

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**  
**Y ELECTRICA**



**TESINA**

**TEMA**  
**FUNDAMENTOS DE OPERACION**  
**MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE**  
**EQUIPOS ELECTRICOS EN LA**  
**INDUSTRIA**

**PRESENTA**  
**FRANCISCO ALEJANDRO CORONEL SORIA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO MECANICO**  
**ELECTRICISTA**

**CD. UNIVERSITARIA**

**JUNIO DE 1999**

T

TK441

C6

c.1



1080088892

AGRADECIMIENTO  
CAS ATENCIONES  
AL ING. ARTURO GZZ.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Arturo GZZ', written in a cursive style.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA



TESINA

TEMA  
FUNDAMENTOS DE OPERACION  
MANTENIMIENTO Y PRUEBAS DE  
EQUIPOS ELECTRICOS EN LA  
INDUSTRIA

PRESENTA  
FRANCISCO ALEJANDRO CORONEL SORIA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA

T  
TK441  
CG



En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar a este día y por conducirme en el camino recto de la vida.

Gracias a mis padres por todos sus consejos y sus desvelos, por apoyarme en cada momento de mi vida, ya que sin ellos no podría haber cumplido uno de mis sueños como lo es el poder titularme y dar lo mejor de mi a la sociedad a la cual pertenezco.

También quiero agradecer a todos mis maestros por sus enseñanzas y anécdotas y a mis amigos con los cuales me divertí mucho a lo largo de estos cinco años y juntos aprendimos muchas cosas, pero sobre todo a ser hombres de bien.

Francisco Alejandro Coronel Soria

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION AL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS

### 1.1 Introducción

En los equipos eléctricos, su deterioro comienza en el momento en que se pone a funcionar; por lo cual se deben prevenir los cambios de carga o alteración en los circuitos. La existencia de un mantenimiento preventivo y un programa de pruebas son de gran importancia para alargar la vida de los equipos. También se tiene que conocer los tipos de diagramas que se utilizan en el mantenimiento eléctrico, así como los métodos de pruebas para el equipo.

### 1.2 Porque del mantenimiento

El mantenimiento a los equipos eléctricos reduce los paros en la empresa, ya que la electricidad es la fuente de energía vital para esta, dándonos como resultado un mejor rendimiento del personal e incrementos en la productividad. Por lo que, hay que crear un programa de mantenimiento eléctrico preventivo y pruebas (MEPP).

La planeación de un MEPP debe incluir un estudio sobre ventajas, costo, perdidas en la producción, además de suministro de equipo de pruebas, herramientas, tiempo y personal requerido para llevarse a cabo, además de el equipo que queda fuera de servicio y la mejor técnica para hacer el mantenimiento.

Todo lo anterior es el inicio del mantenimiento, a lo cual se le debe sumar la inspección de los equipos existentes, así como recopilar datos de cuando fue la ultima vez en el que se le dio mantenimiento; con esto se hace un calendario en el cual se señale la fecha en la cual se le dará mantenimiento a todos los equipos existentes y a los nuevos.

Otro punto importante para un MEPP, son los requisitos técnicos siguientes:

- Examinar el equipo de la planta.
- Hacer un listado del equipo según su importancia.
- Hacer un plan para llevar a cabo el mantenimiento.
- Desarrollar procedimientos para el programa.

### 1.3 Tipos de diagramas

La examinación del equipo debe tener datos acerca de la potencia del sistema, el cual, deberá incluir diagramas que nos ayuden a comprender como esta la instalación del equipo. Los tipos de diagrama que se pueden tener son los siguientes:

*Diagramas de bloques.* Son figuras como círculos o rectángulos, los cuales están interconectados con una línea y cada figura representa un elemento del sistema representado en ese diagrama (Figura 1.1).

*Diagramas unifilares.* Son diagramas que utilizan símbolos gráficos, que representan a cada elemento y sus características. Los símbolos son unidos por medio de líneas (Figura 1.2)

*Diagramas de impedancia y reactancia.* Se usan para estudiar el comportamiento de un sistema en condiciones de carga o al presentarse un corto circuito. La figura 1.3 es la representación del diagrama unifilar de la figura 1.2, pero en forma de impedancias y reactancias, este muestra el circuito equivalente de cada elemento del sistema, referido al mismo lado de los transformadores.



