



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



**“FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES
DE DISTRIBUCIÓN”**

M O N O G R A F Í A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

P.D.I. GUSTAVO ISBOSET HIDALGO RUIZ.

D I R E C T O R:

M. en C. JOSÉ ROGELIO EFRAÍN ESCORCIA HERNÁNDEZ

MINERAL DE LA REFORMA, HGO., MAYO 2009.

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme vivir, dotarme de los medios y las personas para lograr conseguir hoy dar este paso tan importante para mí.

A mis padres César y Ernestina que me dieron la vida, por enseñarme el camino correcto, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, soy afortunado por contar siempre con su amor comprensión y ejemplo.

A mis hermanos Aniela, César y Héctor, por su cariño, apoyo y consejos que me han brindado todo este tiempo.

A la persona especial con la que siempre he contado con todo su apoyo incondicional y que me motivo a terminar este trabajo gracias MECH.

Gracias a todos.

Gustavo Isboset Hidalgo Ruiz.

RECONOCIMIENTOS

A mi escuela UAEH, mi instituto ICBI a mis catedráticos y a mis amigos y compañeros de carrera que me enseñaron que el compartir el conocimiento es una de las alegrías más vitales de la vida.

A mi asesor M. en C. José Efraín Rogelio Escorcía Hernández por su apoyo desinteresado por sus sugerencias y confianza en la realización de este trabajo.

A la empresa transformadores Voltran por darme la oportunidad de ampliar mis conocimientos y desarrollarme en el ámbito laboral y profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS	ii
RECONOCIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
JUSTIFICACIÓN	x
OBJETIVO GENERAL.....	x
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPITULO 1. GENERALIDADES.	1
1.1 ¿Qué es un Transformador?.....	1
1.2 Conceptos de Electromagnetismo.....	1
1.3 Importancia del Transformador en el Proceso de Generación, Transmisión y consumo de Energía Eléctrica.	1
1.4 Principio de funcionamiento.....	2
1.5 Partes y Accesorios de un Transformador.	4
1.5.1 El Circuito Magnético:	5
1.5.2 Herrajes.....	6
1.5.3 El Circuito Eléctrico	6
1.5.4 Sistema aislante	7
1.5.5 Tanque y Accesorios	8
1.5.5.1 Tanque	8
1.5.5.2 Tapa	9
1.5.5.3 Accesorios	10
1.5.5.4 Cambiador de derivaciones.....	11
1.5.5.5 Radiadores	11
1.5.5.6 Boquillas de alta y baja tensión	12
1.5.5.7 Indicador de temperatura (con y sin contactos de alarma).....	13
1.5.5.8 Indicador de nivel	13
1.5.5.9 Relevador Buchholz	14
1.5.5.10 Tanque Conservador.....	16
1.5.5.11 Ventiladores.....	18
1.5.5.12 Placa de datos	19
1.5.5.13 Válvula de sobre presión	20

1.5.5.14	Transformadores de corriente	21
1.5.5.15	Equipo inert – air	22
1.5.5.16	Válvula de drene de aceite	23
1.5.5.17	Válvula de muestreo	23
1.5.5.18	Caja de conexiones	23
CAPITULO 2. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES		25
2.1	<i>Clasificación:</i>	25
2.2	<i>Utilización de los Transformadores.</i>	25
2.3	<i>Numero de Fases.</i>	29
2.3.1	Monofásico	30
2.3.2	Trifásico.....	30
2.4	<i>De acuerdo con el medio refrigerante.</i>	30
2.4.1	Tipo OA.....	31
2.4.2	Tipo OA/FA.....	31
2.4.3	Tipo FOA.....	32
2.4.4	Tipo OW.....	32
2.4.5	Tipo FOW.....	32
2.4.6	Tipo AA.....	32
2.4.7	Tipo AA/FA.....	32
CAPITULO 3. FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR		33
3.1	<i>Fabricación del transformador.</i>	34
3.2	<i>Lamina de acero al silicio para fabricación del núcleo</i>	34
3.3	<i>Montaje de núcleo</i>	35
3.4	<i>Ensamble Núcleo Herrajes.</i>	35
3.5	<i>Fabricación de Bobinas A.T y B.T.</i>	36
3.6	<i>Corte y doblez de tanque y tapa</i>	38
3.7	<i>Pintura.</i>	42
3.8	<i>Ensamble Núcleo Bobinas- Conexiones.</i>	43
3.9	<i>Secado y llenado de aceite.</i>	44
3.10	<i>Terminación y acabado</i>	45
3.11	<i>Pruebas de laboratorio.</i>	45
3.12	<i>Pruebas de Rutina.</i>	45
3.13	<i>Resistencia óhmica de los devanados</i>	46
3.14	<i>Resistencia de los devanados.</i>	46
3.15	<i>Rigidez dieléctrica del líquido aislante.</i>	47
3.16	<i>Pruebas de puesta a punto.</i>	48
3.17	<i>Prueba de resistencia de aislamiento a devanados.</i>	49
3.18	<i>Métodos de medición.</i>	50
3.18.1	Prueba de relación de transformación.....	51
3.18.2	Método de medición T.T.R.....	51
3.19	<i>Prueba de rigidez (determinación de la tensión de ruptura) dieléctrica al aceite.</i>	52

3.20	<i>Medición de factor de potencia de los devanados.</i>	53
3.21	<i>Factores que afectan la prueba.</i>	54
3.21.1	Recomendaciones para efectuar la prueba de corriente de excitación.	57
3.21.2	Factores que afectan la prueba.	57
3.21.3	Pruebas a los accesorios de medición y control.	58
3.22	<i>Operación.</i>	59
3.23	<i>Temperatura ambiente.</i>	59
3.24	<i>Altitud de operación.</i>	60
3.25	<i>Efecto de altitud en la elevación de temperatura.</i>	60
3.25.1	Operación a capacidad normal.	60
3.25.2	Operación a capacidad reducida.	60
3.26	<i>Efecto de altitud en la rigidez dieléctrica del aire.</i>	61
3.27	<i>Variación del voltaje de alimentación.</i>	61
3.28	<i>Conexiones.</i>	61
3.29	<i>Mantenimiento.</i>	62
3.29.1	Instrucciones para los trabajos de Monitoreo y Mantenimiento.	62
3.29.2	Verificación de los indicadores de nivel de aceite.	62
3.29.3	Verificación de fugas de aceite en bridas y soldaduras.	62
3.29.4	Verificación de la presión en el tanque principal o tanque conservador.	63
3.29.5	Verificación de la pintura de acabado y limpieza de la superficie.	63
3.29.6	Verificación del sistema de tierras.	63
3.29.7	Muestreo de aceite.	64
3.29.8	Cambiador de derivaciones.	64
3.29.9	Verificación del bloqueo.	64
3.29.10	Sistema de enfriamiento.	64
3.29.11	Caja de conexiones.	64
3.29.12	Transformadores de corriente.	65
3.29.13	Dispositivos de monitoreo.	65
3.29.14	Verificación del relevador del switch y la válvula de sobrepresión de cambiadores de derivaciones bajo carga.	66
3.29.15	Indicadores de temperatura.	66
3.29.16	Indicadores de nivel.	66
3.29.17	Válvula de sobrepresión.	66
3.29.18	Pruebas.	66
CONCLUSIONES		68
ANEXOS		69
BIBLIOGRAFÍA		84
GLOSARIO		85

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Diagrama eléctrico que muestra las diferentes funciones de los transformadores.....	2
Fig. 1.2 Transformador monofásico con el secundario en circuito abierto.	3
Fig. 1.3 Transformador monofásico con carga en el secundario.	3
Fig.1.4. Parte interna de transformador real. []	4
Fig. 1.5 Maquina de corte george.	6
Fig. 1.6 Herraje y/o culata de madera (maple canadiense) y herraje de metal.	6
Fig. 1.7 Vista general de una bobina de baja y alta tensión en forma cilíndrica.....	7
Fig. 1.8 Tanque armado sin granallar	9
Fig. 1.9 Tapa Atornillable	10
Fig. 1.11 Radiadores de tipo oblea y de tipo tubular	12
Fig. 1.12 Boquillas de Alta y Baja Tensión.	12
Fig. 1.13 Indicadores de temperatura con contactos de alarma y sin contacto de alarma.....	13
Fig. 1.14 Indicador de nivel con contactos de alarma y sin contactos de alarma.....	14
Fig.1.15 Corte parcial de un Relevador Buchholz.	15
Fig. 1.16 Vista de frente de tanque conservador.....	18
Fig. 1.17 Ventilador utilizado para transformadores enfriados por aceite y aire forzado.....	19
Fig. 1.18 Placa de datos de un transformador.....	20
Fig. 1.19 Válvula sobrepresión y válvula de sobrepresión mecánica	21
Fig. 1.20 Transformador de corriente tipo Bushing.	22

Fig. 1.21 Válvula para drenado del aceite.	23
Fig. 1.21 Válvula para el muestreo del aceite.	23
Fig. 1.22 Caja de conexiones.	24
Fig. 2.1 Transformador tipo poste.	26
Fig. 2.2 Transformado tipo encapsulado.	26
Fig. 2.3 Transformador tipo pedestal.	27
Fig.2.4 Transformador tipo subestación.....	27
Fig. 2.5 Transformador tipo estación.....	28
Fig. 2.6 Transformador tipo sumergible.....	28
Fig.2.7 Transformador de potencia.....	29
Fig. 2.8 Transformador tipo seco	29
Fig. 2.9 Transformador monofásico.....	30
Fig. 2.10 Transformador trifásico	30
Fig. 3.1 Proceso de Fabricación del Transformador	33
Fig.3.2. Cortes de lámina de acero al silicio	34
Fig.3.3 Montaje de un núcleo tipo columna con cortes a 45°	35
Fig. 3.4 ensamble núcleo herrajes.	36
Fig. 3.5 Bobina en forma cilíndrica.....	37
Fig. 3.6. Aislamiento para devanados papel y cartón pressboard.	37
Fig. 3.7. Bobinadora Automatizada.	38
Fig. 3.8 Bobinadora marca bolifil manual.....	38
Fig. 3.9 Dobladoras.....	39

Fig. 3.10 Piezas dobladas.....	40
Fig. 3.11 Tanque soldado y sin granalla	40
Fig. 3.12 cámara de granallado	41
Fig. 3.13 tanque granallado.	41
Fig. 3.14 Cámara de pintura.....	42
Fig. 3.15 Tanque con radiadores y pintado	42
Fig. 3.16 Ensamble núcleo bobinas y conexiones.	43
Fig. 3.17 Horno eléctrico	44
Fig. 3.18 Conjunto interno en tanque y llenado de aceite.	44
Fig.3.19 Transformador terminado.	45
Fig. 3.20 Dispositivo de medición de relación de transformación	46
Fig. 3.21 dispositivo de medición de relación de transformación digital	47
Fig. 3.22 Dielectrómetro	47
Fig 3.23. Grafica de la ley de ohm	54

JUSTIFICACIÓN

En el campo de la electricidad es importante y necesario un estudio especial y detallado del principio de la transformación de la energía, que aplica tanto en la industria como en uso doméstico; por tal motivo me eh dado a la tarea de realizar un trabajo que simplifique de manera general todos y cada uno de los pasos en la fabricación de un trasformador eléctrico, con la firme intención de que será utilizado como un material de apoyo en la transmisión de los conocimientos y antecedentes propios de los procesos involucrados a desarrollar un programa de la capacitación y elaboración de trasformadores eléctricos.

OBJETIVO GENERAL.

La realización del presente trabajo tiene como finalidad la elaboración de un documento que presente una guía explicita que manifieste la importancia de los trasformadores eléctricos con la sociedad y en proporción en el sector industrial, detallando el proceso de fabricación que conlleve a la satisfacción de los usuarios en sus respectivos campos de aplicación, con base a los distintos tipos de trasformadores eléctricos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Dar a conocer el proceso de fabricación de un trasformador eléctrico.
- Conocer los diferentes tipos de trasformadores.

INTRODUCCIÓN

El transformador, es un dispositivo que no tiene partes móviles, el cual transfiere energía de un circuito a otro bajo el principio de inducción electromagnética. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los voltajes de corrientes.

Un transformador elevador recibe la potencia a un valor mas elevado, en tanto que un transformador reductor recibe la potencia a un valor bajo.

Sustancialmente se puede decir que un transformador esta constituido por un núcleo de material magnético que forma un circuito cerrado, y sobre de cuyas columnas o piernas se localizan los devanados, uno denominado "primario" que recibe la energía y el otro secundario, que se cierra sobre un circuito de utilización al cual entrega la energía.

El transformador lo podemos encontrar en muchos lugares, en las centrales hidroeléctricas, en las lámparas de bajo consumo, en los cargadores de pilas, en las fuentes de alimentación de ordenadores, etc. Su tamaño es variable, pueden ser muy pequeños o ser enormes y pesar más de 500 Ton.

Uno de los usos más importantes de los transformadores es el transporte de la electricidad. En las centrales eléctricas el generador está conectado al primario de un transformador elevador. En el secundario, se obtiene una tensión muy elevada que se lleva a las líneas de transporte por resultar más económico. De este modo se reducen al mínimo las pérdidas que en forma de calor, tendrían lugar por efecto Joule. Por otra parte, consideraciones como el aislamiento y su seguridad en el empleo obligan a distribuir la energía a los consumidores voltajes más bajo con corrientes más altas. Esto se lleva a cabo en los centros de distribución, a través de transformadores reductores de tensión.

Los transformadores también se emplean como adaptadores de impedancias en el acoplamiento de un altavoz a un amplificador de audio. Normalmente los transformadores constan de dos bobinados que se devanan claramente separados. Sin embargo, existen también transformadores que constan de una sola bobina arrollada sobre un núcleo de hierro que dispone de varias tomas. Dos de ellas pueden considerarse "terminales primarios" y otras dos "terminales secundarios". Estos transformadores de un único bobinado se llaman autotransformadores y su uso se deriva de las ventajas económicas que presenta: menor costo, menor peso y mejor rendimiento.

En el presente trabajo se explicará el proceso de fabricación de los transformadores eléctricos de distribución así como sus diferentes tipos (tipo poste, tipo pedestal, entre otros) donde se mostrara cada etapa de los elementos y accesorios que con lleva al correcto funcionamiento de acuerdo a los requerimientos dados por el cliente, para así llegar a la puesta en servicio.

CAPITULO 1. GENERALIDADES.

1.1 ¿Qué es un Transformador?

Un transformador es un dispositivo eléctrico sin partes en movimiento, que se basa en el principio de la inducción electromagnética, para transferir la energía eléctrica en C.A., circuito a otro, sin que exista contacto físico entre ambos, ni variación en la frecuencia. Normalmente esta transferencia de energía va acompañada de cambios en los valores de tensión y corriente.

Para transportar la energía eléctrica de sistemas que trabajan a una tensión dada a sistemas que lo hacen a una tensión deseada se utilizan los transformadores.

El transformador consta de una forma simplificada, de un núcleo de hierro cerrado sobre el que generalmente se disponen dos arrollamientos (bobinas) los transformadores figuran entre las máquinas eléctricas en reposo.

1.2 Conceptos de Electromagnetismo.

Una vez descritos los principales componentes, se va a tomar en cuenta el principio de la transformación.

El flujo magnético, periódicamente variable respecto al tiempo, originado por la corriente que pasa a través del arrollamiento de entrada induce en el arrollamiento salida de una tensión que varía con la misma frecuencia.

El funcionamiento del transformador de basa en las siguientes leyes:

- Ley de inducción de Faraday:
- Ley de ampere.

1.3 Importancia del Transformador en el Proceso de Generación, Transmisión y consumo de Energía Eléctrica.

Conforme la industria eléctrica fue creciendo fue teniendo mayor crecimiento, surgió la dificultad de trasladar la energía de un lugar a otro pues los artículos eléctricos trabajan basándose en corriente directa y con baja tensión. Esto tuvo como consecuencia elevar el voltaje en los centros de generación para realizar la transmisión de energía y reducirla a los centros de consumo.

El dispositivo ideal para llevar a cabo esta función es el transformador, trayendo consigo un cambio importante en la sustitución de corriente continua por la de corriente alterna, dado que los transformadores trabajan mediante el uso de la corriente alterna.

En la figura 1.1 se puede observar que para poder llevar energía a los centros de consumo desde los centros de generación es necesario el uso de un mínimo de 4 transformadores.

Estas unidades se encuentran en lugares que nosotros conocemos como subestaciones eléctricas. Los transformadores reciben diferentes nombres según el funcionamiento que se les dé como transformador de potencia o de distribución y pueden ser elevadores o de enlace.

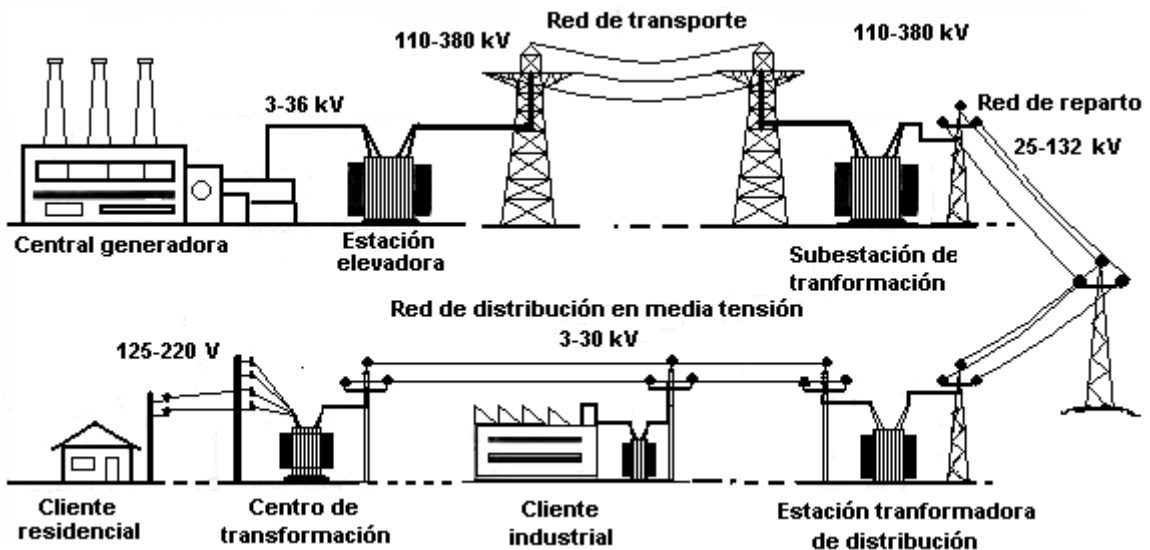


Fig. 1.1 Diagrama eléctrico que muestra las diferentes funciones de los transformadores.

Los transformadores son una parte fundamental en los sistemas eléctricos en general.

1.4 Principio de funcionamiento.

El efecto que permite al transformador trabajar se conoce como inducción electromagnética, el cual solo se presenta en circuitos de corriente alterna.

Como explicación de este fenómeno considera un transformador elemental compuesto por una parte eléctrica y una magnética, como se ilustra en la siguiente figura.

