de C.A. [39]	62
Figura 5.7 Tipos De Excentricidades.....	65
Figura 5.8 Grafica de corriente de arranque de un motor en buenas condiciones	68
Figura 5.9 Grafica de arranque de un motor con anomalías en el rotor	69
Figura 5.10 Grafica de arranque de un motor con barras fisuradas en el rotor [39]	69
.....	69
Figura 5.11 Grafica de arranque de un motor con cortocircuito de espiras en los bobinados del estor [39]	69
Figura 5.12 Cuadro general de valores	70
Figura 5.13 Grafico asociado con una barra de rotor rota en un motor de 2 polos	73

Figura 6.1 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-01	77
Figura 6.2 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-02.....	81
Figura 6.3 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-12 (ALTA vs BAJA + Tierra).....	85
Figura 6.4 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-12 (Baja vs ALTA + Tierra).....	85
Figura 6.5 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-13 (ALTA vs BAJA + Tierra).....	89
Figura 6.6 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-13 (Baja vs ALTA + Tierra).....	89
Figura 6.7 Tendencia de la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado del estator del motor	92
Figura 6.8 Resultados de la prueba estándar de C.A. en el devanado del estator del motor	93
Figura 6. 9 Tendencia de la prueba de voltaje a pasos en el devanado del estator del motor	94
Figura 6. 10 Tendencia de la prueba de impulso en el devanado del estator del motor	95
Figura 6. 11 Tendencia de la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado del rotor del motor	96
Figura 6. 12 Resultados de la prueba estándar de C.A. en el devanado del rotor del motor	97
Figura 6. 13 Tendencia de la prueba de voltaje a pasos en el devanado del rotor del motor	98
Figura 6. 14 Tendencia de la prueba de impulso en el devanado del rotor del motor	99
Figura 6.15 Grafica de resistencia de aislamiento del motor MC-BC-3D	100
Figura 6.16 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (Arranque inicial)	101
Figura 6.17 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (2do Arranque)	102
Figura 6.18 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (3er Arranque)	103
Figura 6.19 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (4to Arranque)	104
Figura 6.20 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (5to Arranque)	105
Figura 6.21 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (6to Arranque)	106
Figura 6.22 Tablas de datos de la prueba de análisis de potencia del motor MC-BC-3D.....	107
Figura 6.23 Grafica de la prueba de demodulación del motor MC-BC-3D	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Factor de Corrección De Valores Medidos.....	27
Tabla 4.2 Criterio 1: Valor De LA Resistencia A Los 10 Minutos.....	29
Tabla 4.3 Criterio 2: Por El Índice De Polarización.....	30
Tabla 4.4 Criterio 3: Por El Índice De Absorción	31
Tabla 4.5 Prueba de Factor De Potencia	48
Tabla 4.6 Tabla de factor de corrección por temperatura a °C.....	51
Tabla 4.7 Aceptación: Especificación De Prueba Tabla 100.3.....	52
Tabla 5.1 Guía De Voltaje CD Para Ser Aplicados Durante La Prueba De Resistencia De Aislamiento.....	55
Tabla 5.2 Valores Mínimos De Índice De Polarización Para Todos Los Componentes De Aislamiento Clase IEC 60085-01: 1984	55
Tabla 5.3 Resistencia Mínima Recomendada A 40 °C (Todos Los Valores En Megaohms)	56
Tabla 5.4 Valores De Tensión Para La Prueba De Impulso.....	61
Tabla 5.5 Valor de Referencia Desbalance Resistivo e Inductivo IEEE Std 1415-2006	71
Tabla 5.6 Valor de Referencia Desbalance Tensiones y Corriente NEMA MG1-2016 Motors and Generators	71

INTRODUCCIÓN

Una máquina eléctrica es un dispositivo que transforma energía eléctrica en otro tipo de energía, o viceversa. Los tipos de energía en que se puede transformar la energía eléctrica son la energía cinética (máquinas rotatorias) o la energía potencial de los campos magnéticos (máquinas estáticas) [01].

Las máquinas eléctricas estáticas son aquéllas que no tienen partes móviles, tales como los transformadores, son dispositivos que transforman el nivel de tensión (voltaje) de la energía eléctrica. También se consideran máquinas eléctricas estáticas a los inversores y los rectificadores, que son dispositivos encargados de transformar la energía eléctrica de corriente alterna (AC) en energía eléctrica de corriente continua (DC) y viceversa.

Las máquinas eléctricas rotatorias corresponden a dos tipos: aquéllas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica como los motores y las que transforman la energía mecánica en energía eléctrica como los generadores. Las máquinas rotatorias tienen una parte móvil denominada rotor y una parte fija denominada estator, al espacio que existe entre la parte fija y móvil de la máquina eléctrica se le denomina entrehierro.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente uno de los mayores problemas en el mundo es el cambio climático provocado por la emisión de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂) derivado de las actividades industriales del ser humano, para ello se han tomado medidas a nivel global, regulando las emisiones de los gases y haciendo que las actividades del hombre se vuelvan más eficientes.

Las medidas más efectivas son; el incremento en la eficiencia energética y la generación de energías limpias, para ello el suministro de este tipo de energías debe satisfacer la demanda con un adecuado y eficiente nivel de generación y transmisión de la energía, así también deber ser de carácter obligatorio y regulado.

Actualmente el sistema eléctrico nacional (SEN) está regulado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) la cual tiene la facultad para expedir y aplicar la regulación necesaria, por lo que expidió los Criterios de eficiencia, Calidad, Confiabilidad, Continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional: CÓDIGO DE RED.

La generación es una de las partes más importantes en el sistema eléctrico nacional (SEN); ya que se encarga de entregar la energía eléctrica mediante transformadores de potencia los cuales se encargan de elevar los niveles de tensión para la transmisión de la energía.

Los transformadores se encuentran dentro de subestaciones eléctricas cuya función es convertir los niveles de tensión para que la energía pueda ser fácilmente manejada, transportada y distribuida, las subestaciones pueden ser; elevadoras, reductoras, de maniobra y de distribución.

El transformador eléctrico es una maquina estática que está propensa al deterioro y a la degradación de sus componentes, con lo que, con el paso del tiempo, se hace menos eficiente, por lo que tener un adecuado plan de mantenimiento predictivo permite mantener a los transformadores en las mejores condiciones de trabajo y con una alta eficiencia, garantizando así su operatividad.

Los motores eléctricos son equipos altamente utilizados en el sector industrial y comercial, debido a las funciones que pueden desarrollar, los motores se encuentran sometidos a esfuerzos térmicos, mecánicos y eléctricos lo cual provoca que se degraden rápidamente, por lo que contar con un plan de mantenimiento predictivo y preventivo eficiente de acuerdo con la actividad que desarrollan es fundamental para mantener a los motores en un óptimo estado, garantizando así el óptimo funcionamiento y la confiabilidad de los equipos.

Los motores consumen alrededor del 70% de la energía eléctrica en una industria [02], por lo que tenerlos en un óptimo estado de funcionamiento es crítico para que el motor no tenga un mayor consumo de energía además de poder evitar la generación de armónicas que puedan ocasionar un problema en la red eléctrica.

El motor es un equipo que consume energía reactiva lo que causa que el factor de potencia baje, como lo establece el Código de Red para el requerimiento del Factor de Potencia se debe contar con un factor de potencia de 0.95pu en atraso y 1 en instalaciones eléctricas con mediciones cinco-minútales durante el 95% del tiempo, de no tomar en cuenta este parámetro eléctrico la empresa se hará acreedora de una penalización por parte del suministrador de la energía eléctrica CFE. Para ello se puede contar con un banco de capacitores que pueda ayudar a mantener un factor de potencia adecuado, además se debe de contar con un plan de mantenimiento especializado para que los motores se mantengan en un óptimo estado de trabajo.

OBJETIVO

General

Desarrollar un estudio teórico-práctico de las diferentes pruebas que se pueden aplicar a los transformadores y motores de acuerdo a la normatividad vigente, y que sea útil para la toma de decisiones de programas de mantenimiento predictivo orientados a mantener a estos equipos en un óptimo estado operativo.

Específicos

Los objetivos específicos que se deberán desarrollar para llevar a cabo el objetivo general son:

- Reconocer el equipo bajo prueba.
- Realizar una inspección visual de los equipos bajo prueba.
- Recopilar la información del mantenimiento que estos equipos reciben y el periodo en el que estas se realizan.
- Recopilar la información de pruebas anteriores de los equipos y el periodo en el que estas se realizan.
- Determinar las pruebas que se deben realizar en los equipos considerando su tiempo de operación y el trabajo que estos realicen.
- Comparar los resultados de las pruebas obtenidos contra las pruebas anteriores.
- Verificar la eficiencia y el estado de los equipos con base en los resultados.

ESTRUCTURA

Capítulo 1

En este capítulo se describirán brevemente las maquinas estáticas (Transformadores) y dinámicas (Motores).

También hablaremos del desarrollo de estos equipos, teniendo en cuenta los avances y descubrimientos de varios personajes a lo largo del tiempo, y la importancia de la ley de inducción electromagnética de Michael Faraday.

Capítulo 2

Describir detalladamente una maquina estática o transformador, así como el principio de funcionamiento por el cual se rige. Se describieron las partes de este equipo, así como las variaciones que puede tener cada una, lo cual se mencionaron diferentes diseños de su fabricación.

Capítulo 3

Describir detalladamente una maquina dinámica o motor, así como el principio de funcionamiento por el cual se rige. Se describieron las partes de este equipo, así como las variaciones que puede tener cada una, también se mencionaron diferentes diseños de su fabricación.

Capítulo 4

Se describirán las pruebas que se realizan a maquinas estáticas durante; la puesta en servicio, mantenimiento o pruebas de fábrica. Se tomaron en cuenta las diversas normas así como los parámetros establecidos para cada prueba, utilizando diversos equipos de prueba especializados para cada una de las pruebas.

Capítulo 5

Se describirán las pruebas que se realizan a las maquinas dinámicas durante; la puesta en servicio, mantenimiento o pruebas de fábrica. Se tomaran en cuenta diversas normas y manuales de pruebas para este tipo de equipos, tomando en cuenta que este tipo de máquinas poseen una parte eléctrica y una parte móvil, por lo que se realizaran pruebas estáticas y dinámicas, debido a la naturaleza de su funcionamiento.

Capítulo 6

Pondremos en práctica las pruebas descritas en el capítulo 4 y 5, realizando alguna prueba a uno o varios equipos así como un reporte del estado de estos. Se tomaron las precauciones pertinentes a la hora de realizar cualquier tipo de prueba ya sea en motores o transformadores.

Conclusiones

Se darán a conocer las conclusiones y recomendaciones, para lo cual nos basaremos en la teoría y en lo hecho en el capítulo 6 con las diferentes pruebas que se llevaron a cabo.

CAPITULO 1

ESTADO DEL ARTE

LA HISTORIA DEL TRANSFORMADOR

Heinrich Daniel Rühmkorff.

Construyó y patentó en 1851 un aparato constituido por un núcleo de hierro rectilíneo y común a dos bobinas aisladas eléctricamente entre sí capaz de transformar la energía generada por una pila a elevadas fuerzas electromotrices. Haciendo circular una corriente a través de una bobina de pocas espiras y sección gruesa, interrumpiéndola y conectándola intermitentemente y de forma regular originando un campo magnético que produce una tensión en la bobina construida por un hilo de pequeña sección y muchas espiras. La observación más importante de este aparato es que las corrientes y voltajes de las bobinas dependen proporcionalmente del número de espiras que las forman.

Zénobe Théophile Gramme.

En 1874 presento en París un aparato de un anillo formado por una serie de bobinas de gran sección y de un conjunto de bobinas de hilo fino enrolladas delante de los polos de un electroimán. Tal aparato se caracteriza por ser capaz de modificar los valores relativos de la intensidad de corriente y la fuerza electromotriz [03].

P. N. Jablochhoff.

Presenta un transformador de doble devanado en el año de 1876. Dicho aparato estaba caracterizado por el empleo de bobinas de inducción interpuestas sobre un mismo circuito, para desarrollar una serie de corrientes inducidas, constituyendo fuentes distintas y permanentes para alimentar, separadamente, varios centros luminosos de distintas intensidades, como una fuente única de electricidad. Este aparato funcionaba con corriente alterna en régimen permanente más que con variaciones en la conexión y desconexión de corriente continua [03].

Lucien Gaulard y John Dixon Gibbs.

En 1882 éstos inventores presentan un aparato verdaderamente útil para la transmisión de la energía eléctrica a través de grandes distancias por medio de la corriente alterna con la combinación de dos parámetros tales como son la intensidad y la tensión. La principal diferencia entre este aparato y el transformador que

conocemos hoy en día consiste en el acoplamiento de los dispositivos, el cual se realizaba en serie al igual que las cargas [03].

Otto Titus Blathy, Miska Deri y Karoly Zipernowsky.

En 1885 solicitan una patente para el sistema de distribución en corriente alterna con alimentación en paralelo y transformadores de distribución. La diferencia del transformador de los húngaros con el de Gaulard y Gibbs consistió primordialmente en el circuito magnético cerrado y la marcha en paralelo de los transformadores y las cargas [03].

Surgimiento Del Transformador

Existe una polémica en cuanto a quién se debe atribuir la invención del transformador: Si a Gaulard y Gibbs o al equipo de trabajo húngaro.

El transformador de Ganz es un transformador bien construido con un vacío donde la tensión en bordes del secundario es igual a la fuerza electromotriz inducida en el secundario. El valor de la tensión disminuye muy lentamente con la carga, y cuando ésta es máxima, la fuerza electromotriz no varía más que un mínimo porcentaje. Esta característica hace de este aparato muy preciso para la distribución a tensión constante.

Los húngaros Deri, Blathy y Zipernowsky fueron los primeros en aplicar lo que se conoce como distribución en derivación. La distribución, anteriormente, se realizaba con una conexión en serie. De tal manera siendo los húngaros los pioneros en la aplicación del transformador donde la mayoría de los textos les otorga la paternidad sobre lo que conocemos hoy como el transformador eléctrico [03].

Desarrollo Del Transformador

En 1884, Westinghouse contrató a William Stanley, quien ya tenía algunas ideas para resolver el problema con transformadores. Stanley estaba convencido de la superioridad de la conexión en paralelo; para principios del verano de 1885, había diseñado algunos transformadores de núcleo cerrado.

Para distribución, Stanley comenzó utilizando voltaje de 1 kV. Poco tardó en concluir que se requerían voltajes mayores para poder hacer de la transmisión más eficiente. Trabajó con una línea de transmisión de 15 kV, encontrando un funcionamiento adecuado. Con la ayuda de Shallenberger y otro ingeniero brillante, Albert Schmid, Westinghouse se dispuso a modificar el transformador de Stanley para que (al contrario del toroidal húngaro) pudiera ser fabricado fácil y económicamente.

LA HISTORIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

En 1819 el físico danés Hans Christian Oersted catedrático de la universidad de Copenhague acercó una aguja imantada a un hilo por el cual circulaba una corriente eléctrica, el cual pudo haber intuido que la corriente eléctrica podía tener algún efecto sobre la aguja imantada, este hecho constituye la primer demostración de la relación entre electricidad y magnetismo [04].

En 1821 Michel Faraday, científico británico repitió el experimento del danés con la aguja localizada en diferentes puntos alrededor de un alambre que conducía una corriente eléctrica encontrando que la fuerza ejercida de la corriente eléctrica sobre la aguja era de naturaleza circular, por el cual construyo un rotor electromagnético basándose en esta idea.

Con este y otros experimentos fue quién creó el primer principio de la conversión de la energía eléctrica en energía mecánica haciendo que Faraday se convirtiera en el inventor del motor eléctrico.

El 29 de agosto de 1831 Faraday comenzó a enredar alambre en dos medias rosquillas de diferente tamaño, colocándolas de frente y enviando una corriente a través de una de ellas provocando un torbellino electromagnético a través de toda la rosquilla, si esa tormenta magnética producía una corriente en la otra rosquilla entonces habría descubierto que el magnetismo creaba electricidad [05].

Antonio Pacinotti, inventó el inducido en forma de anillo en una máquina que transforma el movimiento mecánico en corriente eléctrica continua con una pulsación. Ésta es la idea del motor eléctrico de corriente continua.

En 1834 el ingeniero Moritz Von Jacobi presento los primeros motores eléctricos técnicamente utilizables.

En el año 1866 Werner Von Siemens inventó el dínamo que es la base del motor eléctrico [06].

CAPITULO 2

GENERALIDADES A LAS MAQUINAS ESTÁTICAS

INTRODUCCIÓN

El transformador es una maquina estática, la cual se encarga de transferir energía eléctrica de un circuito a otro eléctricamente independientes, pero unidos por un circuito magnético, aumentando o disminuyendo las magnitudes de las tensiones y corrientes, manteniendo el mismo valor de frecuencia.

El transformador está constituido por dos tipos de circuitos:

- Un circuito eléctrico; fundamentado en la ley de electromagnetismo de Gauss, y
- Un circuito magnético; fundamentado en la ley de inducción electromagnética de Michael Faraday

Los transformadores se encuentran presentes en: la generación, transmisión, subtransmisión y la distribución de energía eléctrica.

Estos equipos se encuentran dentro de las subestaciones eléctricas, son utilizados para modificar los niveles de tensión y corriente, y así poder ser manejados más fácilmente, el transformador es unos de los elementos más importantes y costosos de cualquier sistema eléctrico, con capacidades que van desde los kVA a los MVA.



Figura 2.1 Transformador De Potencia

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento del transformador se puede explicar mediante el llamado “transformador ideal”, una máquina que se alimenta por medio de una corriente alterna monofásica [09].

El transformador ideal es una maquina sin perdidas, con una bobina de entrada y una de salida, si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearan un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente; este campo magnético variable originara, por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

Un devanado se define como el conjunto de espiras que forman un circuito eléctrico asociado con una de las tensiones propias del transformador.

Esta máquina se compone de un núcleo de hierro en el cual se han arrollado varias espiras de alambre conductor, este conjunto de espiras se denomina: devanado primario al que recibe la tensión de entrada y devanado secundario en donde la tensión es transformada.

De acuerdo con la NOM-002-SEDE/ENER-2014, el transformador es una maquina estática, la cual se encarga de transferir energía eléctrica de uno o más circuitos a uno o más circuitos manteniendo la misma frecuencia, usualmente aumentando o disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctrica [07].

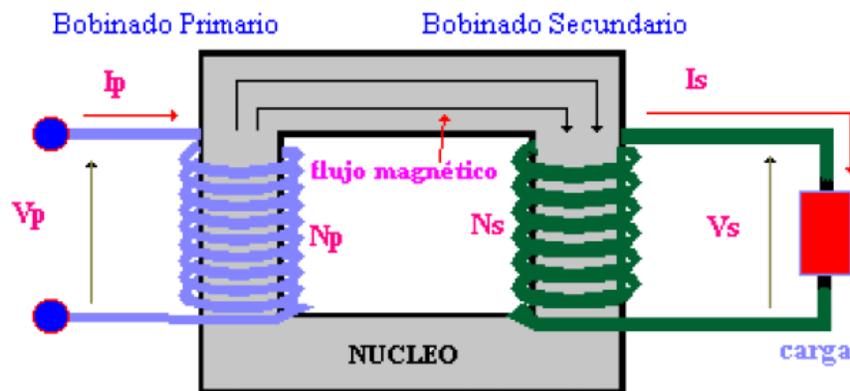


Figura 2.2 Esquema Del Transformador Ideal

ELEMENTOS QUE CONFORMAN AL TRANSFORMADOR

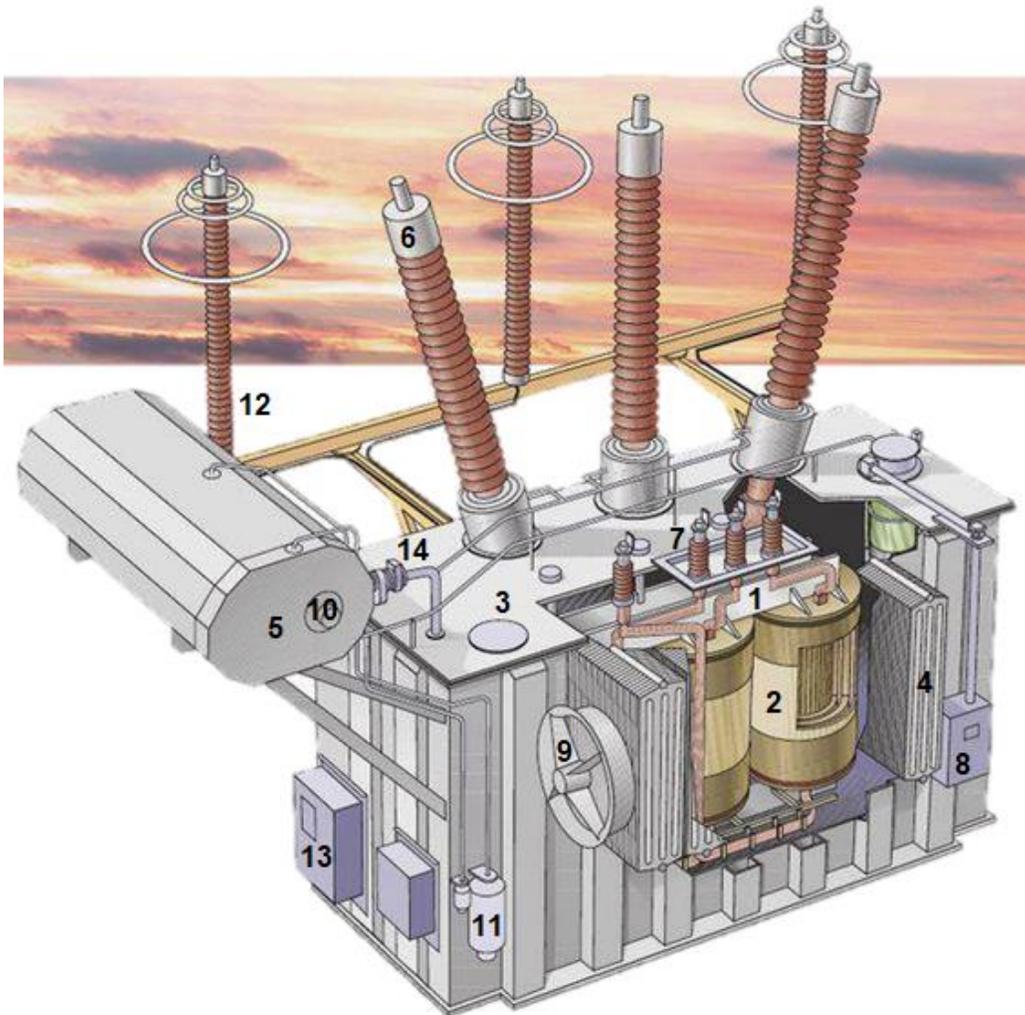


Figura 2.3 Elementos Que Conforman Un Transformador

1. Núcleo
2. Devanado
3. Tanque (Cuerpo)
4. Radiadores
5. Tanque conservador
6. Boquillas de alta tensión
7. Boquillas de baja tensión
8. Cambiador de derivaciones (TAP's)
9. Ventiladores
10. Indicador de nivel
11. Filtro de silicagel
12. Aparta rayos
13. Tablero de control
14. Relevador Buchholz

NÚCLEO

La función del núcleo es proporcionar un camino de baja reluctancia al flujo magnético, es decir, constituye el circuito magnético que transfiere energía de un circuito a otro [08].

El núcleo está formado por láminas compuestas de una aleación de acero al silicio denominadas láminas magnéticas, estas láminas tienen la propiedad de tener pérdidas relativamente bajas por el efecto de histéresis y de corrientes parásitas.

Estas láminas se componen de acero con una proporción de 2% al 4% de silicio, el grosor de las láminas varía del 0.3 a 0.5 mm aisladas eléctricamente con un barniz especial. En un transformador el núcleo tiene dos funciones fundamentales:

- a. Conducir el flujo magnético
- b. Ser el soporte de los devanados

Núcleo tipo columnas

Este tipo de núcleos se caracteriza por las columnas y los yugos, en las columnas se alojan los devanados y los yugos unen entre sí las columnas para cerrar el circuito magnético.

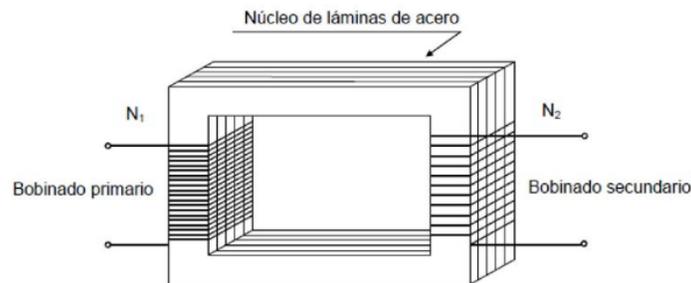


Figura 2.4 Núcleo Tipo Columnas

Núcleo tipo acorazado

Este tipo de núcleo acorazado tiene la ventaja de reducir la dispersión magnética con respecto al núcleo de columnas, su uso es más común en transformadores monofásicos. En el núcleo acorazado los devanados se localizan sobre la columna central.

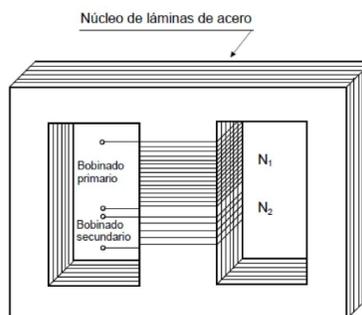


Figura 2.5 Núcleo Tipo Acorazado

DEVANADOS

Los devanados de los transformadores se pueden clasificar en baja y alta tensión, esta distinción de tipo global y toma importancia en la fabricación de los mismos, debido a los criterios constructivos; la construcción de los devanados de baja tensión son diferentes a los devanados de alta tensión [08].

El material conductor más común con el que son fabricados es el cobre debido a sus características conductoras y su bajo precio, otro de los materiales utilizados es el aluminio, aunque posee propiedades menores a las que tiene el cobre.



Figura 2.6 Devanados De Un Transformador De Potencia

AISLAMIENTOS

Los aislamientos de un transformador son todos aquellos materiales que presentan una alta resistencia al paso de la corriente eléctrica cuya función es proteger y aislar las partes vivas del transformador.

Este sistema tiene como función:

- Aislar el devanado primarios y secundarios de una misma fase
- La separación entre devanados y tierra
- Aislamiento de las espiras de los devanados
- Aislamiento entre fases diferentes; fases A, B y C

Los materiales que se utilizan como aislamiento en un transformador son básicamente aceite y papel aislante los cuales tienen una alta rigidez dieléctrica; también se utilizan otros aislantes tales como: madera, vidrio, porcelana, barniz aislante, etc [11].



Figura 2.7 Aceite Aislante

ACEITE AISLANTE

Las principales funciones del aceite es la de homogeneizar la temperatura interna, refrigerar y mantener el aislamiento entre los componentes del transformador.

Durante la operación del transformador se genera calor, por lo que el enfriamiento y la disipación del calor es una de las funciones más importantes del aceite, además se tiene que tener en cuenta que la vida útil del aceite se puede ver reducida por el calor, el agua y el oxígeno; por lo que es necesario evitar que estos elementos puedan interactuar con el aceite.

Para aumentar la eficiencia de un transformador es necesario mantenerlo refrigerado, ya que la temperatura juega un papel muy muy importante en su funcionamiento, así como en la de cualquier equipo eléctrico, para que este pueda tener un buen funcionamiento. El aceite desempeña varias funciones dentro del transformador como la de:

- Aislar eléctricamente todos los componentes
- Proveer una eficiente refrigeración

TANQUE

Es el deposito donde podemos encontrar contenidas las partes de un transformador, además de que es el recipiente que contiene el aceite que se encarga de aislar y refrigerar el transformador. El tanque debe contar con el espacio suficiente para permitir la dilatación y contracción térmica del aceite.

Los tanques más comunes que se pueden encontrar son; tipo respiración libre, tanque conservador y tipo sellado.

Tanque tipo respiración libre

Este tipo de tanque contiene un espacio de aire a presión atmosférica; que se forma sobre el aceite, y tiene una tubería que da respiración a la atmosfera. Esta tubería sale del transformador y se coloca hacia abajo con una malla en el extremo evitando el ingreso agua, insectos o roedores (Ver Figura 2.8). Cabe resaltar que este tipo de tanque no tiene un removedor de humedad en la tubería por lo que la humedad, oxígeno y contaminación pueden entrar por dicha tubería.

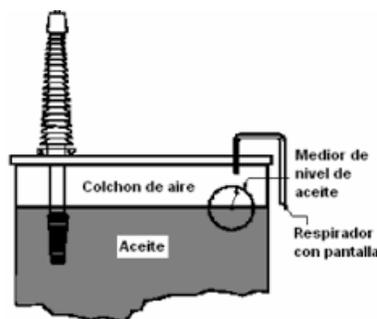


Figura 2.8 Tanque Tipo Respiración Libre

Tanque tipo conservador

Este tipo de tanque es una extensión adicional al tanque del transformador, el cual debe compensar las variaciones de volumen del aceite en el tanque principal.

El tanque adicional tiene una forma cilíndrica y se encuentra sobre el transformador, de manera que el tanque principal siempre estará lleno de aceite; además de que el intercambio de aire con la atmosfera y la expansión del aceite ocurren lejos del total del aceite del transformador ya que solo existe una pequeña cantidad de aceite entre el tanque principal y el tanque conservador (Ver Figura 2.9).

Este tipo de diseño reduce el riesgo de que ingrese humedad, oxígeno y contaminación al aceite, mejorando la vida útil del aceite. Algunos transformadores de este tipo integran un diafragma (Removedor de humedad) que reduce aún más el ingreso de humedad y oxígeno al transformador.

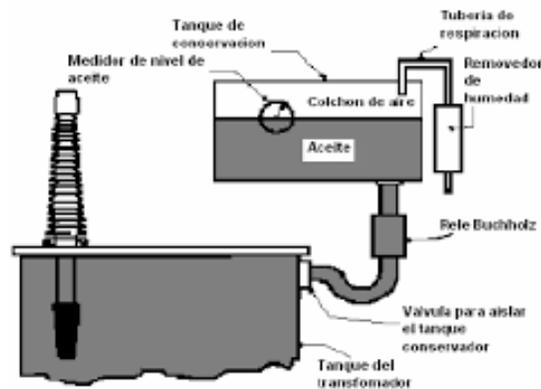


Figura 2.9 Tanque Tipo Conservador

Tanque tipo sellado

Este tipo de tanque es similar al tanque de respiración libre, pero este posee una válvula de alivio de presión/vacío la cual está diseñada para mantener una presión interna de ± 5 psi (Ver Figura 2.10). Para evitar las filtraciones y uso de empaques de sellado, la tapa superior esta soldada.

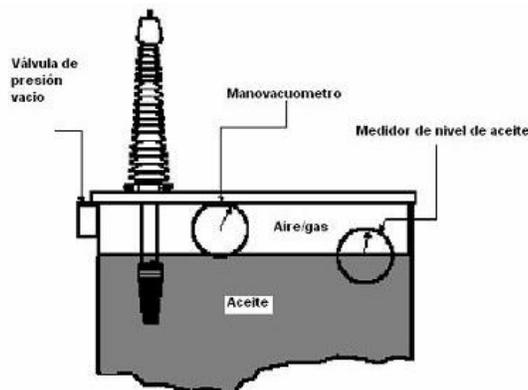


Figura 2.10 Tanque Tipo Sellado

RADIADORES

Los radiadores de los transformadores se construyen de hierro, y el grosor de sus paredes es mucho más delgado que las paredes del tanque del transformador; su función es la de intercambiar el calor generado dentro del transformador con la atmosfera.

Los transformadores de potencia generan grandes cantidades de calor que deben de ser disipadas para evitar calentamientos excesivos, por ello se utiliza un sistema de refrigeración que funciona con el movimiento natural del aceite dentro de los radiadores, existen tres procesos por los cuales se realiza el intercambio de calor del transformador con la atmosfera los cuales son:

Radiación

En este caso la transferencia de calor del transformador a la atmosfera es a través de los radiadores. La radiación es la emisión o absorción de ondas electromagnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz.

Convección

En el caso de la convección, la transferencia de calor es a través de un fluido o gas en movimiento que transporta la energía térmica entre dos puntos que se encuentran a diferente temperatura, este proceso puede ser de tipo:

- Forzada: mediante el uso de bombas se mueven los fluidos de una zona caliente hacia una zona fría.
- Natural: el mismo fluido extrae el calor; al cambiar la densidad del fluido debido a la temperatura, este se desplaza de una zona caliente a una zona más fría donde cede su calor.

Conducción

Es un proceso lento por el cual se transmite el calor a través del aceite por actividad molecular, la cual se mide por su conductividad molecular.