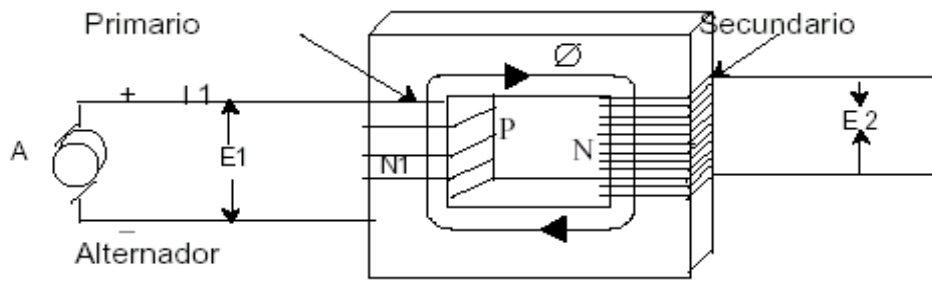


Fig. 1.2 Transformador monofásico con el secundario en circuito abierto.

La parte eléctrica está formada por dos devanados que también se conocen como bobinas, una que recibe la energía (devanado primario), y la otra es donde sale la energía (devanado secundario). Entre estos dos devanados no existe conexión eléctrica alguna.

En la parte magnética está integrada por un núcleo de acero el cual alcanza los dos devanados. En la figura no. 1.3 podemos observar como ocurre el efecto de inducción electromagnética.

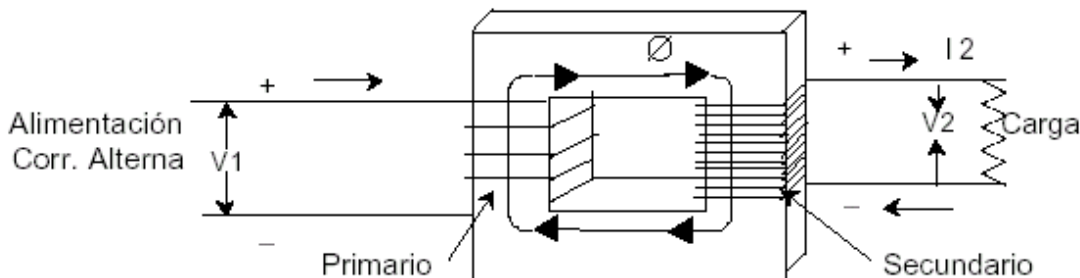


Fig. 1.3 Transformador monofásico con carga en el secundario.

Al aplicar un voltaje del tipo alterno al devanado primario, donde por este circula una corriente que genera un flujo magnético alterno. Este flujo viaja a través del núcleo y enlaza al devanado secundario induciendo en este un voltaje que puede ser aprovechado conectándole una carga que demanda una corriente.

El voltaje inducido guarda una relación directa con el número de vueltas del devanado, es decir si en el secundario tenemos más número de vueltas que en el primario, se tendrá una reducción de voltaje y si al contrario tenemos menos número de vueltas en el secundario que en el primario, se tendrá una reducción de voltaje, a este efecto se le llama relación de transformación.

Para explicar el funcionamiento del transformador se han colocado los dos devanados a los extremos del núcleo, pero en el transformador real los devanados están uno dentro del otro para aprovechar al máximo el flujo magnético, como se muestra en la figura 1.4. esquema de la composición real de los devanados.



Fig.1.4. Parte interna de transformador real. [*]

1.5 Partes y Accesorios de un Transformador.

Las partes que componen un transformador se clasifican en cuatro grupos que comprenden:

* Cortesía de Voltran, planta de distribución 2004.

- Circuito magnético (Núcleo).
- Circuito eléctrico (Devanados).
- Sistema aislante.
- Tanque y accesorios

1.5.1 El Circuito Magnético:

El circuito magnético es la parte componente del transformador que servirá para conducir el flujo que acoplará magnéticamente los circuitos eléctricos del transformador. El circuito magnético se conoce comúnmente como núcleo.

Este núcleo se fabrica con láminas de acero al silicio de grano orientado, con certificación del fabricante, en sus diferentes tipos **M2, M3, ó M4** y en casos especiales se utiliza lámina del tipo HI-B fabricada con procesos que utiliza rayos láser, todos estos tipos tienen las suficientes propiedades magnéticas para la fabricación de un núcleo de excelentes características.

Para el corte transversal de la lámina se utiliza una máquina computarizada del tipo Hidráulico-Neumático (marca GEORG ver fig. 1.5), la cual nos permite realizar cortes casi perfectos, sin forzar la constitución molecular de la lámina y lograr un núcleo tipo columna con las pérdidas y corrientes de excitación más bajas. Esta máquina realiza cortes con una precisión de $+ / - 0.001$ mm a una gran velocidad. (Ver fig. 2.1)



Fig. 1.5 Maquina de corte george.

1.5.2 Herrajes

Los herrajes y/o culatas son fabricadas de madera o acero ver (fig 1.6) según las características del transformador, que van de capacidad hasta tipo de conexión.

La madera que se utiliza para la fabricación de los herrajes debe cumplir con ciertas propiedades como la alta resistencia mecánica, la madera que utiliza Voltran Transformadores para la fabricación de los herrajes es maple canadiense, pino blanco, y cedro. Su función es el de sostener el núcleo y las bobinas.



Fig. 1.6 Herraje y/o culata de madera (maple canadiense) y herraje de metal.

1.5.3 El Circuito Eléctrico

Los devanados o bobinados son la parte que compone los circuitos eléctricos (devanados primarios, secundarios y/o terciarios). Estos devanados son fabricados de cobre electrolítico de gran pureza, normalmente de sección transversal en forma rectangular, y aislados con varias capas de papel aislante especial. Los conductores tienen un perfecto acabado; libre de asperezas y cuyos cantos están redondeados para evitar concentración de campos eléctricos. (Ver fig. 1.7)



Fig. 1.7 Vista general de una bobina de baja y alta tensión en forma cilíndrica.

1.5.4 Sistema aislante

Este sistema aísla los devanados del transformador, entre ellos y tierra, así como salidas de fases y terminales de derivaciones contra contactos o arcos a partes conectadas a tierra como tanque, herrajes de sujeción del núcleo y otras estructuras metálicas.

En los transformadores de distribución, el sistema aislante se clasifica en dos grupos: Sistema aislante sólido y sistema aislante líquido.

El sistema aislante sólido lo forman: El cartón prensado (PRESSBOARD) en sus diferentes espesores, papel CREPÉ, papel KRAFT, madera de maple, boquillas y cintas de lino.

Estos materiales tienen las siguientes características:

- Habilidad para soportar los voltajes relativamente elevados encontrados en el servicio normal (esfuerzos dieléctricos). Esto incluye ondas de impulso y transitorios de switcheo.
- Habilidad para soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos (calor) los cuales acompañan a un corto circuito.
- Habilidad para prevenir excesivas acumulaciones de calor (transferencia de calor).

- Habilidad para mantener las características deseadas para un periodo de vida de servicio aceptable con un mantenimiento adecuado.
- Estabilidad térmica.

El aislamiento líquido lo forma en este caso el aceite dieléctrico, que es el que baña el conjunto interno formado de las bobinas, el núcleo, los materiales aislantes sólidos así como las estructuras metálicas. Este fluido tiene tres funciones primordiales:

- Proporciona una rigidez dieléctrica confiable.
- Proporciona un enfriamiento eficiente.
- Protege al sistema aislante.

La vida de un transformador depende de la vida del aislamiento ya que un debilitamiento en cualquier componente del sistema aislante puede conducir a una falla en el transformador.

El aislamiento esta deteriorado cuando ha perdido una parte significativa de su dieléctrico original, características mecánicas o resistencia al impulso.

Por último, la continuación en el proceso de deterioración terminará en lo inevitable; una falla mecánica o eléctrica.

1.5.5 Tanque y Accesorios

1.5.5.1 Tanque

El tanque es la parte del transformador que contiene el conjunto núcleo bobinas en su interior así como el líquido dieléctrico refrigerante (aceite dieléctrico, r'temp, silicón), además sirve como disipador del calor (conjunto de radiadores y ventiladores) generado por las pérdidas del transformador cuando este se encuentra en operación y como medio para colocar la serie de accesorios que requiere el equipo, dependiendo del tipo de transformador de que se trate. (fig. 1.8)



Fig. 1.8 Tanque armado sin granallar

1.5.5.2 Tapa

Se instala en la parte superior del tanque, cuenta con un registro y un niple para llenado y aplicación de vacío. En los casos en el que el diseño lo pida, lleva una brida para válvula de sobrepresión mecánica, las tapas pueden ir soldadas o atornilladas al tanque. Fig. 1.9



Fig. 1.9 Tapa Atornillable

1.5.5.3 Accesorios

Los accesorios son dispositivos que el transformador necesita para su correcta operación y poder monitorear el comportamiento del mismo. A continuación se enumeran los accesorios que por norma lleva un transformador, así como una breve descripción de cada uno de ellos.

- Cambiador de derivaciones.
- Radiadores.
- Boquillas de alta y baja tensión.
- Válvula para drene del aceite.
- Válvula de muestreo.
- Placa de características.
- Válvula de sobrepresión.
- Orejas para izar el transformador.
- Tapón de llenado.
- Tapa de registro de mano.
- Bases para deslizamiento.
- Indicador de temperatura (con o sin contactos de alarma)*
- Indicador de nivel (con o sin contactos de alarma) *
- Caja de conexiones*

* LA CAJA DE CONEXIONES APLICA SOLO EN LOS TRANSFORMADORES LLEVAN INDICADOR DE TEMPERATURA E INDICADORES DE NIVEL CON CONTACTOS DE ALARMA

1.5.5.4 Cambiador de derivaciones

En una línea de alimentación, los valores de tensión nunca son constantes; debido a esta situación, los transformadores son equipados con un medio que permita adaptar el transformador a los cambios de tensión de la línea de alimentación.

Esto se logra por medio de un cambiador de derivaciones (ver fig. 1.10), que aumenta o suprime espiras (normalmente en el lado de alta tensión) para bajar o subir la tensión de salida del transformador dependiendo de los requerimientos de la carga. Siempre y cuando el cambiador se encuentre dentro del rango de voltaje de alimentación.

Se usa cuando la variación de la tensión es poco frecuente y se ajusta únicamente cuando el transformador se encuentra desconectado de la red de alimentación. Este ajuste se lleva a cabo por medio de un dispositivo exterior operado manualmente (volante) o por medio de un dispositivo motorizado.

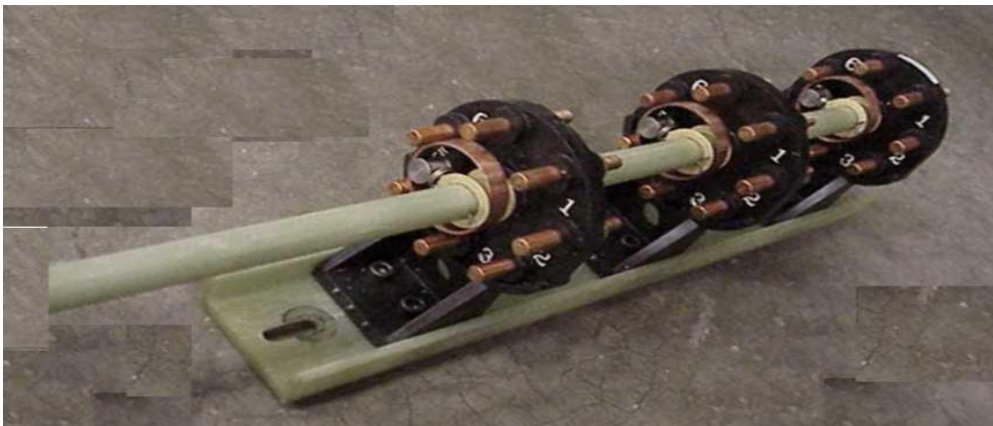


Fig. 1.10 Cambiador de derivaciones para operación sin carga

1.5.5.5 Radiadores

Los radiadores son una parte fundamental del transformador dado que por medio de estos y el efecto de convección del aceite, se disipa el calor generado por las pérdidas en el transformador. El número y dimensiones de estos se calcula de acuerdo con las pérdidas a disipar.

Los radiadores pueden ser de tipo tubular o tipo oblea, como lo muestra la figura 1.11



Fig. 1.11 Radiadores de tipo oblea y de tipo tubular

1.5.5.6 Boquillas de alta y baja tensión

Las boquillas o bushings son dispositivos que se utilizan para sacar las terminales del primario y del secundario del interior del transformador hacia el exterior. De acuerdo a la clase de aislamiento y potencia del transformador se utilizan. boquillas del tipo sólido con o sin condensador

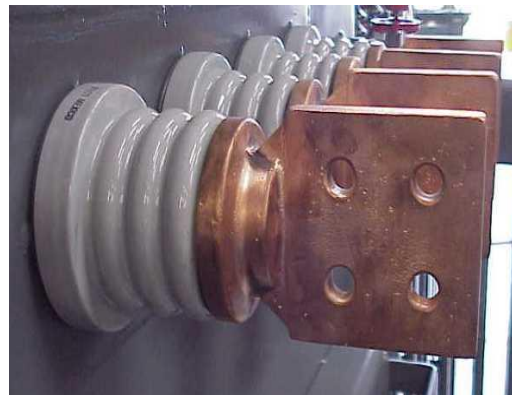


Fig. 1.12 Boquillas de Alta y Baja Tensión.

1.5.5.7 Indicador de temperatura (con y sin contactos de alarma)

Este accesorio se utiliza para indicar la temperatura del nivel superior del líquido aislante del transformador y tienen micro-switchs internos que pueden ser utilizados para el control de ventiladores, y/o iniciar o energizar una alarma.

El indicador es montado en su bulbo sensor de temperatura en una capucha (termopozo), la cual esta en contacto directo con el aceite del transformador y es asegurada con una tuerca. La campana o termopozo es hermética al líquido, permitiendo de esta manera, retirar al termómetro sin bajar el nivel del líquido o romper el sello del transformador.

La calibración de la carátula esta hecha en °C con una aguja blanca o amarilla para indicar la temperatura del líquido y una aguja roja (o de arrastre), para indicar la máxima temperatura que ha sido alcanzada en el líquido desde el último ajuste. La aguja roja es “arrastrada” por la aguja indicadora y aún cuando la temperatura disminuya y se mueva la aguja indicadora, la de arrastre no se mueve, quedando como testigo de la temperatura máxima alcanzada y solo se moverá cuando se ajuste manualmente por la persona encargada de vigilar el transformador.



Fig. 1.13 Indicadores de temperatura con contactos de alarma y sin contacto de alarma.

1.5.5.8 Indicador de nivel

Este accesorio se utiliza para indicar el nivel del líquido dieléctrico, en el tanque principal del transformador y en los compartimentos asociados.

Consiste de un brazo flotante y magnético por el lado donde se encuentra el líquido y un segundo magneto en la carátula indicadora (en la parte exterior). La aguja indicadora se moverá cada vez que el líquido este en o abajo del nivel a 25 °C.

Posee un micro-switch normalmente cerrado y otro normalmente abierto. Una leva montada en la flecha indicadora opera los micro-switch cuando la aguja caiga en la marca de "LOW" en la carátula. Cuando el nivel del líquido aumenta la aguja indica el cambio, pero el micro-switch no libera la operación del micro hasta que el punto haya alcanzado de 5 a 10 grados arriba de la marca "LOW" **figura 8.**



Fig. 1.14 Indicador de nivel con contactos de alarma y sin contactos de alarma.

NOTA: *En caso de no contar con éste dispositivo, en el interior del tanque se marca mediante un estarcido la altura mínima que debe contenerse en el interior.*

1.5.5.9 Relevador Buchholz

La acción del Buchholz esta basada en el hecho de que cualquier accidente que sobrevenga a un transformador, esta precedido de una serie de fenómenos, sin gravedad, a veces imperceptibles pero que, a la larga conducen al deterioro del equipo. Por lo tanto, bastará con detectar los primeros síntomas de la perturbación y avisar al hecho mediante una señal acústica u óptica; no es necesario en este caso, poner el transformador inmediatamente fuera de servicio, sino tener en cuenta la circunstancia y desacoplar el transformador cuando lo permitan las condiciones del uso del equipo.

En la figura 1.15 se presenta un relevador Buchholz.

Como puede apreciarse, el relevador es un aparato compacto de poco volumen y de fácil montaje, provisto generalmente de bridas de empalme de entrada y salida, que permiten montarlo en serie sobre la tubería que une el transformador con el tanque conservador del aceite.

Lleva dos flotadores, uno de alarma y otro de desconexión y un receptáculo de captación de los gases contenidos en el aceite, una pequeña mirilla situada en el receptáculo permite examinar el gas y juzgar la naturaleza del efecto, por el color y la cantidad de este gas.

Una válvula de purga permite recoger el gas acumulado como el elemento de juicio de la importancia del defecto y su eventual agravación; la cantidad de gas recogido en un tiempo dado, es función de estos dos factores.



Fig.1.15 Corte parcial de un Relevador Buchholz.

La protección del relé Buchholz no funciona por la acción de los movimientos del aceite, que resultan de su calentamiento normal. Tampoco funciona bajo la acción de los movimientos del aceite que resultan de los esfuerzos electrodinámicos sobre las bobinas. Para que funcione el flotador de desconexión es necesario un brusco desplazamiento del aceite, debido a un fuerte desprendimiento gaseoso.

Los contactos c1 y c2 también entran en funcionamiento cuando baja el nivel del aceite por debajo de un límite determinado, ya sea por un defecto de vigilancia o por una fuga en el tanque. Finalmente, también sería captado por el relé, el aire que pudiera encontrarse en el interior del transformador.

A continuación y como resumen de lo expuesto hasta ahora, damos la relación de los defectos más importantes que pueden ser captados por el relé Buchholz:

- a) En caso de ruptura de una conexión, se produce un arco que se alarga rápidamente por fusión de los conductores y que cebándose enseguida en otra parte del bobinado, puede provocar un corto circuito con desastrosas consecuencias. Este arco volatiliza el aceite y los defectos de este tipo de falla también quedan señalados por el humo del aceite que se escapa de la cuba.
- b) En caso de un defecto del aislamiento a tierra, ante todo se produce un arco entre este punto del bobinado y el tanque o cualquier otra parte del cuerpo del transformador. Este arco se volatiliza y descompone el aceite, que afluye hasta este sitio del bobinado, rompiendo el arco, lo que provoca serias quemaduras. Frecuentemente, esta falla a tierra es ocasionada por sobrevoltajes.
- c) En caso de corto circuito o sobrecarga brusca, se produce antes que nada, un fuerte aumento de temperatura, principalmente en las capas interiores del bobinado. El aceite contenido en las bobinas, queda bruscamente volatilizado, y descompuesto. Los gases que resultan son lanzados violentamente al exterior de los arrollamientos como si se tratara de una explosión, bajo la forma de pequeñas burbujas, rechazando una cantidad de aceite correspondiente.

- d) A consecuencia de modificaciones en las propiedades químicas del aceite, que reducen su rigidez dieléctrica, puede suceder que algunos sitios queden sometidos a solicitaciones electrostáticas particularmente elevadas. Se producen descargas que, al principio, no tienen ninguna importancia pero cuya continuada repetición, puede afectar seriamente al transformador. Evidentemente, estas descargas descomponen el aceite y provocan la formación de gases. Los efluvios que se forman en el aceite, producen los mismos resultados.
- e) Si las conexiones entre el núcleo y los herrajes esta mal hecha o se tienen puntos calientes en la laminación del núcleo. Estos defectos provocan la vaporización del aceite y con ello la formación de gases.

La sola enumeración de estos defectos, que pueden ser detectados por este dispositivo, indica ya la importante función protectora de éste.