Estas tres características de transferencia de calor se dan en un transformador. Existen varios tipos de radiadores, de los cuales, los más utilizados son los de tubos y los de aletas.



Figura 2.11 Radiador Tipo Aletas

BOQUILLAS DE ALTA Y BAJA TENSIÓN

Las boquillas se emplean para pasar los conductores a través de la superficie aterrizada del transformador, las boquillas deben ser capaces de soportar las corrientes nominales y de sobrecarga.

Su función es la de efectuar la interconexión entre las terminales de las bobinas y las redes externas manteniendo la hermeticidad y el aislamiento, ya que por una parte han de conducir la corriente y por otra aislar el conductor a través de su paso por la tapa o tanque del transformador.



Figura 2.12 Boquilla De Alta Tensión

CAMBIADOR DE DERIVACIONES (TAP'S)

El cambiador de derivaciones o TAP's es un mecanismo diseñado para operar dentro del transformador, montado externamente en un gabinete mediante el cual podemos cambiar la relación de vueltas del transformador y con ello poder variar el nivel de tensión.

Existen dos clases de transformadores con TAP: aquellos que operan con carga y los que operan sin carga [13].

- Los transformadores que operan con carga: los cuales son automatizados, mediante el uso de motores, los cuales poseen un control local o remoto, pudiéndose operar en forma manual o automática.
- Los transformadores que opera sin carga: los cuales se operan de forma manual una vez que se han abierto los circuitos de carga y alimentación, estos son accionados mediante algún dispositivo de tipo manivela.

La finalidad del cambiador de derivaciones o TAP's, es adaptar el enrollamiento de alta tensión dominante de la línea para poder modificar el nivel de tensión en el secundario de acuerdo a las necesidades del sistema.

PLACA DE DATOS

La placa de datos debe de estar colocada en la pared principal del transformador y debe contener los siguientes datos [10]:

- Número de serie
- Tipo de enfriamiento
- Número de fases
- Frecuencia de operación
- Capacidad nominal (kVA)
- Tensiones y corrientes nominales
- Tensiones de la derivación
- Elevación de la temperatura °C
- Material utilizado en cada devanado
- Polaridad (Transformadores monofásicos)
- Diagrama vectorial (Transformador polifásico)
- Diagrama de conexiones y diagrama unifilar
- Impedancia (%)
- Masa aproximada (kg)
- Nombre del fabricante
- Clave del instructivo del fabricante
- Identificador y cantidad del líquido aislante en litros
- Altitud de operación en (m.s.n.m)
- Nivel básico de aislamiento al impulso (NBAI)
- Fecha de fabricación
- Leyenda de país de origen
- Leyenda que identifica norma de fabricación

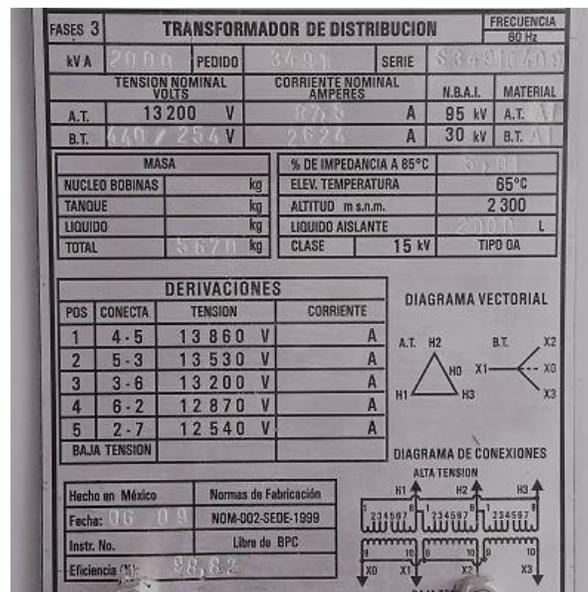


Figura 2.13 Placa De Datos De Un Transformador

VÁLVULA DE DRENAJE

Esta válvula es de tipo compuesta, se encuentra en la parte inferior; en un costado o en el centro del transformador, y se acciona manualmente por medio de una llave que permite desalojar el aceite del interior del transformador ya sea para darle mantenimiento al mismo, para sustituir el aceite o para tomar una muestra.



Figura 2.14 Válvula De Drenaje

EQUIPOS AUXILIARES

Indicador de temperatura del aceite

Tiene la finalidad de dar a conocer la temperatura del aceite aislante.



Figura 2.15 Indicador De Temperatura

Indicador de temperatura de los devanados

Su función es medir indirectamente la temperatura de los devanados.

Indicador de nivel

El indicador de nivel señala el nivel del líquido aislante contenido en el tanque principal del transformador o en compartimentos asociados, como es el caso del tanque de conservación.



Figura 2.16 Indicador De Nivel Del Aceite

Dispositivo contra sobrepresión

Este dispositivo tiene la función de aliviar cualquier sobrepresión que se manifieste en el tanque del transformador, es decir, sirve para aliviar la presión interna del transformador cuando este exceda un valor determinado [12].



Figura 2.17 Dispositivo Contra Sobrepresión

Indicador de presión/vacío

Este indicador de presión/vacío también llamado manovacuómetro se instala en transformadores sellados y proporciona la presión del nitrógeno que posee el transformador o la cantidad de vacío a la que está sometido el transformador.

RELEVADOR BUCHHOLZ

El relé Buchholz es empleado en transformadores con tanque de conservación.

Si existen corrientes parasitas, sobrecalentamiento o descargas parciales dentro del transformador se producirán burbujas de gas las cuales llegaran a las cámaras del relevador buchholz, cuando el gas se acumula el aceite en la cámara del relé se moverá desplazando un flotador el cual cerrara un switch magnético activando una alarma[12].



Figura 2.18 Relevador Buchholz

TIPO DE ENFRIAMIENTO

Los transformadores generan calor debido a las cargas a las que están sometidos, por lo que es indispensable un sistema de enfriamiento con el objetivo de mantener las temperaturas de operación dentro de los valores nominales que son entre 55°C y 65°C sobre la temperatura ambiente. Para realizar este trabajo se utilizan ventiladores, radiadores, intercambiador de calor, bombas de circulación entre otros.

Existen diferentes métodos de enfriamiento en los transformadores los cuales pueden ser:

Clase OA (Sumergido en líquido aislante, con enfriamiento natural)

En estos transformadores el aceite aislante circula por convección natural dentro del tanque y entre los radiadores del mismo.

Clase OA/FA (Sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio, con enfriamiento con aire forzado)

El enfriamiento es básicamente una clase OA con la característica que se le adicionaron ventiladores sobre los radiadores para aumentar la capacidad de la disipación de calor en las superficies de enfriamiento.

Clase OA/FA/FOA (Sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio, con aire forzado, con aceite forzado)

El enfriamiento tipo OA puede ser aumentado mediante el uso de bombas y ventiladores, aumentando la capacidad en dos pasos; el primero al utilizar la mitad

de las bombas y los radiadores y el segundo al hacer trabajar la totalidad las bombas y los radiadores, a este tipo de transformadores también se les conoce de triple régimen.

Clase FOA (Sumergido en líquido aislante, con enfriamiento por aceite forzado, con enfriadores de aire forzado)

Este tipo de enfriamiento utiliza bombas y ventiladores trabajando continuamente, haciendo que el aceite pase por cambiadores de calor colocados fuera del tanque.

Clase OW (Sumergido en líquido aislante, con enfriamiento por agua, circulación natural)

Este tipo de enfriamiento utiliza el agua como medio refrigerante, el agua circula dentro de serpentines que se encuentran dentro del transformador en contacto con el aceite, cabe resaltar que el agua circula dentro de los serpentines por gravedad.

Clase FOW (Sumergido en líquido aislante, con enfriamiento de aceite forzado, con enfriadores de agua forzada)

Este tipo de enfriamiento es similar al tipo FOA, pero en este caso el enfriamiento del aceite se hace por medio del agua sin tener ventiladores.

Clase AA (Tipo seco con enfriamiento natural de aire)

La principal característica de este tipo de enfriamiento, es el aire, ya que es el único medio aislante que rodea al núcleo y los devanados, además de que es el único medio refrigerante del transformador.

Clase AFA (Tipo seco con enfriamiento por aire forzado)

Este tipo de enfriamiento se utiliza para aumentar la potencia de la Clase AA, se caracterizan por una capacidad mayor de circulación de aire forzada por medio de ventiladores que llevan aire a los devanados y al núcleo del transformador por medio de aberturas.

Clase AA/FA (Tipo seco con enfriamiento propio, con enfriamiento de aire forzado)

Este tipo es de doble régimen; enfriamiento natural y forzado por medio de ventiladores, para aumentar la capacidad de la disipación de calor en las superficies de enfriamiento, su control es automático y opera mediante un relevador térmico.

CAPITULO 3

GENERALIDADES A LAS MAQUINAS DINÁMICAS

INTRODUCCIÓN

Los motores son máquinas eléctricas rotativas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe señalar como su: economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, minas, comercio, o el hogar.

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades y servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Los motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de caballo hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

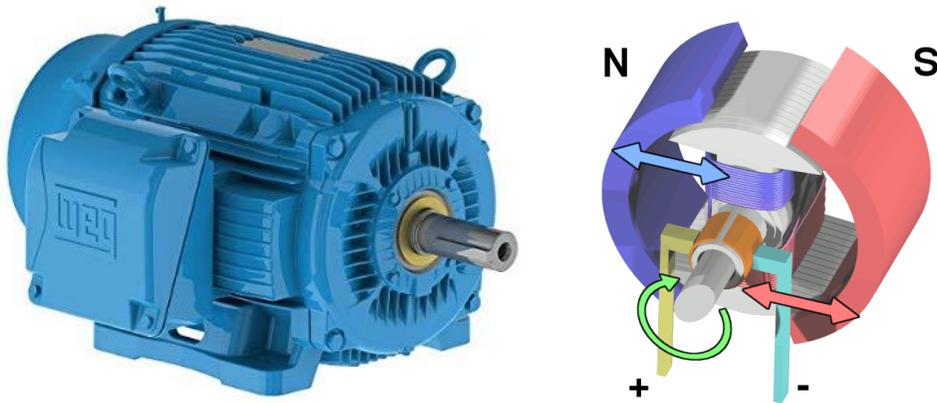


Figura 3.1 Motor Eléctrico Y Esquema de Funcionamiento

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento de un motor de CD o CA se basa en la atracción y repulsión que ejercen los polos magnéticos de un imán. En magnetismo se conoce la existencia del polo norte (N) y el polo sur (S), los cuales son regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán [14]. Para que un motor pueda funcionar se vale de la fuerza de atracción y repulsión que existen entre los polos magnéticos, produciendo así el movimiento de rotación del motor, por tal motivo los motores están formados de polos; los cuales se encuentran alternadamente en el estator y en el rotor. Un motor eléctrico opera mediante dos principios básicos los cuales son: la ley de inducción de Michael Faraday y la ley de Ampere.

ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL MOTOR



Figura 3.2 Elementos Que Conforman Un Motor Eléctrico

1. Estator
2. Rotor
3. Bobinado
4. Carcasa
5. Eje
6. Ventilador
7. Placa De Datos
8. Caja De Conexiones
9. Cojinetes
10. Tapas
11. Escobillas
12. Base
13. Entrehierro

ESTATOR

Elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente pero si magnéticamente. Los bobinados arrollados en la estructura del estator proveen los polos magnéticos del motor, los cuales siempre son pares, por ello; el número de polos mínimo que debe de tener un motor para poder funcionar es de dos, un polo norte y un polo sur. El estator está constituido de un conjunto de láminas de acero al silicio, al cual se le denomina “paquete”, y tiene la característica de permitir que el flujo magnético pase a través de el con mayor facilidad.

Existen dos tipos de estatores en un motor [15]:

- Estator de polos salientes
- Estator ranurado

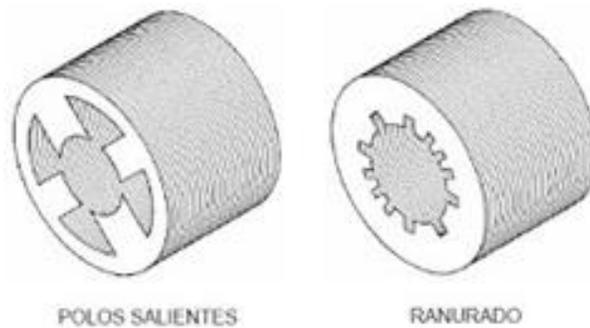


Figura 3.3 Estator De Polos Salientes Y Ranurado

ROTOR

Es la parte móvil del motor (elemento de transferencia mecánica), ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica [14]. El rotor es un conjunto de láminas de acero al silicio, que forman un paquete, en cuya superficie se alojan cierto número de barras conductoras cortocircuitadas para evitar pérdidas por corrientes parasitas y de Foucault, el cual está acoplado a un eje. Las terminales de las bobinas se conectan al colector donde hacen contacto con los carbones permitiendo la entrada y salida de corriente al enrollado de armadura. El eje está sujeto a la carcasa mediante cojinetes o rodamientos, transmitiendo un par de fuerza a la carga mediante una transmisión mecánica de tipo engranaje, correa o cadena.

Existen tres tipos de rotores [15]:

- Rotor de polos salientes
- Rotor ranurado
- Rotor jaula de ardilla

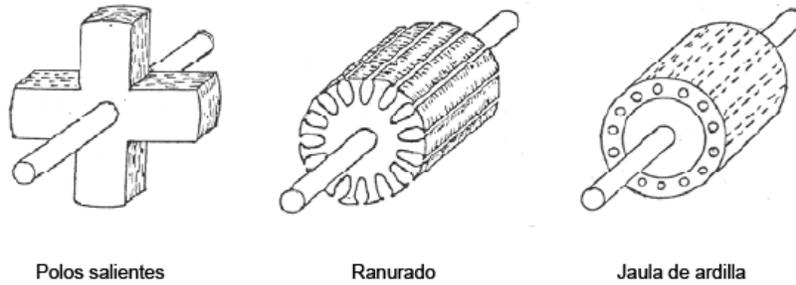


Figura 3.4 Rotor De Polos Salientes, Ranurado Y Jaula De Ardilla

OTRAS PARTES

Carcasa

Es la parte que cubre y protege al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación [16].

Las carcasas pueden ser:

- Totalmente cerradas
- Abierta
- A prueba de goteo
- A prueba de explosiones
- Tipo sumergible



Figura 3.5 Carcasa Del Motor

Cojinetes

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de la parte giratoria del motor. Se utilizan para fijar y sostener el eje mecánico y disminuir la fricción, lo que contribuye a que el motor consuma menos potencia.

Los cojinetes que se emplean se dividen en dos clases [15]:

- Cojinetes de deslizamiento; Operan basándose en una película de aceite entre el eje y la superficie de apoyo.

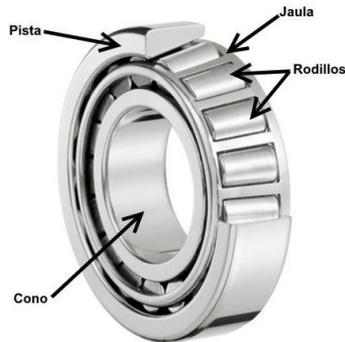


Figura 3.6 Cojinetes De Deslizamiento

- Cojinetes de rodamiento; Se utilizan preferentemente en lugar de los de deslizamiento debido a un menor coeficiente de fricción, son compactos, su desgaste es menor y son más fácil de reemplazar que los cojinetes de deslizamiento.

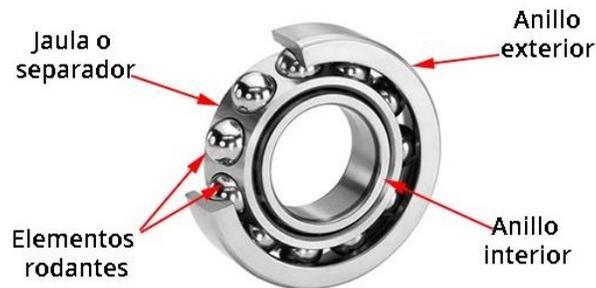


Figura 3.7 Cojinetes De Rodamiento

Tapas

Son los elementos encargados de sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la fuerza del rotor.



Figura 3.8 Tapa Delantera Y Deflectora De Un Motor

Escobillas

Es el elemento de conexión eléctrica entre la parte fija y la giratoria dentro del motor, su finalidad es la de ejercer presión suficiente sobre los colectores o anillos rotatorios y que se pueda realizar el contacto para permitir el paso de la corriente eléctrica.



Figura 3.9 Escobillas

Caja de conexiones

Es la estructura que protege los conductores y las conexiones que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo y contra cualquier elemento que pudieran dañarlos [16].

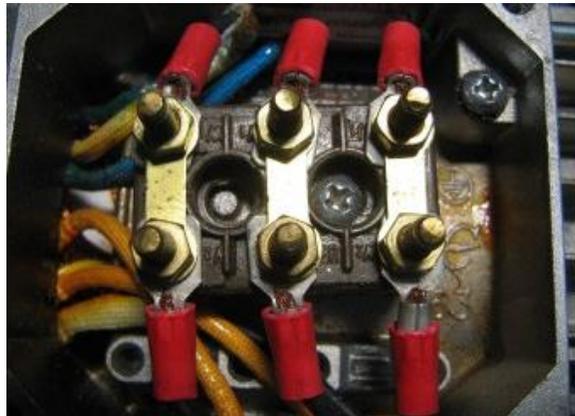


Figura 3.10 Caja De Conexiones De Un Motor

Base

Es el elemento que soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, esta puede ser:

- Base frontal
- Base lateral



Figura 3.11 Base Frontal Y Base Lateral De Un Motor

Entrehierro

Es el espacio que se encuentra entre el estator y el rotor, este debe ser lo más reducido posible para así poder minimizar y reducir la reluctancia del circuito magnético.

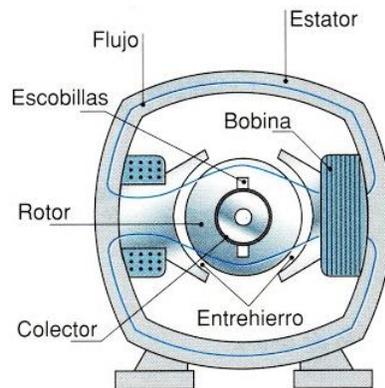


Figura 3.12 Esquema De Un Motor (Entrehierro)

Refrigeración

Normalmente se acopla un ventilador o aspas al eje de giro (eje del rotor), para que este pueda refrigerar al motor cuando gire; evacuando el calor al exterior, a este método se le llama auto-ventilación.



Figura 3.13 Ventilador De Un Motor

Placa de datos

Cada motor debe contar con una placa de datos, donde se coloquen las características con las que cuenta dicho motor, esta debe estar sujeta al motor y deber de ser visible e indeleble (la información debe estar garbada en una placa de metal).

La placa de datos debe contener la siguiente información [16]:

- Fabricante SIEMENS
- Modelo 1LA7070-4AB11
- PARÁMETROS ELÉCTRICOS
 - Tipo de motor 3 ~ (Trifásico)
 - Potencia 0.29 kW
 - Voltaje nominal 460 V
 - Tipo de conexión Δ o Y
 - Corriente nominal 0.75 A
 - Frecuencia nominal 60 Hz
 - Factor de potencia ($\cos\phi$) 0.76
- PARÁMETROS MECÁNICOS O CONSTRUCTIVOS
 - Velocidad nominal 1650 / min
 - Factor de servicio (SF) 1,1
 - Tipo de aislamiento (Th.Cl.) F
 - Tamaño del marco IEC56
 - Grado de protección IP55
 - Tipo constructivo IM B5

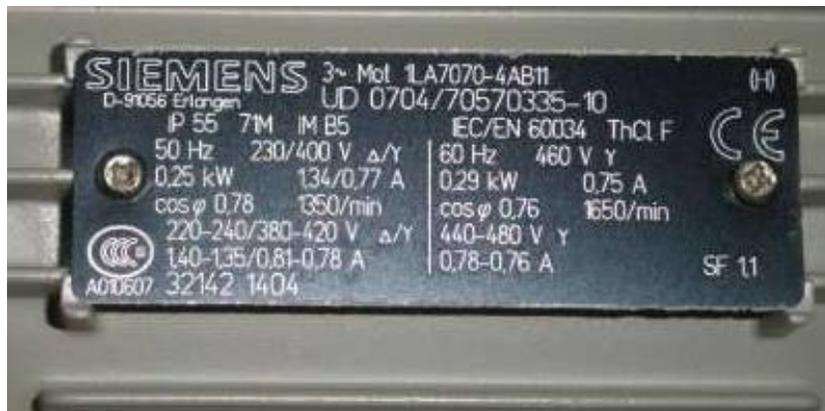


Figura 3.14 Placa De Datos De Un Motor

CAPITULO 4

PRUEBAS A MAQUINAS ESTÁTICAS (TRANSFORMADORES)

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba se realiza con un equipo conocido como medidor de resistencia de aislamiento o megohmetro, comúnmente conocido como Megger, y consiste básicamente en aplicar voltaje entre electrodos y medir la corriente que circula por el circuito.



Figura 4.1 Megohmetro

Esta prueba sirve para comprobar la calidad y el estado mínimo soportable de los aislamientos del transformador o de cualquier otro equipo, para que pueda soportar la operación a la que serán sometidos.

Esta prueba mide la resistencia en mega ohms con una corriente directa fija en un lapso de tiempo definido, en el cual se produce una corriente, dicha corriente está compuesta por cuatro componentes:

- Corriente capacitiva
- Corriente de absorción dieléctrica
- Corriente de inducción
- Corriente de fuga

Es importante registrar la temperatura ambiente al momento de realizar las pruebas para poder referenciar cuando se comparen los resultados de las mismas.

La pérdida de factor de aislamiento puede ser sensible a las variaciones de la temperatura, por lo cual deberá aplicarse un factor de corrección a los valores medidos, esto se hace para permitir la comparación de las pruebas a diferentes temperaturas [20]; por lo que se debe de realizar la conversión de todas las mediciones a los valores de 20°C para transformadores sumergidos en liquido aislante y a 40°C para transformadores tipo seco utilizando la constante K(1) y K(2) respectivamente para la corrección de los datos registrados, para ello se presenta la siguiente tabla [21]:

PRUEBAS A MAQUINAS ESTÁTICAS (TRANSFORMADORES)

Tabla 4.1 Factor de Corrección De Valores Medidos

T (°C)	K (1)	K (2)	T (°C)	K (1)	K (2)	T (°C)	K (1)	K (2)
0	0.3	0.1554	32	2.0503	0.6891	64	13.9404	3.0563
1	0.3184	0.1628	33	2.1857	0.7219	65	14.8	3.2019
2	0.3371	0.1705	34	2.326	0.7563	66	15.7213	3.3545
3	0.3567	0.1786	35	2.47	0.7924	67	16.7039	3.5143
4	0.3775	0.1872	36	2.6172	0.8301	68	17.7459	3.6818
5	0.4	0.1961	37	2.7703	0.8397	69	18.8452	3.8572
6	0.4244	0.2054	38	2.9327	0.9111	70	20	4.041
7	0.4508	0.2152	39	3.1081	0.9545	71	21.2104	4.2336
8	0.4789	0.2255	40	3.3	1	72	22.485	4.4353
9	0.5087	0.2362	41	3.5108	1.0477	73	23.8344	4.6466
10	0.54	0.2475	42	3.7389	1.0976	74	25.2691	4.868
11	0.5728	0.2593	43	3.9816	1.1499	75	26.8	5.1
12	0.6076	0.2716	44	4.2362	1.2047	76	28.437	5.343
13	0.645	0.2846	45	4.5	1.2621	77	30.1881	5.5976
14	0.6856	0.2981	46	4.7715	1.3222	78	32.0607	5.8643
15	0.73	0.3123	47	5.0534	1.3852	79	34.0622	6.1438
16	0.7786	0.3272	48	5.3495	1.4512	80	36.2	6.4365
17	0.8308	0.3428	49	5.6638	1.5204	81	38.48	6.7432
18	0.8857	0.3597	50	6	1.5928	82	40.9018	7.0645
19	0.9424	0.3762	51	6.3617	1.6687	83	43.4636	7.4012
20	1	0.3942	52	6.7509	1.7482	84	46.1637	7.7538
21	1.0581	0.4129	53	7.1692	1.8315	85	49	8.1233
22	1.1176	0.4326	54	7.6184	1.9184	86	51.9775	8.5104
23	1.1802	0.4532	55	8.1	2.0102	87	55.1279	8.9159
24	1.2471	0.4748	56	8.6153	2.106	88	58.4895	9.3408
25	1.32	0.4975	57	9.1639	2.2064	89	62.1008	9.7858
26	1.4	0.5212	58	9.7448	2.3115	90	66	10.2521
27	1.4877	0.546	59	10.3571	2.4216	91	70.2083	10.7407
28	1.5834	0.572	60	11	2.537	92	74.6778	11.2525
29	1.6874	0.5993	61	11.6738	2.6579	93	79.3431	11.7886
30	1.8	0.5278	62	12.384	2.7846	94	84.1389	12.3504
31	1.9213	0.6677	63	13.1373	2.9173	95	89	12.9389

Donde:

- T (°C) temperatura
- K (1) es el factor de corrección para transformadores sumergidos en liquido aislante para una referencia de 20°C.
- K (2) es el factor de corrección para transformadores tipo seco para una referencia de 40°C.

PRUEBAS A MAQUINAS ESTÁTICAS (TRANSFORMADORES)

De acuerdo con el método de absorción dieléctrica, la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores debe realizarse durante 10 minutos. Las conexiones de prueba dependen de la parte de aislamiento que se desea evaluar, por lo que se pueden realizar tres pruebas diferentes [22]:

- Alta tensión vs Baja tensión
- Baja tensión vs Alta tensión + Tierra
- Alta tensión vs Baja tensión + Tierra

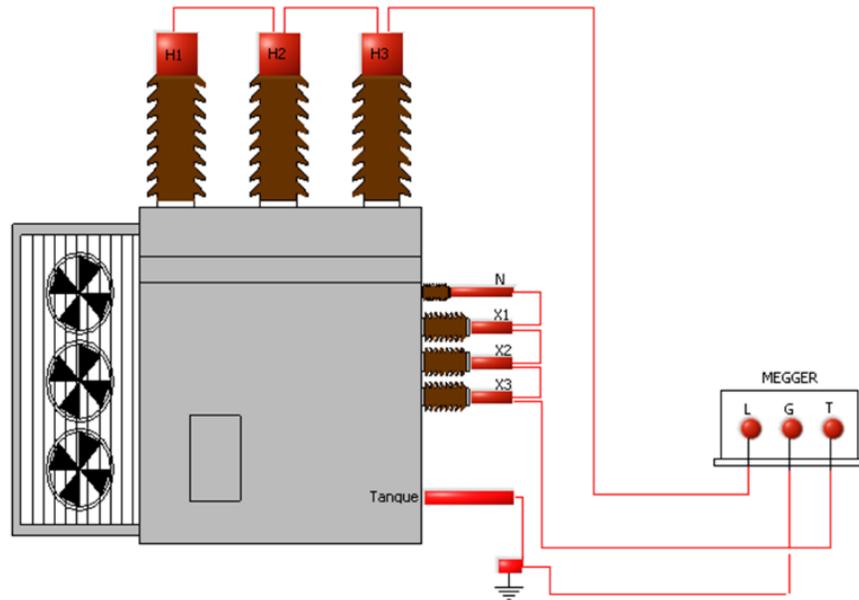


Figura 4.2 Conexión Alta Tensión VS Baja Tensión

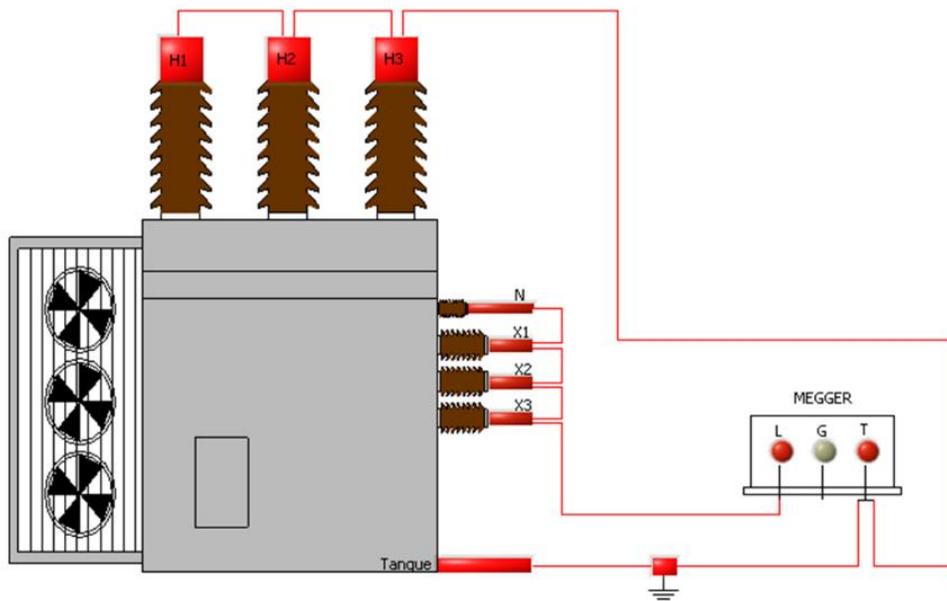


Figura 4.3 Conexión Baja Tensión VS Alta Tensión + Tierra

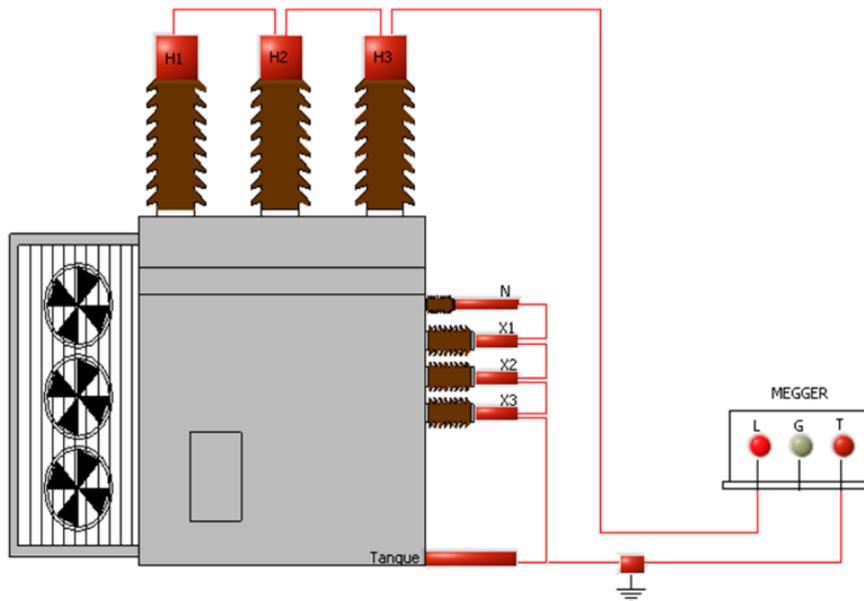


Figura 4.4 Conexión Alta Tensión VS Baja Tensión + Tierra

Existen tres criterios para poder determinar si el aislamiento se encuentra en buenas condiciones:

Criterio 1

Por el valor de la resistencia de aislamiento obtenido a los 10 minutos.

Para poder aplicar este criterio se debe de comparar el valor de la resistencia medido en el minuto 10 con los valores mínimos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Criterio 1: Valor De LA Resistencia A Los 10 Minutos

Voltaje entre fases del transformador kV	Valor mínimo recomendado MΩ	Voltaje entre fases del transformador kV	Valor mínimo recomendado MΩ
1.2	32	46	1240
2.5	68	69	1660
5	135	115	3100
8.6	230	138	3720
15	410	161	4350
25	670	196	5300
34.5	950	230	6200

Criterio 2

Por el valor del índice de polarización.

Es el cociente de resistencia de aislamiento medido en el minuto 10 entre el valor de resistencia medido en el minuto 1.

$$I_p = \frac{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el minuto 10}}{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el minuto 1}}$$

Este índice representa el grado de polarización que tiene el aislamiento, en la medida en que este valor es mayor se considera que el aislamiento se encuentra en mejores condiciones de operación, es decir, se encuentra más seco y menos contaminado. Por lo que en la práctica se recomienda que el índice de polarización sea mayor a 2 de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Criterio 2: Por El Índice De Polarización

Condiciones del aislamiento	Relación 10 a 1 min, I_p (Índice de Polarización)
Peligroso	Menor de 1
Dudoso	1.0 a 2***
Bueno	2 a 4
Excelente	Mayor a 4

Criterio 3

Por el valor del índice de absorción.