Si, algunas veces resulta impotente para impedir un deterioro del transformador que protege, no es menos cierto que, en todos los casos, impedirá que el problema se haga mayor, hasta el punto de exigir, para su reparación, un gran gasto económico y de tiempo. Particularmente el empleo de relé Buchholz impedirá, muy seguramente, las peligrosas explosiones e incendios de aceite que pueden producirse a consecuencia de una falla en el transformador.

1.5.5.10 Tanque Conservador

Este accesorio es un depósito de expansión de lámina de acero, normalmente de forma cilíndrica o rectangular, soportado en la estructura del tanque principal por encima del nivel de la tapa.

Este tanque se dimensiona para contener aproximadamente un 10% del volumen total del aceite del transformador, con lo que hace frente sin problema alguno a la variación del nivel del aceite debido a las dilataciones o contracciones, por variaciones de cargas.

Las funciones que cumplen este accesorio son las siguientes:

- **Mantener constante el nivel del aceite.** En efecto, el aislamiento interno del transformador se establece teniendo en cuenta la presencia del aceite aislante. Por consiguiente, resulta esencial que el tanque principal del transformador esté siempre lleno de aceite, a pesar de la dilatación o de la contracción del volumen de aceite en función de las variaciones de temperatura; esta dilatación o contracción quedan absorbidas en el depósito conservador, de tal forma que el nivel del aceite en el interior del tanque principal, siempre permanezca constante.

- **Mantener el tanque principal a una presión positiva.** El hecho de mantener un depósito con una cierta cantidad de un líquido a una cierta altura y unido a otro depósito colocado en la parte inferior por medio de un tubo (o una manguera) el depósito colocado en la parte superior provocará una presión positiva en el depósito de la parte inferior. Esta es la función del tanque conservador sobre el tanque principal que siempre se mantendrá a presión positiva y evitará que penetre humedad en el tanque donde se encuentra el conjunto núcleo-bobinas con todos sus aislamientos.

Actualmente se tienen tres modalidades que se usan con el tanque conservador:

- Utilización del tanque conservador con respiración utilizando un depósito del silica gel.

En éste sistema, la cámara que queda sin aceite en el tanque conservador está a la presión atmosférica y en contacto con el medio ambiente por medio del deshidratador de silica-gel que es el conducto regulador de los cambios que ocurran en la cámara del tanque conservador, provocados por los cambios de carga en el transformador. Esta regulación se efectúa jalando o expulsando aire a través del deshidratador de silica – gel. De esta manera, la única parte que se encuentra en contacto con la atmósfera es la cámara del tanque conservador y no el aceite del tanque principal.

Nota: El tanque conservador se encuentra acoplado al tanque principal por medio de una tubería en la cual está montado el relé Buchholz con su válvula de aislamiento (figura 1.16).



Fig. 1.16 Vista de frente de tanque conservador.

Componentes principales de un tanque conservador clásico.

- Aceite
- Válvula de drene
- Relé Buchholz
- Tubería a tanque principal
- Indicador de nivel
- Tubería a depósito de sílica – gel
- Válvula de bloqueo

1.5.5.11 Ventiladores

Para atender a potencias superiores durante horas de carga pico y periodos de emergencia, sin rebasar los límites de elevación de temperatura en el aceite y en los devanados, el transformador se equipa con ventiladores. Por la acción del flujo de aire forzado, se obtiene una mejoría en el enfriamiento del aceite – aire, lo que permite disipar pérdidas mayores y consecuentemente operar en regímenes con potencias mayores a la potencia que suministra un transformador con enfriamiento natural.

Cuando el aire expulsado por los ventiladores actúa sobre los radiadores, se tienen los siguientes pasos de enfriamiento ó refrigeración:

ONAN - Enfriado por aceite y aire natural.

ONAF - Enfriado por aceite y aire forzado.

La operación de los ventiladores puede ser controlada automáticamente, con ayuda de sensores de temperatura con micro-switchs o en forma manual (figura 1.17).



Fig. 1.17 Ventilador utilizado para transformadores enfriados por aceite y aire forzado.

1.5.5.12 Placa de datos

La placa de datos consiste de una lámina de acero inoxidable en la cual se encuentran registrados todos los datos del transformador como son: capacidad en kVA, voltajes de alta y baja tensión, tipo de enfriamiento, altitud de operación, elevación de temperatura, No. De serie, fecha de fabricación, conexión delta-estrella en los devanados, etc.

La figura 1.18 nos muestra un ejemplo de este accesorio.

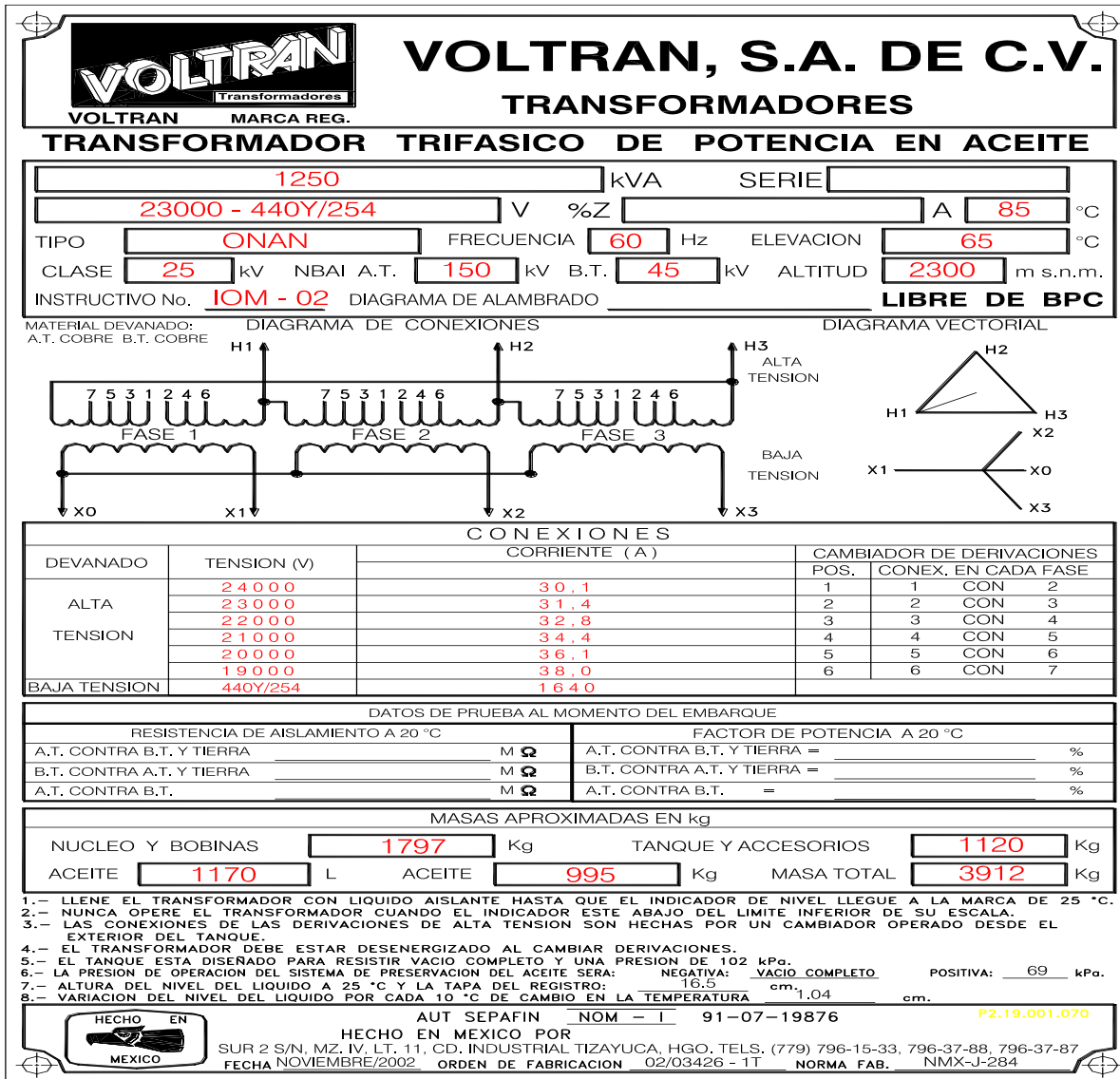


Fig. 1.18 Placa de datos de un transformador.

1.5.5.13 Válvula de sobre presión

La válvula de sobre presión mecánica se monta en la cubierta del transformador, y esta diseñado para liberar presiones peligrosas las cuales se pueden generar dentro del tanque del transformador. Cuando una presión determinada es excedida, una reacción de presión levanta el diafragma y desahoga el tanque del transformador.

La válvula de sobre presión se monta en la pared del tanque del lado de los accesorios y su funcionamiento es similar al de la válvula de sobrepresión mecánica.

La presión anormal seguida de un arco, es a menudo suficiente para romper el tanque, si no se instala una válvula de sobrepresión. Se suministran con contactos y sin contactos para mandar normalmente señales de disparo.

En la figura I.19 podemos observar una válvula de sobrepresión con sus principales partes.



Fig. 1.19 Válvula sobrepresión y válvula de sobrepresión mecánica

1.5.5.14 Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente se utilizan para reducir los valores de corriente de utilización (normalmente 5 Amperes) y como dispositivo de aislamiento. Los secundarios de estos dispositivos se conectan a: Amperímetros, relevadores de sobrecorriente, de protección contra fallas a tierra, elementos de corriente de wattmetros y otros medidores, relevadores direccionales, diferenciales, de distancia y otros aparatos más.

La selección de transformadores de corriente debe basarse en la precisión deseada en la medición y la potencia de la carga a conectar en el secundario de estos equipos (figura I.20).

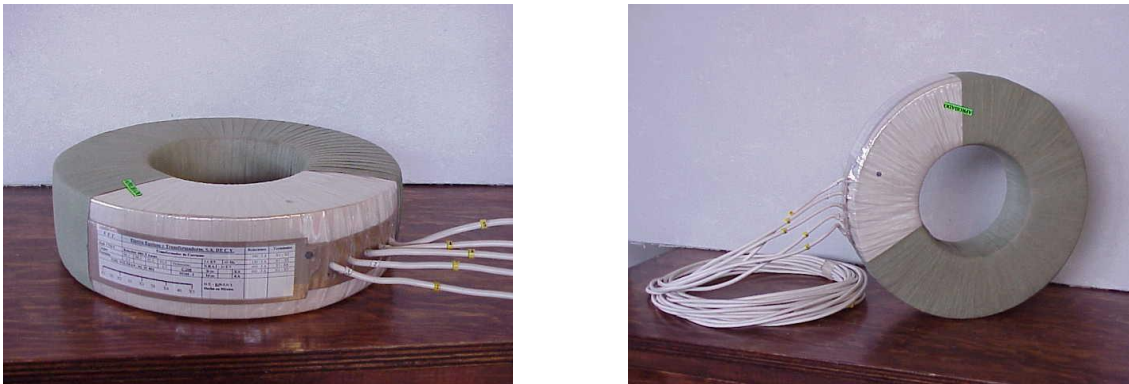


Fig. 1.20 Transformador de corriente tipo Bushing.

IMPORTANTE.

El circuito secundario de un transformador de corriente no debe de abrirse nunca mientras circula corriente por el primario; en este caso se originará una tensión elevada en el devanado secundario que presentará sin duda alguna un peligro para el aislamiento y para el personal; además, el transformador podría quedar con una imantación permanente al restablecer el circuito con los correspondientes errores en la relación y ángulo de fase.

El circuito secundario debe de estar efectivamente conectado a tierra en un punto.

Es conveniente desmantar cuidadosamente un transformador de corriente, cuyo circuito secundario ha sido accidentalmente abierto.

1.5.5.15 Equipo inert – air

Este dispositivo se utiliza cuando las unidades son embarcadas sin aceite y sirven para presurizar el tanque del transformador a una presión positiva; la cual, con ayuda de un cilindro de nitrógeno dota al transformador de un sistema automático que evita la entrada de oxígeno, humedad y otros gases que podrían afectarlo.

Cuando se usa el método de preservación de aceite por el método de la “cámara de nitrógeno”, que consiste en sustituir el aire desde el principio por nitrógeno y asegurar que cuando necesita haber absorción para prevenir un vacío excesivo, esta sea de nitrógeno. La presión alta expulsa el nitrógeno a través de una válvula reguladora. Además posee una serie de contactos de protección y de alarma.

1.5.5.16 Válvula de drene de aceite

Esta sirve para efectuar el drenado del aceite del transformador en su parte inferior.



Fig. 1.21 Válvula para drenado del aceite.

1.5.5.17 Válvula de muestreo

Esta válvula se utiliza para sacar muestras de aceite y ser estudiadas para hacer un dictamen del estado del aceite Así como del transformador y se coloca en la parte inferior al igual que la válvula de drene (figura 1.22).



Fig. 1.21 Válvula para el muestreo del aceite.

1.5.5.18 Caja de conexiones

La caja de conexiones es la parte en donde llegan las terminales de los microswitch de los accesorios como: indicadores de temperatura, indicadores de nivel, indicadores de punto caliente de los devanados, relevador de Buchholz, secundarios de los transformadores de corriente, etc. Una resistencia calefactora asegura el calentamiento de la caja para evitar condensaciones de humedad dentro de la misma.

Este accesorio es un parte fundamental en el control y protección del transformador (figura 1.22).



Fig. 1.22 Caja de conexiones.

CAPITULO 2. CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

2.1 Clasificación:

Los transformadores se clasifican tomando en cuenta diferentes factores, que son:

Operación se refiere a la energía que manejan dentro del sistema eléctrico, los cuales se clasifican en:

Transformadores de distribución y transformadores de potencia.

Transformador de distribución: se le llama transformador de distribución a los que tienen capacidad de 5 hasta 500 kVA.

Transformador de potencia: son los que tienen capacidades mayores de 500 kVA.

2.2 Utilización de los Transformadores.

De acuerdo con la posición que ocupan dentro del sistema se clasifican como:

- Transformador generador: son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador, los cuales proporcionan la energía a la línea de transmisión.
- Transformador de sub-estacion: son los transformadores de potencia que se conectan al final de la línea de transmisión para reducir el voltaje a nivel de sub - transmisión.
- Transformador de distribución: reduce el voltaje de sub – transmisión a voltajes en zonas de consumo.
- Transformadores especiales: son aquellos transformadores de potencia diseñados para aplicaciones no incluidas en las anteriores y pueden ser: reguladores de voltaje, transformadores de rectificador, transformadores para horno de arco eléctrico, transformadores defasadores, autotransformadores, para mina, transformadores para prueba, transformadores para corriente directa.



Fig. 2.1 Transformador tipo poste.



Fig. 2.2 Transformado tipo encapsulado.



Fig. 2.3 Transformador tipo pedestal.



Fig.2.4 Transformador tipo subestación



Fig. 2.5 Transformador tipo estación.



Fig. 2.6 Transformador tipo sumergible



Fig.2.7 Transformador de potencia



Fig. 2.8 Transformador tipo seco

2.3 Numero de Fases.

De acuerdo al sistema al que se conectará, se clasifican como:

2.3.1 Monofásico

Transformadores que son conectados a una línea o fase y aun neutro o tierra, solo tienen un devanado de alta tensión y uno de baja tensión.



Fig. 2.9 Transformador monofásico

2.3.2 Trifásico.

Transformadores que son conectados a 3 líneas o fases y pueden estar o no conectados a un neutro, cuentan con tres devanados de alta tensión y tres de baja tensión.



Fig. 2.10 Transformador trifásico

2.4 De acuerdo con el medio refrigerante.

En los transformadores pequeños la superficie es relativamente grande al volumen. La refrigeración por radiación y por convección natural suele ser suficiente para mantener la temperatura de funcionamiento por debajo de máximo del que pueda

soportar el aislamiento sin reducir seriamente su duración. Sin embargo al aumentar de tamaño de un objeto, el volumen crece con el cubo de sus dimensiones lineales, mientras que en el área de éste lo hace con el cuadrado. Con esto se ve que el aumentar el tamaño del área hay que proveer medios artificiales para facilitar la refrigeración, esto se logra dotando de conductos de ventilación a los devanados, aumentando las dimensiones de radiación del tanque y adicionando elementos que ayuden a una rápida disipación del calor que se genera en la unidad. Los refrigerantes más empleados son: el aire, aceite dieléctrico, líquidos dieléctricos no inflamables y el agua.

El aire: La refrigeración por circulación de aire natural o forzado, se utiliza generalmente en transformadores de poca capacidad, cuando se requiere cuando se requiere evitar el peligro de incendio por causa del transformador.

Aceite dieléctrico: La experiencia ha demostrado que uno de los mejores medios de refrigeración es el aceite dieléctrico, ya que el tiempo que facilita la extracción del calor del núcleo y del devanado, proporciona cualidades aislantes apreciables. El aceite tiene gran rigidez dieléctrica, poca viscosidad, punto de congelación bajo y punto de ignición elevado, debiendo estar exento de ácidos corrosivos, álcalis y azufre.

Líquidos dieléctricos no inflamables: cuando las necesidades de refrigeración son elevadas y se desea evitar el peligro de incendio por causa del medio refrigerante del transformador, se usan compuestos químicos conocidos comercialmente como pyranol, inerter o chlorextol. Estos compuestos no son volátiles, combustibles, ni explosivos y son suficientemente fluido para circular libremente en los devanados. Tienen gran rigidez dieléctrica sirviendo por ello mismo al mismo tiempo de aislante y refrigerante.

El agua: tiene utilidad como medio refrigerante cuando se coloca en serpentines llenos de este líquido, estos van alrededor del transformador o de los radiadores para ayudar a disipar el calor que se genera cuando se encuentra funcionando con carga. El agua se hace circular por medio de una pequeña bomba.

2.4.1 Tipo OA.

Es un transformador sumergido en aceite, este tipo de enfriamiento natural. Este es el enfriamiento más común y frecuente, es el que resulta más económico y adaptable a la generalidad de las aplicaciones. En estas unidades el aceite circula por convección natural dentro de un tanque con paredes lisas o corrugadas, o bien pueden estar provistos de radiadores tubulares o de oblea.

2.4.2 Tipo OA/FA.

Esta unidad es básicamente del tipo OA, al cual se le agrega ventiladores para aumentar la disipación de calor en las superficies de enfriamiento. El empleo de

este sistema de enfriamiento está indicado cuando la unidad debe soportar sobrecargas durante periodos cortos.

2.4.3 Tipo FOA.

Sumergidos en aceite con aceite forzado con enfriadores de aire forzado, el aceite de estas unidades es enfriado al hacerlo pasar por combinadores de calor o radiadores de aire y aceite colocados fuera del tanque.

2.4.4 Tipo OW.

Sumergidos en aceite, con enfriamiento por agua, este tipo de transformador está equipado con un combinador de calor tubular colocado fuera del tanque, el agua de enfriamiento circula en el interior del tanque de los tubos y drena por gravedad o por medio de una bomba independiente, el aceite fluye en estado en contacto con la superficie de los tubos.

2.4.5 Tipo FOW.

Sumergido en aceite, con enfriamiento de aire forzado con enfriadores de agua forzada. Este es prácticamente igual que el tipo FOA, solo que el cambiador de calor es del modelo agua-aceite y por lo tanto en enfriamiento se hace por medio de agua sin tener ventiladores.

2.4.6 Tipo AA.

Transformador tipo seco con enfriamiento propio, se caracteriza por que el aire es el único medio aislante que rodea el núcleo y las bobinas.