El índice de absorción se define como el coeficiente del valor de resistencia de aislamiento medido en el minuto 1 entre el coeficiente del valor de resistencia medido en el segundo 30.

$$I_{AB} = \frac{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el minuto 1}}{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el segundo 30}}$$

Este índice representa el grado de absorción que tiene el aislamiento, en la medida en que este valor es mayor se considera que el aislamiento se encuentra en mejores condiciones de operación, es decir, se encuentra más seco y menos contaminado.

Por lo que en la práctica se recomienda que el índice de absorción se mayor a 1.5 de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Criterio 3: Por El Índice De Absorción

Condiciones del aislamiento	Relación 60 a 30 s, I_{AB} (Índice de Absorción)
Peligroso	-
Dudoso	1.0 a 1.25
Bueno	1.4 a 1.6
Excelente	Mayor a 1.6

PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (TTR)

La prueba de relación de transformación del transformador (TTR) tiene como objetivo verificar la polaridad y la relación de transformación de los devanados de un transformador. También sirve para asegurarse de que no existan cortocircuitos entre las espiras, errores en las conexiones de las boquillas y cambiador de derivación. Así como para la detección de falsos contactos y circuitos abiertos. Con respecto a la polaridad permite verificar el diagrama de conexiones de los transformadores.

La prueba se realiza con un probador de relación de transformación, también conocido como TTR por sus siglas en inglés Transformer Test Ratio. Este equipo está integrado por un transformador patrón con un gran número de derivaciones, lo cual permite obtener una relación de transformación variable.

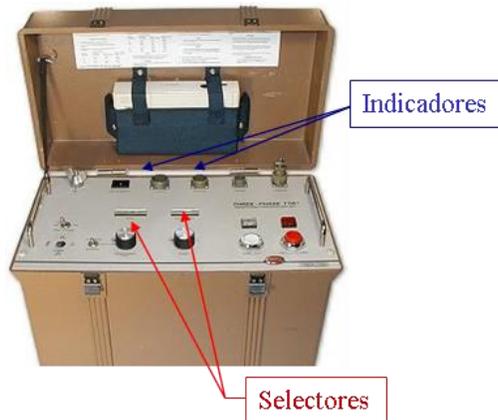


Figura 4.5 Probador De Relación De Transformación

La relación de transformación (TTR), se evalúa entre el devanado primario y el devanado secundario para cada una de las columnas del transformador, la relación de vueltas debe determinarse para todas las derivaciones, esta prueba debe de realizarse con una tensión de excitación y sin carga.

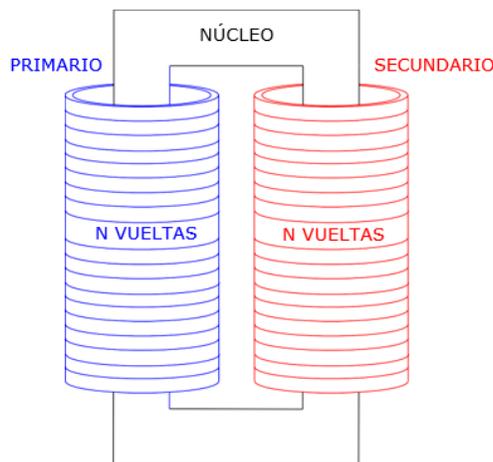


Figura 4.6 Evaluación De TTR

PRUEBAS A MAQUINAS ESTÁTICAS (TRANSFORMADORES)

La polaridad de un transformador depende del sentido en que son arrolladas las vueltas de los devanados primarios y secundarios, las cuales pueden ser:

Aditiva: cuando en un transformador el bobinado secundario está arrollado en el mismo sentido que el bobinado primario, esto hace que los flujos de los dos bobinados giren en el mismo sentido y se sumen. Por lo que el desfase entre la tensión de alta y baja sea igual a 0° .

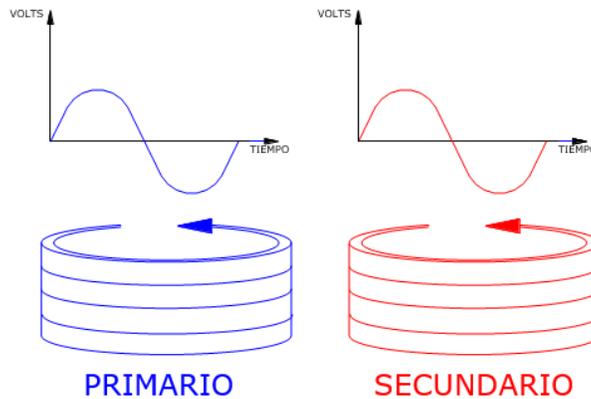


Figura 4.7 Diagramas De La Polaridad Aditiva

Sustractiva: cuando en un transformador el bobinado secundario está arrollado en sentido opuesto al bobinado primario, esto hace que los flujos de los dos bobinados giren en sentidos opuestos y se resten. Por lo que el desfase entre la tensión de alta y baja sea igual a 180° .

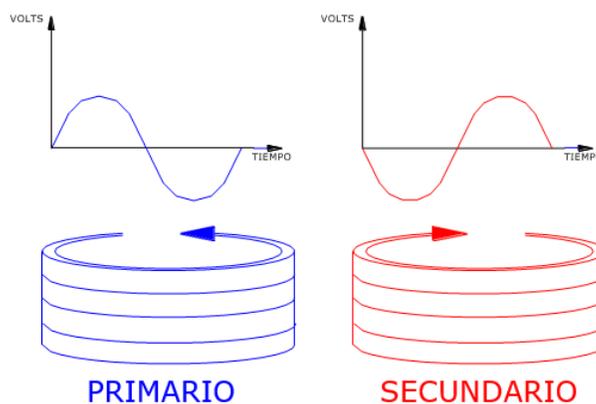
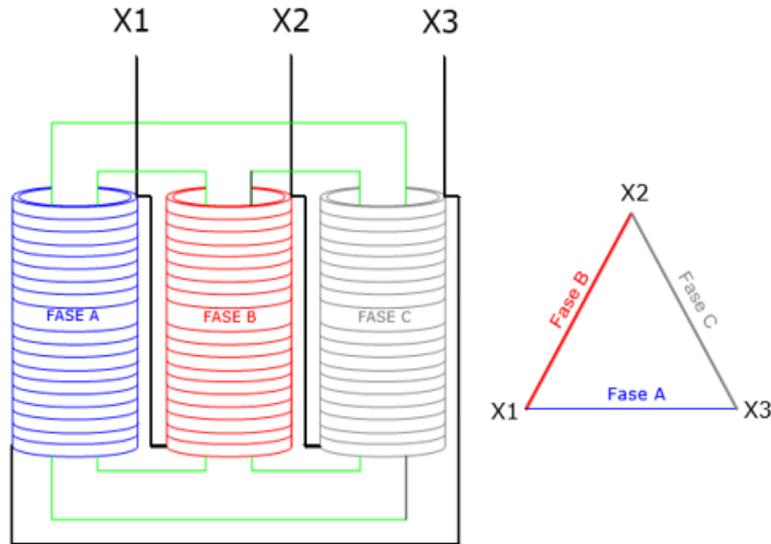


Figura 4.8 Diagramas De La Polaridad Sustractiva

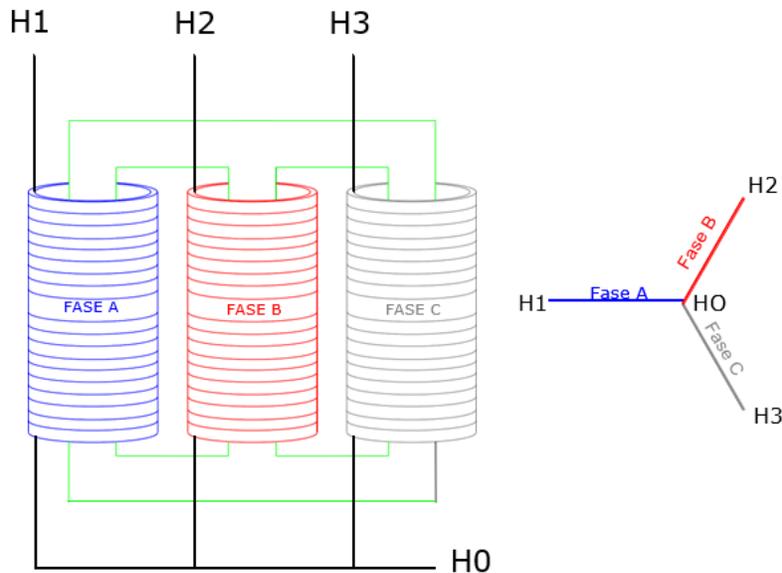
El equipo de pruebas TTR cuenta dos cables de alta tensión y dos cables para baja tensión, en ambos casos tienen marcada la polaridad.

En los transformadores trifásicos nos encontramos con tres bobinas de alta tensión y tres de baja tensión, donde la bobina de alta tensión puede estar conectada en delta o estrella [17].



CONEXION DELTA

Figura 4.9 Conexión Delta De La Bobina De Alta Tensión



CONEXION ESTRELLA

Figura 4.10 Conexión Estrella De La Bobina De Alta Tensión

La prueba de relación de transformación se realiza fase por fase, teniendo cuidado de conectar las fases correspondientes.

Para el caso de un transformador en conexión Estrella-Delta

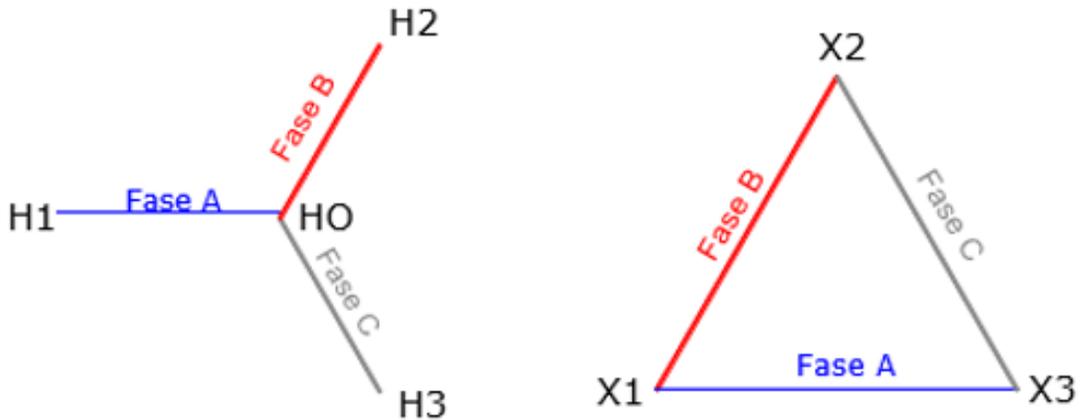


Figura 4.11 Transformador Con Conexión Estrella-Delta Y-Δ

Las conexiones serán:

Para la **Fase A**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será (H1-H0) y en las boquillas de baja tensión (X1-X3).

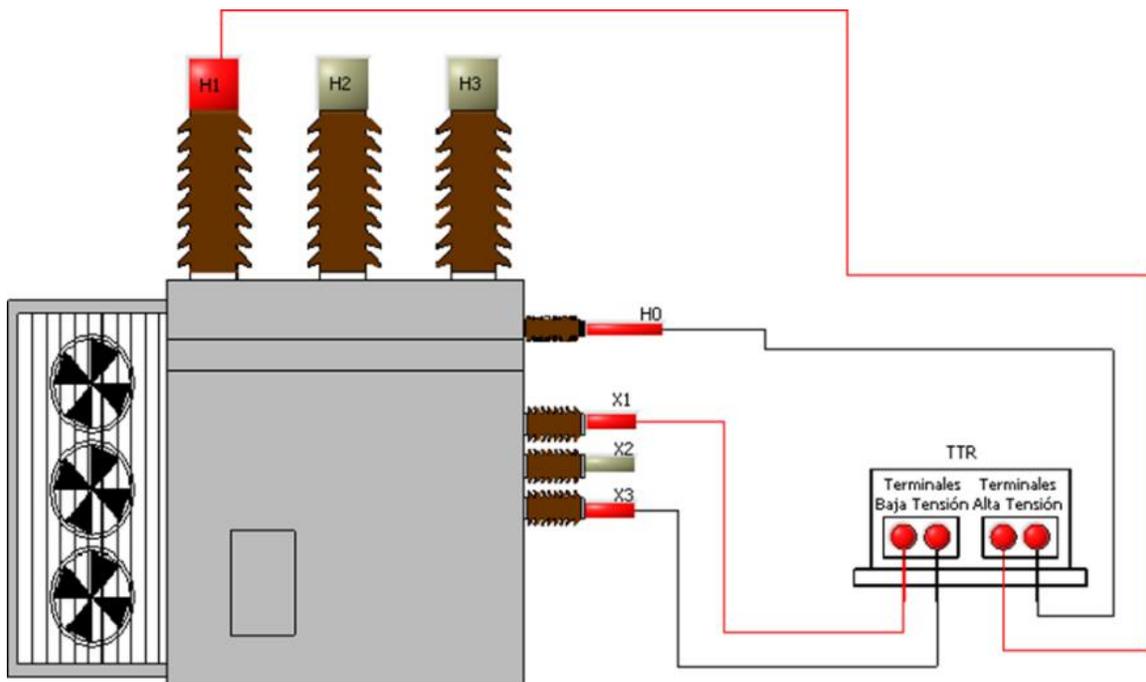


Figura 4.12 Conexión Para La Fase A En Y-Δ

Para la **Fase B**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será **(H2-H0)** y en las boquillas de baja tensión **(X2-X1)**.

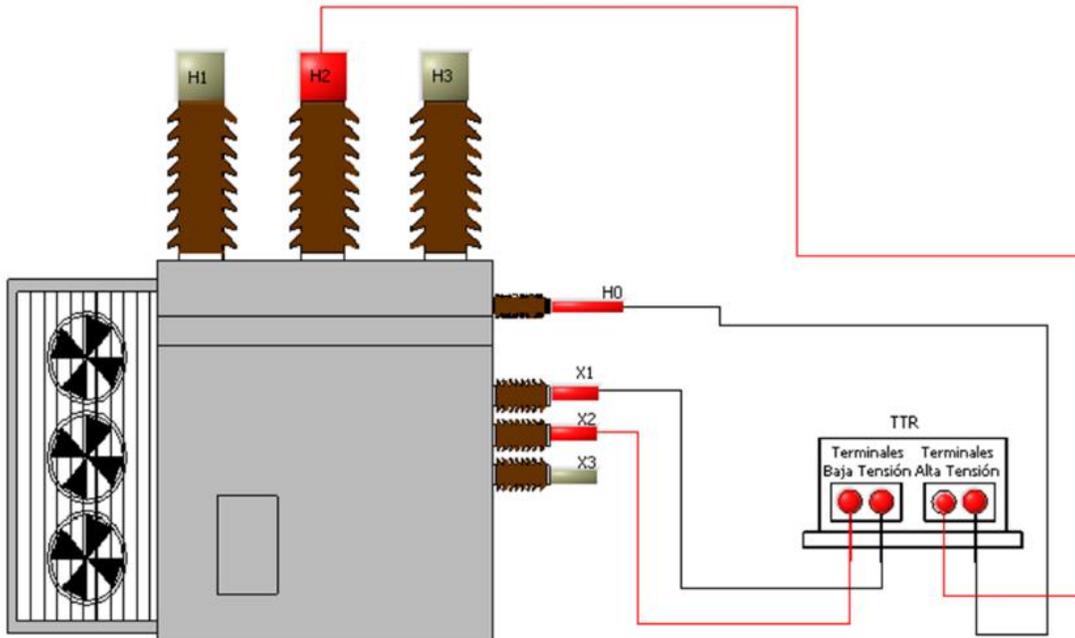


Figura 4.13 Conexión Para La Fase B En Y-Δ

Para la **Fase C**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será **(H3-H0)** y en las boquillas de baja tensión **(X3-X2)**.

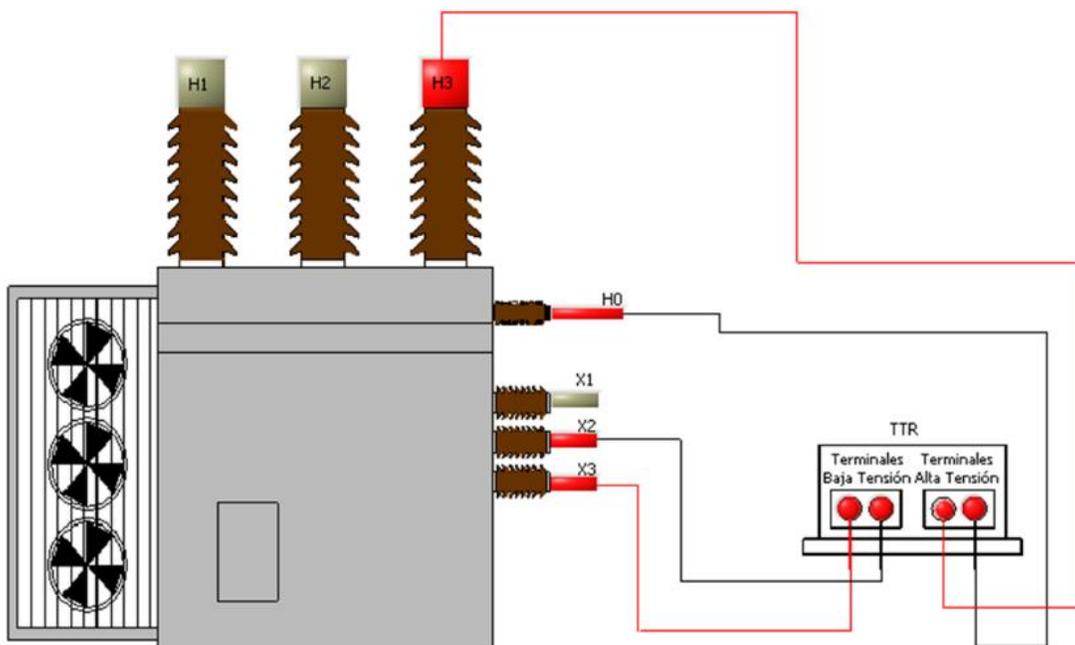


Figura 4.14 Conexión Para La Fase C En Y-Δ

Para el caso de un transformador en conexión Delta-Estrella

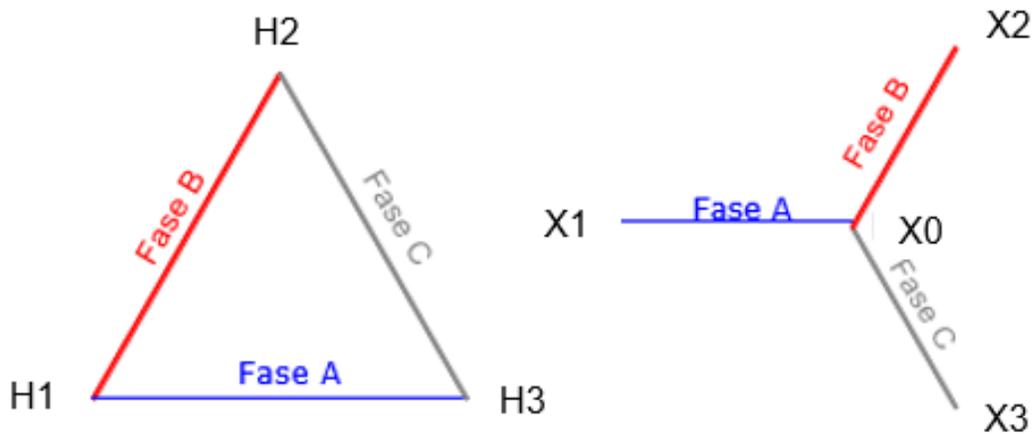


Figura 4.15 Transformador Con Conexión Delta-Estrella Δ -Y

Las conexiones serán:

Para la **Fase A**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será (H1-H3) y en las boquillas de baja tensión (X1-X0).

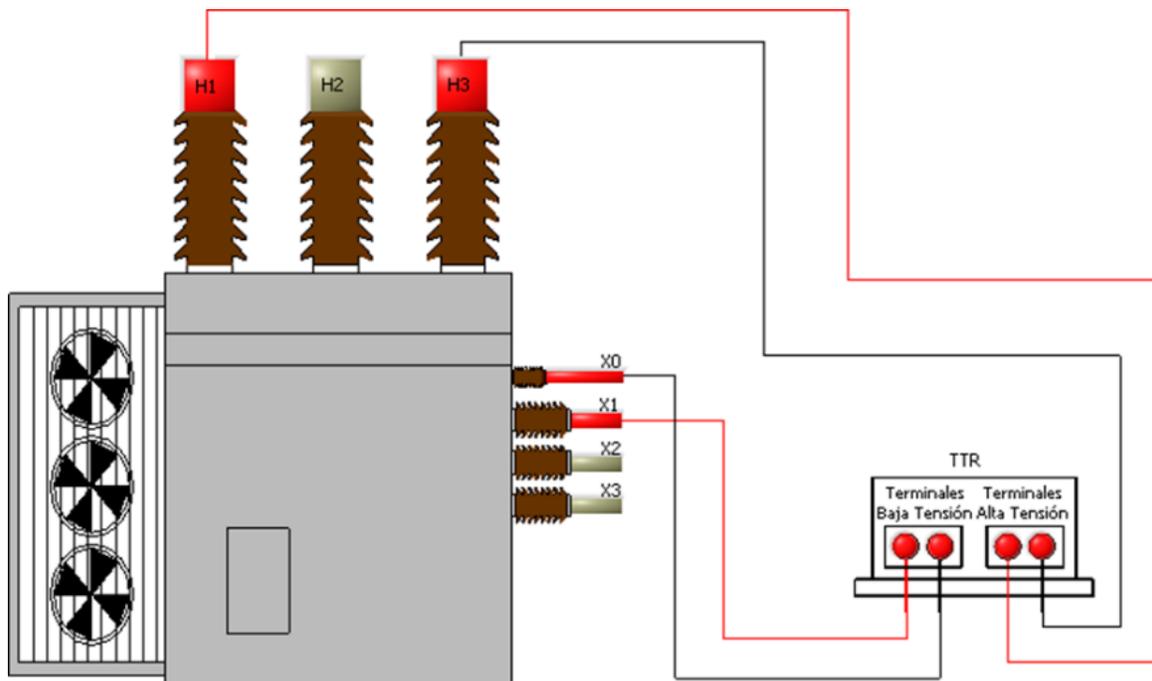


Figura 4.16 Conexión Para La Fase A En Δ -Y

Para la **Fase B**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será (**H2-H1**) y en las boquillas de baja tensión (**X2-X0**).

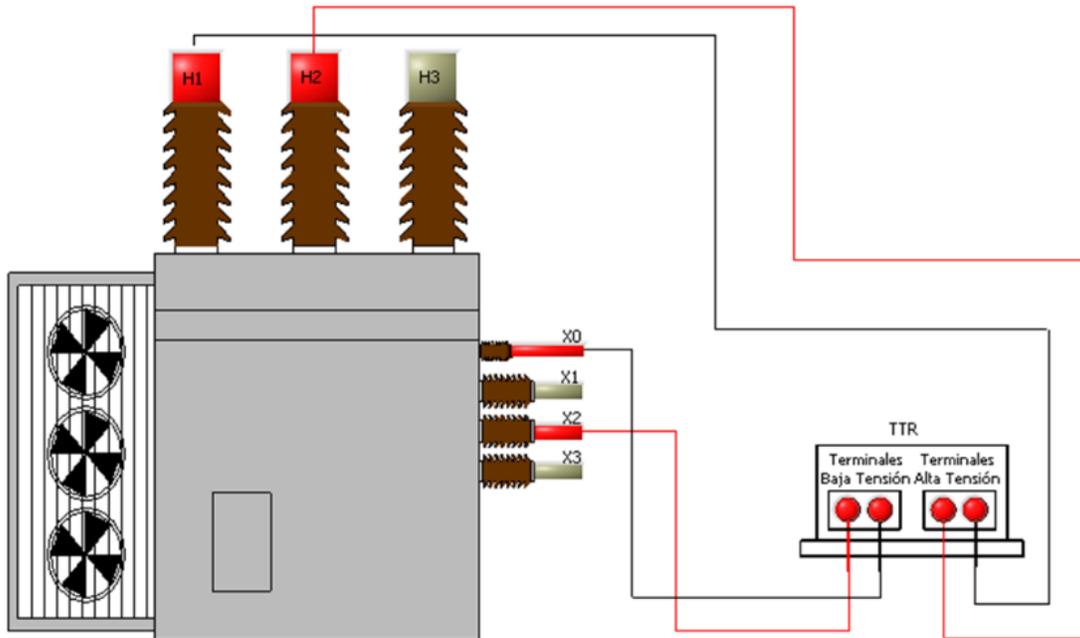


Figura 4.17 Conexión Para La Fase B En Δ -Y

Para la **Fase C**, las conexiones del equipo en las boquillas de alta tensión será (**H3-H2**) y en las boquillas de baja tensión (**X3-X0**).

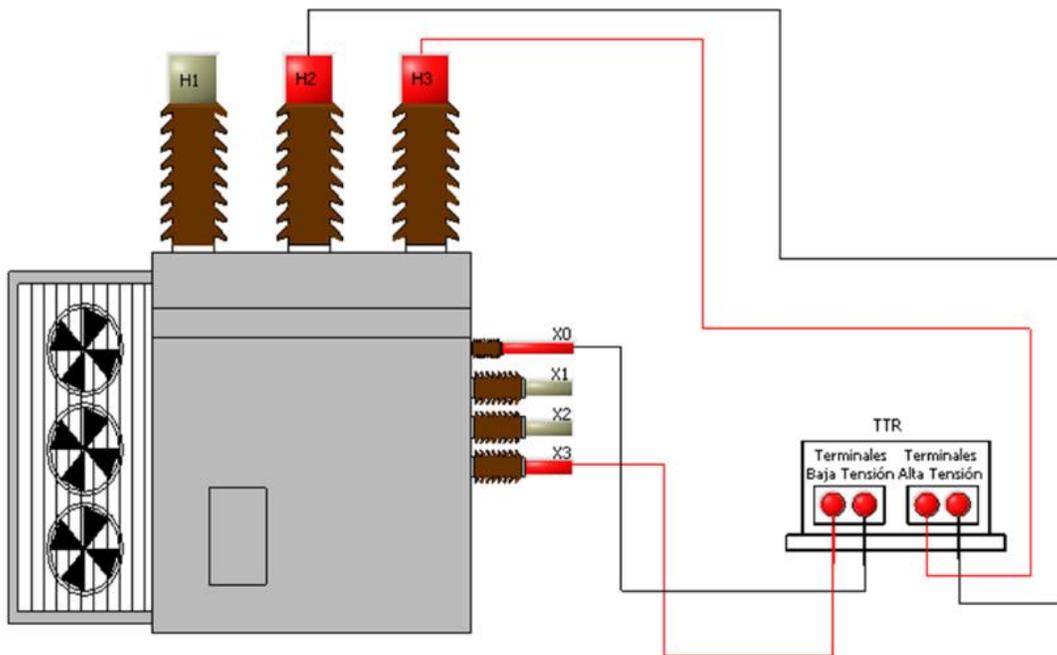


Figura 4.18 Conexión Para La Fase C En Δ -Y

Los resultados de las pruebas se anotan y se comparan tomando en cuenta la relación de transformación teórica y la relación de transformación de la prueba [19].

La relación de transformación teórica de un transformador, con una conexión delta-estrella, se calcula dividiendo la tensión de entrada (tensión en el devanado primario) entre la tensión de salida (tensión en el devanado secundario).

Supongamos un transformador que tiene un devanado de alta tensión de 230,000 V con conexión delta y un devanado de baja tensión de 23,000 V con conexión estrella.

En principio podemos suponer que:

$$m = \frac{230000}{23000} = 10$$

Sin embargo, este cálculo es incorrecto, ya que cuando el devanado está conectado en estrella siempre se mide entre fases y no de fase a neutro.

Por lo que es necesario dividir el voltaje de baja tensión de 23,000 V entre $\sqrt{3}$.

Esta corrección se debe hacer en transformadores con conexión delta-estrella y estrella-delta y siempre se hará al voltaje del lado de la conexión en estrella.

Por lo tanto si dividimos

Voltaje de alta tensión= 230000 V (no sufre cambios porque está en conexión delta)

Voltaje de baja tensión= $23000/1.73=13279$ V (se le aplica la corrección porque está en conexión estrella)

Entonces ahora tenemos que la relación de transformación teórica es:

$$m = \frac{230000}{13279} = 17.32$$

Una vez que calculamos la relación de transformación teórica y tenemos la relación de transformación medida de la prueba, se lleva a cabo la operación para conocer el porcentaje de diferencia que es:

$$\%DIF = \left(\frac{\text{Relación teórica} - \text{Relación medida}}{\text{Relación teórica}} \right) * 100$$

El resultado de esta operación debe ser menor al $\pm 0.5\%$ para que esta prueba se considere satisfactoria, cabe resaltar que el resultado puede ser positivo o negativo por lo que se debe de considerar como un valor absoluto.

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

La prueba de rigidez dieléctrica del aceite, también conocida como tensión de ruptura dieléctrica del aceite, permite medir la capacidad que tiene este líquido aislante para soportar un esfuerzo eléctrico sin producir un arco.

Esta prueba revela las cualidades de la resistencia momentánea de una muestra de aceite al paso de la corriente y el grado de humedad, suciedad y cantidad de solidos conductores en suspensión.



Figura 4.19 Probador De Rigidez Dieléctrica

Los métodos más conocidos para realizar la prueba de rigidez dieléctrica de los aceites aislantes de origen mineral son [23]:

Norma ASTM D-877

Para la norma ASTM D-877 utiliza una cuba de bakelita o vidrio refractado con electrodos con caras planas en forma de disco de 25.4mm de diámetro separados por una distancia de 2.54mm entre sí con las caras perfectamente paralelas, con un incremento de voltaje de 3 kV por segundo hasta que el aceite contenido en la cuba falle produciéndose un arco eléctrico entre los electrodos lo que abrirá el interruptor de la fuente de alimentación [24].

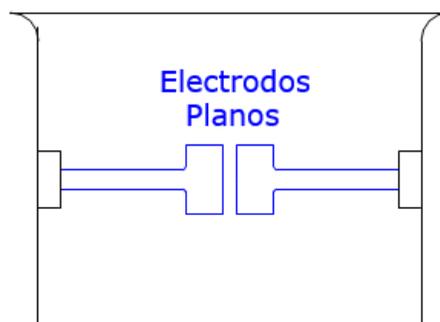


Figura 4.20 Probador De Rigidez Dieléctrica De Electrodos Planos

Norma ASTM D-1816 utiliza una cuba de bakelita o vidrio refractado con electrodos semi esféricos separados por una distancia de 1mm entre sí, en este caso la cuba cuenta con un agitador que proporciona una circulación lenta del aceite, lo cual lo hace más representativo a las condiciones a las que opera el aceite, con un incremento de voltaje de 0.5 kV por segundo hasta que el aceite contenido en la cuba falle produciéndose un arco eléctrico entre los electrodos lo que abrirá el interruptor de la fuente de alimentación [24].

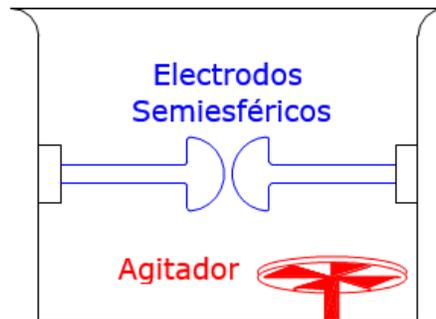


Figura 4.21 Probador De Rigidez Dieléctrica De Electrodos Semiesféricos

PRUEBA DE RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS

Para esta prueba se utilizó un equipo llamado microhmetro, la cual tiene como objetivo la detección de falsos contactos en conexiones de boquillas, cambiador de derivaciones, espiras en corto circuito o en caso de que no se tuviese una prueba anterior servirá como referencia del estado del transformador.

La medición de la resistencia óhmica de los devanados tiene fundamental importancia para tres propósitos [17]:

- A.- Para el cálculo de las pérdidas por efecto Joule I^2R de los devanados
- B.- Para el cálculo de la temperatura promedio de los devanados al final de la prueba de elevación de temperatura
- C.- Como antecedente para determinar una posible falla

La medición de las resistencias óhmicas puede efectuarse por el método de la caída de potencial o bien el método de puentes de resistencias (Kelvin o Wheatstone) [18].

Método de caída de potencial

Este método es más conveniente para las mediciones y se debe de utilizar solamente si la corriente nominal de los devanados del transformador es mayor a 1 Amper. Esta prueba se realiza con corriente continua y las lecturas de corrientes y voltajes se realizan simultáneamente, la resistencia se calcula aplicando la ley de ohm ($V=RI$) con las lecturas obtenidas.