2.4.7 Tipo AA/FA

Transformador tipo seco con enfriamiento propio, enfriado por aire forzado, su denominación indica que tiene dos regímenes, uno por enfriamiento natural y otro con la circulación forzada por medio de ventiladores, este control es automático y opera mediante relevador térmico.

CAPITULO 3. FABRICACIÓN Y PRUEBAS DEL TRANSFORMADOR

En la tabla siguiente se muestra el proceso de fabricación

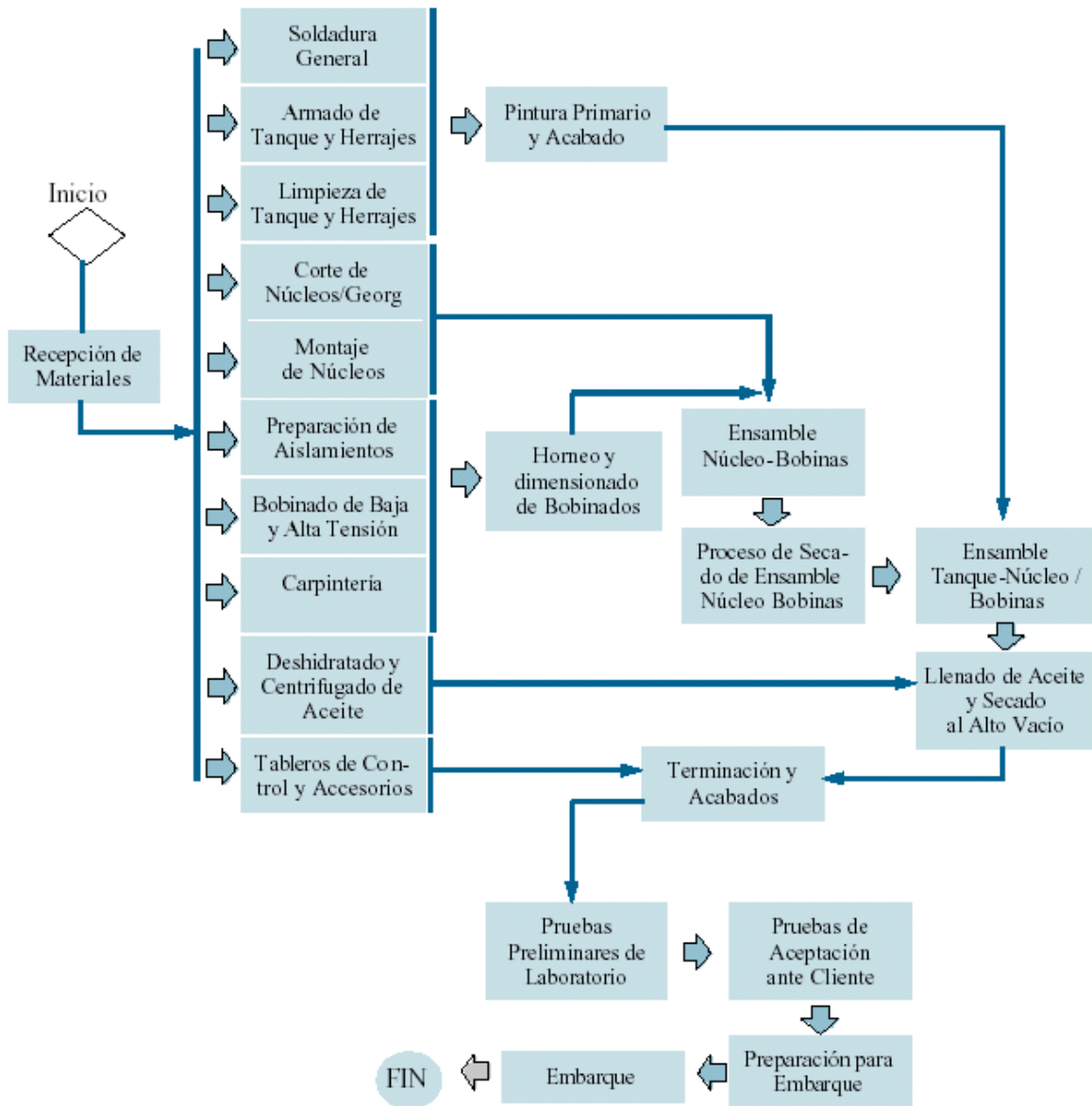


Fig. 3.1 Proceso de Fabricación del Transformador

3.1 Fabricación del transformador.

Es indudable que la vida de un transformador depende de los materiales que sean utilizados para su diseño óptimo que permita al usuario tener una unidad confiable y eficiente para su buen funcionamiento del mismo.

El proceso de fabricación de un transformador se inicia en la necesidad de la utilización del mismo, una vez que se tiene las características como es capacidad en KVA, corriente de entrada y corriente de salida.

3.2 Lamina de acero al silicio para fabricación del núcleo

La lámina de acero al silicio de grano orientado con que se fabrica el núcleo posee propiedades magnéticas excelentes, que aunado a un diseño optimizado y apoyado de la nueva tecnología de corte transversal de lamina utilizando una maquina computarizada del tipo hidro-neumático, que permite elaborar cortes casi perfectos sin forzar la constitución molecular de la lamina y lograr un núcleo de tipo columna con las perdidas u corrientes de excitación más bajas.

La fabricación de un transformador con el núcleo de tipo columna tiene la ventaja de que puede repararse fácilmente en caso de falla.



Fig.3.2. Cortes de lámina de acero al silicio

3.3 Montaje de núcleo

El montaje del núcleo se realiza apilando la lámina cortada transversalmente a 45 grados, las cuales se agrupan escalonadamente en bloques de láminas (step-lap) para la formación de columnas y yugos de sección circular (Fig. 3.3).

El apriete se realiza mediante cinchos de un material termocontráctil con características de alta resistencia mecánica, colocados adecuadamente para lograr un núcleo lo más consistente posible y eliminar la posibilidad del aflojamiento del mismo.



Fig.3.3 Montaje de un núcleo tipo columna con cortes a 45°

3.4 Ensamble Núcleo Herrajes.

El ensamble núcleo herrajes es el encargado de alojar en el las bobinas de alta y baja tensión, de tal manera que el núcleo es montado en medio de 4 herrajes ubicados en la parte superior e inferior del núcleo con la finalidad de sostener al núcleo además de servir de soporte mecánico al conjunto interno.



Fig. 3.4 ensamble núcleo herrajes.

3.5 Fabricación de Bobinas A.T y B.T.

Son diseñados y fabricados en forma cilíndrica (Fig. 3.5) para proporcionar una adecuada coordinación de los aislamientos y una óptima resistencia dieléctrica a sobretensiones debidas a maniobras, descargas atmosféricas y las pruebas dieléctricas a que son sometidos los transformadores, además de contar con los ductos de refrigeración adecuados para que pueda circular el aceite y disipe el calor generado cuando el transformador se encuentre en operación.

Por otra parte, su forma geométrica redonda nos permite colocar las sujeciones mecánicas adecuadas para soportar los esfuerzos originados por un corto circuito.

La vida del transformador es proporcional a la calidad de los aislamientos utilizados en su fabricación, de manera que se utiliza aislamientos de clase mundial como el cartón y el papel pressboard, con la finalidad de darle un excelente aislamiento entre devanados.(Fig. 3.6)



Fig. 3.5 Bobina en forma cilíndrica

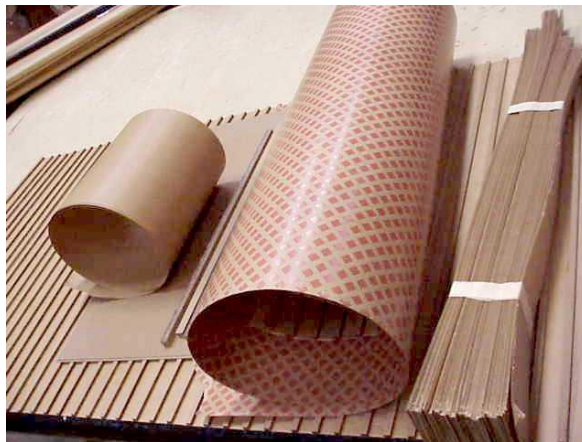


Fig. 3.6. Aislamiento para devanados papel y cartón pressboard.

La fabricación de las bobinas de alta y baja tensión se puede realizar en bobinadoras automatizadas o manuales, esto dependerá de la dimensión y capacidad de la bobina.



Fig. 3.7. Bobinadora Automatizada.



Fig. 3.8 Bobinadora marca bolifil manual

3.6 Corte y dobléz de tanque y tapa

En esta sección comprende procesos como corte y doblado, oxicorte, mecanizado, soldadura, limpieza de superficies y pintura.

El doblado de las láminas se hace en dobladoras de precisión, la fabricación del tanque es realizada con placas de acero al carbón en diferentes grados. Las piezas que comprende el tanque son soldadas entre si por procesos de soldadura MIG.



Fig. 3.9 Dobladoras.

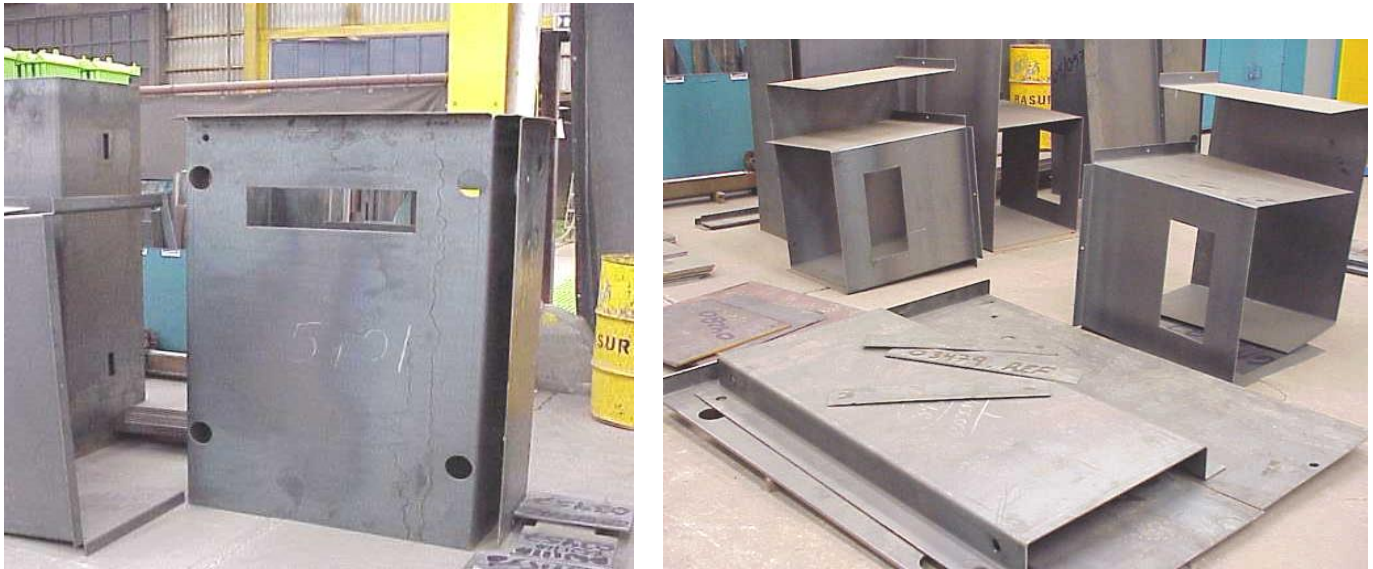


Fig. 3.10 Piezas dobladas.

Una vez realizado el corte y doblado de las piezas, se procede a soldar todas las piezas del tanque para posteriormente ingresar al proceso de stan-blasteo o granallado, que consiste en la limpieza de todo el tanque por medio de un baño a presión de polvo de acero, de tal manera que el tanque tiene una limpieza uniforme y mayor resistencia a la corrosión.



Fig. 3.11 Tanque soldado y sin granalla



Fig. 3.12 cámara de granallado



Fig. 3.13 tanque granallado.

3.7 Pintura.

Una vez concluido el proceso de granalla se procede a la pintura y montaje de radiadores, la pintura que se utiliza debe ser epóxica ya que este tipo de pintura, ofrece propiedades de resistencia a la intemperie y otros factores climáticos.



Fig. 3.14 Cámara de pintura



Fig. 3.15 Tanque con radiadores y pintado

3.8 Ensamble Núcleo Bobinas- Conexiones.

Este proceso consiste en el ensamble del núcleo y las bobinas, la colocación de aislamientos de protección, así como de las conexiones de alta y baja tensión por medio de soldaduras, en este proceso se realizan las conexiones delta y estrella ($\Delta - Y$) colocación de cambiador de derivaciones. Una vez terminado el proceso de conexiones el conjunto interno (núcleo, bobinas y conexiones) es introducido a un horno eléctrico a una temperatura de 75°C durante un periodo de 24 hrs. Con la finalidad de deshidratar los componentes como son aislamientos, madera, papel y cartón.

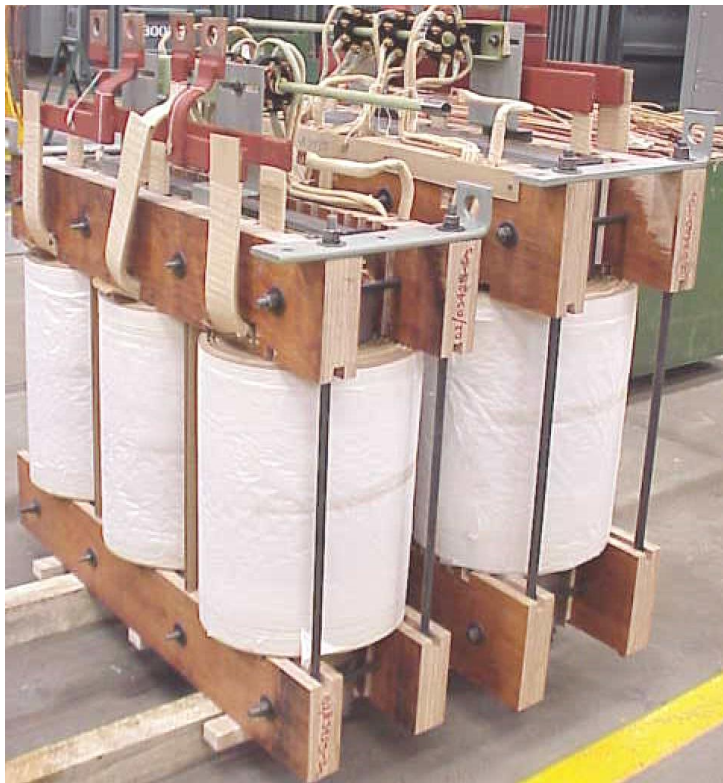


Fig. 3.16 Ensamble núcleo bobinas y conexiones.



Fig. 3.17 Horno eléctrico

3.9 Secado y llenado de aceite.

Seco el conjunto interno se introduce al tanque y se sella con tapa y accesorios, para proceder al llenado con aceite dieléctrico.

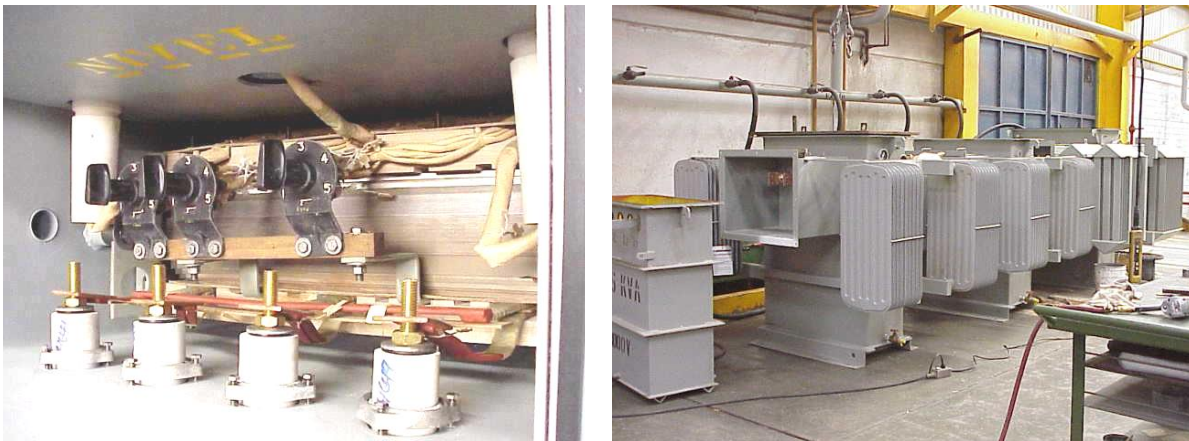


Fig. 3.18 Conjunto interno en tanque y llenado de aceite.

3.10 Terminación y acabado

La terminación y colocación de tableros de control y accesorios se realiza en esta etapa. Accesorios como boquillas, termómetros, válvulas de sobrepresión, relevador buchholz, tanque conservador, caja de control, radiadores y ventiladores de enfriamiento, etc. Son colocados.

Todos estos accesorios, complementan el grado de control que se desee sobre el transformador, siendo verificados en Inspección y Pruebas, para asegurar su funcionamiento.

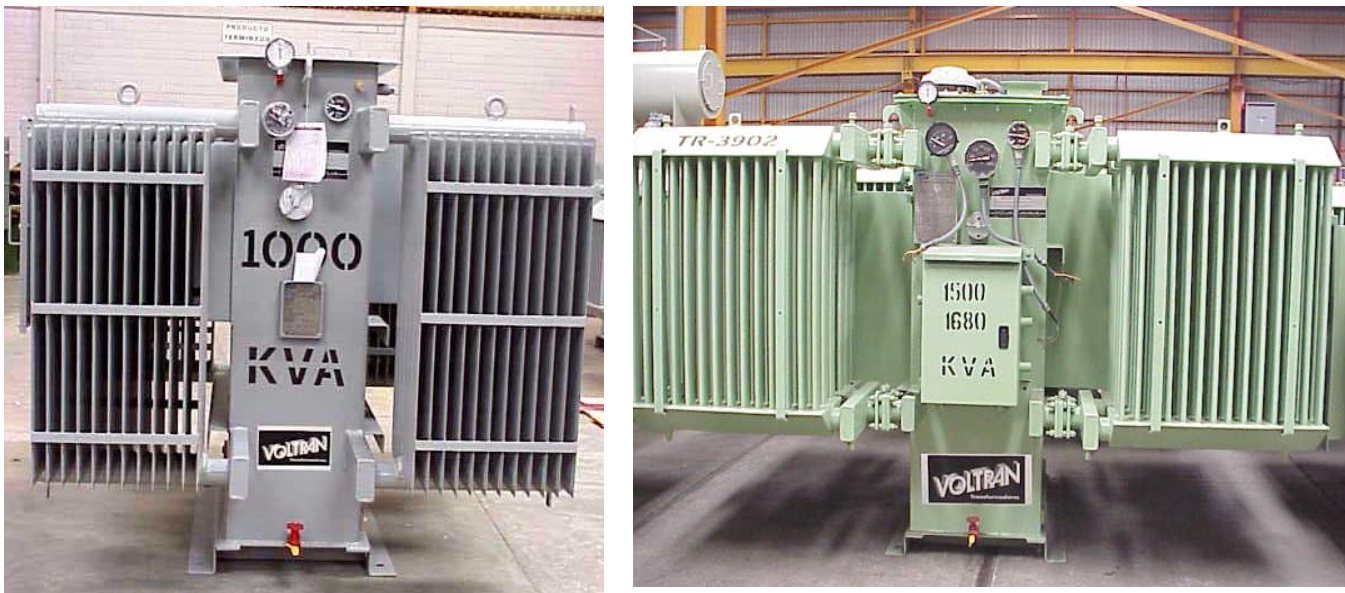


Fig.3.19 Transformador terminado.