La corriente en el devanado que está bajo prueba debe ser prácticamente constante antes de poner otro devanado en corto, ya que de otra manera se pueden obtener valores erróneos de resistencia. En la medición de resistencia óhmica por el método de caída de potencial deben de tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- A.- La corriente utilizada en la medición no debe de exceder el 15% de la corriente nominal del devanado bajo prueba, ya que valores mayores pueden causar imprecisión debido al calentamiento del devanado.
- B.- Se deberán tomar cuando menos 4 mediciones de corriente y voltaje, y el promedio de las resistencias calculadas deberá considerarse como la resistencia óhmica del devanado
- C.- Las terminales del voltímetro, deberán ser independientes de las terminales del amperímetro y deberán conectarse lo más cerca como sea posible de las terminales del devanado a medir
- D.- Las lecturas de los instrumentos deberán tomarse hasta que se hayan estabilizado

Método de los puentes Kelvin y Wheatstone

Estos métodos se prefieren por su exactitud y conveniencia, en el cual se aplica el principio de comparación de una resistencia conocida con la resistencia por medir.

Para obtener buenos resultados los puentes deberán estar en buenas condiciones, los contactos deberán estar limpios, las clavijas del aparato deben ser limpiadas por algún líquido solvente para poder obtener un buen contacto y se deberá revisar que las condiciones de las baterías sean aceptables.

Para valores de resistencias que estén dentro del rango de 1 a 1×10^9 ohms se utiliza el puente wheatstone y para rangos de 1 a 1×10^{-5} ohms se usa el puente Kelvin [18].

Después de haber realizado las mediciones de resistencia óhmica en los devanados es necesario eliminar los errores que se pudieran haber introducido a través de los cables empleados o la de los contactos.

La ecuación para determinar el valor de la resistencia medida R_x usando el puente de Wheatstone es:

$$R_{x \text{ ó } 4} = \frac{R_2 * R_3}{R_1}$$

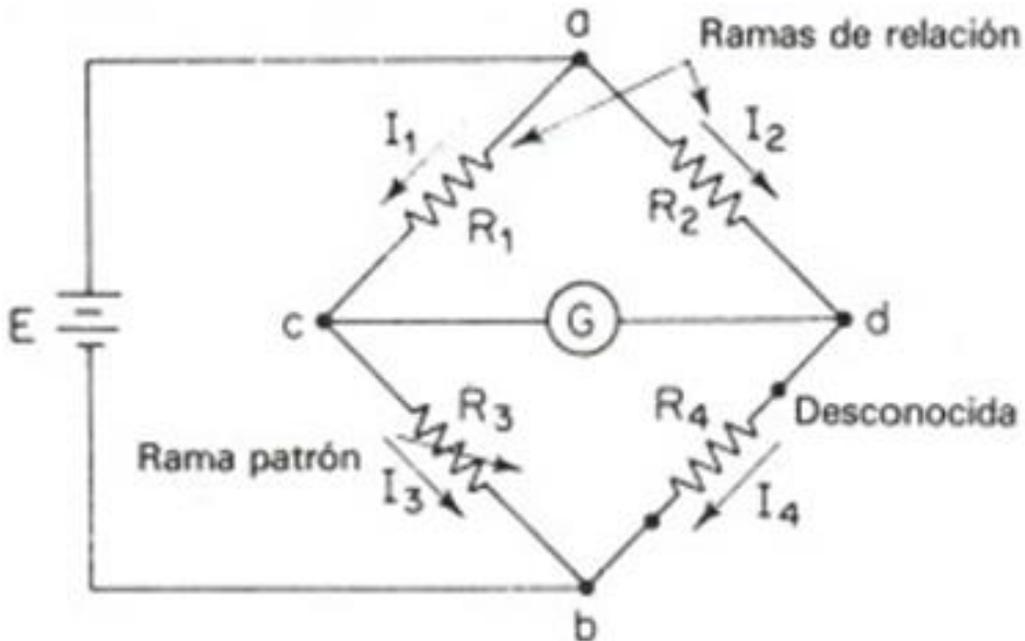


Figura 4.22 Diagrama Del Puente Wheatstone

Donde la resistencia R_2 y R_1 se conocen como "rama de relación" y R_3 se denomina "Rama patrón".

La ecuación para determinar el valor de la resistencia medida R_x usando el puente de Kelvin es:

$$R_x = \frac{R_1 * R_3}{R_2}$$

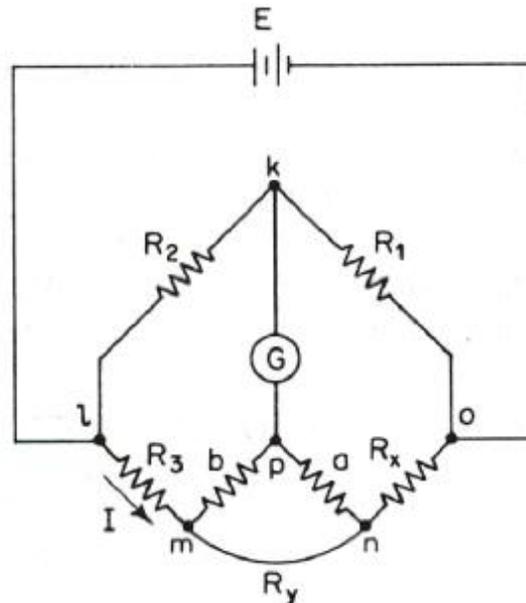


Figura 4.23 Diagrama Del Puente Kelvin

Determinación de la temperatura

Debido a que la resistencia de los conductores varía con la temperatura es necesario que al medir la resistencia se determine la temperatura a la que se encuentra el devando por medir. La temperatura del devando debe ser determinada tan cercana al momento de la medición de la resistencia.

Para el caso de los transformadores tipo seco: La temperatura debe ser medida por varios termómetros insertados entre los devaneos teniendo cuidado que el termómetro se encuentre lo más cerca al conductor como sea posible.

Para el caso de los transformadores sumergidos en líquido aislante: La temperatura de los devanados será la misma que la del líquido aislante.

Se debe tener cuidado que en el transformador no se exista o circule corriente alguna en él por un periodo no menor a 8 horas antes de tomar la temperatura en frío.

La resistencia de los devanados es generalmente referida a la temperatura de operación a plena carga por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{t1} = R_{t2} \left(\frac{T_a + T_1}{T_a + T_2} \right)$$

Donde:

R_{t1} es la resistencia referida a la temperatura T_1

R_{t2} es la resistencia referida a la temperatura T_2

T_2 es la temperatura del devando en el momento de la medición de la resistencia R_{t2} , en °C

T_a es la constante de resistencia cero, para cobre=234.5 y para aluminio=225

T_1 es la temperatura de operación en °C que es determinada por la ecuación:

T_1 =elevación total de temperatura + 20 °C

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS AISLAMIENTOS

Esta prueba se realiza para conocer el estado de los aislamientos de los devanados de un transformador permitiendo identificar cambios en sus propiedades dieléctricas a los efectos de contaminación o envejecimiento, basándose en la operación de un capacitor, en donde el conductor energizado se considera como una placa y la carcasa o tierra del equipo se considera como la otra placa del capacitor [36].

“El factor de potencia de un aislamiento es una cantidad adimensional normalmente expresada en porcentaje, que se obtiene de la resultante formada por la corriente de carga y la corriente de pérdida que toma el aislamiento al aplicarle una tensión determinada, en sí, una característica propia del aislamiento al ser sometido a campos eléctricos”[37].

El objeto bajo prueba puede representarse como un capacitor en paralelo con una resistencia.

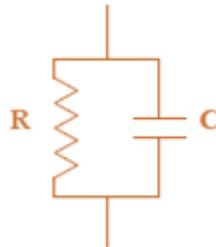


Figura 4.24 Representación del objeto bajo prueba

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).

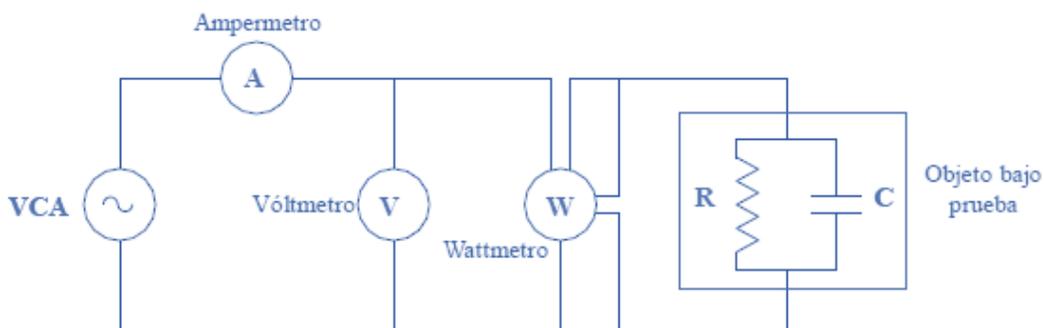


Figura 4.25 Diagrama de la prueba de Factor de Potencia

El equipo de prueba mide los watts directamente y los VA se calcula de la multiplicación de voltaje medido por la corriente medidos, aunque no es necesario ya que muchos de los equipos de prueba ya dan directamente el resultado.

Para determinar el factor de potencia debemos recordar la teoría del triángulo de potencias:

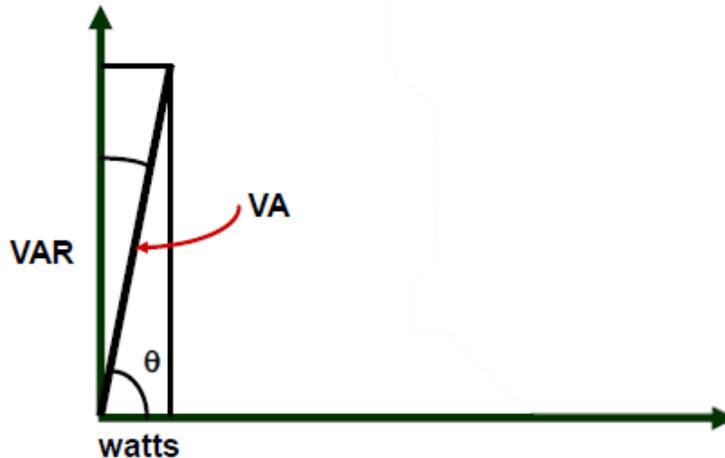


Figura 4.26 Triángulo de potencias

Donde:

El eje X representa los Watts que se disipan en el aislamiento y corresponde a la parte resistiva del objeto bajo prueba

El eje Y representa los VA reactivos que consume el aislamiento y corresponde a la parte capacitiva del objeto bajo prueba.

La suma vectorial de los dos anteriores corresponde a la potencia activa (VA).

Por definición el Factor de potencia es el coseno del ángulo que forman los Watts y los VA. A este ángulo se le conoce como ángulo θ .

$$F. P. = \cos \theta = \frac{\text{Cateto Adyacente}}{\text{Hipotenusa}} = \frac{\text{Watts}}{\text{VA}}$$

En resumen, la prueba de factor de potencia lo que hace es medir los Watts y los VA y calcular su cociente, debido a que las pérdidas en el aislamiento (Watts) son mucho menores en comparación a la energía aplicada (VA), es común expresar los valores en %, para hacerlo se recorre el punto decimal dos lugares evitando así usar muchos ceros. Por ejemplo: un valor de 0.002 es igual a 2%, o lo que es igual a multiplicar por 100 el valor del cociente del factor de potencia como se muestra en la fórmula para obtener el factor de potencia la cual se muestra más adelante.

Además, los valores medidos son tan pequeños que usualmente se expresan en miliwatts (mW) y milivoltamperes (mVA).

Para realizar la medición del factor de potencia además del medidor de F.P. se necesita un termómetro ya que el factor de potencia varía con la temperatura y por esta razón es necesario convertir los valores medidos a una temperatura de referencia de 20°C.

Por otra parte el factor de potencia varia con el voltaje aplicado por esto es recomendable utilizar siempre el mismo nivel de tensión de prueba con el fin de comparar lecturas en diferentes tiempos y entre diferentes equipos de prueba, se debe de utilizar el voltaje más alto disponible tomando en cuenta no exceder el voltaje de operación del equipo, normalmente se prefiere utilizar tensiones de 2.5 kV.

Métodos de prueba con el equipo para medición de factor de potencia.

Espécimen aterrizado: GST (Ground Specimen Test). Cuando el selector LV se coloca en posición GROUND y el cable LV es conectado a tierra. De esta forma el cable de baja tensión LV puede ser utilizado para aterrizar al espécimen bajo prueba, es también posible aterrizar directamente a tierra utilizando la terminal de tierra del cable de alta tensión HV.

Espécimen guardado: GST_GUARD. Cuando el selector LV se coloca en posición GUARD, el cable LV es conectado a guarda del equipo de prueba.

Espécimen no aterrizado: UST (Ungrounded Specimen Test). Cuando el control LV se coloca en posición UST solamente la medición de mVA Y mW se efectúa a través del cable LV. Se puede observar como el punto de conexión de guarda y tierra son comunes, de este modo la medición de mVA y mW no es realizada a través de tierra.

Nota:

Con las terminales aterrizadas GST: lo que no se quiere medir se conecta a guarda.

Con las terminales no aterrizadas UST: lo que no se quiere medir se conecta a tierra.

La prueba de factor de potencia en transformadores debe realizarse con el transformador desenergizado y completamente aislado, todas las terminales del transformador deben conectarse juntas incluyendo el neutro con la finalidad de eliminar cualquier efecto de inductancia en las mediciones de aislamiento [37].

Tabla 4.5 Prueba de Factor De Potencia

Prueba	Conexiones de prueba			Mide
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTROR	
1	H	X	Ground	A.T. vs B.T. + G
2	H	X	Guard	A.T. vs G
3	X	H	Ground	B.T. vs A.T. + G
4	X	H	Guard	B.T. vs G
5	H	X	UST	A.T. vs B.T.

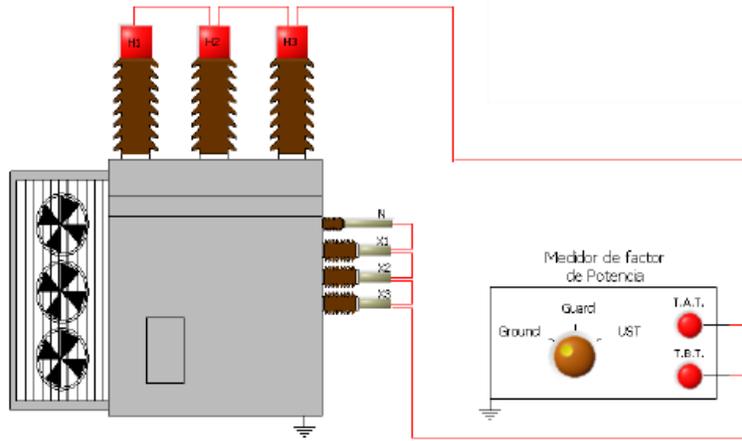


Figura 4.27 Alta Tensión vs Baja Tensión y Tierra

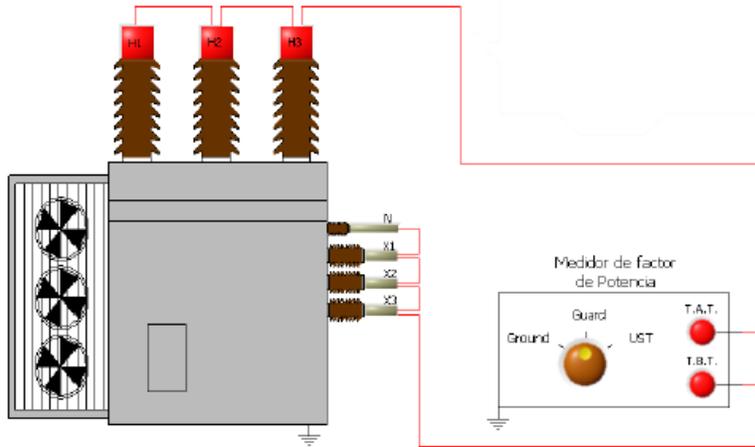


Figura 4.28 Alta Tensión vs Tierra

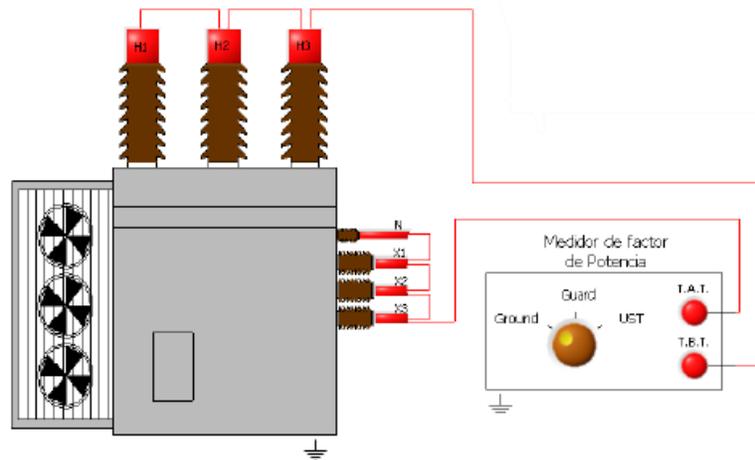


Figura 4.29 Baja Tensión vs Alta Tensión y Tierra

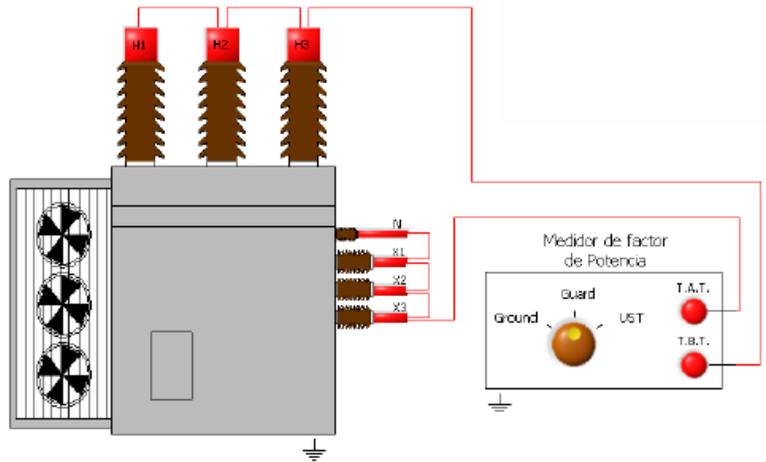


Figura 4.30 Baja Tensión vs Tierra

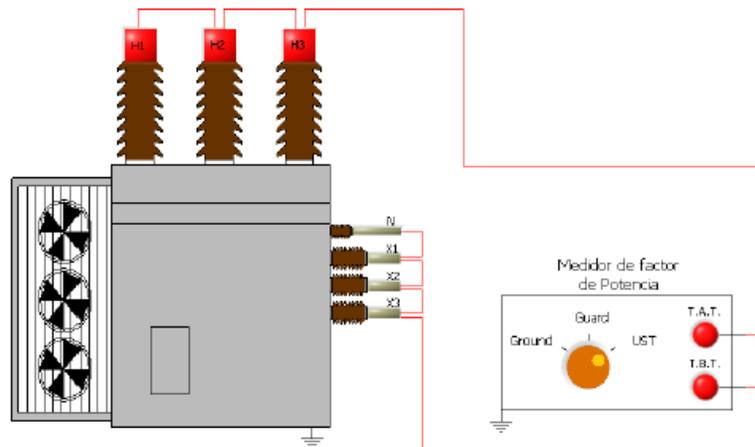


Figura 4.31 Alta Tensión vs Baja Tensión

Una vez realizadas las pruebas podemos obtener el factor de potencia con los valores medidos de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ Del FP} = \frac{\text{mW}}{\text{mVA}} * 100$$

Tabla 4.6 Tabla de factor de corrección por temperatura a °C

Temperatura Del Transformador °C	Factor De Corrección	Temperatura Del Transformador °C	Factor De Corrección
60	0.41	28	0.84
58	0.43	26	0.88
56	0.45	24	0.92
54	0.47	22	0.96
52	0.49	20	1.00
50	0.51	18	1.05
48	0.54	16	1.09
46	0.56	14	1.14
44	0.59	12	1.19
42	0.62	10	1.25
40	0.65	8	1.31
38	0.67	6	1.37
36	0.70	4	1.44
34	0.73	2	1.50
32	0.76	0	1.57
30	0.80		

Para poder analizar los datos obtenidos de la prueba de factor de potencia a los aislamientos de los transformados es necesario convertir los valores medidos a una referencia de 20°C con el factor de corrección correspondiente a la temperatura a la que se realizó la prueba utilizando los datos de la tabla anterior.

$$FP_{20^{\circ}C} = FP_{medido} * \text{Valor De Factor De Correccion}$$

El valor de factor de potencia representa el grado de humedad o deterioro del aislamiento. En la medida en que el valor del factor de potencia es menor se considera que se encuentra en las mejores condiciones, es decir, está más seco y menos contaminado. Se recomienda el que valor del factor de potencia en los transformadores sea menor a 0.5% a 20°C.

Recomendada Factor / Factor De Potencia Disipación a 20 °C lleno de líquido, Transformadores, Reguladores y Reactores [35].

Tabla 4.7 Aceptación: Especificación De Prueba Tabla 100.3

	Aceite Mineral Máxima	Fluid Ester Natural
Transformadores De Potencia, Reguladores y Reactores	0.5%	1.0%

CAPITULO 5

PRUEBAS A MAQUINAS DINÁMICAS (MOTORES)

PRUEBAS ESTÁTICAS

Las fallas estáticas o eléctricas por lo general son ocasionadas por el deterioro en los aislamientos de los devanados causados por: el calentamiento excesivo debido a sobrecargas prolongadas, cuando el motor opera sin una fase, desbalance de voltajes, polaridad incorrecta. Estos problemas pueden ser causados por conexiones erróneas en los equipos, mala calibración y selección inadecuada de los equipos de protección.

Prueba de Resistencia de Aislamiento (Megger)

Dicha prueba mide la resistencia de los aislamientos eléctricos en los conductores de cobre y el núcleo del estator. Esta prueba consiste básicamente en aplicar voltajes de corriente directa a los devanados del motor.

La resistencia de aislamiento de los bobinados de una maquina rotatoria está en función del tipo y condición de los aislamientos, así como de la técnica de aplicación. En general, la resistencia de aislamiento es directamente proporcional al espesor del aislamiento e inversamente proporcional al área superficial del conductor [25].

Antes de realizarse alguna prueba, el bobinado debe de ser descargado, verificando que no exista algún voltaje de retorno. Después de realizar alguna prueba el bobinado debe de ser descargado nuevamente a través de una resistencia para limitar la corriente instantánea a 1A, además se recomienda que el tiempo de descarga sea igual a cuatro veces el tiempo de la prueba (el tiempo en que se aplicó voltaje al bobinado).

Por definición, la resistencia de aislamiento es el cociente entre el voltaje directo aplicado dividido entre la corriente total resultante en un tiempo dado. La corriente total resultante I_T es la suma de cuatro diferentes corrientes:

1. Corriente de fuga superficial I_L
2. Corriente capacitiva geométrica I_C
3. Corriente conductiva I_G
4. Corriente de absorción I_A

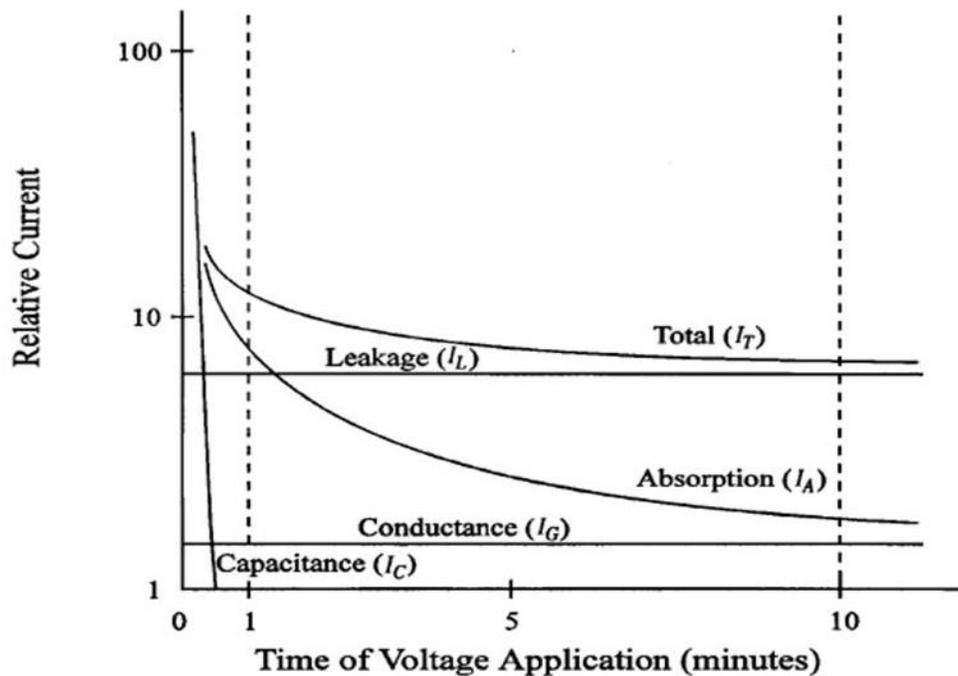


Figura 5.1 Componentes De La Corriente De Prueba

La corriente capacitiva geométrica I_C usualmente no afecta las medidas, debido a que desaparece durante la lectura de 1 minuto.

La corriente de absorción I_A disminuye en relación decreciente. La corriente de absorción tiene dos componentes:

1. Componente debido a la polarización de los materiales impregnantes que tienden a cambiar de orientación en presencia de un campo eléctrico directo, por lo que toma unos minutos en que la energía de polarización se reduzca casi a cero.
2. El segundo componente debido a la derivada gradual de los electrones e iones en los materiales orgánicos, este componente se determina entre los 30 segundos y pocos minutos.

La corriente de absorción I_G en sistemas de aislamiento es cero a menos que estos estén saturados de humedad.

La corriente de fuga superficial I_L es constante todo el tiempo.

La prueba de resistencia de aislamiento, es una prueba de voltaje directo, por lo que debe de ser restringida a un valor apropiado al rango del voltaje del bobinado y las condiciones básicas de aislamiento. Si el voltaje de prueba es muy alto puede forzar el aislamiento lo que ocasionaría una falla.

Tabla 5.1 Guía De Voltaje CD Para Ser Aplicados Durante La Prueba De Resistencia De Aislamiento

Voltaje nominal del bobinado (#)	Voltaje Directo de prueba
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
>12000	5000-10000

- ✓ Para maquinas trifásicas, el voltaje nominal línea a línea
- ✓ Para maquinas monofásicas, el voltaje línea a tierra
- ✓ Para máquinas de CD o bobinados de campo, el voltaje directo nominal

Índice de polarización

Es la variación de la resistencia de aislamiento con el tiempo, los valores de resistencia de aislamiento usualmente aumentan rápidamente cuando se aplica voltaje y luego se aproximan a un valor constante mientras transcurre el tiempo.

El índice de polarización es definido como la relación del valor de resistencia en el minuto 10 respecto al valor de resistencia en el minuto 1.

$$I_p = \frac{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el minuto 10}}{\text{Valor de resistencia de aislamiento en el minuto 1}}$$

El índice de polarización es un indicativo de la pendiente de la curva característica y puede ser utilizada para evaluar la condición del aislamiento.

Los valores mínimos de índice de polarización en los cuales se recomienda que una bobina entre en operación según el tipo de aislamiento se enmarcan en la siguiente tabla:

Tabla 5.2 Valores Mínimos De Índice De Polarización Para Todos Los Componentes De Aislamiento Clase IEC 60085-01: 1984

Clase Térmica	I_p Mínimo
Clase A	1.5
Clase B	2
Clase F	2
Clase H	2

Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento después del minuto 1 se determina con la siguiente tabla:

Tabla 5.3 Resistencia Mínima Recomendada A 40 °C (Todos Los Valores En Megaohms)

Resistencia de aislamiento mínima IR_{1min}	Muestra de ensayo
R=kV + 1	Muchos de los bobinados hechos antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos debajo
R=100	Armadura CD y bobinas AC construidas después de 1970
R=5	Maquinas debajo de 1kV con bobinas de estator preformadas o bobinadas

La resistencia de aislamiento verdadera del bobinado para ser usada en comparación con el valor de resistencia en el minuto 1, es la resistencia observada y corregida a 40 °C, obtenida al aplicar un voltaje directo y contante por un minuto.

Prueba de Hi-Pot (Alto Potencial)

La prueba Hi-Pot o de alto potencial, prueba la rigidez dieléctrica en los materiales aislantes, es decir, mide el gradiente del máximo potencial que soporta el material aislante antes de producirse la rotura. Esta prueba generalmente se utiliza en pruebas de fábrica o de control de calidad.

Esta prueba incrementa el voltaje en las espiras del motor sin llegar a romper el aislamiento, ya que un buen aislamiento tiene la capacidad de soportar un valor de voltaje más grande que su voltaje de operación. Es muy importante que el devanado se encuentre seco y limpio antes de realizar una prueba de Hi-Pot, para tener un mejor resultado en esta prueba se puede realizar una prueba de resistencia de aislamiento, IP o de DAR, esto haría que se tenga datos más fiables del estado en que se encuentra el aislamiento.

Cuando la tensión aumenta en las espiras la corriente lo hará de igual forma, sin embargo antes de la ruptura del aislamiento la corriente aumenta más rápido por lo que la clave para la prueba de Hi-Pot es la búsqueda de la corriente que está creciendo más rápido que el aumento en la tensión que se aplica al bobinado.

Esta prueba evalúa el aislamiento entre los conductores y la pared de la ranura del núcleo estatorica por lo que no se puede utilizar para detectar fallas o corto entre espiras.

Para aplicar la prueba de Hi-Pot es necesario seleccionar la tensión de prueba máxima según lo siguiente [29]:

- Pruebas de aceptación en máquinas nuevas y rebobinados, ya sea en fábrica, taller o en campo. Para pruebas de aceptación, la tensión de prueba en CD es de $1.7 \text{ veces } 2E + 1000V$ (E es la tensión línea-línea)
- Pruebas de mantenimiento en máquinas en servicio, la prueba se realiza con CD de 65-75% de $1.7 \text{ veces } 2E + 1000V$

La tensión de CD se aplica a las tres fases del devanado, aumentando lentamente a un pre-establecido nivel de escalón de tensión, el cual se mantiene durante cierto tiempo antes de volver aumentar. A continuación se mide la corriente final del escalón, después se eleva al siguiente escalón de tensión y se mantiene durante un tiempo, esto continúa hasta que el bobinado alcanza la tensión de prueba máxima.

Este proceso se hace para asegurarse que las corrientes de carga capacitiva y de polarización se eliminen dejando solo permanecer el indicativo verdadero de la condición del aislamiento.

Si en cualquier escalón la corriente se eleva considerablemente sobrepasando un rango de μA , hay una indicación de debilidades de aislamiento por lo que la prueba debe ser detenida. Por el contrario si la corriente aumenta de manera controlada, se dice que el aislamiento de la maquina se encuentra en buen estado.

La norma IEEE 95 sugiere las siguientes formas para aumentar la tensión de prueba:

Prueba de paso de voltaje de tiempo uniformes:

Este método implica la aplicación de la tensión en una serie de pasos uniformes, en intervalos de tiempo regulares. La lectura de corriente se toma al final de cada intervalo.

El paso de voltaje inicial se utiliza para medir el IP y establecer que el devanado es adecuado para la prueba de Hi-Pot. Los pasos de voltaje posteriores no deben superar el 3% del nivel de prueba final y debe mantenerse durante un minuto antes de continuar con el siguiente paso. El ajuste de cada paso debe hacerse dentro de los primeros 10 segundos [30].

Prueba de paso de voltaje de tiempo graduado:

La idea básica de esta prueba es ajustar el voltaje con un esquema de tiempo decreciente por lo que el componente de absorción de la corriente no se considera.

El paso inicial de voltaje es de 30% o menos del voltaje de prueba máximo, se aplica y se mantiene constante durante 10 minutos. Las mediciones de corriente se registran a los 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 y 2.0 minutos, y cada minuto a partir de entonces hasta 10 minutos [30]. La prueba continúa a través de los pasos sucesivos de voltaje hasta el nivel de voltaje máximo deseado o hasta que la corriente registrada se desvía de la ruptura lineal o se sospecha de un colapso.

Prueba de voltaje en rampa:

La principal ventaja de la prueba de rampa de tensión sobre los otros métodos es que da un mejor control y aviso de fallo inminente, para evitar daños en el aislamiento.

Este método aplica un aumento lento y continuo del voltaje aplicado (típicamente 1kV por minuto) es menos propenso a causar daños impredecibles en el aislamiento [30]. La aplicación de un voltaje en rampa en lugar de pasos discretos, hace un mejor manejo de las componentes capacitivas y de absorción.

Cualquier variación en el aumento del voltaje aplicado causara un cambio no lineal en la corriente y ocasionara la reducción de la precisión de los resultados, por lo que es esencial tener una alimentación estable y bien regulada.