3.11 Pruebas de laboratorio.

Para verificar la calidad final del transformador en el Laboratorio de Pruebas se realiza una serie de pruebas, de acuerdo a normás vigentes nacionales e internacionales. Las pruebas a realizar pueden ser: prototipo, de rutina, especiales y de aceptación.

3.12 Pruebas de Rutina.

Son pruebas que se deben efectuar a todos los transformadores con los métodos indicados en la norma NMX-J-169-1997, para verificar si la calidad del producto se mantiene dentro de lo especificado.

- Resistencia óhmica de los devanados
- Resistencia de aislamiento (megger)

- Rigidez dieléctrica del líquido aislante.
- Tensión aplicada.
- Tensión inducida.
- Relación de transformación.
- Polaridad y secuencia de fases.
- Pérdidas de excitación.
- Corriente de excitación.
- Pérdidas debidas a la carga.
- Tensión de impedancia.
- Hermeticidad.

3.13 Resistencia óhmica de los devanados

Tiene fundamental importancia para tres propósitos:

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



Fig. 3.20 Dispositivo de medición de relación de transformación

3.14 Resistencia de los devanados.

La rigidez dieléctrica de un aislamiento se define como la capacidad del material para soportar la tensión eléctrica, La resistencia de aislamiento depende del grado de humedad y limpieza del mismo, esta prueba consiste en encontrar el valor óhmico del aislamiento del transformador.

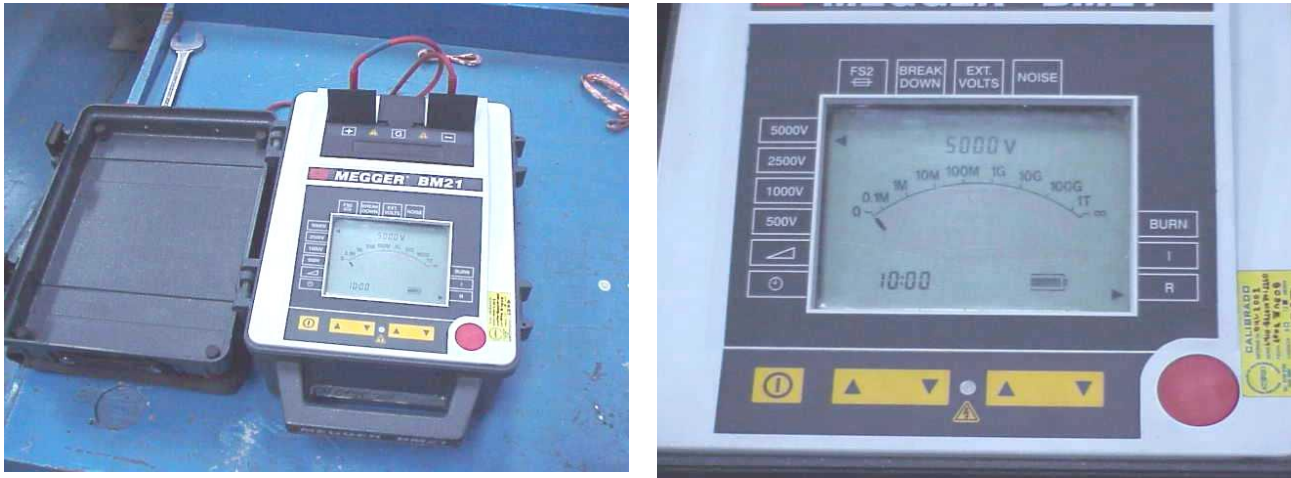


Fig. 3.21 dispositivo de medición de relación de transformación digital

3.15 Rigidez dieléctrica del líquido aislante.

El aceite usado es un producto altamente refinado, pero no químicamente puro por lo que los factores más dañinos son el agua, el oxígeno y muchas combinaciones de compuestos, estas en pueden estar presentes en el aceite por lo que esta prueba es fundamental. Para conocer la calidad del aceite se utiliza el dielectrómetro. La tensión de ruptura dieléctrica no debe ser inferior a lo indicado en la NMX-J-123. †



Fig. 3.22 Dielectrómetro

† Norma mexicana de la industria eléctrica para productos eléctricos, transformadores, aceites minerales aislantes para transformador.

3.16 Pruebas de puesta a punto.

Las pruebas eléctricas de campo son la base para verificar y apoyar los criterios de aceptación o para analizar los efectos cuando suceden cambios con respecto a los valores iniciales de fábrica.

Se efectúan a los equipos que se encuentran en operación o en proceso de puesta en servicio y se considera de la siguiente manera:

1. Recepción y/o verificación.
2. Puesta en servicio.
3. Mantenimiento.

Recepción y/o verificación. Se realizan a todo equipo nuevo o reparado, considerando las condiciones de traslado, efectuando primeramente una inspección detallada de cada una de sus partes.

Puesta en servicio. Se realizan a cada uno de los equipos en campo después de haber sido instalado, ajustado, secado, etc., con la finalidad de verificar sus condiciones para decidir su entrada en operación.

Mantenimiento. Se efectúan periódicamente conforme a un programa y criterios de mantenimiento elegidos y condiciones operativas del equipo.

Precauciones generales para realizar pruebas.

- I. Para equipos en operación y programas de mantenimiento, se tramitan las libranzas respectivas.
- II. Verificar la apertura física de las cuchillas seccionadoras o interruptores para comprobar que el equipo no se encuentre energizado.
- III. Las terminales externas del equipo a probar deben estar firmemente aterrizadas por un lapso de 10 minutos, con la finalidad de eliminar cargas capacitivas que puedan afectar la prueba y por seguridad del personal.
- IV. En todos los casos ya sea equipo nuevo, reparado o en operación las pruebas que se realicen siempre deberán estar precedidas de actividades de inspección.
- V. Preparar los recursos de prueba indispensables como son instrumentos, herramientas, mesas de prueba, etc.
- VI. Preparar el área de trabajo a lo estrictamente necesario, delimitar la zona para evitar el paso a personas ajenas a la prueba procurando se tengan fuentes accesibles y apropiadas de energía.
- VII. Colocar los instrumentos de prueba sobre bases firmes y niveladas.

- VIII. No aplicar voltajes de prueba superiores al voltaje nominal del equipo a probar.
- IX. Anote las lecturas de la prueba con sus multiplicadores en la hoja de reporte correspondiente y registre también las condiciones climatológicas.

3.17 Prueba de resistencia de aislamiento a devanados.

La resistencia de aislamiento se define como la resistencia en megaohms que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo determinado, medido a partir de la aplicación del mismo.

La corriente resultante de la aplicación de voltaje de corriente directa se le denomina corriente de aislamiento y consta de dos componentes principales:

- Corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento.
- Corriente de fuga.

La corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento está compuesta por:

- Corriente capacitiva.
- Corriente de absorción dieléctrica.
- Corriente de conducción irreversible.

- **Corriente Capacitiva.** Es una corriente de magnitud comparativamente alta y de corta duración que decrece rápidamente a un valor despreciable (generalmente en un tiempo máximo de 15 segundos) conforme se carga el aislamiento, y es la responsable del bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento; su efecto es notorio en aquellos equipos que tienen capacitancia alta como transformadores de potencia, maquinas generadoras y cables de potencia de grandes longitudes.

- **Corriente de Absorción Dieléctrica.** Esta corriente decrece gradualmente con el tiempo desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero siguiendo una función exponencial. Generalmente los valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos de una prueba quedan en gran parte determinados por la corriente de absorción. Dependiendo del tiempo y volumen del aislamiento, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor despreciable; sin embargo para efectos de prueba puede despreciarse el cambio que ocurre después de 10 minutos.

- **Corriente de Conducción Irreversible.** Esta corriente fluye a través del aislamiento y es prácticamente constante, predomina después que la corriente de absorción se hace insignificante.

- **Corriente de Fuga.** Es la que fluye sobre la superficie del aislamiento. Esta corriente al igual que la corriente de conducción irreversible permanece

constante y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones del aislamiento.

- **Absorción Dieléctrica.** La resistencia de aislamiento varía directamente proporcional con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo, cuando repentinamente se aplica un voltaje de corriente directa a un aislamiento, la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando con el tiempo hasta estabilizarse.

Grafique los valores de resistencia de aislamiento contra tiempo, para obtener una curva denominada de absorción dieléctrica. Indicando su pendiente el grado relativo de secado y limpieza o suciedad del aislamiento, si el aislamiento está húmedo o sucio, se alcanzará un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y como resultado se obtendrá una curva con baja pendiente.

La pendiente de la curva puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento tomadas a diferentes intervalos de tiempo durante la misma prueba. A la relación de 60 a 30 segundos se le conoce como “**índice de absorción**” y a la relación de 10 a 1 minuto como “**índice de polarización**”, los índices mencionados son útiles para la evaluación del estado del aislamiento de devanados en transformadores de potencia.

Entre los factores que afectan la prueba y que tienden a reducir la resistencia de aislamiento de una manera notable son: la humedad relativa, suciedad y la inducción electromagnética.

Antes de realizar la prueba se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- a) La base de temperatura recomendada es de 20°C para transformadores, para otros equipos como: interruptores, apartarrayos, boquillas, pasamuros, etc. No existe temperatura base ya que la variación de la resistencia con respecto a la temperatura no es estable.
- b) Es necesario eliminar toda suciedad o materia extraña (polvo, carbón, aceite, etc.) que se encuentre en la superficie del aislamiento.
- c) Para la humedad, efectúe la prueba a una temperatura superior a la del rocío. La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura en la mayor parte de los materiales para comparar adecuadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura o convertir cada medición a una misma base.
- d) Para equipos a probar que se encuentren bajo el efecto de inducción electromagnética, será necesario acondicionar un blindaje para drenar a tierra las corrientes inducidas que afecten las pruebas.

3.18 Métodos de medición.

La resistencia de aislamiento en sí es una prueba de potencial, por lo tanto debe restringirse a valores apropiados que dependan de la tensión nominal de operación del

equipo que se va a probar y de las condiciones en que se encuentre su aislamiento, si la tensión de prueba es alta puede provocar fatiga en el aislamiento.

Los potenciales de prueba más convenientes son tensiones que varían de 500V a 5 000 V siendo el más usual el de 5 000 V.

Método de prueba.

El Megger ha sido el instrumento estándar para la verificación de resistencia de aislamiento, nos sirve para aplicar el método de tiempo – resistencia o absorción dieléctrica el cual consiste en lo siguiente:

- a) Tomar como referencia lo mencionado en el punto 2 de precauciones generales para realizar pruebas.
- b) Verificar que el equipo a probar, se encuentre desenergizado.
- c) Limpiar la porcelana de las boquillas quitando el polvo o suciedad.
- d) Desconectar los neutros de los devanados.
- e) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado, primario, secundario o terciario si este es el caso.
- f) Conectar adecuadamente la terminales de prueba al equipo que se va a probar.
- g) Para cada prueba registrar las lecturas de 15, 30, 45, 60 segundos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, y 10 minutos.
- h) Al terminar la prueba desconecte el instrumento de prueba utilizado y aterrice la parte del equipo probado.

3.18.1 Prueba de relación de transformación.

La relación de transformación se define como la relación de vueltas o de voltaje del primario al secundario o la relación de corriente del secundario al primario en los transformadores. Mediante la aplicación de esta prueba es posible detectar corto circuito entre espiras, falso contacto, circuitos abiertos, etc.

3.18.2 Método de medición T.T.R.

El método más utilizado para la aplicación de esta prueba, es con el medidor de relación de vueltas, Transformer Turn Ratio (T.T.R.) que opera bajo el conocido principio, de que cuando dos transformadores que nominalmente tiene la misma relación de transformación y polaridad se excitan en paralelo, con la más pequeña diferencia en la relación de alguno de ellos, se produce una corriente circulante entre ambos relativamente alta.

Los pasos a seguir para la relación de esta prueba son los siguientes:

- a) Tomar en cuenta lo establecido en el punto 2, sobre recomendaciones generales de pruebas.

- b) Librar el equipo completamente verificando que se encuentre abiertas las cuchillas seccionadoras y desconectando las terminales de las boquillas de la línea.
- c) Colocar el medidor sobre una superficie firme y nivelada, de tal forma que la manivela pueda ser operada sin interrupciones.
- d) Anote los datos de placa y diagrama vectorial del equipo a probar. El diagrama vectorial es la referencia para conectar el medidor correctamente.
- e) Calcule la relación teórica, tomando en cuenta que la relación a medir es por fase correspondiente de alta y baja tensión de los transformadores trifásicos.
- f) Conecte las terminales del equipo al transformador.
- g) Los valores de relación teóricos calculados servirán de base para colocar los selectores en el valor esperado en el medidor.
- h) Accione la manivela manteniendo una excitación de 8 volts y opere los selectores de menor rango hasta lograr la deflexión nula en el galvanómetro.
- i) Haga las mediciones y registre las lecturas.
- j) Al terminar la prueba desconecte el instrumento de medición y aterrice el equipo probado

3.19 Prueba de rigidez (determinación de la tensión de ruptura) dieléctrica al aceite.

Por definición la rigidez dieléctrica (tensión de ruptura) de un aceite aislante, es una medida de su habilidad para soportar un esfuerzo eléctrico. Esta prueba es la que más frecuente se realiza y es capaz de revelar dos cosas: la resistencia momentánea al paso de la corriente y la cantidad relativa de agua libre, polvo, lodos o cualquier partícula conductora presente en la muestra.

Método de prueba.

Existen dos métodos para pruebas de rigidez dieléctrica, el establecido por la norma ASTM D-877 y ASTM D-1816, de los cuales el aplicado con más frecuencia por Voltran es el ASTM D-877.

El aparato que se utiliza para este método consta de un transformador, un regulador de voltaje, un interruptor, un Voltmetro y una copa de prueba la cual tiene dos electrodos en forma de disco separados 1/10" (2.54 mm) con las caras permanentemente paralelas.

El método ASTM D-1816 es similar al ASTM D-877 y solo difiere en que los electrodos son semiesféricos en lugar de planos, separados 0.04" y cuenta con un medio de agitación para proporcionar una circulación lenta de aceite. Este método es más representativo de las condiciones en que trabaja el aceite, aún cuando no es mucha utilización.

Para obtener una muestra representativa del aceite deben tomarse las siguientes precauciones:

- a) Limpiar y drenar previamente la válvula de muestreo.
- b) Enjugar el recipiente de prueba cuando menos una vez con el aceite que se va a probar.

- c) Nunca tomar una muestra si la humedad relativa es mayor al 50%.
- d) Evitar el contacto del recipiente de prueba con la válvula de muestreo, los dedos y otros cuerpos extraños.
- e) Por ningún motivo la temperatura al realizar la prueba deberá ser menor a 20°C.

Pasos a seguir para realizar la prueba aplicando el método ASTM D-877.

- a) Al iniciar la prueba tanto los electrodos como la copa debe lavarse con aceite aislante en buenas condiciones, o con el aceite que se va a probar.
- b) Deberán examinarse los electrodos, asegurándose que no existan excoiraciones causadas por el arco o acumulación de contaminantes.
- c) Si las excoiraciones son profundas se deben pulir, el carbón y la suciedad deberán eliminarse; calibrando posteriormente la distancia entre los electrodos.
- d) La copa se debe llenar hasta un nivel no menor de 20mm sobre la parte superior de los electrodos, con el objeto de permitir que escape el aire.
- e) Deberá dejarse reposar aproximadamente 3 minutos antes de aplicarle el voltaje.
- f) Se aplica gradualmente el voltaje a una velocidad de 3 kV por segundo hasta que se produzca el arco entre los dos electrodos, el operador lee el Vóltmetro y registra la lectura (deben tomarse 5 lecturas).

Se efectuará la prueba a dos muestras diferentes, si ninguno de los dos valores es menor del valor mínimo aceptable, fijado en 30 kv. No se requerirán pruebas posteriores y el promedio de las lecturas se reportara como la rigidez dieléctrica.

3.20 Medición de factor de potencia de los devanados.

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 perdida que toma el aislamiento al aplicarle un voltaje dado, es en si una característica propia del aislamiento al ser sometido a campos eléctricos.

Debido a la situación de no ser aislantes perfectos, además de una corriente de carga puramente capacitiva, siempre los atravesara una corriente que está en fase con el voltaje aplicado, a esta corriente se le denomina de perdidas dieléctricas, en estas condiciones el comportamiento de los dieléctricos queda representado por el siguiente diagrama:

I_r	Corriente de perdida.
I_c	Corriente de carga.
I	Corriente resultante.
V	Voltaje aplicado.

Diagrama vectorial, que muestra el comportamiento de un aislamiento al aplicarle un voltaje determinado.

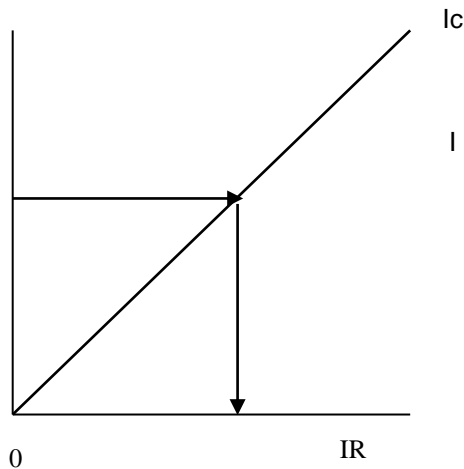


Fig 3.23. Grafica de la ley de ohm

3.21 Factores que afectan la prueba.

Entre los factores que afectan la prueba y tienden a aumentar el valor del factor de potencia de los aislamientos de una manera notable son: la suciedad, la humedad relativa, la temperatura y la inducción electromagnética.

La prueba consiste en aplicar un potencial determinado al aislamiento que se desea probar y medir la potencia en watts que se disipa a través de él y la carga del mismo en Volts-Amperes.

El factor de potencia se calcula dividiendo los miliwatts entre los milivoltamperes, y el resultado se multiplica por 100 para el caso del equipo MEU de 2.5 kv.

Para el equipo de 10 kv. M2H-D se tendrá que multiplicar por 10, los watts y dividirse entre los Amperes.

Para la interpretación de resultados es necesario el conocimiento de valores básicos de factor de potencia de materiales aislantes. Como referencia se presentan valores y constantes dieléctricas de algunos materiales.

Material	% F.P. a 20 °C	Constante Dieléctrica
Aire	0.0	1.0
Aceite	0.1	2.1
Papel	0.5	2.0
Porcelana	2.0	7.0
Hule	4.0	3.6
Barniz Cambray	4.0 – 8.0	4.5
Agua	100.0	81.0

Valores de factor de potencia de algunos equipos que se han obtenido en diversas pruebas realizadas.

Equipo	% F.P. 20 °C
Boquillas tipo condensador	0.5
Boquillas de compound	2.0
Transformadores de aceite	1.0
Transformadores nuevos	0.3
Cables con aislamientos de papel	4.0 – 5.0
Cables con aislamientos de barniz cambray	4.0 – 5.0
Cables con aislamientos de hule	0.5

El objetivo principal de la prueba de factor de potencia es, la detección de algunos cambios de las características del aislamiento producidos por envejecimiento y contaminación del mismo como resultado del tiempo y condiciones de operación del equipo y los producidos por el efecto corona.