Prueba de Impulso o Surge Test

Proporciona información acerca del aislamiento entre espiras, y la capacidad del aislamiento a masa para soportar transitorios de frente de onda abrupto.

Los motores están sometidos a transitorios de alto voltaje, estos impulsos pueden dañar el aislamiento del motor y provocar una falla, las principales causas de estos transitorios se deben a:

- Corrientes de interrupción
- Rayos en el sistema eléctrico
- Transitorios de inversores
- Impulsos de línea
- Sobre tensiones de maniobra

Mientras que la prueba de Megger, IP y Hi-Pot son utilizadas para detectar debilidades de la pared de aislamiento a tierra, la prueba de impulso es usada para detectar debilidades de aislamiento entre espiras [32].

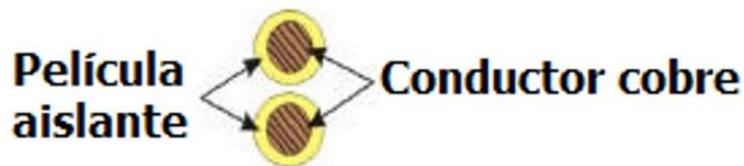


Figura 5.2 Conductor De Cobre Con Película Aislante

Con la prueba de impulso se puede determinar si se encuentran produciendo arcos eléctricos entre espiras, fase a fase o bobina a bobina debido a la falla en el aislamiento. Generalmente esta prueba se usa en el control de calidad de devanados fabricados o reparados.



Figura 5.3 Equipo Para La Prueba De Impulso

Los niveles de tensión de ensayo para bobinas nuevas espira-espira no debe ser menor a 350V de pico que es el voltaje mínimo de chispa para un campo uniforme en el aire (Ley de Paschen), aunque en la práctica se utilizan niveles de voltaje muy superiores a este valor.

En pruebas de impulso, se realiza aplicando un impulso de tensión relativamente alto a la bobina, donde los pulsos reflejados resultantes son la respuesta de la inductancia de la bobina. El defecto se detecta porque se produce un cambio en la impedancia del circuito y por consiguiente la frecuencia de resonancia se ve alterada.

Al utilizar la prueba de impulso en una bobina de un motor, esta da una respuesta de señal sinusoidal amortiguada, la cual es única para cada bobina y depende principalmente de su inductancia [33]. La frecuencia de respuesta se puede determinar por la expresión:

$$f = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}}$$

Donde:

- f es la frecuencia en Hz
- L es la inductancia de la bobina en H
- C es la capacitancia entre el aislamiento y masa en F

Una respuesta de impulso del sistema se puede observar en los periodos de tiempo entre pulsos, con un patrón de onda sinusoidal amortiguada redondeada o con depresiones:

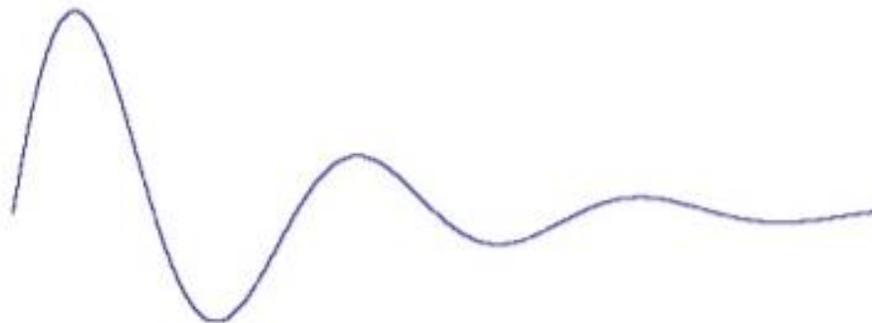


Figura 5.4 Onda Sinusoidal Normal A La Respuesta Al Impulso

De acuerdo a la norma IEEE 522-2004 como prueba de aceptación se establece un tiempo de subida específico de 0.1µs a 0.2µs y una magnitud máxima de 3.5 por unidad, donde 1 por unidad es la tensión de pico nominal de la fase [31].

Para la prueba de mantenimiento se mantiene el mismo tiempo de subida pero se reduce el pico al 75% por unidad lo que equivaldría a 2.6 por unidad [34]. Si se produce una perforación durante la prueba será necesaria una reparación.

En la siguiente tabla se muestra los valores de prueba para la prueba de impulso [31]:

Tabla 5.4 Valores De Tensión Para La Prueba De Impulso

Tensión de placa de la máquina de línea y en p.u.		IEEE 522-2004		EASA AR100
		Nuevo	En Servicio	En Servicio
V_L	$V_{p.u.}$	$3.5xV_{p.u.}$	75% de Nuevo	$2xV_{p.u.} + 1000$
480 V	392 p.u.	1372 V	1029 V	1960 V
575 V	469 p.u.	1643 V	1232 V	2150 V
4160 V	3397 p.u.	11888V	8916 V	9320 V

Si existe una falla en el motor el patrón de ondas en la pantalla colapsa en amplitud y ocurre un cambio hacia la izquierda, significativo en la frecuencia por la disminución de inducción.

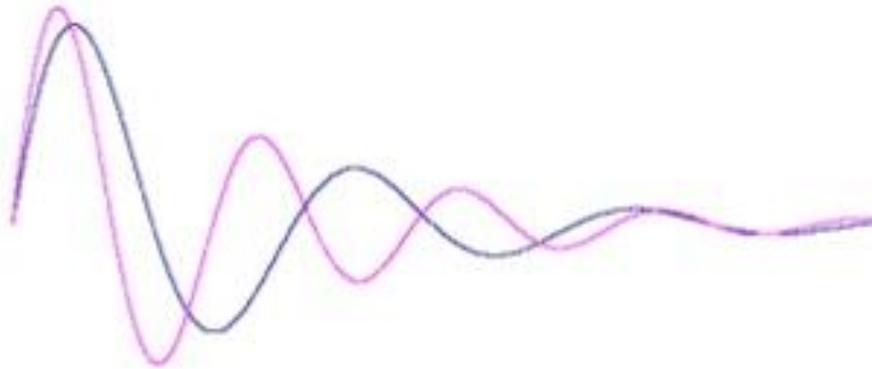


Figura 5.5 Detección De Falla En La Prueba De Impulso

Prueba estándar de C.A.

La prueba estándar de corriente alterna, determina la condición general de un motor, se realiza en un tiempo de 3.5 minutos y miden los siguientes parámetros [38]:

- Resistencia a tierra (RTG)
- Capacitancia a tierra (CTG)
- Resistencia fase a fase
- Inductancia fase a fase

A	
Test Date	8/4/2008
Test Time	10:33:08 AM
Test Location	Junction Box
User	Administrator
	Baseline
Frequency	1200
Charge Time	600
Voltage	500
Motor Temp	20
Measured Mohm	39930.00
Corrected Mohm	10000.00
pF Ph 1 to Ground	38250
ohm Ph 1 to 2	0.08100
ohm Ph 1 to 3	0.08100
ohm Ph 2 to 3	0.08100
mH Ph 1 to 2	2.380
mH Ph 1 to 3	2.330
mH Ph 2 to 3	2.340
Average Inductance	2.350
% Res. Imbalance	0.00
% Ind. Imbalance	1.28

Figura 5.6 Prueba Estándar de C.A. [39]

Donde:

El valor de resistencia tierra (RTG) indica la limpieza y el estado del aislamiento [38]. Resistencia tierra indica, la condición del aislamiento con respecto a tierra [40]. Cuando el aislamiento envejece se vuelve frágil y desarrolla grietas y huecos debido a la temperatura de operación lo que hace que se expanda y se contraiga al momento de calentarse y enfriarse. Esto hace que la suciedad y humedad penetren al conductor lo que ocasiona que se produzca una falla a tierra. Un valor bajo de resistencia tierra (RTG) indica que el aislamiento requiere de mantenimiento como limpieza y calentamiento para la eliminación de suciedad y humedad.

- Indica la limpieza y la salud del aislamiento.
- Una baja resistencia de aislamiento indica que el motor requiere ser limpiado.
- Si no se limpia el motor el aislamiento puede fallar.
- IEEE establece que el mínimo valor de aislamiento R_m , corregido a 40 °C es $1M\Omega$ por 1000V, más $1M\Omega$, de acuerdo con las Tablas 5.1 y 5.3 mencionada en la prueba de resistencia de aislamiento.

$$R_m = kV + 1$$

Ejemplos: 480V $R_m = 1.48 M\Omega$ o 4160V $R_m = 5.16 M\Omega$

- La prueba debe ser por un tiempo de 30 segundos.
- Un incremento >5% de línea base es para **Precaución**.
- Un incremento >10% de línea base es para **Alarma**.

Capacitancia a tierra (CTG) este valor refleja la limpieza de los devanados y cables, al haber material en la superficie de los devanados y cables la capacitancia de un motor aumenta debido a la suciedad y contaminación lo que ocasiona que el motor no pueda disipar el calor generado resultando en el envejecimiento del aislante [38]. Capacitancia a tierra, indica una condición adicional de aislamiento [40].

- Esta prueba indica la limpieza de los devanados y cables.
- Cuando la capacitancia incrementa la resistencia disminuye.
- Una alta capacitancia indica que el motor necesita ser limpiado y causa incremento de la temperatura.
- Un incremento del >100% de línea base es para **Precaución**.
- Un incremento del >200% de línea base es para **Alarma**.

Resistencia de fase a fase, un potencial de corriente continua se aplica a cada una de las combinaciones de las fases y se mide la resistencia del circuito posteriormente los tres valores se insertan en una ecuación para determinar el porcentaje de desbalance de resistencia con respecto a cada uno. Un alto desbalance de resistencia indica conexiones de alta resistencia en el circuito del motor, un desbalance de resistencia causa desbalances de tensión y corriente, dando como resultado alta temperatura y la reducción de la vida útil del motor [38]. Resistencia de fase a fase, indica los puntos calientes con conexiones de alta resistencia [40].

- Pequeños desbalances de resistencia producen altos desbalances de voltaje.
- Un desbalance de 1% en voltaje resulta en 7% de desbalance de corriente.
- El 3.5% de voltaje de desbalance, resulta en 25% en un incremento de la temperatura del devanado.

- El nivel de **Precaución** está en un $\pm 5\%$ de cambio de la línea base.
- Un nivel de **Alarma** está en un $\pm 10\%$ de cambio de la línea base.

Inductancia fase a fase es la característica medida en henrios de un circuito o elemento que se opone a un cambio del flujo de corriente [38]. Inductancia fase a fase, indica en el estator defectos de excentricidad en rotor [40]. Para este parámetro se aplica una señal de baja tensión y alta frecuencia a cada una de las combinaciones de las fases, se mide la impedancia del circuito y se calcula la inductancia posteriormente los tres valores se insertan en una ecuación para determinar el porcentaje de desbalance de la inductancia con respecto a cada uno. Los desbalances inductivos pueden indicar defectos de cables, problema de excentricidad, fugas y barras o anillos rotos.

- Indica la condición de las bobinas del estator.
- Detecta corrientes de fuga fase a fase y bobina a bobina.
- Detecta pérdidas de barras en el rotor.
- El nivel de **Precaución** se tiene en un $\pm 5\%$ de variación sobre la línea base.

El nivel de **Alarma** se tiene en un $\pm 10\%$ de variación sobre la línea base.

PRUEBAS DINÁMICAS

Las fallas dinámicas o mecánicas originan tres peculiaridades en los motores las cuales se manifiestan mediante la vibración excesiva, aumento en la temperatura de trabajo y la presencia de ruido no característico de su funcionamiento normal. Dichas peculiaridades son originadas por una mala alineación del rotor, rozamiento, mala alineación del motor y la carga acoplada a él, falta de lubricante en los cojinetes, etc.

Evaluación del Rotor y del Entrehierro (AirGap) por medio de análisis espectral de la corriente

El entrehierro es el espacio físico entre el rotor y el estator, de manera que es posible detectar condiciones de excentricidad estática y dinámica cuando el espacio entre el rotor y el estator no es uniforme.

Excentricidad

Se conoce como excentricidad a la falla mecánica del rotor, y se produce cuando el rotor no está centrado dentro del estator, produciendo un entrehierro no uniforme entre ellos (AirGap). Si el AirGap no está distribuido en los 360° del motor, se producirán campos magnéticos desiguales.

Tipos de excentricidades:

Excentricidad estática: En la cual el rotor esta descentrado pero fijo en un lugar. Generalmente este tipo de problemas es causado cuando los alojamientos de los roles están desalineados, por un inadecuado alineamiento o por que la carcasa del motor fue torcida cuando se instaló en su base [27].

Excentricidad dinámica: lo que ocurre es que el punto de entrehierro mínimo no permanece fijo en una posición en el espacio si no que gira solidario con el rotor. La causa de este comportamiento puede ser la forma oval del rotor, o el hecho de que el centro de giro de este último no sea su centro geométrico de rotación [27].

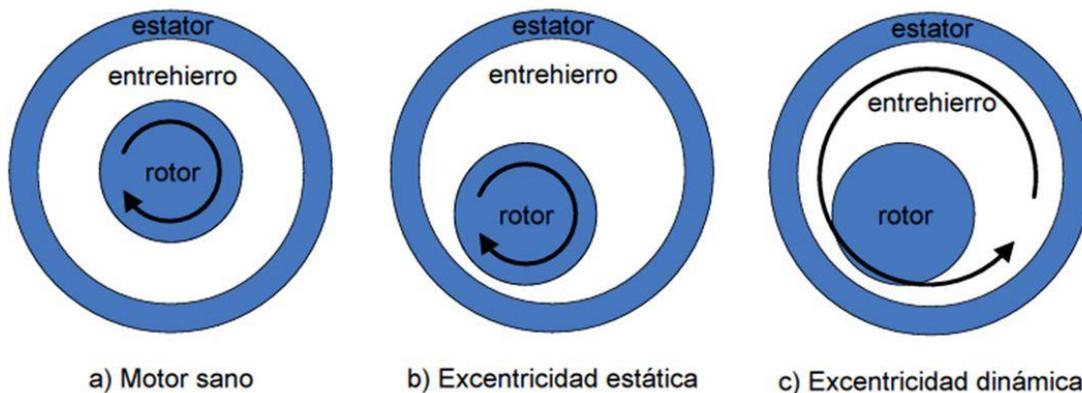


Figura 5.7 Tipos De Excentricidades

Posibles causas de excentricidad del entrehierro:

- Inapropiado montaje
- Tensión inapropiada por bandas de poleas de motor
- Rodamientos desgastados
- Eje flexionado
- Desgastes mecánicos, etc.

Debido a esta excentricidad existe una variación del flujo magnético creando desequilibrio en el flujo de corriente, los cuales pueden ser identificados en el espectro de corriente [26].

Análisis espectral de corriente del estator

La corriente de alimentación de la maquina eléctrica es una de las magnitudes que contiene más información sobre el estado de la misma.

La técnica de análisis de corrientes se basa en que cualquier agente que afecte el campo magnético en el entrehierro de un motor se vea reflejado en componentes de frecuencia características en el espectro de las corrientes del estator.

De tal forma que una falla en las barras del rotor o en la pista de un rodamiento causara cambios en la densidad del flujo magnético a través del entrehierro. Esto a su vez causara la aparición de componentes de frecuencia característica en el espectro de corriente del estator. Estas componentes de frecuencia están relacionadas con posibles defectos por modelos matemáticos basados en teoría general de máquinas eléctricas y dependen básicamente de la frecuencia de suministro de corriente, la velocidad del motor y su configuración (dimensión del rodamiento, numero de bolas, numero de polos) [28].

La gran ventaja del análisis de espectro de corrientes para motores es que se realiza con el motor trifásico en marcha tomando la lectura de una de las fases. Esta es muy similar al análisis de vibración ya que ambas usan un espectro, o una gráfica de amplitud VS frecuencia, obtenida del procesamiento de la señal valiéndose de la transformada de Fourier.

En muchas de las veces el método de espectro de corriente se ha utilizado para diagnosticar fallas en las barras retorcidas de un motor de jaula de ardilla cuya frecuencia de fallo se describe por:

$$f_{pb} = [m(\frac{1-s}{p}) \pm s]$$

Donde:

- m=1, 2, 3, 4, 5, etc. es el número de armónico
- p es el número de polos
- s es el deslizamiento que posee el motor

Aunque los métodos clásicos se centran en la obtención de armónicos alrededor de la frecuencia de red:

$$f_{pb} = f_{red}(1 + 2s)$$

De igual forma resulta útil detectar si existen espiras cortocircuitadas, por la presencia de armónicos basados en las siguientes ecuaciones para baja y alta frecuencia respectivamente:

$$f_{cort} = f_{red}(k \pm m * \frac{1-s}{p})$$

$$f_{cort} = f_{red}[1 \pm m * Z_0 * \frac{1-s}{p}]$$

Donde:

- k es una constante que puede adquirir valores impares 1, 3, 5
- Z_0 es el número de ranuras o barras del rotor

Corriente/Tiempo Arranque

El arranque es el proceso de puesta en marcha de un motor que lo lleva de una velocidad nula a la del punto de funcionamiento estable que corresponda [41]. La corriente más alta consumida por el motor ocurre normalmente durante el arranque. El tiempo de arranque es aquel que transcurre desde que aparece la corriente de arranque in-rush y el punto donde el motor alcanza el estado estable [38].

Los esfuerzos eléctricos y mecánicos más severos que se aplican a un motor se producen durante el arranque, ya que durante este lapso la corriente es hasta 7 veces la corriente nominal del motor. La prueba de corriente/tiempo de arranque puede identificar los defectos o anomalías que son evidentes bajo estas condiciones de arranque y no durante la operación normal del motor.

La duración del arranque es la diferencia del tiempo entre el punto in-rush y el tiempo en que el motor alcanza el estado estable. Bajo las mismas condiciones de funcionamiento, la amplitud de la corriente in-rush no debe cambiar de una prueba a la siguiente.

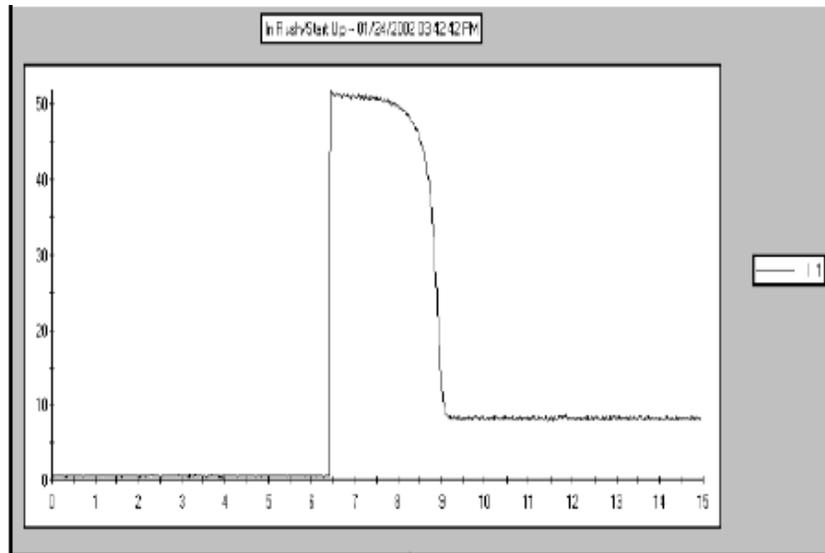


Figura 5.8 Grafica de corriente de arranque de un motor en buenas condiciones

Los cambios de amplitud de la corriente de arranque son causados por los cambios en las condiciones eléctricas, el rotor o el estado del motor, la comparación de la tendencia de la corriente/tiempo de arranque permite detectar anomalías en el estator, rotor, circuito de fuerza, calidad de la energía y factores relacionados con la carga entre los que habitualmente se encuentran son los siguientes [38]:

- Fallas en el estator.
- Una alta resistencia del circuito de fuerza puede aumentar las corrientes de secuencia negativa, creando pérdidas en una fase, sobrecargas y falla del devanado.
- Un desequilibrio de la tensión puede dar lugar a corrientes altas y posibles sobrecargas al devanado.

Los cambios en niveles de carga pueden ocasionar a fallas mecánicas o sobrecarga en los devanados del estator.

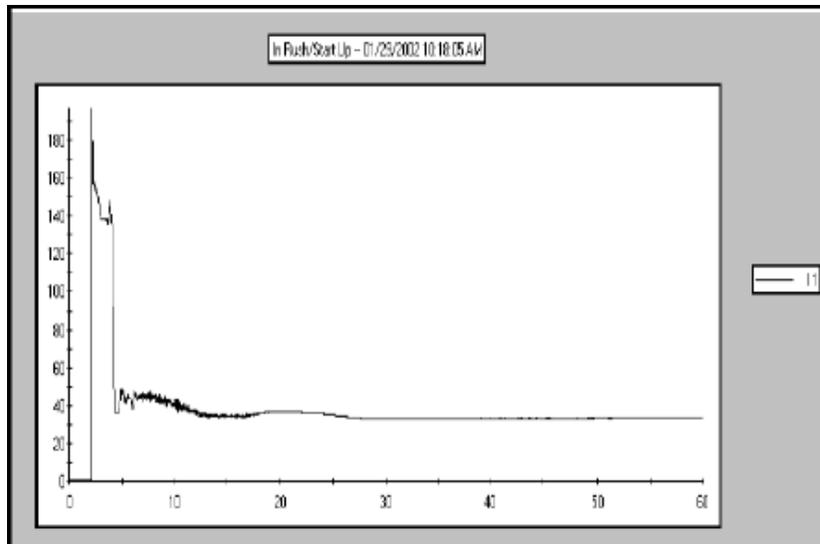


Figura 5.9 Grafica de arranque de un motor con anomalías en el rotor

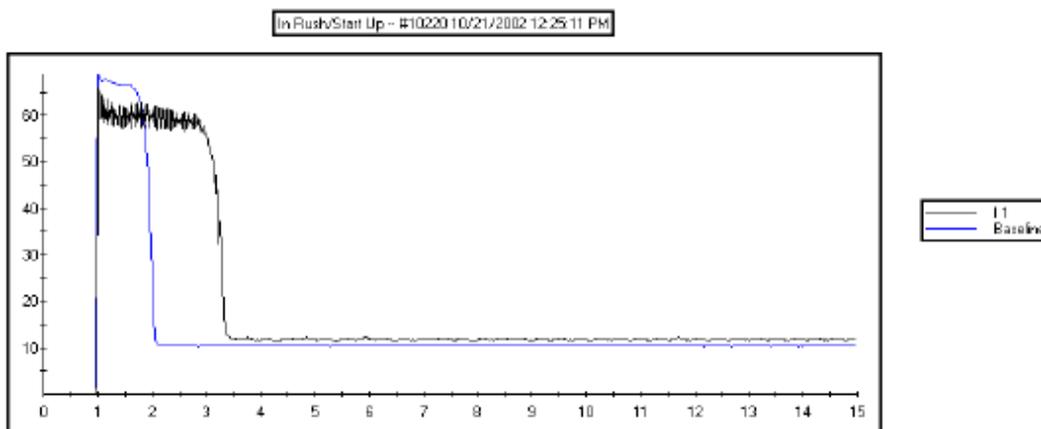


Figura 5.10 Grafica de arranque de un motor con barras fisuradas en el rotor [39]

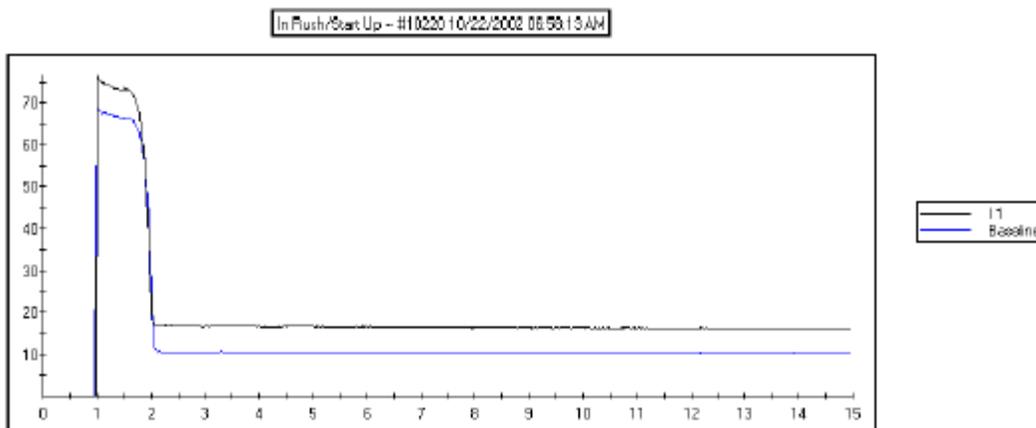


Figura 5.11 Grafica de arranque de un motor con cortocircuito de espiras en los bobinados del estor [39]

Análisis de la potencia en el motor (Calidad de la energía)

La prueba de potencia evalúa los siguientes parámetros: niveles de voltaje línea-línea, línea-neutro, desbalance de voltaje, corrientes de línea, desbalance de corrientes de línea, desbalance de impedancia, corrientes y voltajes de secuencia negativa y cero, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, eficiencia, valores puntuales y grafica (histograma) de componentes armónicas individuales y distorsión armónica total en voltaje y corriente [42].

La calidad de la potencia se refiere a la condición de la señal de voltaje y de corriente. Tener valores de referencia permite observar cómo cambia la calidad de la energía en el suministro del motor así como su condición actual. Esto permite conocer de qué manera están cambiando los parámetros del motor y la rapidez con la que lo hacen. Los resultados de las pruebas pueden indicar los siguientes parámetros eléctricos:

- Valores de voltaje y corriente.
- Factor de cresta de voltaje y corriente.
- Desbalance de voltaje y corriente.
- Distorsión armónica total (THD) etc.

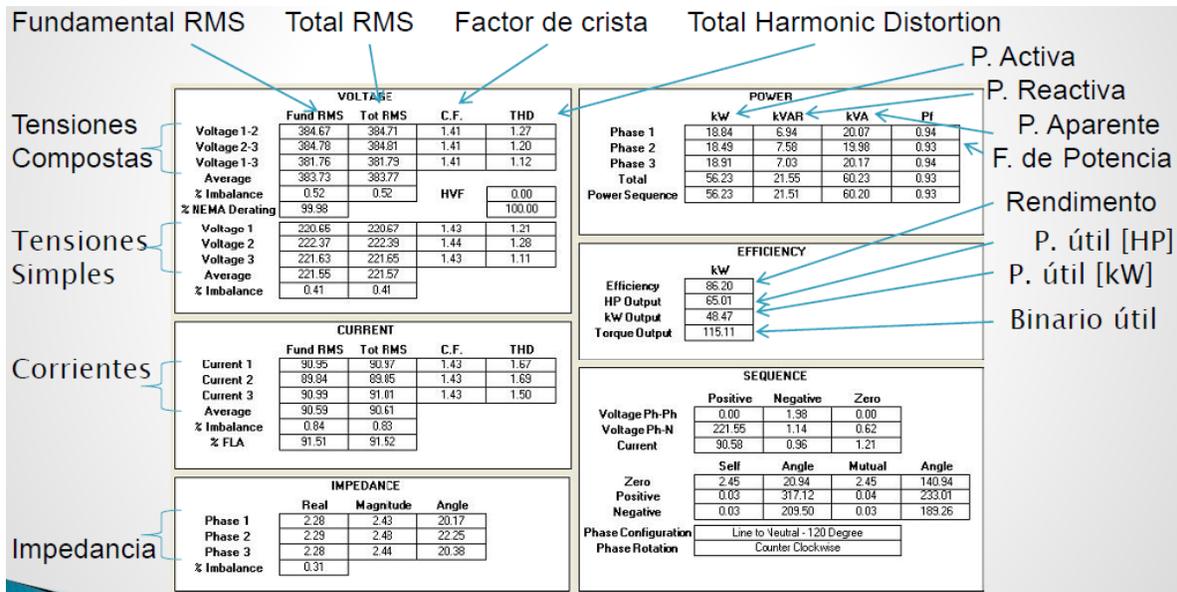


Figura 5.12 Cuadro general de valores

Las siguientes tablas se muestran como valores máximos permisibles para desbalances resistivos e inductivos y desbalances de tensión y corriente:

Tabla 5.5 Valor de Referencia Desbalance Resistivo e Inductivo IEEE Std 1415-2006

Desbalance Resistivo Máximo	Desbalance Inductivo Máximo
3%	5%

Tabla 5.6 Valor de Referencia Desbalance Tensiones y Corriente NEMA MG1-2016 Motors and Generators

Desbalance Tensión Máxima	Desbalance Corriente Máxima
1-3%	10-15%

Los picos de voltaje y corriente pueden ser causados por arranque y paro de cargas de la planta o por el uso de equipo sólido de conmutación; como los variadores de velocidad a su vez estos equipos causan armónicas y la presencia de estas causan calentamientos excesivos del aislamiento en el motor, en el sistema y en el mismo variador de velocidad. Los resultados de la prueba de análisis de potencia tienen niveles de advertencia asociados a ellos son [38]:

- Voltaje de línea a línea.
- Voltaje de línea a neutro (Tot).
- Desbalance de voltaje (LL).
- Desbalance de voltaje (Tot LN).
- Voltaje factor de cresta (LL).
- Voltaje factor de cresta (Tot LN).
- THD de voltaje (LL).
- THD de voltaje (LN).
- Desbalance de corriente.
- Factor de cresta de corriente.
- Desbalance de impedancia.

Los niveles de fábrica se basan en la realización de la prueba, al ganar experiencia se pueden reducir estos valores.

Voltaje RMS se supervisa para indicar si el voltaje en cualquier fase cambia un porcentaje dado por arriba o debajo del voltaje de placa.

Desbalance De Voltaje se supervisa para indicar si el voltaje en cualquier fase se desvía un porcentaje dado del voltaje promedio.

La Distorsión Armónica Total De Voltaje (THD) se supervisa para indicar si la distorsión de la señal de la potencia excede un valor dado.

El Factor Armónico De Voltaje (HVF) también se mide, como recomendación NEMA para indicar si la distorsión del voltaje excede un valor y afecta directamente al motor.

La Corriente RMS se supervisa para indicar si la corriente en cualquier fase cambia un porcentaje sobre la placa.

El Factor Cresta De Corriente (CF) se supervisa para indicar si los picos de corriente se desvían del valor de corriente rms por una cantidad dada.

La Distorsión Armónica Total De Corriente (THD) se supervisa para indicar si la distorsión de la señal de la potencia excede un valor dado.

El Desbalance De La Impedancia se supervisa para indicar si la impedancia en cualquier fase se desvía un porcentaje dado de la impedancia promedio.

Demodulación

La demodulación filtra la frecuencia portadora de 60Hz y revela las señales ocultas, que representan variaciones repetitivas de la carga. Estas variaciones de la carga pueden entonces ser analizadas [38].

La eliminación de la frecuencia de 60Hz mejora la capacidad del software para analizar las variaciones de carga y detectar la velocidad del motor, el paso de polos, el paso mecánico y las frecuencias reflejadas [41].

Este proceso de demodulación permite identificar fallas potenciales en las bandas, rodamientos, engranajes, las bombas, las etapas de compresión y otras anomalías mecánicas relacionadas.

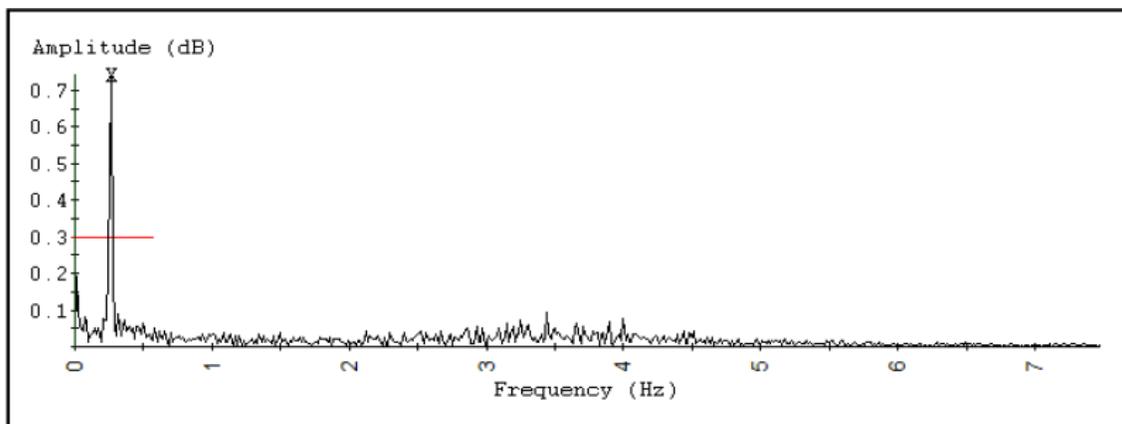


Figura 5.13 Grafico asociado con una barra de rotor rota en un motor de 2 polos

CAPÍTULO 6

DESARROLLO PRACTICO PRUEBAS A TRANSFORMADORES Y MOTORES

RECOMENDACIONES GENERALES PARA REALIZAR PRUEBAS ELÉCTRICAS A LOS EQUIPO

Se recomienda que las pruebas se realicen con los más estrictos protocolos de seguridad, de acuerdo con los manuales con los que cuente la empresa, ya que este tipo de documentos proporciona la información necesaria para poder realizar las pruebas de una manera segura y confiable.

Se recomienda el uso del equipo de protección personal, así como cuidar el cumplimiento de los protocolos de seguridad que se deben seguir como son:

- La desenergización del equipo con sus respectivas puestas a tierra para descargar dichos equipos; y garantizar así la seguridad del personal que intervendrá los equipos bajo prueba
- Delimitar un área de trabajo para evitar cualquier tipo de percance.
- Contar con equipos de prueba se encuentren en buenas condiciones y con calibración vigente; y finalmente;
- Los pasos que se deben seguir para la conexión y desconexión de los equipos de prueba, así como la recopilación de los datos de cada una de las pruebas para poder determinar las condiciones en las cuales se encuentran dichos equipos.

PRUEBAS A TRANSFORMADORES

Se realizaron pruebas para evaluar el transformador DEEMSA identificado como TR-01 con capacidad de 2000kVA con una relación de transformación de 34.5kV/480V.

Se realizaron las siguientes pruebas eléctricas para comprobar el estado del transformador.

Transformador DEEMSA TR-01	
Componente/Parte	Prueba
Devanado secundario	a) Prueba de resistencia de aislamiento b) Prueba de relación de transformación c) Prueba de polaridad y corriente de excitación d) Prueba de resistencia óhmica a los devanados e) Prueba de factor de potencia de transformador y aceite aislante
Devanado primario	
Aislamientos internos	

Transformador DEEMSA TR-01 (data plate)	
Tipo:	Transformador de potencial
Marca:	DEEMSA
Potencia:	2000 kVA
Tensión del primario:	34500 V
Tensión del secundario:	480 V
N° de fases, Frecuencia	3, 60 Hz
Corriente nominal:	--
Clase de aislamiento:	--
Impedancia %Z:	5.96%
Tipo de aislamiento:	OA
Grupo vectorial:	Dyn1
Identificación del equipo:	TR-01

Resultados Para El Transformador DEEMSA TR-01

De acuerdo a la prueba de resistencia de aislamiento y con los valores obtenidos, se determina que el transformador TR-01 se encuentra en buenas condiciones con un $IP > 2$ de acuerdo a los valores de la Tabla 4.3.

De acuerdo a la prueba TTR se determina que el transformador TR-01 se encuentra dentro de los valores establecidos, ya que no rebasa el $\pm 0.5\%$, de la relación entre el valor teórico obtenido y el valor medido.

De acuerdo a la prueba de Factor de Potencia se determina que el transformador TR-01 se encuentra fuera de los parámetros de aceptación establecidos por la NORMA ANSI-NETA-ATS-2017, ya que dos de los tres resultados obtenidos en la prueba rebasan el 1% de acuerdo con la Tabla 4.7.

De acuerdo con los valores obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento y de factor de potencia, se determina que el transformador presenta humedad y contaminación de acuerdo con la gráfica de resistencia de aislamiento en la cual se puede observar disturbios los cuales se presentan como aumentos y decrementos súbitos.

Se recomienda se realice un mantenimiento correctivo previo a la energización del equipo.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (CORRECCION A 20°C/TEMP. AMB. 28.4°C/K=1.98/Hr:73%)				
TENSIÓN APLICADA PRIMARIO (VCD)	TIEMPO DE LA PRUEBA	ALTA vs BAJA + TIERRA	BAJA vs ALTA + TIERRA	TENSIÓN APLICADA SECUNDARIO (VCD)
5000 VCD	30 s	96.42 GΩ	32.85 GΩ	1000 VCD
	1	104.34 GΩ	38.21 GΩ	
	2	124.34 GΩ	44.74 GΩ	
	3	144.73 GΩ	83.35 GΩ	
	4	170.47 GΩ	67.51 GΩ	
	5	187.50 GΩ	86.92 GΩ	
	6	215.82 GΩ	82.76 GΩ	
	7	239.58 GΩ	91.87 GΩ	
	8	265.32 GΩ	99.59 GΩ	
	9	291.05 GΩ	97.61 GΩ	
	10	287.10 GΩ	101.57 GΩ	
		IP	2.75	

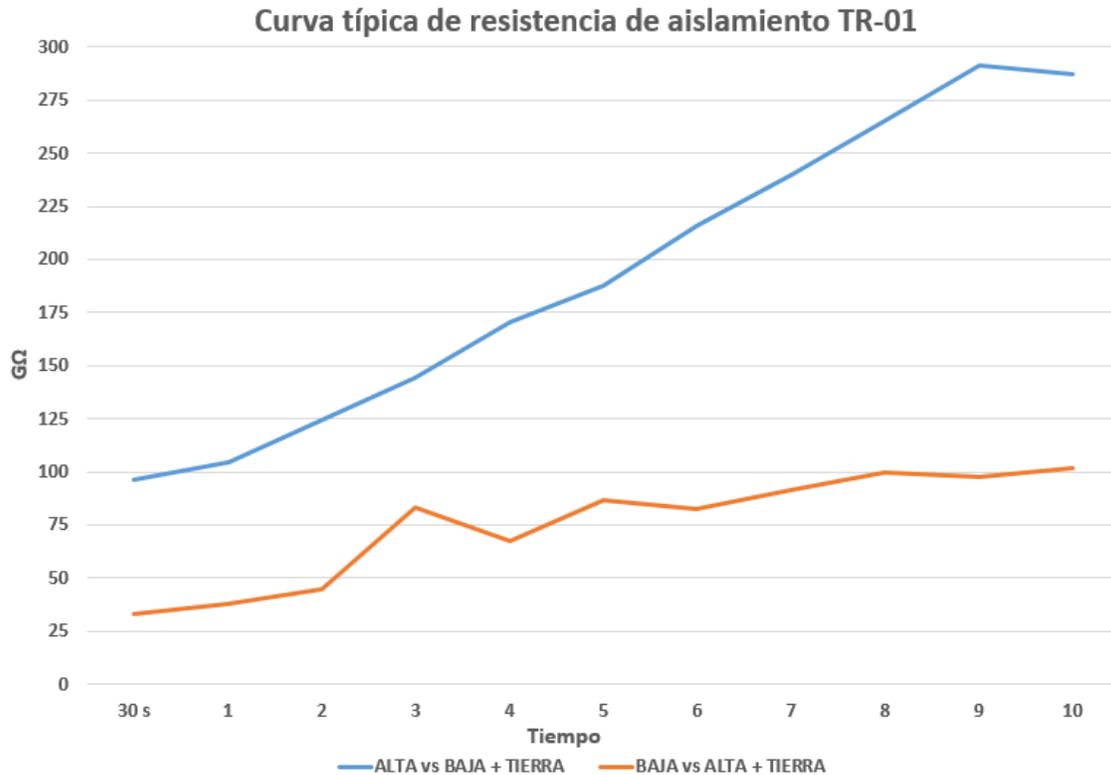


Figura 6.1 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-01

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
GRUPO VECTORIAL	TERMINALES BAJO PRUEBA		VOLTAJE DE EXCITACIÓN	VALOR TEORICO	VALOR DE MEDICION	% DESV
	LADO DE BAJA (PRIMARIO)	LADO DE ALTA (SECUNDARIO)				
Dyn1	H1-H3	X1-X0	80 V	124.5	124.8	0.24%
	H2-H1	X2-X0	80 V		124.8	0.24%
	H3-H2	X3-X0	80 V		124.8	0.24%

RESISTENCIA ÓHMICA EN LOS DEVANADOS			
CONEXIÓN DE TERMINAL BAJO PRUEBA	CORRIENTE APLICADA	VALOR DE MEDICIÓN	RESULTADO
H1-H3	1A	3.115 Ω	APROBADO
H2-H1		3.101 Ω	APROBADO
H3-H2		3.111 Ω	APROBADO
X1-X0	1A	14.4 mΩ	APROBADO
X2-X0		14.0 mΩ	APROBADO
X3-X0		14.3 mΩ	APROBADO

FACTOR DE POTENCIA												
CONEXIÓN DE PRUEBA				mVA			mW			%FP	FACTOR DE POTENCIA	CAPACITANCIA (pF)
T.A.T.	T.B.T.	SELEC	kV	LEC.	MULT.	RES.	LEC.	MULT.	RES.			
H	X	GROUND	2.5	43	200	8600	34.5	2	69	0.802%	$\%FP=(mW/mVA)*100$	3760
H	X	GUARD	2.5	29	100	2900	29.5	2	58	2.034%		1310
H	X	UST	2.5	78	100	5800	6	2	12	0.207%		2480

Se realizaron pruebas para evaluar el transformador DEEMSA identificado como TR-02 con capacidad de 2000kVA con una relación de transformación de 34.5kV/480V.

Se realizaron las siguientes pruebas eléctricas para comprobar el estado del transformador.

Transformador DEEMSA TR-02	
Componente/Parte	Prueba
Devanado secundario	a) Prueba de resistencia de aislamiento b) Prueba de relación de transformación c) Prueba de polaridad y corriente de excitación d) Prueba de resistencia óhmica a los devanados e) Prueba de factor de potencia de transformador y aceite aislante
Devanado primario	
Aislamientos internos	

Transformador DEEMSA TR-02 (data plate)	
Tipo:	Transformador de potencial
Marca:	DEEMSA
Potencia:	2000 kVA
Tensión del primario:	34500 V
Tensión del secundario:	480 V
Nº de fases, Frecuencia	3, 60 Hz
Corriente nominal:	--
Clase de aislamiento:	--
Impedancia %Z:	5.96%
Tipo de aislamiento:	OA
Grupo vectorial:	Dyn1
Identificación del equipo:	TR-02

Resultados Para El Transformador DEEMSA TR-02

De acuerdo a la prueba de resistencia de aislamiento y con los valores obtenidos, se determina que el transformador TR-02 se encuentra en buenas condiciones con un $IP > 2$ de acuerdo a los valores de la Tabla 4.3.

De acuerdo a la prueba TTR se determina que el transformador TR-02 se encuentra dentro de los valores establecidos, ya que no rebasa el $\pm 0.5\%$, de la relación entre el valor teórico obtenido y el valor medido.

De acuerdo a la prueba de Factor de Potencia se determina que el transformador TR-02 se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la NORMA ANSI-NETA-ATS-2017, ya que dos de los tres resultados obtenidos en la prueba rebasan el 1% de acuerdo con la Tabla 4.7.

De acuerdo con los valores obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento y de factor de potencia, se determina que el transformador presenta humedad y contaminación de acuerdo con la gráfica de resistencia de aislamiento en la cual se puede observar disturbios los cuales se presentan como aumentos y decrementos súbitos.

Se recomienda se realice un mantenimiento correctivo previo a la energización del equipo.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (CORRECCION A 20°C/TEMP. AMB. 28.4°C/K=1.98/Hr:74%)

TENSIÓN APLICADA PRIMARIO (VCD)	TIEMPO DE LA PRUEBA	ALTA vs BAJA + TIERRA	BAJA vs ALTA + TIERRA	TENSIÓN APLICADA SECUNDARIO (VCD)
5000 VCD	30 s	58.60 GΩ	23.56 GΩ	1000 VCD
	1	66.72 GΩ	24.94 GΩ	
	2	82.96 GΩ	29.70 GΩ	
	3	99.59 GΩ	34.65 GΩ	
	4	111.47 GΩ	38.21 GΩ	
	5	120.97 GΩ	42.76 GΩ	
	6	156.02 GΩ	46.72 GΩ	
	7	166.32 GΩ	50.49 GΩ	
	8	194.23 GΩ	53.85 GΩ	
	9	199.98 GΩ	57.61 GΩ	
	10	221.76 GΩ	61.18 GΩ	
	IP		3.31	

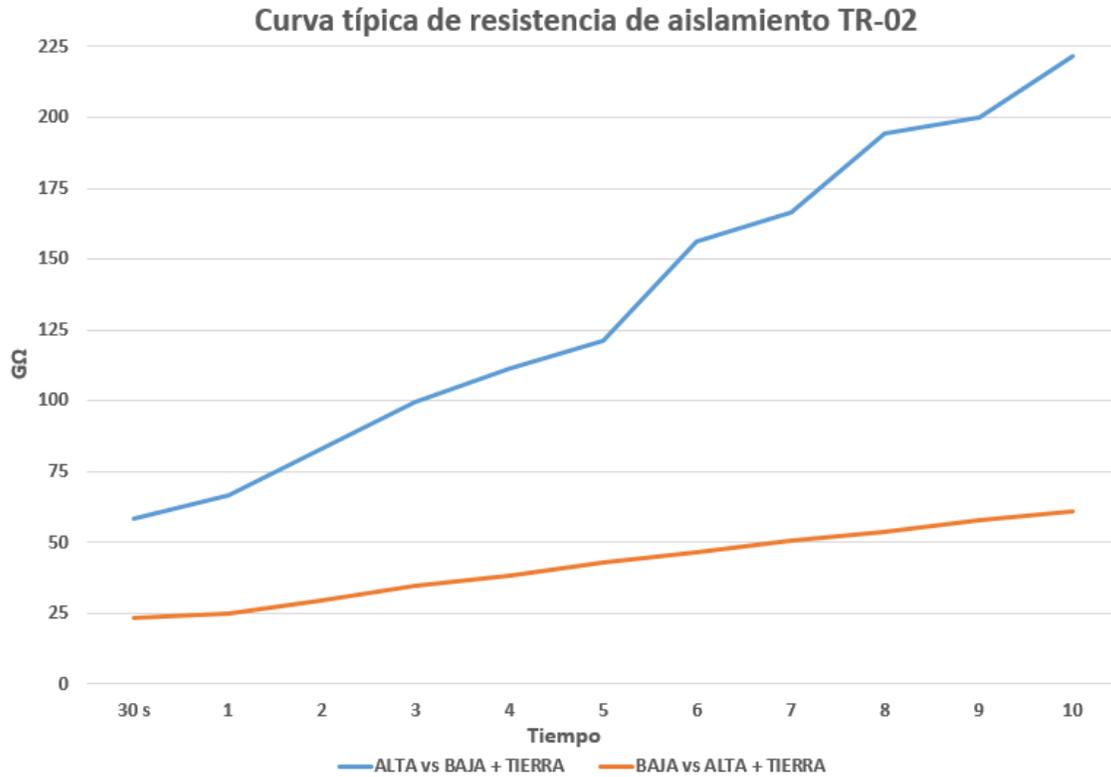


Figura 6.2 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-02

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
GRUPO VECTORIAL	TERMINALES BAJO PRUEBA		VOLTAJE DE EXCITACIÓN	VALOR TEORICO	VALOR DE MEDICION	% DESV
	LADO DE BAJA (PRIMARIO)	LADO DE ALTA (SECUNDARIO)				
Dyn1	H1-H3	X1-X0	80 V	124.5	124.83	0.23%
	H2-H1	X2-X0	80 V		124.86	0.26%
	H3-H2	X3-X0	80 V		124.82	0.22%

RESISTENCIA ÓHMICA EN LOS DEVANADOS			
CONEXIÓN DE TERMINAL BAJO PRUEBA	CORRIENTE APLICADA	VALOR DE MEDICIÓN	RESULTADO
H1-H3	1A	3.133 Ω	APROBADO
H2-H1		3.112 Ω	APROBADO
H3-H2		3.130 Ω	APROBADO
X1-X0	1A	13.5 mΩ	APROBADO
X2-X0		13.6 mΩ	APROBADO
X3-X0		13.9 mΩ	APROBADO

FACTOR DE POTENCIA												
CONEXIÓN DE PRUEBA				mVA			mW			%FP	FACTOR DE POTENCIA	CAPACITANCIA (pF)
T.A.T.	T.B.T.	SELEC	kV	LEC.	MULT.	RES.	LEC.	MULT.	RES.			
H	X	GROUND	2.5	49	200	9800	28	2	56	0.571%	$\%FP=(mW/mVA)*100$	3790
H	X	GUARD	2.5	30	100	3000	21	2	42	1.400%		1320
H	X	UST	2.5	57	100	5700	7	2	14	0.246%		2460

Se realizaron pruebas para evaluar el transformador DEEMSA identificado como TR-12 con capacidad de 500kVA con una relación de transformación de 480V/1.9-3.8kV.

Se realizaron las siguientes pruebas eléctricas para comprobar el estado del transformador.

Transformador DEEMSA TR-12	
Componente/Parte	Prueba
Devanado secundario	a) Prueba de resistencia de aislamiento
Devanado primario	b) Prueba de relación de transformación
Aislamientos internos	c) Prueba de polaridad y corriente de excitación
	d) Prueba de resistencia óhmica a los devanados
	e) Prueba de factor de potencia de transformador y aceite aislante

Transformador DEEMSA TR-12 (data plate)	
Tipo:	Transformador de potencial
Marca:	DEEMSA
Potencia:	500 kVA
Tensión del primario:	480 V
Tensión del secundario:	1900-3800 V
Nº de fases, Frecuencia	3, 60 Hz
Corriente nominal:	--
Clase de aislamiento:	--
Impedancia %Z:	7.33%
Tipo de aislamiento:	OA
Grupo vectorial:	YNd11
Identificación del equipo:	TR-12

Resultados Para El Transformador DEEMSA TR-12

De acuerdo a la prueba de resistencia de aislamiento y con los valores obtenidos, se determina que para el transformador TR-12 en la prueba "ALTA vs BAJA + TIERRA" se encuentra dudoso con un $IP < 2$, mientras que en la prueba "BAJA vs ALTA + TIERRA" se encuentra en buenas condiciones con un $IP > 2$ de acuerdo a los valores de la Tabla 4.3.

De acuerdo a la prueba TTR se determina que el transformador TR-12 se encuentra dentro de los valores establecidos, ya que no rebasa el $\pm 0.5\%$, de la relación entre el valor teórico obtenido y el valor medido.

De acuerdo a la prueba de Factor de Potencia se determina que el transformador TR-12 se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la NORMA ANSI-NETA-ATS-2017, ya que en ninguno de los resultados obtenidos en la prueba rebasan el 1% de acuerdo con la Tabla 4.7

De acuerdo con los valores obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento y de factor de potencia, se determina que el transformador presenta humedad y contaminación de acuerdo con las gráficas de resistencia de aislamiento en la cual se puede observar disturbios los cuales se presentan como aumentos y decrementos súbitos.

Este equipo se encuentra en condiciones eléctricas aceptables, sin embargo, se recomienda se realice un mantenimiento general previo a la energización.

**RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (CORRECCION A 20°C/TEMP. AMB.
30°C/K=1.98/Hr:66%)**

TENSIÓN APLICADA PRIMARIO (VCD)	TIEMPO DE LA PRUEBA	ALTA vs BAJA + TIERRA	BAJA vs ALTA + TIERRA	TENSIÓN APLICADA SECUNDARIO (VCD)
2500 VCD	30 s	1.73 TΩ	110.28 GΩ	1000 VCD
	1	1.91 TΩ	140.97 GΩ	
	2	2.17 TΩ	187.50 GΩ	
	3	2.17 TΩ	227.70 GΩ	
	4	2.17 TΩ	277.20 GΩ	
	5	2.17 TΩ	322.74 GΩ	
	6	2.37 TΩ	360.36 GΩ	
	7	2.57 TΩ	403.92 GΩ	
	8	2.57 TΩ	443.92 GΩ	
	9	2.37 TΩ	481.14 GΩ	
	10	2.57 TΩ	510.84 GΩ	
	IP		1.34	

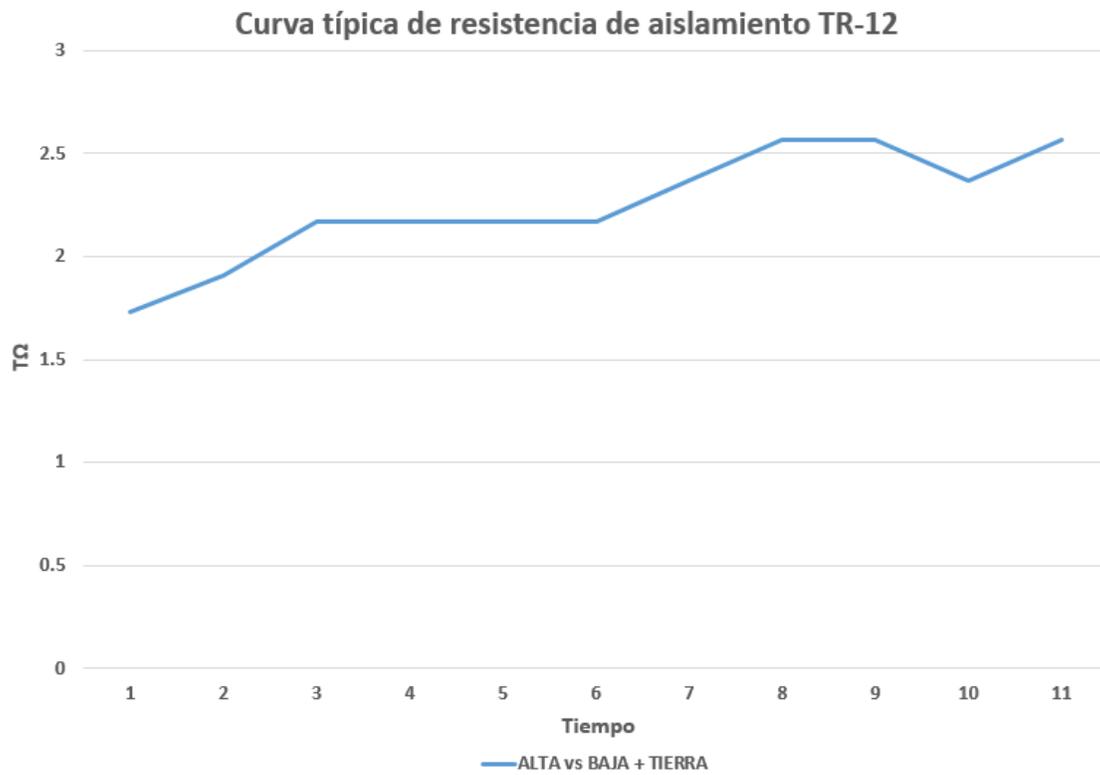


Figura 6.3 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-12 (ALTA vs BAJA + Tierra)

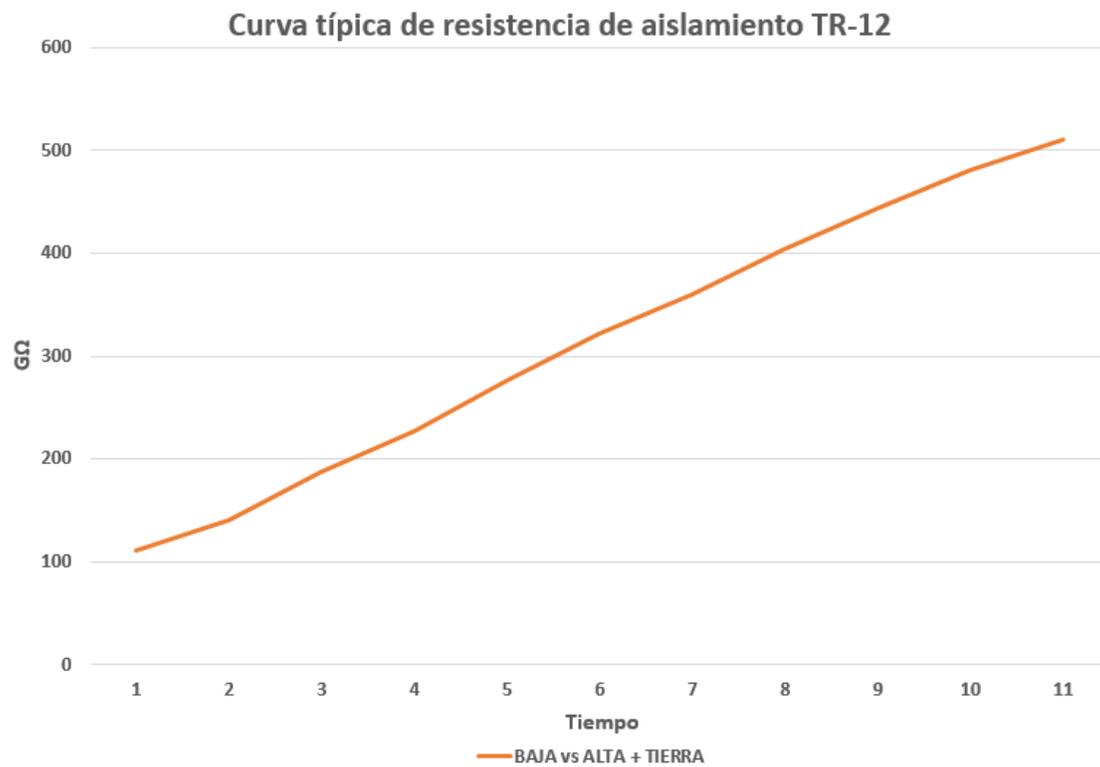


Figura 6.4 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-12 (Baja vs ALTA + Tierra)

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
GRUPO VECTORIAL	TERMINALES BAJO PRUEBA		VOLTAJE DE EXCITACIÓN	VALOR TEORICO	VALOR DE MEDICION	% DESV
	LADO DE BAJA (PRIMARIO)	LADO DE ALTA (SECUNDARIO)				
YNd11	H1-H3	X1-X0	80 V	4.11	4.1164	0.16%
	H2-H1	X2-X0	80 V		4.1165	0.16%
	H3-H2	X3-X0	80 V		4.1166	0.16%

RESISTENCIA ÓHMICA EN LOS DEVANADOS			
CONEXIÓN DE TERMINAL BAJO PRUEBA	CORRIENTE APLICADA	VALOR DE MEDICIÓN	RESULTADO
H1-H3	1A	80 mΩ	APROBADO
H2-H1		80.2 mΩ	APROBADO
H3-H2		78.8 mΩ	APROBADO
X1-X0	1A	8.5 mΩ	APROBADO
X2-X0		10.9 mΩ	APROBADO
X3-X0		4.8 mΩ	APROBADO

FACTOR DE POTENCIA												
CONEXIÓN DE PRUEBA			mVA			mW			%FP	FACTOR DE POTENCIA	CAPACITANCIA (pF)	
T.A.T.	T.B.T.	SELEC	kV	LEC.	MULT.	RES.	LEC.	MULT.				RES.
H	X	GROUND	2.5	55	200	11000	11.5	2	23	0.209%	%FP=(mW/mVA)*100	4670
H	X	GUARD	2.5	54	200	10800	12.5	2	25	0.231%		4560
H	X	UST	2.5	23	10	230	1	0.2	0.2	0.087%		103

Se realizaron pruebas para evaluar el transformador DEEMSA identificado como TR-13 con capacidad de 500kVA con una relación de transformación de 480V/1.9-3.8kV.

Se realizaron las siguientes pruebas eléctricas para comprobar el estado del transformador.

Transformador DEEMSA TR-13	
Componente/Parte	Prueba
Devanado secundario	a) Prueba de resistencia de aislamiento b) Prueba de relación de transformación c) Prueba de polaridad y corriente de excitación d) Prueba de resistencia óhmica a los devanados e) Prueba de factor de potencia de transformador y aceite aislante
Devanado primario	
Aislamientos internos	

Transformador DEEMSA TR-13 (data plate)	
Tipo:	Transformador de potencial
Marca:	DEEMSA
Potencia:	500 kVA
Tensión del primario:	480 V
Tensión del secundario:	1900-3800 V
Nº de fases, Frecuencia	3, 60 Hz
Corriente nominal:	--
Clase de aislamiento:	--
Impedancia %Z:	7.21%
Tipo de aislamiento:	OA
Grupo vectorial:	YNd11
Identificación del equipo:	TR-13

Resultados Para El Transformador DEEMSA TR-13

De acuerdo a la prueba de resistencia de aislamiento y con los valores obtenidos, se determina que para el transformador TR-13 en la prueba "ALTA vs BAJA + TIERRA" se encuentra dudoso con un $IP < 2$, mientras que en la prueba "BAJA vs ALTA + TIERRA" se encuentra en buenas condiciones con un $IP > 2$ de acuerdo a los valores de la Tabla 4.3.

De acuerdo a la prueba TTR se determina que el transformador TR-13 se encuentra dentro de los valores establecidos, ya que no rebasa el $\pm 0.5\%$, de la relación entre el valor teórico obtenido y el valor medido.

De acuerdo a la prueba de Factor de Potencia se determina que el transformador TR-13 se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la NORMA ANSI-NETA-ATS-2017, ya que dos de los tres resultados obtenidos en la prueba rebasan el 1% de acuerdo con la Tabla 4.7.

De acuerdo con los valores obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento y de factor de potencia, se determina que el transformador presenta humedad y contaminación de acuerdo con las gráficas de resistencia de aislamiento en la cual se puede observar disturbios los cuales se presentan como aumentos y decrementos súbitos.

Se recomienda se realice un mantenimiento correctivo previo a la energización del equipo.

**RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (CORRECCION A 20°C/TEMP. AMB.
30°C/K=1.98/Hr:65%)**

TENSIÓN APLICADA PRIMARIO (VCD)	TIEMPO DE LA PRUEBA	ALTA vs BAJA + TIERRA	BAJA vs ALTA + TIERRA	TENSIÓN APLICADA SECUNDARIO (VCD)
2500 VCD	30 s	1.73 TΩ	110.28 GΩ	1000 VCD
	1	1.91 TΩ	140.97 GΩ	
	2	2.17 TΩ	187.50 GΩ	
	3	2.17 TΩ	227.70 GΩ	
	4	2.17 TΩ	277.20 GΩ	
	5	2.17 TΩ	322.74 GΩ	
	6	2.37 TΩ	360.36 GΩ	
	7	2.57 TΩ	403.92 GΩ	
	8	2.57 TΩ	443.92 GΩ	
	9	2.37 TΩ	481.14 GΩ	
	10	2.57 TΩ	510.84 GΩ	
	IP		1.34	

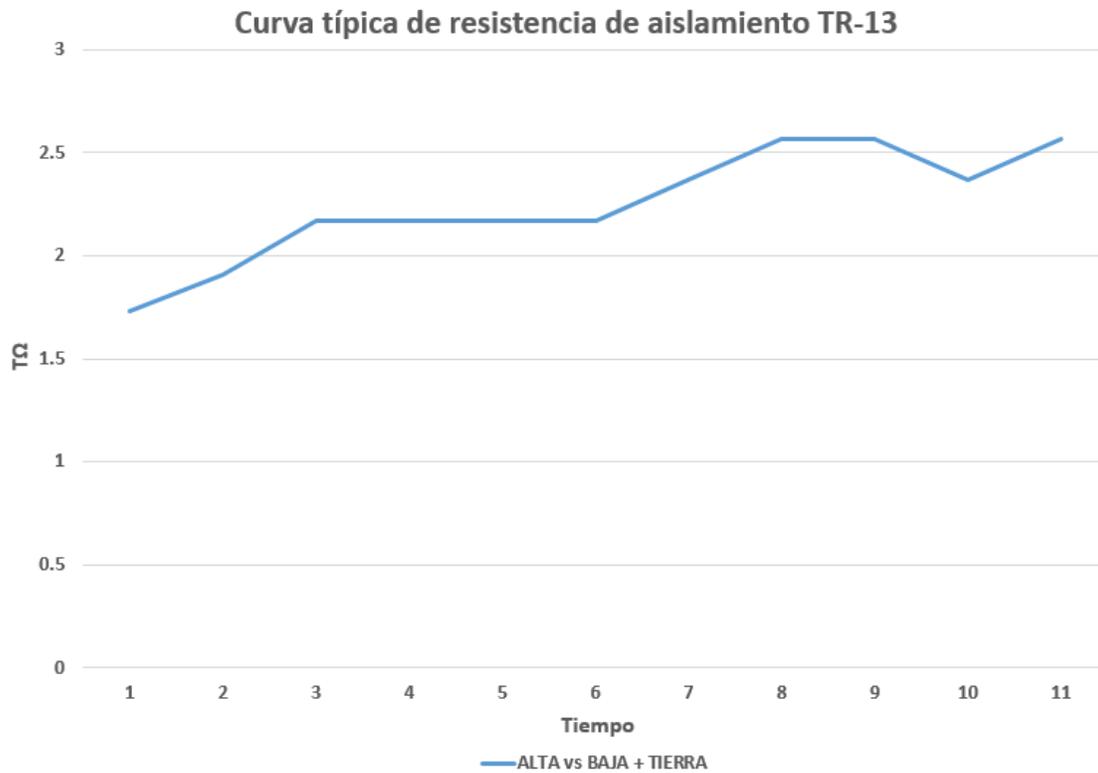


Figura 6.5 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-13 (ALTA vs BAJA + Tierra)

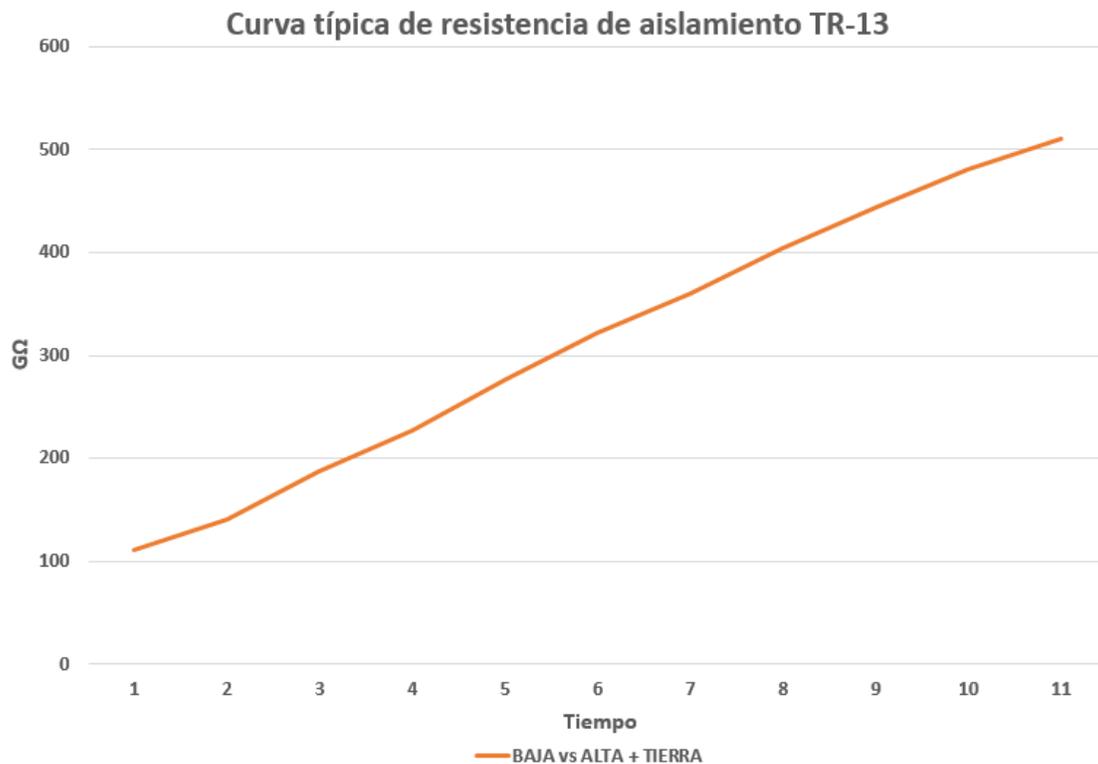


Figura 6.6 Tendencia de resistencia de aislamiento en el TR-13 (Baja vs ALTA + Tierra)

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN						
GRUPO VECTORIAL	TERMINALES BAJO PRUEBA		VOLTAJE DE EXCITACIÓN	VALOR TEORICO	VALOR DE MEDICION	% DESV
	LADO DE BAJA (PRIMARIO)	LADO DE ALTA (SECUNDARIO)				
YNd11	H1-H3	X1-X0	80 V	3.65	3.6495	0.01%
	H2-H1	X2-X0	80 V		3.6492	0.02%
	H3-H2	X3-X0	80 V		3.6493	0.02%

RESISTENCIA ÓHMICA EN LOS DEVANADOS			
CONEXIÓN DE TERMINAL BAJO PRUEBA	CORRIENTE APLICADA	VALOR DE MEDICIÓN	RESULTADO
H1-H3	1A	70.6 mΩ	APROBADO
H2-H1		77.3 mΩ	APROBADO
H3-H2		70.3 mΩ	APROBADO
X1-X0	1A	8.1 mΩ	APROBADO
X2-X0		7.9 mΩ	APROBADO
X3-X0		3.9 mΩ	APROBADO

FACTOR DE POTENCIA												
CONEXIÓN DE PRUEBA			mVA			mW			%FP	FACTOR DE POTENCIA	CAPACITANCIA (pF)	
T.A.T.	T.B.T.	SELEC	kV	LEC.	MULT.	RES.	LEC.	MULT.				RES.
H	X	GROUND	2.5	56	200	11200	44	2	88	0.786%	%FP=(mW/mVA)*100	4690
H	X	GUARD	2.5	54	200	10800	41.5	2	83	0.769%		4580
H	X	UST	2.5	25	10	250	6	0.2	1.2	0.480%		112

PRUEBAS ESTATICAS A MOTORES

Motor síncrono MC-BC-3D (data plate)	
Tipo:	Motor Síncrono Auto-excitado (brushless)
Marca:	Parsons Peebles
Potencia:	1610 Hp/1200 kW
Tensión nominal:	4000 V
Corriente nominal a plena carga:	190 A
Velocidad de operación:	450 R.P.M.
Nº de fases, Frecuencia	3, 60 Hz
Clase de aislamiento:	F
Conexión del estator:	Y
Tensión de excitación:	125 VCD
Corriente de excitación:	90 A
Nº de serie:	51-70290/3
Fecha de fabricación:	1979
Tipo de enfriamiento:	Aire/Agua
Factor de Potencia (FP):	0.95

Motor síncrono MC-BC-3D	
Devanado/Componente	Prueba
Devanado del estator	a) Prueba de resistencia de aislamiento (IP)
Devanado del rotor	b) Prueba de resistencia óhmica de devanados
Aislamientos internos	c) Prueba estándar de C.A. d) Prueba de Voltaje a pasos e) Prueba de comparación de pulsos

Resultados De Las Pruebas En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D

Datos			
Motor: MC-BC-3D		Marca: Parsons Peebles	Tipo: Síncrono
Hp: 1610	F.P: 0.95	Voltaje: 4000 V	I a plena carga: 190 A
kW: 1200	R.P.M: 450	Frame: HL 15/16	Frecuencia: 60 Hz

Resultados De La Prueba De Resistencia De Aislamiento En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D

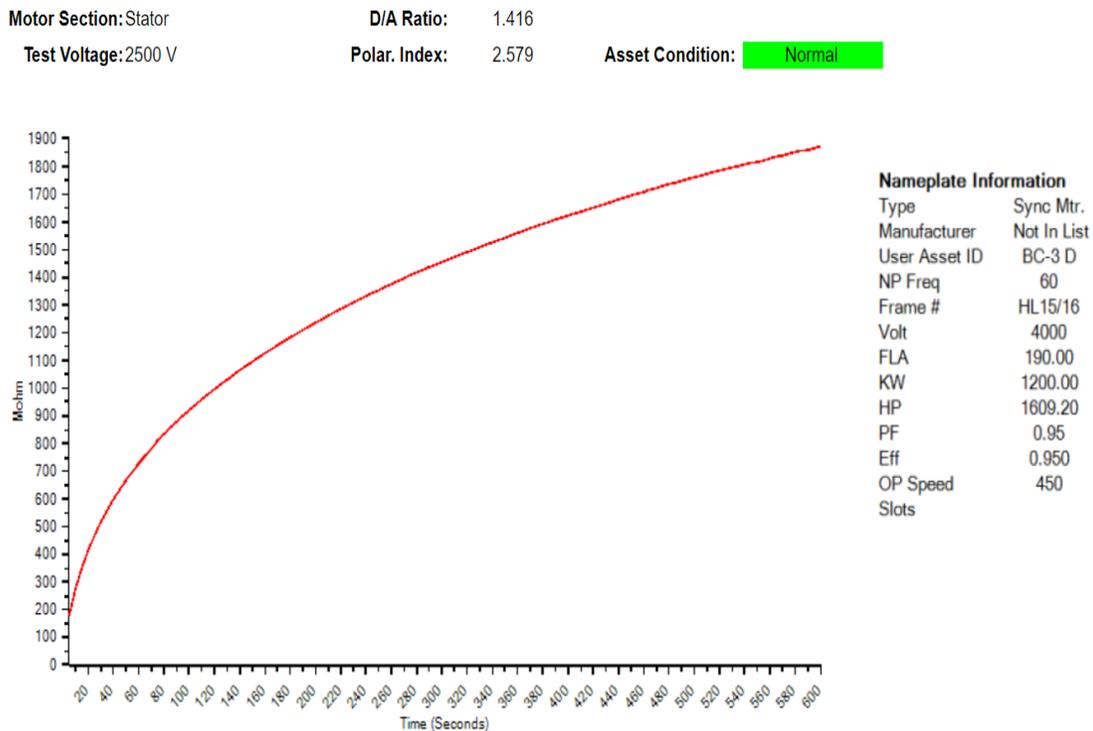


Figura 6.7 Tendencia de la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado del estator del motor

Resultados	
Tensión de prueba:	2500 V
Índice de Absorción Dieléctrica (DA):	1.416
Índice de Polarización (IP):	2.579
Resistencia de aislamiento en el minuto 10:	1869 MΩ
Condición del devanado del estator:	BUENA

De acuerdo con el tipo de aislamiento clase F para este motor, el cual indica que el IP mínimo a considerar es de 2 de acuerdo con la Tabla 5.2, se determina que el devanado del estator de este motor se encuentra en buenas condiciones.

Resultados De Prueba Estándar De C.A. En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D

Test Date	6/6/2019
Test Time	12:17:22 PM
Test Location	Motor Leads
Frequency	1200
Charge Time	135
Voltage	2500
Motor Temp	32
Measured Mohm	1187.00
Corrected Mohm	680.00
pF Ph 1 to Ground	84000
ohm Ph 1 to 2	0.2760
ohm Ph 2 to 3	0.2760
ohm Ph 3 to 1	0.2760
mH Ph 1 to 2	10.07
mH Ph 2 to 3	10.96
mH Ph 3 to 1	10.38
Average Inductance	10.47
% Res. Imbalance	0.00
% Ind. Imbalance	4.68

Figura 6.8 Resultados de la prueba estándar de C.A. en el devanado del estator del motor

Resultados	
Resistencia a tierra:	1187 MΩ
% Desbalance Inductivo:	4.68
% Desbalance Resistivo:	0
Temperatura del motor:	32 °C

De acuerdo con la prueba estándar de C.A. se determina que:

Desbalance Resistivo: Bien.

Desbalance Inductivo: Bien.

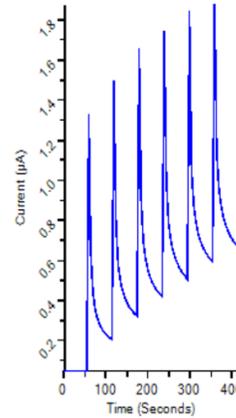
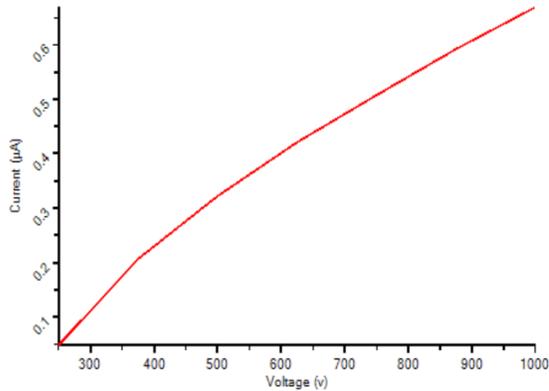
Resultados De Prueba De Voltaje A Pasos En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D

Motor Section: Stator
Start: 250 v

Total Time: 420 Seconds
Increment: 125 v

Final: 1000 v

Asset Condition: Normal



Nameplate Information

Type	Sync Mtr.
Manufacturer	Not In List
User Asset ID	BC-3 D
NP Freq	60
Frame #	HL15/16
Volt	4000
FLA	190.00
KW	1200.00
HP	1609.20
PF	0.95
Eff	0.950
OP Speed	450
Slots	

Figura 6. 9 Tendencia de la prueba de voltaje a pasos en el devanado del estator del motor

Resultados	
Tensión de Prueba:	1000 V
Corriente de fuga a tensión final:	0.65 µA
Tiempo de prueba:	420 s

De acuerdo con la prueba de voltaje a pasos se determina que: el aislamiento se encuentra libre de humedad.

Resultados De La Prueba De Impulso En El Devanado Del Estator Del Motor MC-BC-3D

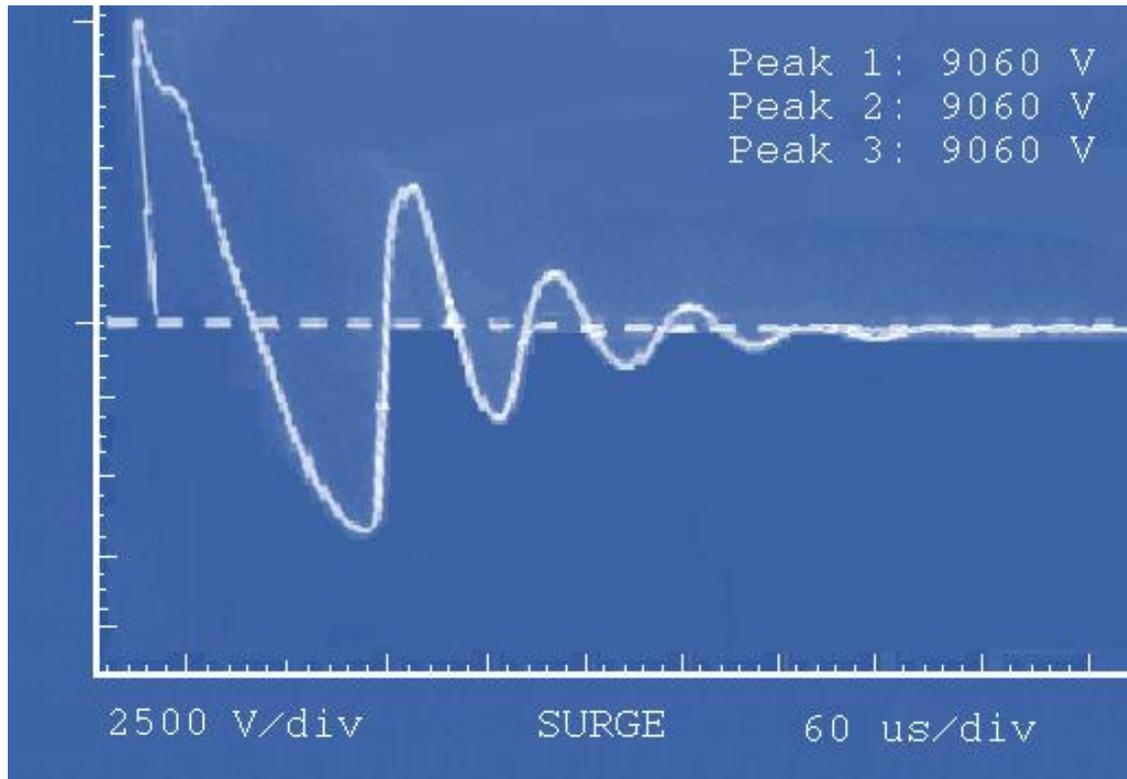


Figura 6. 10 Tendencia de la prueba de impulso en el devanado del estator del motor

Resultados	
Tensión de prueba:	9060 V
Cortos entre espiras:	No
Cortos entre fases:	No
Condición del devanado del estator:	BUENA

De acuerdo con la prueba de impulso se determina que: el devanado de estator del motor no presenta cortos entre espiras o entre fases.

Resultados De Las Pruebas En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D

Datos			
Motor: MC-BC-3D	Marca: Parsons Peebles	Tipo: Síncrono	
Hp: 1610	F.P: 0.95	Voltaje: 4000 V	I a plena carga: 190 A
kW: 1200	R.P.M: 450	Frame: HL 15/16	Frecuencia: 60 Hz

Resultados De La Prueba De Resistencia De Aislamiento En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D

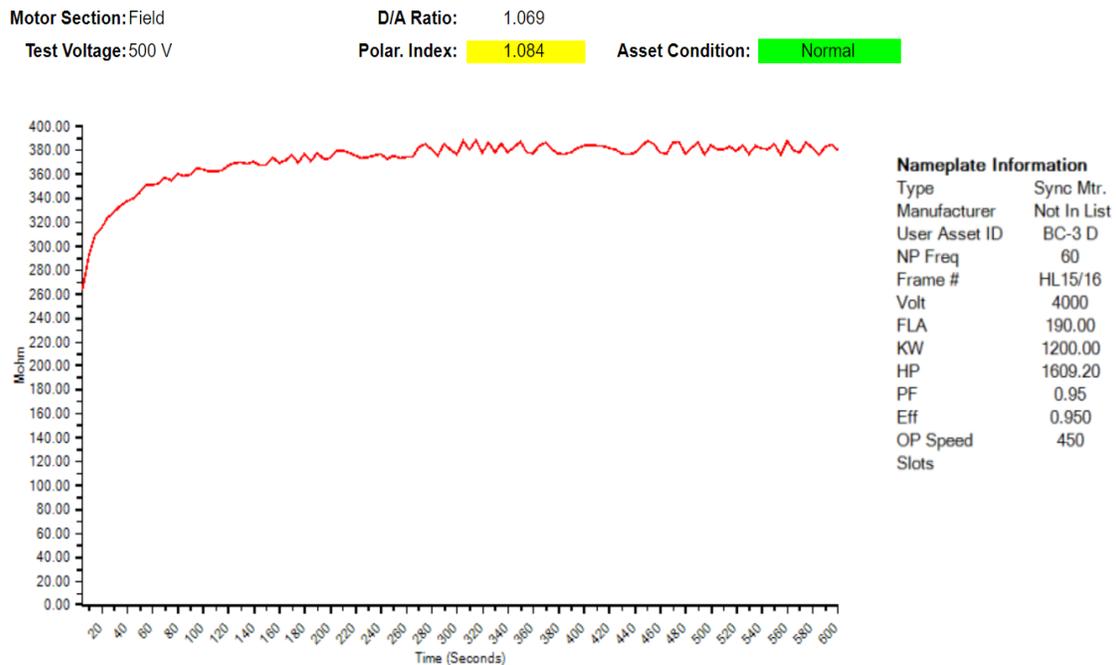


Figura 6. 11 Tendencia de la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado del rotor del motor

Resultados	
Tensión de prueba:	500 V
Índice de Absorción Dieléctrica (DA):	1.069
Índice de Polarización (IP):	1.084
Resistencia de aislamiento en el minuto 10:	384 MΩ
Condición del devanado del Rotor:	BUENA

De acuerdo con el tipo de aislamiento clase F para este motor, el cual indica que el IP mínimo a considerar es de 2 de acuerdo con la Tabla 5.2, se determina que el devanado del rotor de este motor se encuentra por debajo del límite establecido ya que su IP=1.084.

Resultados De Prueba Estándar De C.A. En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D

Test Date	6/6/2019
Test Time	3:07:04 PM
Test Location	Field Leads
Frequency	300
Charge Time	600
Voltage	500
Motor Temp	34
Measured Mohm	350.80
Corrected Mohm	231.00
pF Ph 1 to Ground	22250
mH Ph 1 to 2	319.5
Ph 1 to 2: Measured Ohms	1.0705
Ph 1 to 2: Corrected Ohms	1.09440

Figura 6. 12 Resultados de la prueba estándar de C.A. en el devanado del rotor del motor

Resultados	
Resistencia a tierra:	350.80 MΩ
Resistencia del devanado:	1.0705 Ω @34 °C
Inductancia del devanado:	319.5 mH

Prueba realizada en terminales + y - del rotor del motor.

Resultados De Prueba De Voltaje A Pasos En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D

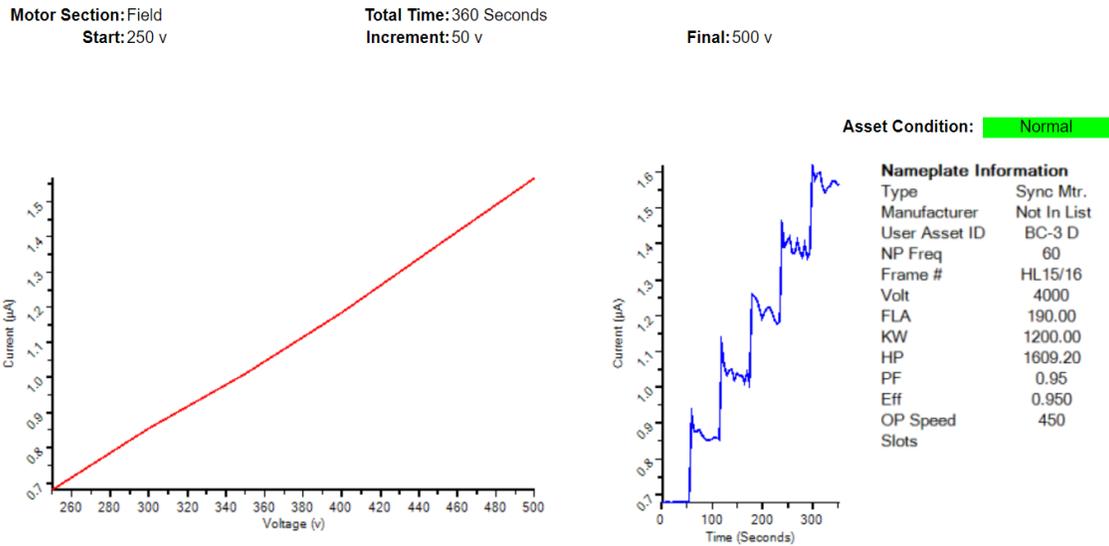


Figura 6. 13 Tendencia de la prueba de voltaje a pasos en el devanado del rotor del motor

Resultados	
Tensión de Prueba:	500 V
Corriente de fuga a tensión final:	1.55 μ A
Tiempo de prueba:	360 s

De acuerdo con la prueba de voltaje a pasos se determina que: el aislamiento tiene presencia humedad.

Resultados De La Prueba De Impulso En El Devanado Del Rotor Del Motor MC-BC-3D

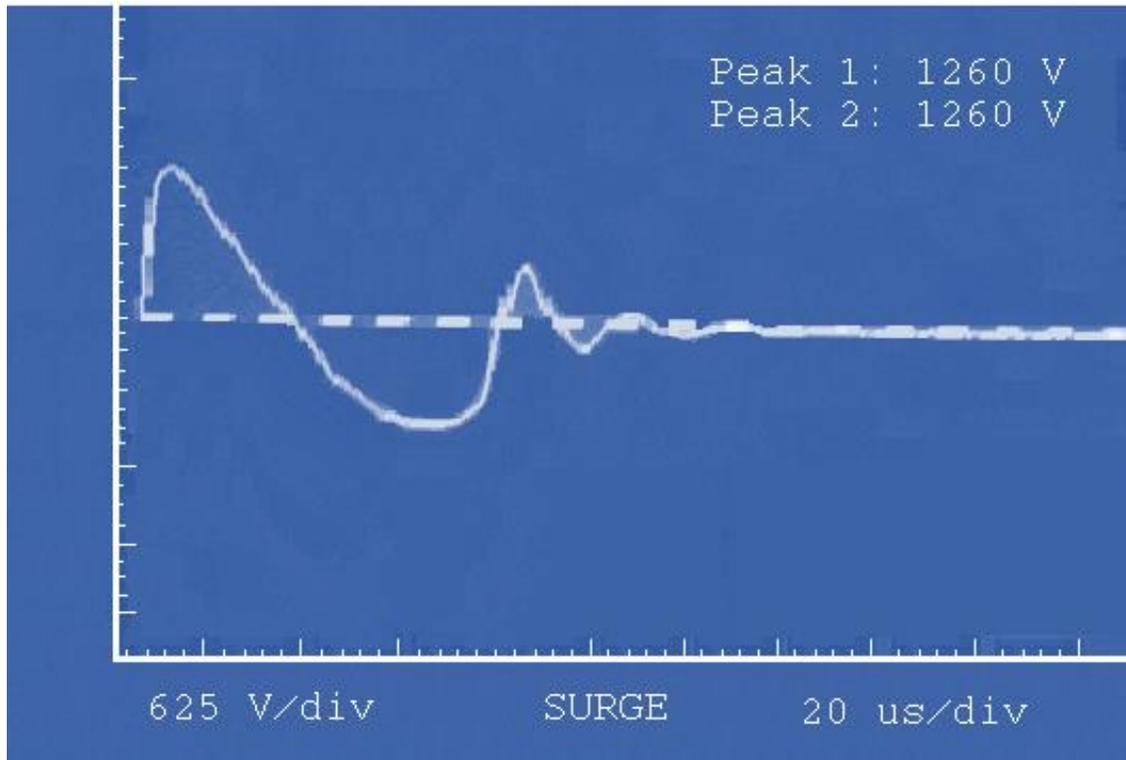


Figura 6. 14 Tendencia de la prueba de impulso en el devanado del rotor del motor

Resultados	
Tensión de prueba:	1260 V
Cortos entre espiras:	No
Cortos entre fases:	No
Condición del devanado del Rotor:	BUENA

De acuerdo con la prueba de impulso se determina que: el devanado de rotor del motor no presenta asimetrías.

Con referencia a las pruebas realizadas al motor, se recomienda aplicar un mantenimiento y método de secado para eliminar o disminuir la presencia de humedad en el aislamiento, así como realizar nuevamente las pruebas de Resistencia de Aislamiento y voltaje a pasos en el devanado del rotor.

PRUEBAS DINAMICAS A MOTORES

Prueba De Resistencia De Aislamiento

Resultados De La Prueba De Resistencia De Aislamiento Del Motor MC-BC-3D

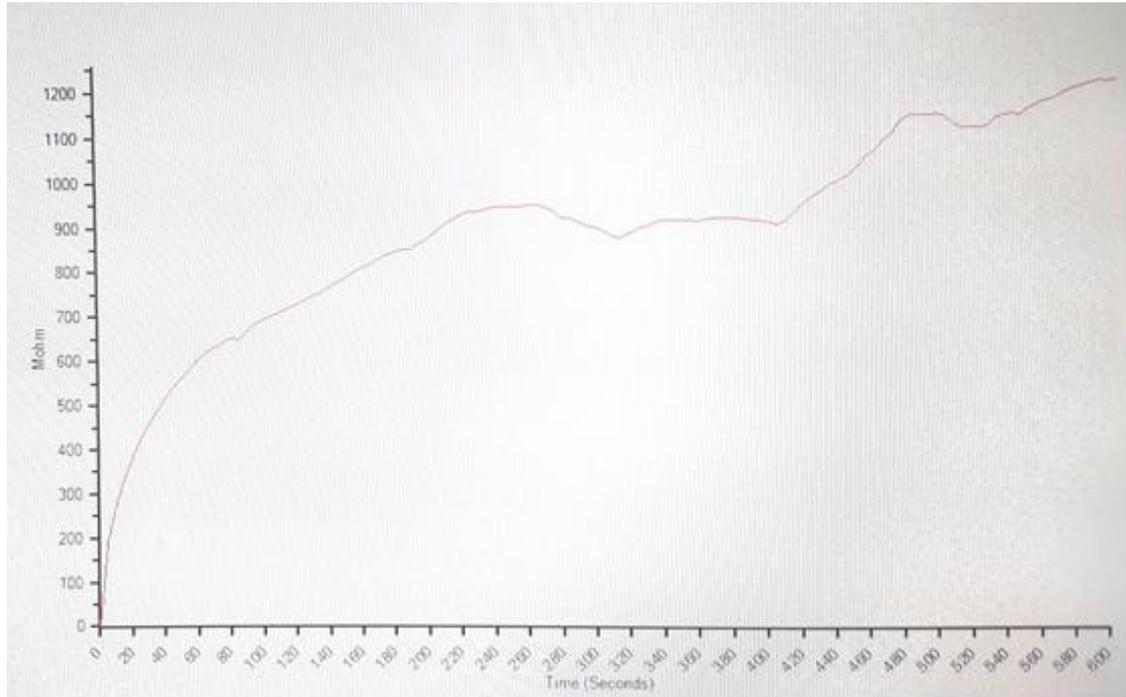


Figura 6.15 Grafica de resistencia de aislamiento del motor MC-BC-3D

Resultados	
Tensión de prueba:	5000 V
Índice de Absorción Dieléctrica (DA):	1.322
Índice de Polarización (IP):	2.0
Resistencia de aislamiento en el minuto 10:	1200 MΩ
Condición del devanado del Rotor:	BUENA

De acuerdo con el tipo de aislamiento clase F para este motor, el cual indica que el IP mínimo a considerar es de 2 de acuerdo con la Tabla 5.2, se determina que este motor se encuentra dentro del límite establecido ya que su $IP=2.0$. El motor se encuentra en condiciones eléctricas de arranque.

PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (Arranque inicial)

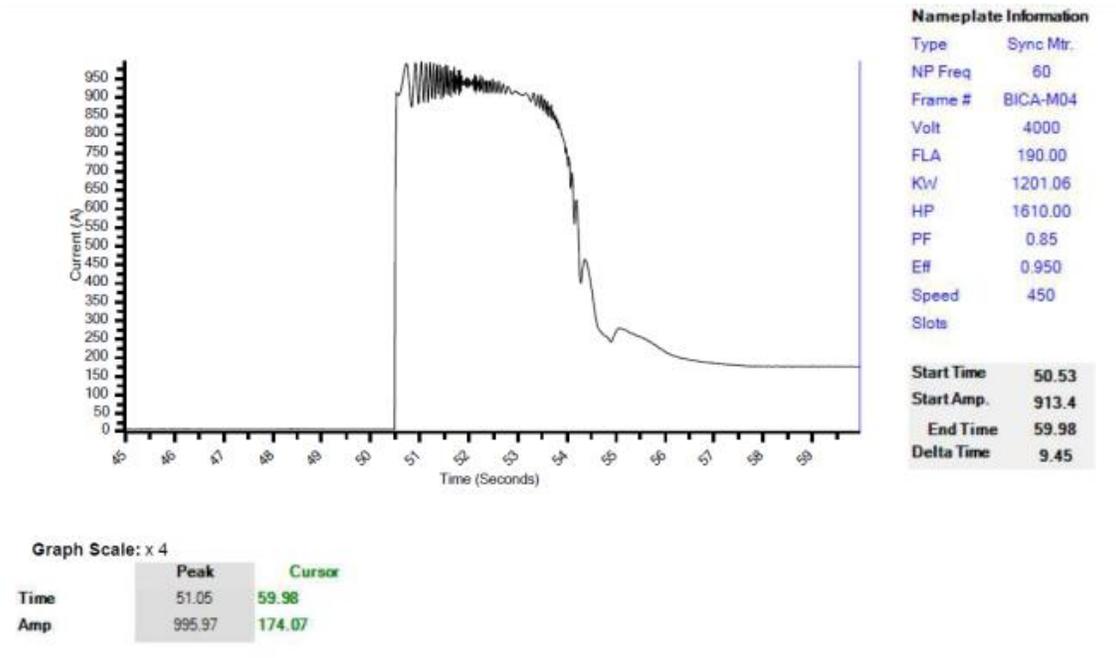


Figura 6.16 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (Arranque inicial)

Resultados	
Corriente de Arranque:	913.4 A
Corriente en modo motor de inducción:	174.07 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	No sincronizado
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	No operó como motor síncrono

La corriente de arranque se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor no se sincronizó. En la gráfica se muestra que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor continuó en su modo motor de inducción.

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (2do Arranque)

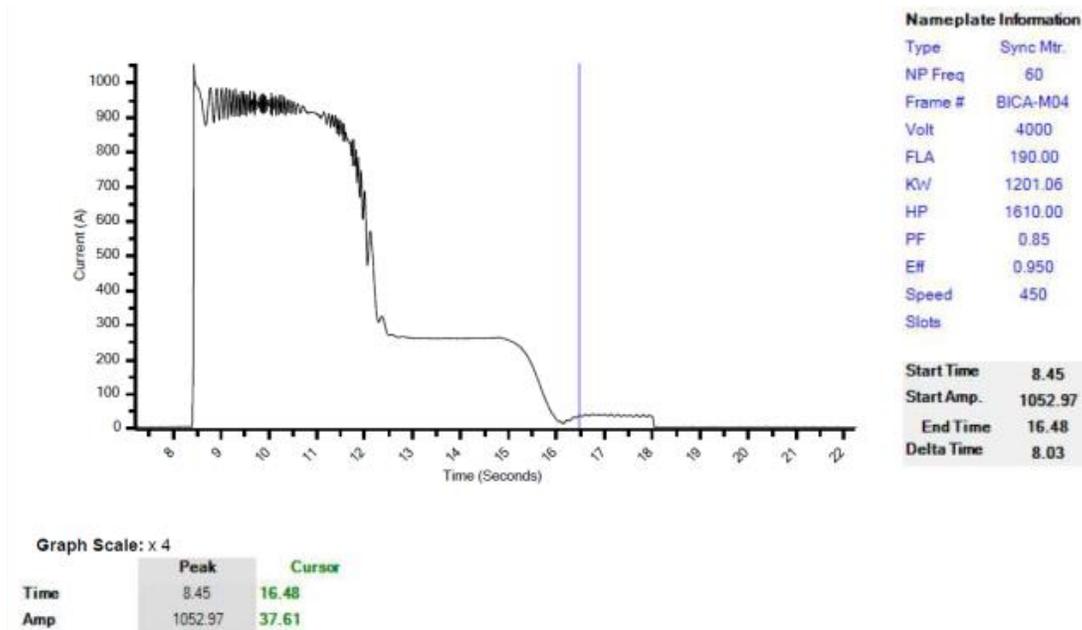


Figura 6.17 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (2do Arranque)

Resultados	
Corriente de Arranque:	1052.97 A
Corriente en modo motor de inducción:	260.55 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	8.03 s
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	37.61 A

La corriente de arranque se encuentra 8A fuera del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor se sincronizó en aproximadamente 8 s, lo cual es correcto. En la gráfica se muestra, que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor opera como motor síncrono a su corriente de vacío. Transcurrido aprox. 2 segundos de la sincronización, se abre el contactor principal del motor. No opera ninguna protección eléctrica del motor.