Los equipos de prueba que se utilizan para prueba de factor de potencia, pueden ser marca: James G. Biddle, Nasen y Doble Engineering., de esta ultima sus modelos MEU-2.5 KV y M2H – 10 KV son los utilizados por Voltran y las instrucciones de operación se indican a continuación:

MEDIDOR MODELO M2H-D 10 KV MARCA DOBLE ENGINEERING.

- a) Coloque el medidor de factor de potencia sobre una mesa firme y nivelada, enseguida conecte al medidor sus cables: HV, LV, tierra, alimentación de corriente alterna y cable de extensión con interruptor de seguridad manual.
- b) Conecte el cable de alto voltaje (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.
- c) Conecte las terminales de bajo voltaje (LV). El switch selector (LV) se selecciona según la posición deseada (Ground, Guard o Ust).
- d) Si la terminal de bajo voltaje no se va a usar, el switch (LV) se posiciona en Ground.
- e) Ajuste el control de voltaje en cero y posiciones el interruptor (REV. SWITCH) en cualquiera de sus posiciones, izquierda o derecha. La posición central es apagado (OFF).
- f) Coloque el selector de WATTS y MILIAMPERES en su posición central (CHECK).
- g) Seleccione los multiplicadores máximos de MA y WATTS.
- h) El interruptor ICC debe ser colocado en OFF.
- i) Accione el interruptor principal a la posición OFF.
- j) Energice el medidor cerrando el interruptor local del operador (enciende lámpara ámbar) y el interruptor de seguridad del cable de extensión (enciende lámpara roja). Si esto no sucede invierta el enchufe de la alimentación de 127 V o bien, verifique el adecuado aterrizamiento del equipo de prueba.
- k) Observe el indicador de KV y gire lentamente el control de voltaje hasta obtener 10 KV, este es el valor aplicado al equipo bajo prueba. Si durante la aplicación del voltaje, el indicador del medidor tiende a sobrepasar su escala, ajústelo girando hacia la izquierda la perilla METER ADJ de modo que la aguja se mantenga dentro del rango.

- l) Si el interruptor se dispara antes de 2 KV, probablemente la capacitancia del equipo bajo prueba es mayor al rango del medidor. Si el disparo ocurre entre 2 y 10 KV, la prueba deberá hacerse a un voltaje menor a 10 KV.
- m) Con el selector en la posición CHECK, ajuste a su máxima escala el medidor con la perilla METER ADJ.
- n) Posicione el selector hacia el lado izquierdo para la medición de MA.
- o) Seleccione el multiplicador de MA que produzca la mayor deflexión del medidor y anote la lectura.
- p) Tome la lectura de la otra posición de REVERSING con el mismo multiplicador. Registre el promedio de las lecturas, el multiplicador y el producto.

Nota. Ambos valores de corriente deben ser aproximados usando el mismo multiplicador, si no es así, existe una excesiva interferencia electrostática. Para que no intervenga en la prueba, siga las instrucciones correspondientes en el instructivo del medidor.

- q) Para la medición de WATTS debe mantenerse el mismo multiplicador que se usó para la medición de MA.
- r) Coloque el selector en la posición derecha para la medición de WATTS.
- s) Gire la perilla WATTS ADJUST hacia la izquierda hasta obtener la misma deflexión de la aguja en la escala.
- t) Seleccione el multiplicador de WATTS que produzca la máxima deflexión medible en la escala. Cada vez que el multiplicador sea reducido, los WATTS deberán ser ajustados a la mínima deflexión de la aguja con la perilla de WATTS ADJUST.
- u) Gire lentamente hacia la derecha el control POLARITY mientras se observa la aguja del medidor. Si la aguja tiende a desviarse hacia la derecha, indica watts negativos, si lo hace hacia la izquierda se trata de watts positivos.
- v) Cambie el switch REVERSING a la posición opuesta y reajuste el control WATTS ADJUST para obtener la lectura mínima. Determine la polaridad según el punto u
- w) Cuando el signo de las dos lecturas sea diferente, réstelas y el resultado divídalo entre dos. Registre este promedio como el multiplicador. Cuando las lecturas sean del mismo signo, deberán sumarse y dividirse entre dos para obtener el promedio.

Nota. Las dos lecturas de watts deben ser tomadas con el mismo multiplicador y su promedio algebraico normalmente será positivo. Si esto no se cumple, significa que existe una excesiva interferencia electrostática.

- x) Coloque el selector en CHECK y el control de voltaje en cero. Coloque los multiplicadores en su posición máxima. Si se va a probar algún equipo similar, deje los multiplicadores como están.
- y) Los interruptores del operador local y remoto con extensión deberán abrirse, lo mismo que el interruptor principal.
 - a) Prueba de corriente de excitación.

La prueba de corriente de excitación en los transformadores de potencia nos sirve para detectar daños que se presentan en los devanados y núcleos, debidos a esfuerzos electrodinámicos que genera el corto circuito o por un manejo inadecuado durante su transportación.

Las pruebas de corriente de excitación se efectúan con el medidor de factor de potencia con que se cuente.

3.21.1 Recomendaciones para efectuar la prueba de corriente de excitación.

- a) Tomar en cuenta lo referente a recomendaciones generales de prueba.
- b) Desenergizar y desconecte de sus terminales externas todas las boquillas del transformador.
- c) Todas las pruebas de corriente de excitación deberán efectuarse en el devanado de mayor voltaje.
- d) En conexiones estrella, desconecte el neutro del devanado que se encuentra bajo prueba debiendo permanecer aterrizado el neutro de baja tensión.
- e) Cerciórese de que los devanados no energizados en la prueba, están libres de cables, proximidad de personal, etc., en virtud de que al energizar el devanado bajo prueba, se induce un potencial en el resto de los devanados.
- f) El voltaje de prueba de los transformadores, no debe exceder el valor del voltaje nominal del devanado bajo prueba.
- g) El voltaje de prueba en los devanados conectados en estrella no deberá exceder el voltaje de línea a neutro.
- h) El voltaje de prueba no deberá exceder el voltaje de línea a línea en los devanados conectados en delta.
- i) Antes de efectuar cualquier medición, al ajustar el voltaje de prueba con el selector en posición CHECK, verifique que se estabilice la aguja del medidor.
- j) Si el punto anterior no se cumple, puede deberse a que existe un fuerte magnetismo remanente, recomendándose desmagnetizar el núcleo de acuerdo con el tipo de conexión que se tenga en el devanado primario. Otra causa de inestabilidad de la aguja pueden ser interferencias electromagnéticas.
- k) Se recomienda que para equipo nuevo o reparado que se prepara para puesta en servicio, deberán efectuarse las pruebas en todas las posiciones (tap's) del cambiador de derivaciones. Para equipos en operación que sean librados para efectuarles pruebas eléctricas, se recomienda efectuar la prueba de corriente de excitación únicamente en la posición de operación del cambiador, la razón de esto es que en caso de un desajuste en el cambiador originado por el accionamiento del mismo, el transformador no podría volver a energizarse.
- l) Debido al comportamiento no lineal de la corriente de excitación a bajos voltajes, es importante que las pruebas se realicen a valores lo más exactos posibles en cuanto a voltaje y lectura de corriente, para poder comparar los resultados con pruebas anteriores.

3.21.2 Factores que afectan la prueba

De acuerdo con experiencias en las pruebas de corriente de excitación, el factor que afecta a las pruebas en forma relevante es el magnetismo remanente del núcleo del transformador bajo prueba. Este magnetismo es indeseable por dos razones:

1. Al volver a conectar un transformador con magnetismo remanente, la corriente INRUSH aumenta considerablemente.
2. Puede generar valores anormales de corriente de excitación durante las pruebas al analizar las condiciones de los devanados o de alguno en particular.

Desafortunadamente no existe un método simple para medir el magnetismo remanente, ya que el valor y la polaridad cambian en virtud de que dependen del punto de la curva de histéresis en el cual la corriente se interrumpió.

El método más empleado para eliminar el magnetismo remanente, es la aplicación de una corriente directa inversa al sentido del devanado. Este método se basa en utilizar corrientes altas, las cuales pueden ser obtenidas con acumuladores, aprovechando la baja resistencia óhmica del transformador.

La ventaja de este método, es que podemos aplicar voltajes de 6, 12 ó 24 Volts que normalmente se utilizan en acumuladores de automóvil o equipos de tracción, por lo tanto, estas fuentes de alimentación se consiguen fácilmente.

Para llevar a cabo la des-magnetización de un núcleo es necesario contar con un interruptor doble polo doble tiro, un reóstato, un acumulador, un amperímetro y conductores de calibre apropiado. La corriente a aplicar a los devanados no deberá ser mayor al 15% de la corriente nominal del transformador que se vaya a desmagnetizar. Esta actividad consiste en simular un ciclo magnético mediante la aplicación de potencial en un sentido y después invertir la polaridad del acumulador por medio del switch de doble tiro, esto deberá ser en forma momentánea, incrementando el potencial lentamente con el reóstato y enseguida, regresarlo a cero. En transformadores trifásicos deberá efectuarse en cada una de las fases, dependiendo de la conexión del transformador hay que calcular la corriente a aplicar.

Después de haber realizado lo anterior, vuelva a efectuar la prueba de corriente de excitación con la finalidad de verificar si el magnetismo remanente fue eliminado, si esto fue así, la prueba de corriente de excitación será satisfactoria, de lo contrario existirá otro tipo de problema en el transformador, el magnetismo remanente continua por lo que debe investigarse el problema con más detalle.

Las pruebas se realizan con el selector (LV) en la posición UST. El medidor MEU 2.5 dará el resultado en MVA que dividido entre el voltaje de prueba de 2500 Volts, se obtendrá la corriente de excitación. El medidor M2H-10 dará la lectura en MA directamente.

3.21.3 Pruebas a los accesorios de medición y control.

Una vez, que el transformador ha sido ensamblado en su totalidad en el sitio de operación de este, se procede a colocarlos accesorios de control

(no importa el orden en que estos sean colocados) Los accesorios a probar son los siguientes:

- Indicador de nivel de aceite.
- Válvula de sobrepresión.
- Relevador Buchholz.

1. Indicador de nivel de aceite.

- a) Dado que este accesorio consta de un magneto con aguja indicadora del lado de la carátula del indicador, para verificar su operación ponga en la parte posterior de la carátula un metal de forma paralela a la aguja indicadora esto es con la finalidad de poder desplazar la aguja al nivel alto y bajo y así comprobar la operación del micro de alarma.
- b) La apertura y cierre del micro se verifica colocando las puntas del multímetro en las terminales de conexión del termómetro de temperatura del aceite según se indique en el diagrama de alambrado.

2. Válvula de sobrepresión.

- a) Verifique que el plug y la terminal de conexión de la válvula se encuentren libres de suciedad y además que estos presenten un buen contacto.
- b) Accione la válvula de forma manual a la vez que verifica en sus terminales de conexión la apertura y cierre del micro de alarma.

3- Relevador Buchholz.

- a) Verifique el buen contacto del plug y la salida del compartimiento del relevador.
- b) Realice las operaciones de apertura y cierre a través de la palanca de accionamiento de prueba que se encuentra en la parte superior del accesorio verificado con el multímetro cada micro interruptores.

3.22 Operación

Como parte de la rutina de operación, se deberán de tomar y registrar los valores de temperatura máximos tanto en el aceite como en los devanados, tan a menudo como sea posible, ya que esta información es de gran valor en el momento en que sea requerido para evaluar la vida probable del transformador.

3.23 Temperatura ambiente

El transformador será capaz de operar a su capacidad nominal siempre que:

La temperatura ambiente no exceda de 40°C y la temperatura promedio del ambiente durante cualquier periodo de 24 horas no exceda de 30°C (se recomienda que la temperatura promedio del aire refrigerante se calcule promediando las lecturas obtenidas durante 24 horas, haciendo estas lecturas a intervalos de 1 hora. Cuando el medio

refrigerante sea el ambiente se puede usar el promedio de la temperatura máxima durante el día; por lo general el valor obtenido en esta forma es ligeramente mayor que el promedio real diario pero no en más de 25°C.

3.24 Altitud de operación

El equipo esta diseñado para operar a capacidad plena de acuerdo a la altitud marcada en la placa de datos.

3.25 Efecto de altitud en la elevación de temperatura.

El aumento de la altitud produce disminución en la densidad del aire, lo cual a su vez incrementa la elevación de temperatura en los transformadores que dependen del aire para disipar el calor, por lo tanto, se deberá tomar en cuenta lo anterior para operación de los transformadores en las formás que a continuación se indica:

3.25.1 Operación a capacidad normal

Los transformadores construidos para altitudes de 1000 m s.n.m. pueden operar a capacidad nominal siempre que la temperatura ambiente promedio máxima, no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO MAXIMA PERMISIBLE DEL AIRE REFRIGERANTE PARA OPERAR A CAPACIDAD NOMINAL

Tipo de enfriamiento	Altitud en m s.n.m.			
	1000	2000	3000	4000
Sumergidos en líquidos aislantes auto-enfriados (clase ONAN)	30°C	28°C	25°C	23°C
Sumergidos en líquidos aislantes y aire forzado (clase ONAF)	30°C	26°C	23°C	20°C

Fuente: autoría del monografista, 2007

3.25.2 Operación a capacidad reducida

Si la temperatura ambiente promedio máxima excede de los valores indicados en la tabla anterior pero sin exceder la temperatura promedio de 30°C, se puede operar el equipo a capacidad reducida en el porcentaje que se indica en la siguiente tabla por cada 100 m:

FACTOR DE CORRECCION DE LA CAPACIDAD NOMINAL PARA ALTITUDES MAYORES DE 100 METROS

Tipo de enfriamiento	Factor de corrección por cada 100 metros
Autoenfriados sumergidos en líquidos aislantes (clase ONAN)	0.40%
Sumergidos en líquidos aislantes enfriados por aire forzado (clase ONAF)	0.50%

Fuente: autoría del monografista, 2007

3.26 Efecto de altitud en la rigidez dieléctrica del aire.

El aumento en la altitud produce una disminución en la densidad del aire, lo cual a su vez disminuye la tensión de flameo.

La rigidez dieléctrica de algunas partes del transformador que depende total o parcialmente del aire para su aislamiento, disminuye conforme la altitud aumenta. Para una clase de aislamiento dada, la rigidez dieléctrica a 1000 m s.n.m. debe multiplicarse por el factor de corrección apropiado a la nueva altitud a fin de obtener la nueva rigidez dieléctrica a la altitud especificada de acuerdo a la siguiente tabla:

FACTORES DE CORRECCION DE RIGIDEZ DIELECTRICA PARA ALTITUDES
MAYORES DE 1000 m

Altitud en metros	Factor de corrección
1000	1.00
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.96
2700	0.83
3000	0.80

Fuente: autoría del monografista, 2007

3.27 Variación del voltaje de alimentación.

El transformador puede ser operado de manera continua a la capacidad nominal o menor, con el voltaje de alimentación en el primario de un 5% mayor que el nominal sin exceder del límite de elevación de temperatura marcado en la placa de datos.

3.28 Conexiones

Nunca realice conexiones que no sean las mostradas en la placa de datos. Cuando realice un cambio de posición en un cambiador sin carga, desconecte el transformador

de la línea de alimentación. Tampoco ponga el cambiador en otra posición que no este especificada, ya que puede causar daños serios en el transformador tales como un corto circuito en los devanados

3.29 Mantenimiento

En vista de que los transformadores son eslabones vitales para la operación de las grandes empresas industriales, es necesario que para su funcionamiento continuo y confiable debe de proporcionárseles una atención adecuada. Esto se logra solamente a través de un programa regular de inspecciones, pruebas y mantenimiento.

El programa dependerá de factores tales como: el tipo y clase de aislamientos del equipo, su importancia, tiempo de servicio, carga e historial de su operación.

Las pruebas específicas requeridas pueden variar a juicio de la persona responsable del equipo y de la experiencia obtenida con pruebas anteriores y en otros de características similares.

3.29.1 Instrucciones para los trabajos de Monitoreo y Mantenimiento.

**Tanque principal y tanque conservador.
Verificación de la temperatura del aceite.**

- Lea y registre la temperatura del aceite.
- Indique si la temperatura del aceite o de los devanados es causada por una sobrecarga de larga duración en el transformador.
- Tome las medidas correctivas

3.29.2 Verificación de los indicadores de nivel de aceite.

- Los niveles de aceite en el tanque conservador u otros depósitos deberán de ser revisados observando las mirillas de vidrio o los indicadores de nivel.
- Dependiendo de la temperatura del aceite, los niveles del aceite deberán de corresponder a las marcas de temperatura en los indicadores.
- Si el nivel está demasiado bajo, deberá de ser eliminada la falla que está causando la pérdida de aceite, reponiendo el volumen perdido con aceite nuevo.
- El tipo de aceite que se debe de usar tiene que cumplir con los requisitos de calidad exigidos para este transformador.

3.29.3 Verificación de fugas de aceite en bridas y soldaduras.

- Todas las bridas, sellos y soldaduras deberán de ser revisadas para asegurarse de que no hay fugas de aceite.

- En el caso de que existan fugas, estas deberán de ser selladas inmediatamente, reapretando la tornillería, reemplazando los empaques o tapando las fugas en soldaduras.
- La eliminación de fugas por medio de la aplicación de soldadura, deberá de ser realizado por un soldador de experiencia en este tipo de trabajos. Recomendamos que un especialista sea llamado para realizar este trabajo.
- Se deberán de tomar en cuenta todos los aspectos sobre prevención de accidentes, en particular las medidas de protección contra fuego.

3.29.4 Verificación de la presión en el tanque principal o tanque conservador.

- Verifique que la presión en el transformador se encuentra dentro de los valores recomendados (de 2 a 3 lb/plg²) y anote la presión del cilindro de nitrógeno o aire seco.
- Además asegúrese de que tanto las válvulas de alivio de seguridad como los reguladores de presión, se encuentran en perfectas condiciones.
- Auxíliese del manual de operación de este equipo.

3.29.5 Verificación de la pintura de acabado y limpieza de la superficie.

Si la pintura de acabado se maltrata con el paso del tiempo, esta pintura en general no necesita ser renovada completamente.

Realice lo siguiente:

- Limpie la superficie maltratada con un trapo humedecido con solvente o un dispositivo de limpieza tipo Sand-Blast; lodos, aceite y grasa, deberán de ser completamente eliminados.
- Lije la capa de pintura vieja y remueva aquellas capas de pintura que están flojas.
- Esmerile y cepille las partes oxidadas con un cepillo de alambre hasta que estén limpias.
- Las partes limpiadas deberán de ser cubiertas por dos capas de primario y después aplicar la pintura de acabado.
- La capa de pintura deteriorada que aún se adhiere firmemente al metal debe de ser cubierta solo con la pintura de acabado.

3.29.6 Verificación del sistema de tierras.

- Para prevenir corrientes de retorno, el tanque del transformador y el sistema de enfriamiento (si se tiene) deberán de ser aterrizados con un conductor de tierra de la suficiente sección transversal.

- Verifique que la conexión se encuentre perfectamente apretada, en caso de ser necesaria, reapriétela.

3.29.7 Muestreo de aceite.

- Las muestras del aceite del transformador deberán de ser tomadas con la finalidad de evaluar las condiciones dieléctricas y fisicoquímicas en que se encuentra.
- Se recomienda un muestreo del aceite en intervalos de un año como máximo.