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (3er Arranque)

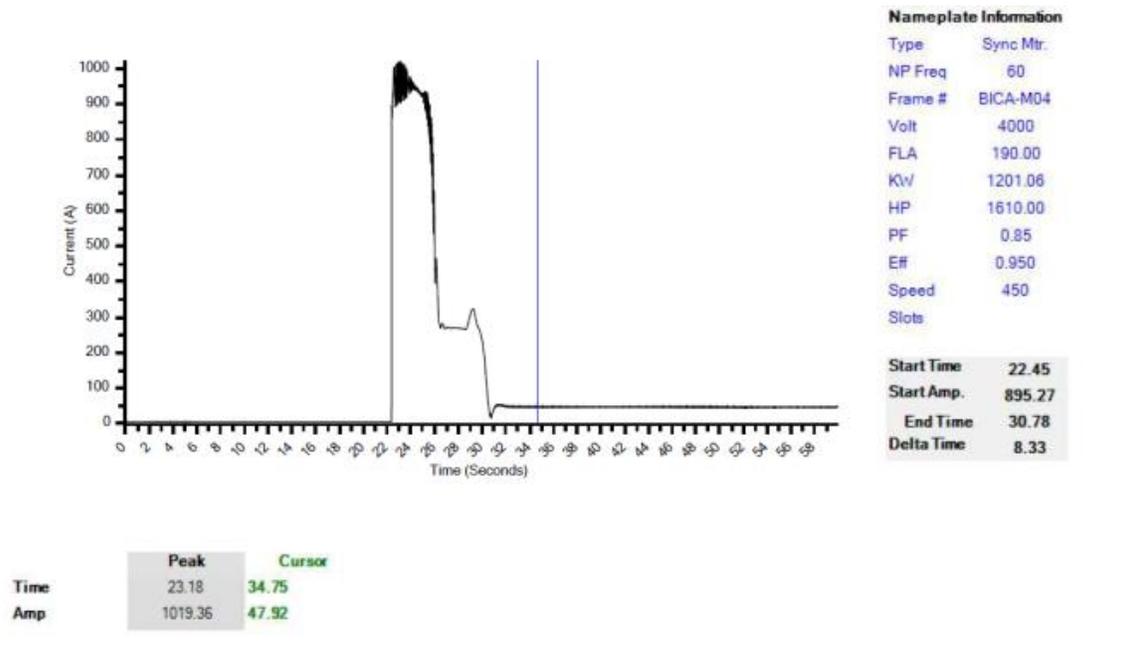


Figura 6.18 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (3er Arranque)

Resultados	
Corriente de Arranque:	895.27 A
Corriente en modo motor de inducción:	267.49 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	8.33 s
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	47.92 A

La corriente de arranque se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor se sincronizó en aproximadamente 8 s, lo cual es correcto. En la gráfica se muestra, que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor opera como motor síncrono a su corriente de vacío.

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (4to Arranque)

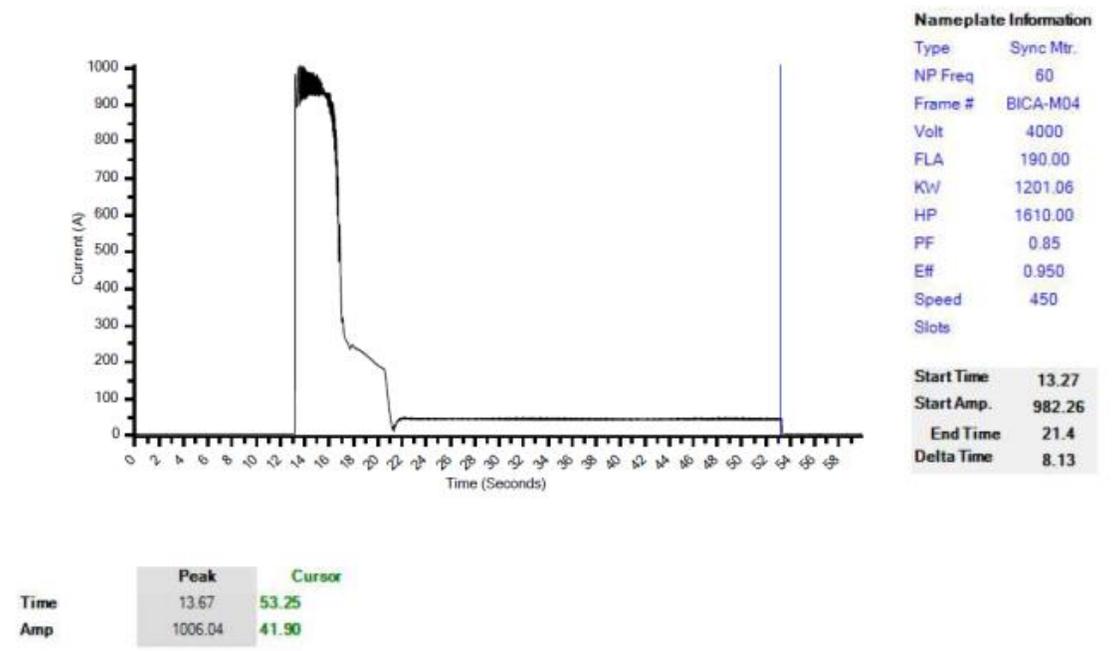


Figura 6.19 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (4to Arranque)

Resultados	
Corriente de Arranque:	982.26 A
Corriente en modo motor de inducción:	245 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	8.13 s
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	41.90 A

La corriente de arranque se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor se sincronizó en aproximadamente 8 s, lo cual es correcto. En la gráfica se muestra, que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor opera como motor síncrono a su corriente de vacío durante 32 s aproximadamente, abriendo el contactor principal del motor. No opera ninguna protección eléctrica del motor.

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (5to Arranque)

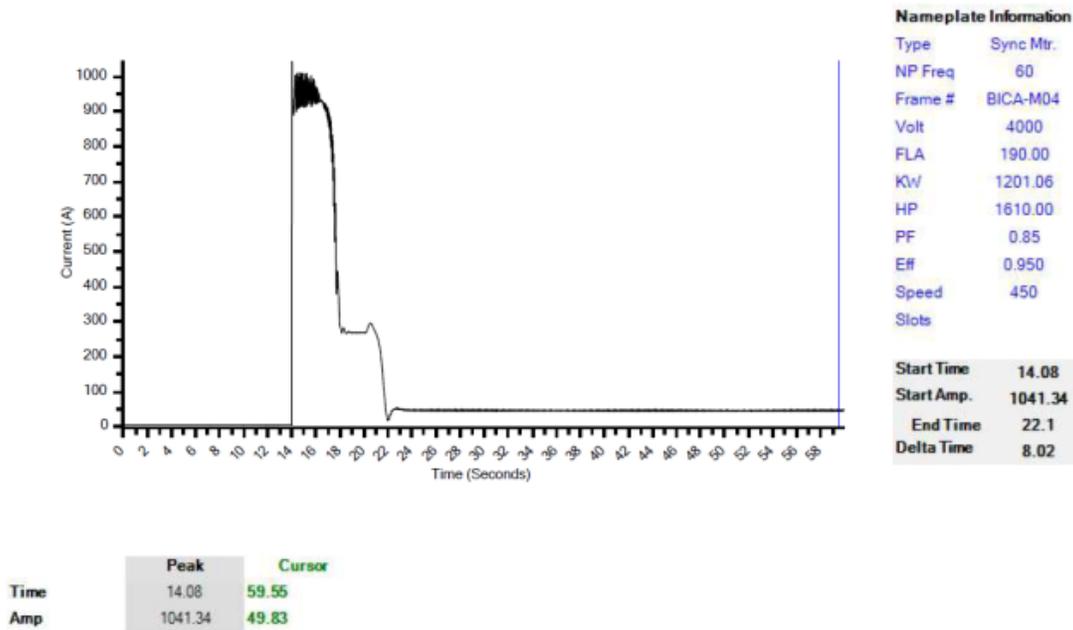


Figura 6.20 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (5to Arranque)

Resultados	
Corriente de Arranque:	1041.34 A
Corriente en modo motor de inducción:	268.07 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	8.02 s
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	49.83 A

La corriente de arranque se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor se sincronizó en aproximadamente 8 s, lo cual es correcto. En la gráfica se muestra, que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor opera como motor síncrono a su corriente de vacío durante 33 minutos aproximadamente procediendo a parar el motor. No opera ninguna protección eléctrica del motor durante este periodo.

RESULTADOS DE PRUEBA DE CORRIENTE/TIEMPO DE ARRANQUE DEL MOTOR (6to Arranque)

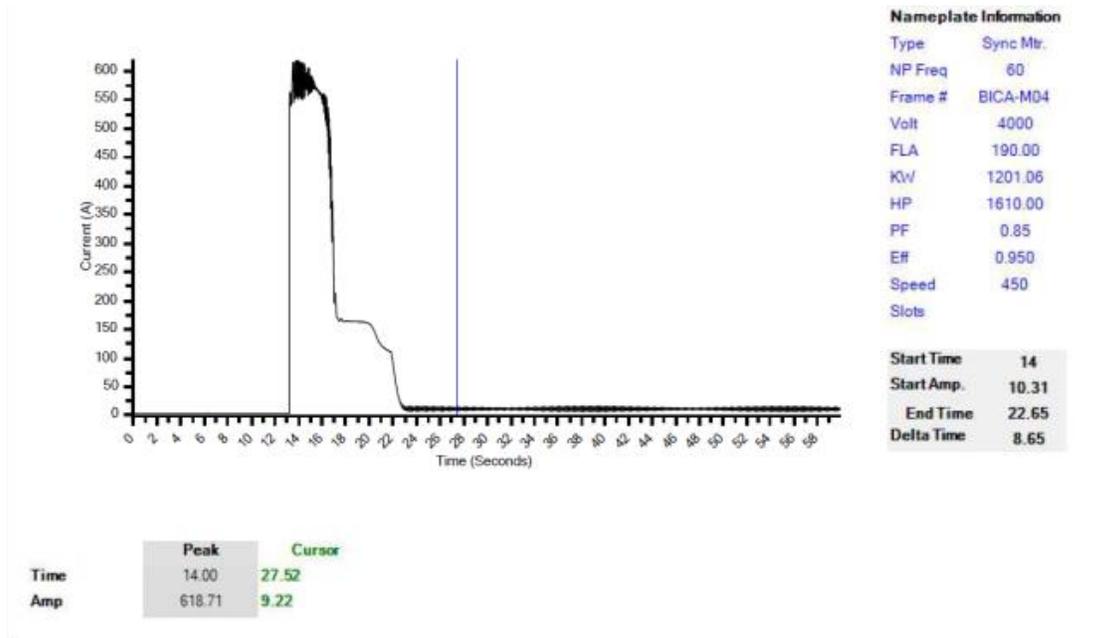


Figura 6.21 Grafica de Corriente/Tiempo de Arranque del motor MC-BC-3D (6to Arranque)

Resultados	
Corriente de Arranque:	618.71 A
Corriente en modo motor de inducción:	163.66 A
Tiempo de conexión de excitación CD (Δt Sincronización):	8.65 s
Corriente en modo motor síncrono en vacío:	9.22 A

La corriente de arranque se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante, el diseño original de este motor es de $(5.5 * I_{nom})$, por lo tanto $I_{nom} = 5.5 \times 190 \text{ A} = 1045 \text{ A}$.

El tiempo de sincronización (Δt Sincronización), especificado por el fabricante del equipo es 7 s. En esta prueba el motor se sincronizó en aproximadamente 8 s, lo cual es correcto. En la gráfica se muestra, que, transcurrido el tiempo de sincronización, el motor opera como motor síncrono a su corriente de vacío (15 a 20 A en promedio) y a F.P. aproximadamente unitario. Estas mediciones se realizaron en los secundarios de los transformadores de instrumentos del tablero principal del contactor del motor.

PRUEBA DE DEMODULACIÓN

RESULTADOS DE PRUEBA DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL MOTOR POR DEMODULACIÓN

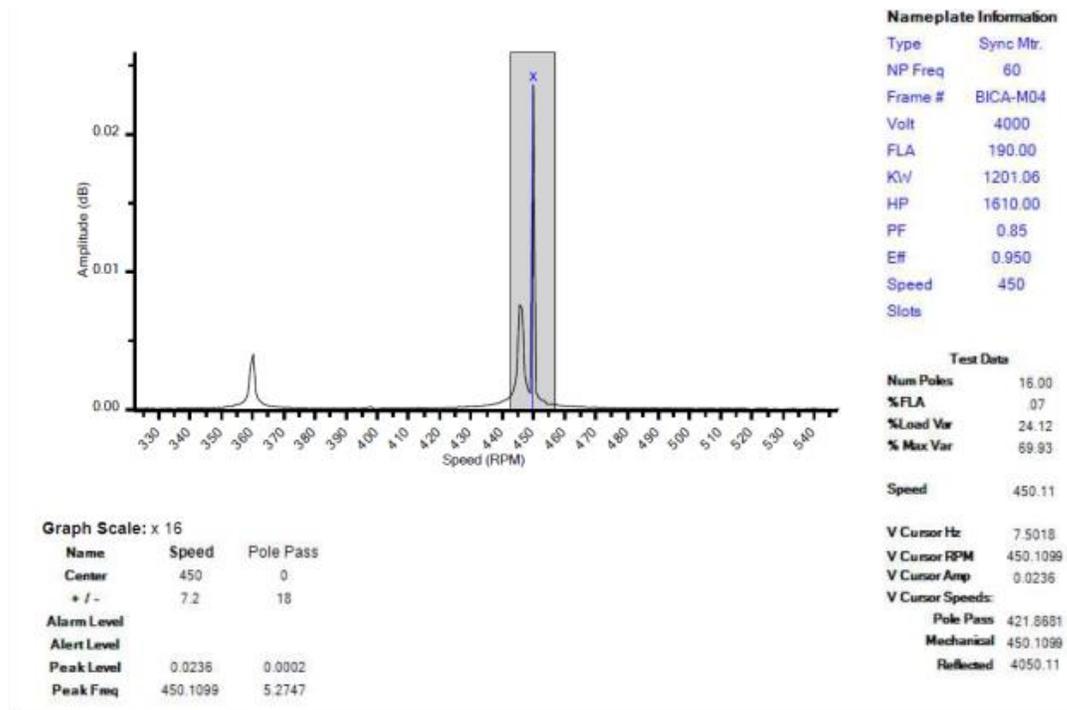


Figura 6.23 Grafica de la prueba de demodulación del motor MC-BC-3D

Los resultados obtenidos de esta prueba, muestran que el motor se encuentra operando en su velocidad nominal de diseño y en condiciones de vacío.

Es necesario, realizar esta prueba durante la operación del motor en sus condiciones nominales.

CONCLUSIONES

Como recomendación final y protocolo de seguridad para la ejecución de pruebas a transformadores y a motores, se recomienda que se realicen con los más estrictos protocolos de seguridad, de acuerdo con los manuales con los que cuente la empresa, ya que este tipo de documentos proporciona la información necesaria para poder realizar las pruebas de la mejor manera; desde el equipo de protección personal con el que debe contar la persona o personas que estén designados para realizar dichas pruebas así como los protocolos de seguridad que deben seguir como la desenergización del equipo con sus respectivas puestas a tierra para descargar dichos equipos y garantizar así la seguridad del personal que intervendrá los equipos bajo prueba, el delimitar un área de trabajo para evitar cualquier tipo de percance, que los equipos de prueba a utilizar en buenas condiciones y calibrados y finalmente los pasos que se deben seguir para la conexión y desconexión de los equipos de prueba al transformador así como la recopilación de los datos de cada una de las pruebas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES PARA TRANSFORMADORES

Los transformadores son equipos que requieren de extremo cuidado, por lo que realizar pruebas precisas para poder determinar las condiciones en las cuales se encuentran estos equipos se considera de forma vital ya que son los equipos más importantes y costosos dentro de la industria, debido a que si este equipo se viera afectado, las pérdidas de producción para la empresa o el lugar al cual suministra de energía este equipo serian sumamente costosos.

Por tales motivos, el tener en las mejores condiciones a los transformadores es de vital importancia, debido al papel que desarrollan estos equipos en la industria y en la vida de las personas, por lo cual las empresas que cuenten con dichos equipos para alimentar sus instalaciones eléctricas, cuenten con un plan de mantenimiento e inspección regular no solo hacia estos equipos sino a todo su sistema eléctrico.

Para las pruebas a transformadores, como lo son la prueba de resistencia de aislamiento o la prueba de relación de transformación, se recomiendan llevarse con un periodo anual en donde se le realicen las pruebas correspondientes al mantenimiento predictivo las cuales lleven al técnico o ingeniero a conocer el estado de operación del equipo y a la vez se lleve un registro de estas pruebas para que se puedan comparar las pruebas anteriormente realizadas para conocer el desgaste o envejecimiento de este equipo y así poder determinar nuevos periodos de mantenimiento preventivo con el fin de mejorar y mantener las condiciones de estos

equipos y así poder disminuir la probabilidad de ocurrencia de una falla que se pudiese presentar en estos equipos, además de garantizar la vida útil de estos equipos y el poder conocer en determinado tiempo si este equipo requiere ser reemplazado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES PARA MOTORES

Las pruebas a motores son igualmente necesarias para aquellas empresas en las cuales motores desempeñen trabajos específicos y se requiera de que estos equipos permanezcan en producción de manera continua, por lo cual se debe de tener un protocolo de mantenimiento y revisión de estos equipos ya que al igual que los transformadores requieren de ello así como de pruebas que nos ayudan a determinar el estado de los motores para poder dar el correcto mantenimiento a estos equipos y así garantizar la vida útil de estos equipos así como la seguridad de que se encuentran en las mejores condiciones.

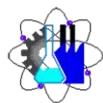
Para las pruebas a motores, como lo son la prueba de resistencia de aislamiento o la prueba estándar de corriente alterna tanto para el rotor como para el estator, se recomiendan llevarse con un periodo semestral o anual dependiendo de las condiciones de trabajo a las que son sometidos y de los protocolos de dicha empresa en donde se le realicen las pruebas correspondientes al mantenimiento predictivo las cuales lleven al técnico o ingeniero a conocer el estado de operación del equipo y a la vez se lleve un registro de estas pruebas para que se puedan comparar las pruebas anteriormente realizadas para conocer el desgaste o envejecimiento de este equipo y así poder determinar nuevos periodos de mantenimiento preventivo con el fin de mejorar y mantener las condiciones de estos equipos y así poder disminuir la probabilidad de ocurrencia de una falla que se pudiese presentar, durante la operación en condiciones normales de estos equipos, además de garantizar la vida útil de los mismos y el poder conocer en determinado tiempo si este equipo requiera reemplazarse.

REFERENCIAS

- [01] Conceptos básicos de máquinas eléctricas Universidad de Chile | FCFM | Minor en Energías Renovables EL6000
- [02] Programa Integral De “Asistencia Técnica Y Capacitación Para La Formación De Especialistas En Ahorro Y Uso Eficiente De Energía Eléctrica, Curso-Taller Promotores De Ahorro Y Eficiencia De Energía Eléctrica, Ahorro De Energía Mediante Motores Eléctricos De Inducción De Alta Eficiencia, 2010.
- [03] La Historia del Transformador J. Olivares Galván, Miembro IEEE, Marco A. Venegas, Miembro, IEEE, Salvador Magdalena, Miembro IEEE
- [04] Historia del motor eléctrico Por Camila Díaz Posteadó en Mayo 31, 2019
- [05] MICHAEL FARADAY: El encuadernador que revoluciono la ciencia. José Antonio Díaz-Hellín Martínez Del Rey. Marzo 2003
- [06] Reparación de una Bicicleta Eléctrica. Jaime Fernando Burbano Ortiz. 18 de Mayo del 2018. Pág. 13
- [07] Secretaria de energía. NOM-002-SEDE/ENER-2014, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. Viernes 29 de Agosto del 2014 Pág. 4
- [08] PRUEBAS PRINCIPALES A UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION PARA SU PUESTA EN SERVICIO. ERICK ALAN DE LA CRUZ CRUZ. MEXICO DF 2008
- [09] METODOLOGIA PARA PRUEBAS DE CAMPO A TRANSFORMADORESDE POTENCIA MAYORES A 1 MVA. JIMENEZ HERNANDEZ JESUS. 26 DE OCTUBRE DEL 2009.
- [10] DOF - Diario Oficial De La Federación Norma NMX-J-285-ANCE-2017 04/04/17
- [11] Pruebas para instalación, puesta en servicio, operación y mantenimiento de transformadores de potencia. Julio Cesar Corrales León. Marzo 1999. Pág. 14
- [12] Partes que componen un transformador. Maquinas eléctricas III Transformadores. Luis Alberto Moreno Campos. 11/06/2012 Pág. 11
- [13] Pruebas Principales A Un Transformador De Distribución Para Su Puesta En Servicio. Erik Alan De La Cruz Cruz. 2008. Pág.24
- [14] Manual de motores eléctricos. Capítulo 1: Introducción a los motores eléctricos
- [15] Reparación de una bicicleta eléctrica. Jaime Fernando Burbano Ortiz. 18 de mayo del 2018. Pág. 18.

- [16] Comprobación del estado del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas mediante la aplicación de ensayos offline. Rubén Darío Carrión Jaura. Valencia octubre 2016. Pág. 8.
- [17] Pruebas principales a un transformador de distribución para su puesta en servicio. Erick Alan de la Cruz Cruz y Jehú Vargas Ortega. México D.F. 2008. Pág. 29 y 38
- [18] Guía para prueba de baja resistencia. Peter E. Langan, Jeffrey R. Jowett, S. Graeme Thomson, David O. Jones. MEG-349/MIL/1.5M/12.2004. Pág. 27 y 28.
- [19] Metodología para pruebas de campo a transformadores de potencia mayores a 1 MVA. Jiménez Hernández Jesús. Octubre 2009. Anexo F.
- [20] Norma ANCE, Transformadores y Autotransformadores de distribución y potencia - Métodos de prueba. NMX-J-169-ANCE-2015. 02 Noviembre del 2015 por el DOF. Pág. 27 y 28
- [21] Metodología para pruebas de campo a transformadores de potencia mayores a 1 MVA. Jiménez Hernández Jesús. Octubre 2009. Anexo B.
- [22] Norma ANCE, Transformadores y Autotransformadores de distribución y potencia - Métodos de prueba. NMX-J-169-ANCE-2015. 02 Noviembre del 2015 por el DOF. Pág. 42
- [23] Metodología para pruebas de campo a transformadores de potencia mayores a 1 MVA. Jiménez Hernández Jesús. Octubre 2009. Anexo E.
- [24] Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia. Juan Núñez Forestieri. 2004. Pág. 143 y 144.
- [25] IEEE-43-200 Prueba de resistencia de Aislamiento para maquinas rotativas
- [26] Confiabilidad en motores eléctricos "Homenaje a Lourival Tavares". Ing. Sergio Aguilar Mtz. Febrero 2016
- [27] Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de minerales. Rubén Roberto Monardes Ponce. 12 de junio del 2017 Pág. 13
- [28] Comprobación del estado del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas mediante la aplicación de ensayos offline. Rubén Darío Carrión Jaura. Octubre del 2016. Pág. 38
- [29] IEEE Std 95-2002 IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage. 12 de abril 2002 Pág. 13
- [30] IEEE Std 95-2002 IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage. 12 de abril 2002 Pág. 16-17

- [31] IEEE Std 522-2004 IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Electric Machines. 9 de Agosto 2004
- [32] Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de minerales. Rubén Roberto Monardes Ponce. 12 de Junio del 2017. Pág. 20
- [33] Comprobación del estado del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas mediante la aplicación de ensayos offline. Rubén Darío Carrión Jaura. Octubre del 2016. Pág. 59
- [34] Diagnostico de fallas en motores de inducción. Gustavo Saúl Peralta Núñez. 2009. Pág. 118
- [35] NORMA ANSI-NETA-ATS-2017, ACEPTACIÓN: ESPECIFICACIÓN DE PRUEBA, DE MATERIALES ELÉCTRICO DE POTENCIA Y SISTEMAS DE NORMA. Tabla 100.3, página 206.
- [36] Pruebas principales a un transformador de distribución para su puesta en servicio. Erick Alan de la Cruz y Jehú Vargas Ortega. México D.F. 2008. Pág. 60, 62 y 63.
- [37] Prueba De Factor De Potencia. Intec; Innovaciones Tecnológicas. Intec 2004.
- [38] Diagnostico De Motores Mediante El Equipo PdMA. Víctor Manuel Estudillo Piñero. Xalapa Veracruz. Noviembre 2012. Páginas 44-49, 63-66, 67-71 y 72-73.
- [39] Análisis De Motores AC Trifásicos MCEMAX. DatAnalyse España S.L. España.
- [40] Mantenimiento Predictivo Para Motores Eléctricos. Ing. William Murillo.
- [41] Implementación De Una Guía Para El Diagnostico De Fallas Y Estimación De Eficiencia De Maquinas Eléctricas Asíncronas Utilizando El Equipo MCMAX. Andrés Camilo Vanegas Rojas. Santiago De Cali, 2019. Página 44, 48.
- [42] Impacto Económico Del Análisis Predictivo De Motores Y Generadores Eléctricos En La Industria. Ing. Marvin Bustillo, BSEE.



DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS
ING. ARLENING ESPINOZA MARTÍNEZ
DR. MARIO LIMÓN MENDOZA
DR. JOSÉ LUIS GUTIERREZ DIAZ
ING. PEDRO FLORES SÁNCHEZ

P R E S E N T E

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de: **TESIS**

Titulado:

**“Análisis Teórico-Práctico de Pruebas Eléctricas a Máquinas
Dinámicas y Estáticas”**

Que presenta (el) o (la) **C. GARCÍA ORIHUELA SALVADOR IGNACIO**, del programa educativo de
INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA

Se anexa firma electrónica

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQeI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir **DICTÁMEN** sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS	
	ING. ARLENING ESPINOZA MARTÍNEZ	
	DR. MARIO LIMÓN MENDOZA	
	DR. JOSÉ LUIS GUTIERREZ DIAZ	
	ING. PEDRO FLORES SÁNCHEZ	

El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas

VALH/fjbg

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2021-11-24 14:22:36 | Firmante

EDeDqAUkHqrmIjtJ8+DU5vgwocOx67ND//032BKUYY/dLmP8rdBliXUgOINhB9z0MyAjOz4jN/xFFs8vM8fkzY5pqVHdGp7lc6IXSf0Q64LGSIn/ywwRoKPxsDEJtwY7zU2T0wXu85EISgUcK1IbNgl+6jEtjHrjPTzcyL2Lk68stiJgj33ImUF6ZRvP5Dkj25TeBU1JdpKxArb6R4i6bpw4jg2SFGkJKsRKTHZHnQli5pNnKbDhFv5AwQB0B1oFSYxj0yiL2CsGShNWk95InVanoN+EDjG1XNm+XvUh9PP/lsBU5M8T6TlemRkxI5KkmAsMthM+hx+JYEDNw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[ydTA7OgXE](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/7NqG1Zb9qKagFhRHXmqU5FDOyMagYIPy>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JOSE LUIS GUTIERREZ DIAZ | Fecha:2021-11-26 11:46:09 | Firmante

I4B6I2SSuu5EsB1p2Nz3Ft8SmyfXm6FV00qjkh0LdJXFavRdLXFVHU2fOK+brhWLUe/O7P+LuC8pXFHZ/vcdPg9Ili9eYmD0b886gLiNKxagkXF+MXj8UeuoojqU/RPLwuMqHmo+YP9na1cVUhI0kCEzQh2yKJ4bXh9yY2WcjpEdIk1Ucu79kL6t+DT6RmL14E7qPZH/yBbnOK9XHcfL32ku3T8PcmteJuWAEtdY1YxkTvP07g/6juqkazUNFKMpnF0NxnUGShzEDk4TKxQuiyICQXqkEd42X91d+vBm6d/JdiNA3YRB1qc0iIMAZprdv+Vlie1c4bFnVCXCHW==

LUIS CISNEROS VILLALOBOS | Fecha:2021-11-26 11:56:24 | Firmante

ZuapOFir94xrV1n+B+AORXVpTq4nwL66rv6yXqfrWkwVx2F0OZ/n8CHQifgvxufHTNcUu9i/cWgNbgPRfdtNTq9pd28QxnmvXJ4K256m6KsiQEMaulfN0mBYrLtU7Ycnd4pHUCEwgTUTglvZlbn9uvllVkvT4ZE0q+alpij+XU39+ZQOGzEwxOBDOVhuBG9L/QIFXKv54nvEI0IIB+sSdu78V6iP2UbjtcBaCIPBpBL3sF5+uaYXBO2eHDPUEd3AKARsnG4leIPBEw6pAv8o77e0Bskl3Iz24hBCVcn7KyTxzqNow4POaAYirv5+4thSYGueTpnYY45UCARINzeng==

MARIO LIMON MENDOZA | Fecha:2021-11-26 14:11:43 | Firmante

I6pKgfXXcLxWeYJLJ51L0XYHjlk4FF80A2B6gNRD1wZJNLe8dPauY74P7fIDQbNZXAYsUEWVsCha0VslJobuuhj0Y46ealocsBx1NucwzbA6Tj5xjhiK9P21BtEOZUTDRvxmUg6yQp4CraRerdGAXN/L4VDRs4TvwG9utDvkafFsGa0BjH2wObGf1HdoGGh2LE6aH6fI0GgtMslJVJgeFyi5tYl3mnhzYf8iO1P6fpoJxdTf5Yj+u8ENG4ViSpDBkvw09CoLrAhZ/v5Z4C0ZhaH+rH/U1PRLGAFITPHSVMoSvix8mvvjWiN+vGCgFQK0x/YaKTOveMcGmZ3ysg==

ARLENING ESPINOZA MARTINEZ | Fecha:2021-11-28 18:49:42 | Firmante

CbmVwQ9Do57NNNiFN0dq6vIEaB9keLh7xc5hFz/d2zpObe54SjWoW2ZwwLVA5ep68DnWPOUW3TsYHu2Dw7w9f5OW+R1NnxjBohSB80nijGJMhuPe31z8zb9BWThiyEuZfjp5+Ariin9R+aF9Cc+gU41a/iDrPkEQq6rB/2s0JCh34cn07+oQg+pul/PzXdk2ggXyL+gOpKcJSPgtX2pPmlev14o62xJCqzyVeK6jS7TQ+Om1T3sstzJgQ1YUJj+Qbxn7MoqBqywk8tnl1LKYZkefGmfmbFn/kIVJAqPPaCO911XhxVwTcOmLZPCZiA+qUyqtQ4ykB4Ldl+Z4q1/g==

PEDRO FLORES SANCHEZ | Fecha:2021-11-29 22:39:38 | Firmante

V2rd1Ti3eLccUVIfxWbBcudT+e4H0/NaofuzHFGRJE1E+4ZIE/Ns95Wfyfysu02GtK/glc/MH7KYXnvmrMRW16l4bimyJYgdzO+akS1qyLLS7BPUW9eUT3vLDovR1DDftJH6hRujT1++8KN+oS2ooskpe+I6XTfsRgHp8/FfrOMOixHaFyGA3BWsSbMwny/7IT6npXX72cbFTTye7lk4EJZutijl4G59qmEbe6Qg0j9IkXEKvwekB00tCq5NzKJdUzWzWY7VhdF6613OaJ0/3RJMn0e4QOIE9yit0CG6FF04vLQq1Ugvz6QDww4TrRPPmRcILCBNBK5yAdL4zbiAA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



XzH8iZbSA

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/DAGsVMukKz3GPua0Szs6oASLFpEcNt>