3.29.8 Cambiador de derivaciones.

ATENCIÓN:

El cambiador de derivaciones únicamente podrá ser operado cuando el transformador se encuentra desconectado de la red de alimentación.

- Operación del cambiador de derivaciones en todas sus posiciones para la limpieza de sus contactos.
- Las partes de cobre de los contactos sufren el depósito de impurezas cuando se encuentran sumergidos en el aceite, esta capa de impurezas puede causar falsos contactos en el cambiador y transformador.
- Opere el cambiador en todas sus posiciones al menos una vez al año (con el transformador desenergizado) con el propósito de limpiar los contactos.

3.29.9 Verificación del bloqueo.

- ◆ El final de las posiciones extremas está mecánicamente asegurado. Verifique que cuando una posición extrema es alcanzada, el cambiador únicamente pueda operar en la dirección opuesta.

3.29.10 Sistema de enfriamiento.

a) Verificación de temperatura del aceite.

Lea la temperatura del aceite y anote la carga que tiene el transformador en ese momento así como la temperatura máxima alcanzada.

b) Ventiladores.

- Cuando el transformador es del tipo ONAF, verifique que todos los ventiladores operen en perfectas condiciones.
- Si debido a la temperatura del transformador estos no se encuentran operando, opérelos manual y automáticamente para asegurar su correcto funcionamiento.

3.29.11 Caja de conexiones.

- #### **a) Hermeticidad de la caja de conexiones.**

- b) Observe el estado de la capa de pintura del interior de la caja, interior de las puertas y la cerradura. Limpie perfectamente el interior de la caja.
- c) Reemplazamiento de los contactos de los interruptores, contactores del motor, relevadores, bobinas, etc.
- d) En las instrucciones de instalación y operación de estos dispositivos se incluye la información a detalle de como se debe realizar el cambio de ellos.
- e) Consulte las instrucciones de montaje y mantenimiento.
- f) Revise el apriete de todas las terminales.

3.29.12 Transformadores de corriente.

- a) Verificación de las terminales de conexión.
- b) Los transformadores de corriente que están montados dentro del transformador deben de ser cortocircuitados o bien conectados a instrumentos de medición durante su transportación.
- c) Verificación de las terminales a tierra.
- d) El devanado secundario de cada transformador de corriente deberá de ser aterrizado en una terminal (preferentemente en un extremo).

3.29.13 Dispositivos de monitoreo.

- a) Relevador de Buchholz.
- b) Los flotadores de los microswitchs de alarma y disparo deberán de ser operados mecánicamente como se indica en las instrucciones del relevador Buchholz.
- c) La operación del micro de alarma (alarma por generación de gases) deberá de ser verificada con los interruptores cerrados.
- d) Si el micro de alarma opera, la señal de alarma deberá de manifestarse en el cuarto de control sin que los interruptores disparen.
- e) Cuando el micro de disparo es revisado, los interruptores deberán de dispararse y el transformador deberá de ser desconectado. Verifique las señales correspondientes en el cuarto de control.

3.29.14 Verificación del relevador del switch y la válvula de sobrepresión de cambiadores de derivaciones bajo carga.

- Cerciórese de que el equipo de protección funcione correctamente de acuerdo con la descripción en particular.
- El micro del relevador solo se deberá de conectar a la señal de disparo del interruptor para dejar desenergizado el transformador.
- No se permite ni se debe conectar a señal de alarma.
- Este relevador únicamente puede ser restablecido en el propio dispositivo.
- Opere manualmente la válvula de sobrepresión del cambiador y su micro deberá disparar automáticamente el interruptor del transformador para dejarlo desconectado.
- Solo se puede restablecer en la misma válvula.

3.29.15 Indicadores de temperatura.

- Anote las temperaturas leídas en las carátulas de los indicadores y verifique la operación de los micros. Para el ajuste consulte las instrucciones de ajuste de este dispositivo.
- Verifique que los micros manden las señales de operación al tablero de señalización del cuarto de control.

3.29.16 Indicadores de nivel.

- Verifique el funcionamiento correcto de los indicadores de nivel operando los contactos de señalización y observando esta en el cuarto de señales del cuarto de control.

3.29.17 Válvula de sobrepresión.

- El micro de este dispositivo deberá de estar conectado a la bobina de disparo del interruptor principal.
- Opere el micro manualmente y verifique que efectivamente el interruptor desenergice al transformador.
- Después de la prueba, vuelva a colocar el micro en su posición de reposo (operación manual).

3.29.18 Pruebas.

Las pruebas que normalmente se deben de realizar en los trabajos de monitoreo para el diagnóstico del transformador son:

- Medición de la resistencia de aislamiento al transformador.
- Medición de la relación de transformación.

- Medición de resistencias óhmicas en los devanados.
- Medición del factor de potencia de los aislamientos del transformador.
- Análisis físico - químico al aceite.

CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación contiene la información necesaria, lo cual era el de conocer la fabricación, componentes y características de los transformadores eléctricos.

El transformador lo podemos encontrar en muchos lugares, en las centrales hidroeléctricas, en las lámparas de bajo consumo, en los cargadores de pilas, en las fuentes de alimentación de ordenadores, etc. Su tamaño es variable, pueden ser muy pequeños o ser enormes.

Uno de los usos más importantes de los transformadores es el transporte de la electricidad. En las centrales eléctricas el generador está conectado al primario de un transformador elevador. En el secundario, se obtiene una tensión muy elevada que se lleva a las líneas de transporte por resultar más económico. De este modo se reducen al mínimo las pérdidas que en forma de calor, tendrían lugar por efecto Joule. Por otra parte, consideraciones como el aislamiento y su seguridad en el empleo obligan a distribuir la energía a los consumidores a voltajes más bajo con corrientes más altas. Esto se lleva a cabo en los centros de distribución, a través de transformadores reductores de tensión.

Cabe mencionar que la construcción de estos dispositivos trajo grandes avances para las industrias, colonias y ciudades, por que era una gran dificultad trasladar la energía de un lugar a otro. Lo cual dio la necesidad de elevar el voltaje en los centros de generación para llevar a cabo la transmisión de energía y reducirlo al llegar a los centros de consumo.

La información que se acaba de recopilar anteriormente nos será de gran ayuda para engrandecer y enriquecer nuestros conocimientos básicos, los cuales son indispensables para ingresar en el campo laboral. Esperando que la información pueda ser de gran utilidad para las generaciones futuras.

ANEXOS

Las siguientes tablas resume los puntos mencionados anteriormente así como la frecuencia de la verificación y los tiempos aproximados de ejecución.

No.	TRABAJO A REALIZAR	DURACION DE LA ACTIVIDAD (HORAS)	SEMANTAL	MENSUAL	ANUAL	VARIABLE
1	TANQUE PRINCIPAL Y TANQUE CONSERVADOR (CON Y SIN COMPARTIMENTO)					
1.1						
1.2	Monitoreo de la temperatura del líquido aislante.	1	X			
1.3	Monitoreo del deshidratador de Silica – Gel.	1	X			
1.4	Verificación del nivel del líquido aislante.	1	X			• 1
1.5	Revisión de posibles rastros de líquido en juntas con bridas y cordones de soldadura.	1		X		
1.6	Revisar la presión en el tanque (equipo Inert – Air)	1	X			
1.7	Revisión del estado de la pintura y limpieza de la superficie del transformador.	8		X (6 MESES)	X (5 AÑOS)	
1.8	Verificación del sistema de tierras (tierra de protección)	3				
2	Muestreo del líquido aislante (para análisis fisicoquímico y cromatográfico)	1				
2.1						
2.2						
2.3	• 1. 2 horas si el desecante ha sido reemplazado					
3	• 2. Después de N operaciones del cambiador					
3.1		1			X	
3.2	CAMBIADOR DE DERIVACIONES SIN CARGA	1			X	
3.3		1			X	
3.4	Operar el cambiador en todas sus posiciones para realizar limpieza de los contactos					
4	Verificación de los bloqueos					
4.1	Medición de la resistencia de contactos					
4.2		1	X			
4.3	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	1	X			
		2	X			
	Monitoreo de la temperatura del líquido aislante. Verificación de la posición correcta del indicador de las válvulas de bloqueo cuando el equipo se encuentra en operación. Verificación de operación de motoventiladores					
			X			
	CAJA DE CONTROL Y TABLERO DE CONEXIONES					
	Revisión de la calefacción e iluminación en la caja de control Verificación de hermeticidad en la caja de control Sustitución de partes (interruptores, contactores, etc) para el control de motores			X (6 MESES)		* 3
*	3. En caso de defectos					

Fuente: autoría del monografista, 2007
Trabajos de mantenimiento con intervalos de tiempo

No.	TRABAJO A REALIZAR	DURACION DE LA ACTIVIDAD (HORAS)	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL	VARIABLE
5	BOQUILLAS.					
5.1	Revisión de posibles fugas de aceite.	1		X		
5.2	Limpieza de los faldones de porcelana.	1		X (6 MESES)		
5.3	Apriete de los conectores.	1		X (6 MESES)		
6						
6.1	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.					
6.2						
7	Revisión de las terminales de conexión.	1			X	
7.1	Revisión de las terminales a tierra.	1			X	
7.2						
7.3	ACCESORIOS DE MEDICION Y CONTROL.					
7.4						
7.5	Revisión del relé Buchholz.	1				
7.6	Revisión del relé del Diverter switch y del dispositivo de sobrepresión del cambiador bajo carga.	1		X (6 MESES)	X	
7.7		1		X (6 MESES)	X	
8	Revisión de los indicadores de temperatura.	1			X	
	Revisión de la resistencia calefactora en los indicadores de temperatura.	1			X	
	Revisión de los indicadores de nivel del líquido aislante.	1			X	
	Revisión de la válvula de sobrepresión del tanque principal.	1	X			
	Revisión del equipo Inert – Air.	1				
	PRUEBAS					
	* VER APARTADO DE PRUEBAS A TRANSFORMADORES					

Fuente: autoría del monografista, 2007

TRABAJOS DE MONITOREO Y MANTENIMIENTO CON INTERVALOS DE TIEMPO

DIAGNÓSTICO

DISPOSITIVOS DE MONITOREO Y PROTECCION	FALLA	POSIBLE CAUSA	MEDIDAS DE CORRECCION
INDICADOR MAGNÉTICO DEL NIVEL DE ACEITE INDICADOR DE NIVEL	Nivel de aceite demasiado bajo	Aceite insuficiente. Baja temperatura Pérdida de aceite	Verifique el apriete de la tornillería en general Busque fugas en tapa principal
BAJO VALOR DE RIGIDEZ DIELÉCTRICA DEL ACEITE	Rigidez dieléctrica demasiado baja. Alto contenido de agua.	Respirador inoperable o transformador con mucho tiempo en servicio. Fugas en el sistema de enfriamiento por agua. No opera el reductor de presión del agua.	Ponga en operación el respirador. Selle o repare los enfriadores. Póngase en contacto con el fabricante, seque el aceite si es necesario
CONEXIÓN A TIERRA.	Conexión a tierra interrumpida	Corrientes excesivas provocadas por arcos externos. Corrientes de malla impermisibles debido a múltiples puntos de conexión a tierra.	Limpie los contactos, apriete los tornillos y verifique las distancias eléctricas. Elimine los puntos múltiples de conexión a tierra y utilice un solo punto con la suficiente sección transversal.
GABINETE DE CONTROL	Los dispositivos de control y protección no operan correctamente Contacto contaminados o afectados por corrosión. Cubiertas de los aparatos deformadas (torcidas)	Humedad excesiva en el gabinete de control. Agua o polvo dentro del gabinete. Temperatura elevada dentro del gabinete.	Fije la temperatura del gabinete a una temperatura más elevada. Selle la puerta del gabinete y coloque un filtro contra el polvo si es necesario. Proteja el gabinete de la radiación solar y proporcione una mejor ventilación.
CUERNOS DE ARQUEO EN BOQUILLAS	Operación frecuente	Distancia de arco eléctrico incorrecta	Ajuste los cuernos de arco a la distancia correcta y apriete los tornillos de fijación.

Fuente: Autoría del monografista, 2007

EMBARQUE Y TRANSPORTE

El embalaje de los equipos se efectúa de acuerdo al tipo de transformador del que se trate, de lo cual se considera lo siguiente:

El Transformador tipo Seco se envuelve con polietileno y coloca hoja de identificación (es adicional a la placa de datos propia del equipo).

El Transformador tipo Poste con boquillas en tapa se flejan protecciones de madera (guacal) en boquillas A.T. cubriendo sus accesorios con polietileno.

En caso de contar con refacciones, éstas se empaican en cajas de madera identificándose con el no de orden de fabricación, así mismo cuando se requiera un embalaje especial a transformadores de exportación es recomendable el empaque tipo jaula de madera, identificando el destino y remitente.

El transformador es colocado al camión (Subcontratado por el cliente o propiedad de Voltran según sea el caso) y se coloca en la plataforma perpendicularmente a los ejes del transporte, colocando empaques de neopreno entre las cadenas o tiras de sujeción y la base para evitar vibraciones durante el transporte

Se verifica que el amarre del transformador hacia la plataforma del vehículo sea correcto (sujeción lateral por medio de lazos, bandas o cadenas que envuelva las gargantas) y cadenas que sujeten fuertemente la base apretadas con gatos de sujeción.

Cuando la unidad sale de la Planta Voltran, esta se embarca con los elementos auxiliares para proteger las partes más susceptibles al daño como pueden ser: las boquillas de alta y baja tensión utilizando para su protección embalaje de madera.

Nota: por ningún motivo se dejara sujetar por el lado de radiadores o accesorios que se puedan dañar.

RECEPCION E INSPECCION

Los documentos de embarque, diagramás de alambrado, y otros documentos relacionados con el transformador suministrado, deberán de estar disponibles para su uso durante la inspección.

LISTA DE PUNTOS A VERIFICAR CUANDO SE RECIBE EL TRANSFORMADOR:

1. Dispositivos de sujeción para el transporte.

- ¿Se encuentran los dispositivos de amarre en perfectas condiciones y apretados correctamente?
- ¿Existe alguna evidencia de deslizamiento de la carga en el tránsito?

2. Tanque principal y accesorios

- ¿Existe alguna indicación de daño externo?
- ¿Se encuentra dañada la pintura?
- ¿Se encuentran todos los accesorios de acuerdo a la lista de envío y en perfectas condiciones?
- ¿Existe alguna evidencia de fugas de aceite? (en unidades embarcadas con aceite)
- ¿Llegó el tanque con presión positiva o con vacío? (en un clima frío, puede darse el caso de que el manovacuómetro marque vacío)

3. Boquillas

- ¿Existe alguna porcelana despostillada o dañada?
- ¿Se encuentra el nivel de aceite en su marca normal?

Dado que el transformador puede estar expuesto al manejo durante el transporte que en un momento dado pueden estar fuera del control de la empresa, es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones en cuanto llegue a su destino.

e) Antes de que el transformador se baje del transporte, se debe realizar una inspección visual con mucha atención consistente en:

- Observar que las protecciones de madera estén en su lugar correcto.
- Verificar que las boquillas de Alta y Baja Tensión se encuentren en buen estado.
- Verificar el estado de los instrumentos indicadores cuando los lleve.
- Cerciorarse de que no existan fugas de aceite en ninguna parte del transformador.
- Verificar que no haya señales de mal trato en el transformador (golpes en el tanque principal y radiadores).
- Verificar que cuente con los dispositivos de conexión a tierra.
- Verificar que cuente con la Placa de Características.
- Verificar la operación del cambiador de derivación cuando este sea de operación externa.

NOTA: Toda revisión debe realizarse cuidadosamente, auxiliándose de ser necesario de los planos de dimensiones generales y las Normas Oficiales o Nacionales aplicables.

- f) Si es evidente cualquier daño o indicio de maniobra inadecuada, el personal de recepción debe hacer una descripción de la condición en la cual se recibió el transformador y transcribirse en el documento de flete presentando inmediatamente la reclamación contra el transportista y notificando a Voltran, proporcionando los datos completos del transformador (datos de placa de características) y los detalles específicos del daño.

ALMACENAMIENTO

a) Almacenaje temporal.

Si el transformador no va a ser instalado inmediatamente después de su inspección externa en el lugar de su destino:

Si su equipo ha sido entregado sin aceite, para el almacenaje de éstos transformadores debe realizarse presurizados con gas, requiere de una total seguridad de que se mantenga continuamente la presión del gas. El mejor método para llevar a cabo esta actividad es usando equipo Inert-Air. Si el transformador no está diseñado para el uso de este equipo, se puede hacer conexiones con tubería temporales, usando las conexiones para el filtro prensa superiores o las conexiones para VACIO-LLENADO.

Almacenaje del transformador con aceite durante un año.

Cuando no es posible ensamblar o instalar completamente un transformador inmediatamente, se permite almacenar la unidad hasta por un año cuando se encuentra lleno adecuadamente con aceite.

Después de la recepción del transformador y tan rápido como sea posible, coloque el transformador en su base permanente, o en una base temporal lo suficientemente sólida y realice los chequeos recomendados en la sección INSPECCION DE RECIBO. Ponga a funcionar el equipo Inert-Air cuando este sea suministrado.

Es posible que algunos accesorios deban de ser instalados en cuanto el equipo llegue a su destino y los otros deban de ser almacenados en lugares seguros y protegidos de las inclemencias del medio ambiente y donde se protejan de cualquier posibilidad de daño o pérdida. (Vea la sección de almacenaje de accesorios y otras partes embarcadas por separado)

Saque muestras del aceite de la parte inferior del transformador y de los compartimentos del cambiador de derivaciones bajo carga (cuando sea suministrado) y realice pruebas de:

- Rigidez dieléctrica
- Factor de potencia
- Contenido de agua

Realice pruebas de resistencia de aislamiento y factor de potencia en cada uno de los devanados contra los otros devanados y a tierra, y todos los devanados contra tierra, comparando los valores obtenidos contra los obtenidos en fábrica.

Si todas las pruebas son satisfactorias el transformador deberá ser colocado en su base y completar el ensamble y la instalación. Si la instalación fue terminada antes de su almacenaje, el transformador puede ser energizado

b) Almacenaje de accesorios y otras partes embarcadas por separado.

Cuando los accesorios no son montados inmediatamente, después de que el transformador es recibido estas partes deberán de ser protegidas contra daños o pérdida durante su almacenaje.

Siga las siguientes instrucciones generales y las instrucciones a detalle de cada uno de los accesorios suministrados. Si existe deferencia entre este instructivo y el instructivo del accesorio en particular, este último deberá tener la preferencia.

Se requiere un almacenaje en lugares cubiertos para todas las cajas marcadas con una leyenda que diga: FRAGIL.

Si los transformadores no son puestos en servicio inmediatamente, es aconsejable colocarlos debidamente revisados en un sitio permanente, si esto

no es posible, entonces deben de almacenarse en un lugar seco, el cual no este sujeto a fuertes variaciones de temperatura y estén protegidos contra golpes que puedan dañarlos.

Manejo:

El transformador, como todo equipo eléctrico, es un elemento que requiere atención y cuidado durante su manejo, en muchas ocasiones se presenta el caso de que las boquillas son utilizadas como punto de apoyo para mover de un lado a otro el transformador lo cual puede provocar la fractura de las mismás, además de que el transformador tiene provisiones para izaje, palanqueo y deslizamiento

REGLAS DE SEGURIDAD APLICADAS A TRANSFORMADORES

1. El fluido aislante de estos transformadores puede ser un líquido mineral flamable. Considere esto cuando instale los equipos en lugares próximos a vías públicas o edificios ya que existe la posibilidad de que una falla en el transformador traiga como consecuencia fuego y/o explosión poniendo en peligro la vida y las propiedades.
2. Un inadecuado aterrizamiento puede causar alto voltaje en el tanque del transformador y las salidas del secundario, y como consecuencia una fuente de peligro para la vida.
3. Bajo ciertas condiciones de falla los voltajes secundarios de líneas a tierra de transformadores con devanados secundarios sin aterrizar (**por ejemplo: deltas, estrellas con neutro flotante, y deltas abiertas**), se pueden aproximar a un nivel tan alto como los voltajes de suministro. Este alto voltaje es sumamente peligroso.
4. No dependa de indicaciones visuales tales como la posición de un switch o el retiro de fusibles como medio para la determinación de una condición de "Equipo Desenergizado". El contacto con una terminal energizada puede tener como consecuencia un choque eléctrico, quemaduras y aún la muerte. Siempre considere que una terminal se encuentra energizada a menos que se haya realizado un chequeo y un buen aterrizamiento para prevenir un daño al personal.
5. Conecte el transformador de acuerdo con el diagrama de alambrado de la placa de datos del transformador y opérelo únicamente a los voltajes mostrados en la placa. El no tomar en cuenta esta situación puede dar como consecuencia una falla en el transformador y al mismo tiempo una amenaza para la vida y las propiedades.

6. Estos transformadores tienen un cambiador de derivaciones que deberá de ser operado solo cuando el equipo se encuentre totalmente desenergizado. Puede ocurrirle un daño permanente al equipo si no se sigue esta instrucción resultando en un posible riesgo para la vida y las propiedades. Respete lo anterior cuando el equipo tenga un cambiador para doble voltaje.
7. Si el transformador es trifásico, no lo opere con una o más fases abiertas. Ya que se generan corrientes y voltajes de servicio desbalanceados y la conexión de una sola fase a la carga.
8. El operar el transformador y sus accesorios fuera de su rango de voltaje y de corriente, puede dar como consecuencia daño a estos equipos, daño al personal e incluso la muerte.
9. La operación de un dispositivo primario de protección, puede ser la evidencia de un transformador fallado. No reenergice la unidad si es evidente cualquier indicación de falla, ya que esto puede dar como resultado fuego y/o explosión.
10. Si el equipo es suministrado con un cambiador para doble voltaje, asegúrese de que el cambiador esté en la posición de voltaje en el cual va ser energizado y que coincida con la información de la placa de datos. Si no se sigue esta instrucción puede ocurrir un problema serio en las bobinas del primario del equipo.
11. Se deben de seguir las mejores prácticas de seguridad durante la inspección e instalación de un transformador. En resumen, estos son procedimientos más o menos peculiares para transformadores, los cuales deben de seguirse tanto para la protección del trabajador como del equipo:
 - a. El equipo deberá de estar aterrizado en forma permanente. Previo a las pruebas dieléctricas, desenergise y aterrice las terminales de conexión del equipo. Todo el equipo para tratamiento del aceite así como las bombas de vacío, también deberán de estar aterrizadas. Esto es con el fin de reducir la posibilidad de la generación de cargas estáticas.
 - b. No efectúe pruebas dieléctricas cuando el transformador se encuentre bajo vacío.
 - c. Antes de realizar cualquier prueba dieléctrica ventile el tanque del transformador con nitrógeno o aire seco para desechar cualquier gas combustible el cual pudiera estar presente.
 - d. Se deben de tener extintores para su uso en caso de emergencia. Uno deberá de estar disponible en la parte superior del transformador cuando se esté realizando un trabajo dentro del tanque. No se permite fumar cerca del equipo de tratamiento del aceite o en la parte superior del transformador cuando sus registros se encuentren destapados. Nota: Tome en cuenta que el uso de extintores dentro del transformador dañará severamente o arruinará el aislamiento del equipo.

- e. Antes de retirar cualquier cubierta o accesorio del transformador, asegúrese de que el tanque no tenga ninguna presión y que el nivel del líquido se encuentre debajo de la pieza a retirar.
 - f. Nunca permita que alguna persona se introduzca al transformador al menos que un análisis del aire dentro del tanque muestre que se tiene como mínimo un 19.5 % de oxígeno. Cuando alguien se encuentre dentro del tanque, deberá de haber otra persona observándolo desde la parte superior a través del registro hombre.
 - g. Las lámparas que se utilicen deben de ser a prueba de explosión y tener cuerdas resistentes al aceite.
12. Se debe tener extremo cuidado para proteger el aislamiento del transformador de daños para prevenir que materiales extraños sean introducidos al tanque durante su inspección y ensamble:
- a. Mientras el transformador se encuentre abierto, no se permitirá que ninguna persona se encuentre en la parte superior del transformador hasta que haya vaciado las bolsas de sus ropas y se haya liberado de objetos personales tales como relojes y anillos.
 - b. Las personas que se introduzcan al transformador no deberán de tener en sus ropas partículas sueltas, use protectores de lona limpios para sus zapatos o botas de plástico resistentes al aceite perfectamente limpias. Nunca se pare sobre una estructura aislante porque puede dañarla.
 - c. Los pedazos de trapo deberán de estar completamente limpios y usarse como patones para prevenir que caigan objetos en lugares de difícil acceso.
 - d. Toda la herramienta deberá de ser inventariada, si es posible, las herramientas a utilizar deberán de estar aseguradas por medio de una cinta de algodón o cordón de pescar de tal manera que se elimine la posibilidad de extravío de la misma.
 - e. Debe de haber una persona responsable de la vigilancia del personal y de los materiales dentro y fuera del tanque y para asegurarse de que nada es dejado dentro del tanque accidentalmente. Esta persona también debe de ser responsable que se tengan las precauciones para la apertura del tanque.
 - f. Nunca destape el transformador a menos que la temperatura del tanque y sus partes internas sea como mínimo 10°C más alta que el punto de rocío del aire exterior.
 - g. En el momento de cambios súbitos en el clima, amenaza de lluvia o nieve, tome las precauciones pertinentes para el cierre del tanque lo más rápido posible para proteger el aislamiento. No realice operaciones de vacío cuando esté lloviendo o mientras el transformador no esté bajo cuidado de alguna persona.
 - h. Si cualquier objeto que haya caído dentro del transformador no puede recuperarse. Notifique inmediatamente a VOLTRAN o a su representante más cercano.

- i. Cuando se lleven a cabo pruebas de presión o se aplique vacío, lea las notas de la placa de datos e iguale la presión entre el tanque principal y otros compartimentos separados por pasamuros cuando esto sea requerido. También, cualquier conexión rígida en la parte superior de las boquillas debe ser desconectada para eliminar la fractura del aislador la cual podría ser causada por la deflexión del tanque y la cubierta bajo las pruebas de presión o la aplicación de vacío.
 - j. Evite el uso de medidores de presión que contengan mercurio, a menos que se coloque una trampa efectiva entre el medidor y el transformador ya que existe la posibilidad de que por un descuido caiga el mercurio dentro del transformador. Para la medición del vacío, se prefieren medidores anaeróicos de presión absoluta o medidores tipo termopar (thermocouple) adecuadamente calibrados.
13. Se debe de recordar que en los tanques de transformadores completamente herméticos, pueden, bajo ciertas condiciones, acumularse gases explosivos, y que en los procesos del manejo los líquidos dieléctricos, puede generarse electricidad estática. En las precauciones de seguridad se deben de incluir la purga de los espacios de gas con nitrógeno o aire seco antes del llenado con líquido o su filtrado y aterrizado el transformador, sus boquillas y el equipo para el tratamiento del aceite.
14. No deje el transformador con vacío excepto durante la operación de llenado bajo vacío. Las fugas en tuberías temporales y conexiones pueden ocasionar daño en el equipo ya que podría penetrar la humedad en el tanque durante periodos de alta humedad o durante la lluvia. Se recomienda tener el tanque con presión positiva para prevenir que penetre la humedad del tanque.
15. Electricidad estática. En la operación de un filtro prensa es necesario que se tome en cuenta el problema de la electricidad estática y sean descargadas las áreas y tanques en la medida de lo posible.

Medidas de seguridad

1. Medidas de seguridad básicas.

Entre otras cosas usted tiene las siguientes obligaciones:

- Observar las instrucciones de seguridad de sus superiores, así como todas las prescripciones y placas de advertencias.
- Comunicar inmediatamente los daños y desperfectos de instalaciones y máquinas así como peligros de accidentes.
- Usar casco protector.
- Usar zapatos de seguridad.
- Usar lentes de seguridad.

- Usar guantes de protección.
- Cuando se trabaje en áreas con ruidos molestos, usar los elementos protectores de los oídos que se suministran.
- Comunicar a su superior de cada accidente ocurrido en el camino al o en el lugar de trabajo.

2. MEDIDAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICAS.

Se deberán de tener medidas de seguridad para todas las herramientas eléctricas contra un voltaje de contacto demasiado elevado. Estas medidas son:

- a) Aislamiento de protección.
- b) Pequeña tensión de protección.
- c) Puesta a tierra de protección.
- d) Puesta a tierra de neutro.
- e) Protecciones contra corto circuito.
- f) Uso de guantes, lentes y zapatos dieléctricos obligatorio.
- g) Nunca trabaje solo, ni deje que otro lo haga, su vida puede depender de ello.

3. USO DE ESCALERAS.

1. Las escaleras y peldaños deberán de estar disponibles en el sitio de trabajo y en la cantidad y dimensiones requeridas. No utilice banquillos, sillas, mesas, cajones, barriles, sacos, o combinaciones de tales objetos en lugar de las escaleras y los peldaños.
2. No utilice escaleras dañadas o que sean inadecuadas.
3. Las escaleras deberán de estar construidas y montadas de tal manera que estén aseguradas contra resbalones, deslizamientos y volcado, así como también contra oscilaciones y doblados pronunciados. Los pisos con arena suelta, pisos lisos y aceitados, rejillas, etc., no presentan una condición segura para la colocación de escaleras. Si existe el peligro de que por determinados trabajos no se puede garantizar la estabilidad de la escalera, deberán de adoptarse medidas adicionales; ejemplo, asegurar con sogas, cadenas, ganchos, etc., o sostener la escalera por alguna persona auxiliar.
4. No utilice escalera de la cual usted desconozca en que condiciones se encuentran. Utilícelas solo en caso de que estas hayan sido sometidas a una cuidadosa revisión respecto a su capacidad de peso y su estabilidad.
5. Si las dimensiones de las escaleras ya no son adecuadas, utilice andamios seguros.

Procedimiento para los trabajos de instalación y mantenimiento en instalaciones eléctricas.

1. Infórmese a detalle de los trabajos de instalación o mantenimiento a realizar, condiciones de desconexión y peligros extraordinarios de las instalaciones eléctricas existentes.
2. Está prohibido el trabajo en instalaciones con líneas vivas de alta corriente y alto voltaje.
3. Nunca se deje persuadir por otras personas para efectuar trabajos en áreas con línea viva. Siempre repórtese con su superior.
4. Las operaciones de desconexión en instalaciones eléctricas, están reservadas solo al personal de servicio autorizado y no son parte del trabajo del personal de montaje y mantenimiento.
5. Cuando se trabaje en lugares peligrosos donde exista el riesgo de fuego o explosión infórmese antes de iniciar los trabajos sobre las prescripciones especiales que para ello existen y observe estrictamente las directrices del agente responsable del cliente.
6. Cuando trabaje en instalaciones eléctricas tenga siempre en consideración las siguientes reglas de seguridad sin pasar por alto ninguna:
 - a) Desconectar.
 - b) Asegurar contra alguna reconexión.
 - c) Verificar siempre la ausencia de tensión.
 - d) Aterrizar y cortocircuitar.
 - e) Blindar y proteger mediante barreras partes vecinas de la instalación que se encuentran bajo tensión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bean, R. L.; Chackan, N.; Moore, H. y Wentz, E.: Transformadores para la industria eléctrica.
- [2] Corrales N., Juan: Teoría, cálculo y construcción de de transformadores.
- [3] E.E. Staff del M.I.T.: Circuitos magnéticos y transformadores.
- [4] Gingrich, Harold W.: Máquinas eléctricas, transformadores y controles.
- [5] Gourishankar, Vembu: Conversión de energía electromecánica.
- [6] Giraldo M., Orlando: Conferencias varias sobre transformadores.
- [7] IEEE: Artículos varios.
- [8].DONALD, Fink, WAYNE, Beaty. Manual de Ingeniería Eléctrica. Editorial:McGraw Hill.1996. Edición original en inglés. Tomo I-II.
- [9] M.I.T. Circuitos Magnéticos y Transformadores. Editorial Reverte.697 p.p.
- [10] CABELLO, Jesús. Diagnóstico precoz de fallas en transformadores. Editorial PURIMIN C.A.
- [11]CAMACHO, Alberto. Criterios sobre diseño y construcción de redes de distribución subterránea.
- [12]Pruebas de control de Transformadores. Editorial Pauwels.

GLOSARIO

Magnetismo:

Es la parte de la física que estudia las propiedades de los campos magnéticos y de los cuerpos sometidos a su acción.

Campo Magnético:

Región del espacio en la que existe un estado físico susceptible de manifestarse por fuerzas magnéticas.

Intensidad del Campo Magnético:

Magnitud vectorial que equivale a la fuerza puntual que ejerce el campo sobre la unidad de masa magnética situada en dicho punto. En el sistema Giorgi la unidad es el Amperevuelta por metro Av/m.

Flujo Magnético Φ :

Numero total de líneas de fuerza que atraviesan una superficie a la dirección del campo magnético. Su unidad en el sistema Giorgi es el Weberio (Wb).

Inducción Magnética β :

Magnitud vectorial que equivale al numero de líneas de fuerza por unidad de superficie. En el sistema Giorgi su unidad es el Tesla (T).

Permeabilidad Absoluta μ :

Cociente de la inducción magnética por la intensidad de campo magnético. En el sistema Giorgi y deduciendo de este cociente la unidad de permeabilidad es H/m (Henrio por metro).

La permeabilidad en el vacío o en el aire μ_0 será:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

La permeabilidad relativa será pues la relación entre la permeabilidad absoluta con la del vacío:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Sustancia Paramagnética:

Sustancia que adquiere, en un campo magnético externo, una imantación, que tiene por efecto aumentar la inducción debida exclusivamente al campo. Por Ej. Oxígeno, aire, aluminio.

Sustancia Diamagnética:

Sustancia que adquiere, en un campo magnético externo, una imantación, siempre débil, que tiene por efecto disminuir la inducción debida exclusivamente al campo.

Sustancia Ferromagnética:

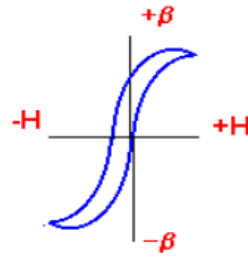
Sustancia capaz de adquirir una imanación importante por la acción de un campo magnético externo, y susceptible de conservar la totalidad o parte de dicha imanación una vez que haya desaparecido el efecto del campo.

Histéresis magnética:

Fenómeno por el que la imanación de los cuerpos ferromagnéticos depende no solamente del valor actual del campo sino también de los estados magnéticos anteriores.

Ciclo de Histéresis:

Curva cerrada que representa la serie de valores de la inducción magnética al variar el campo magnético.



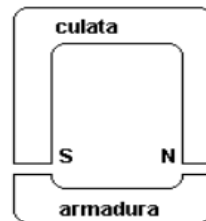
Ciclo de histéresis

Electromagnetismo:

Es la parte de la ciencia que trata de las relaciones entre la electricidad y el magnetismo.

Circuito magnético:

Conjunto de medios constituidos principalmente por sustancias ferromagnéticas, que forman un circuito cerrado y a través de los cuales puede pasar un flujo magnético.

**Fuerza Magnetomotriz F:**

Causa capaz de mantener la circulación del flujo de inducción a lo largo del circuito magnético. Se designa por f.m.m. y en el sistema internacional su unidad es el amperio-vuelta (Av).

Reluctancia:

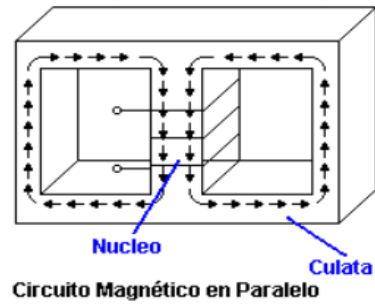
Cociente de la f.m.m. aplicada a un circuito magnético por el flujo de inducción que produce. Midiéndose en Av/Wb .

Núcleo Magnético:

La parte de un circuito magnético rodeado por un devanado (bobina).

Culata o Yugo:

Pieza de sustancia ferromagnética no rodeada por un devanado y destinada a unir los núcleos de un electroimán, o un transformador o los polos de una maquina.

**Entrehierro:**

Solución de continuidad, de pequeña longitud, de las partes ferromagnéticas de un circuito magnético.

Solenoides:

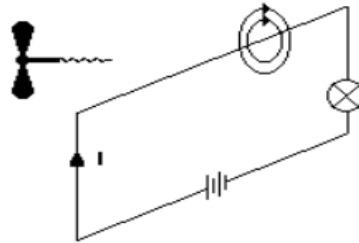
Bobina devanada según una hélice de paso muy corto.

Excitación:

Producción de un flujo de inducción magnética en un circuito magnético por una corriente eléctrica.

Campo Magnético generado por una corriente eléctrica:

El paso de una corriente eléctrica crea un campo magnético, formado por líneas de fuerza circulares y situadas en un plano perpendicular al conductor. El sentido de las líneas de fuerza es el del giro de un sacacorchos que avanza en el sentido de la corriente.

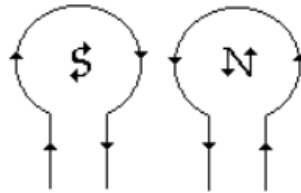


Campo magnético creado por una corriente

Campo Magnético Creado por una Espira:

Una espira es un conductor curvado, por lo que el sentido del campo será el resultado de aplicar la regla del sacacorchos a trozos del conductor.

El campo magnético resultante es similar al producido por un imán plano. Las caras de las espiras son norte y sur. Su determinación se hace escribiendo en su interior las letras N o S con sus flechas según el sentido de la corriente.



Norma para indicar las caras de una espira

Campo Magnético Creado por una Bobina:

Una bobina esta forma por un conductor arrollado en forma de hélice cilíndrica, o por varias espiras en serie muy próximas entre si.

El campo magnético en una bobina se obtiene aplicando las reglas anteriores a trozos del conductor o a diferentes espiras. El campo magnético resultante es similar al de un imán, apareciendo un polo norte en el extremo por donde salen las líneas de fuerza y un polo sur por donde entran

Inducción Electromagnética:

Producción de fuerza electromotriz por variación de un flujo en un circuito estático, o por corte del flujo a un circuito en movimiento.

Ley de Faraday:

La f.e.m. inducida en un circuito cerrado es proporcional a la derivada del flujo abarcado respecto al tiempo. Cuyo sentido queda definido por la ley de Lenz.

Ley de Lenz:

El sentido de la f.e.m. es siempre se signo tal que se opone a la causa que lo ha producido, o sea, a la variación del flujo inductor.

Autoinducción:

Producción de una f.e.m. en un circuito por la variación de corriente que pasa por el.

F.e.m. de Autoinducción:

Cuando en una bobina existe una variación de corriente, también hay una variación del flujo, y por lo tanto aparecerá una f.e.m. inducida cuyo valor será:

$$e_a = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$