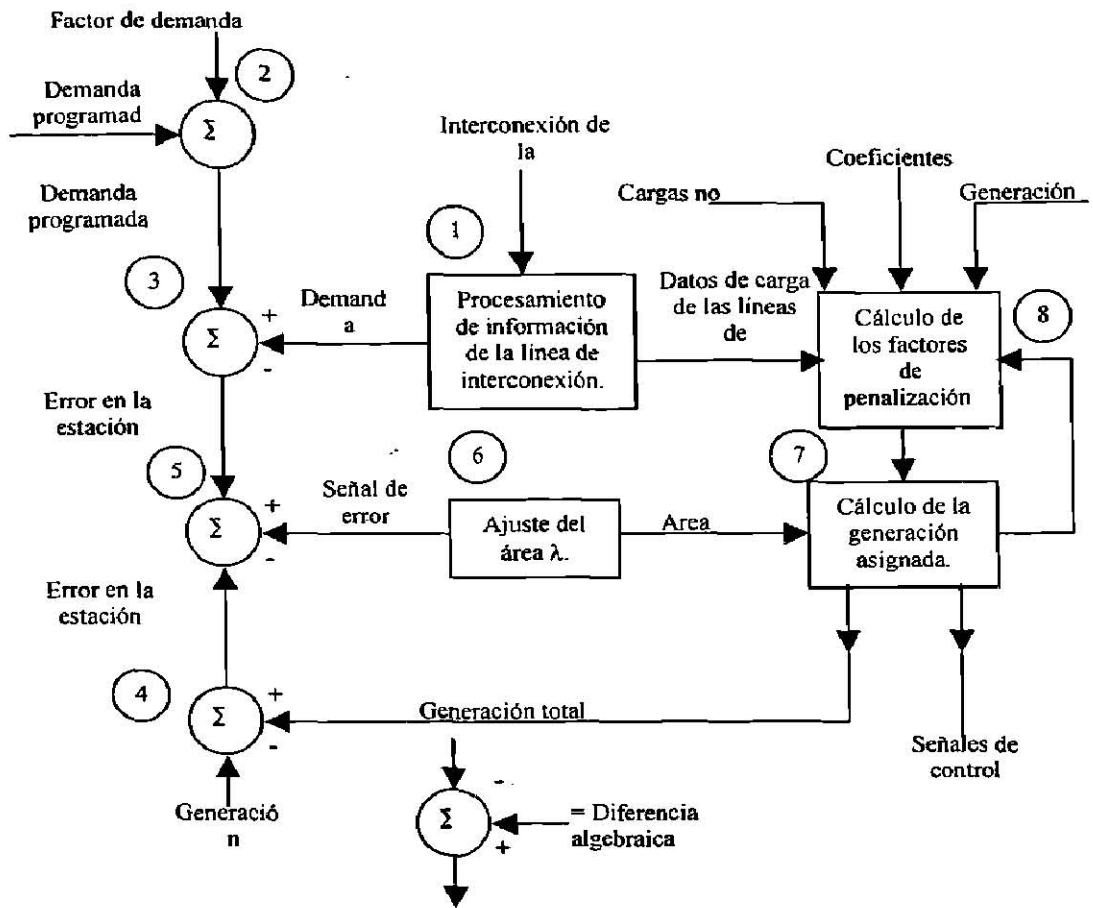


Figura 1.1. Diagrama de bloques.

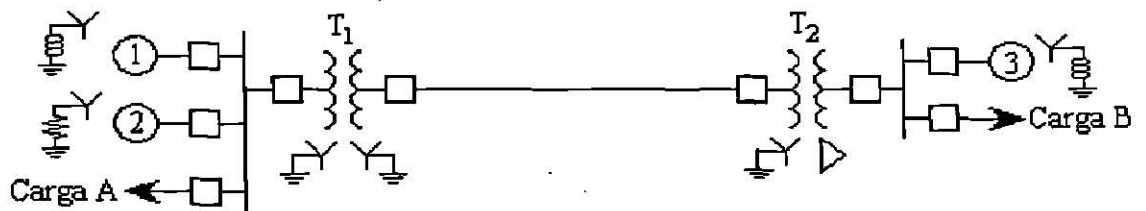


Figura 1.2. Diagrama unifilar.

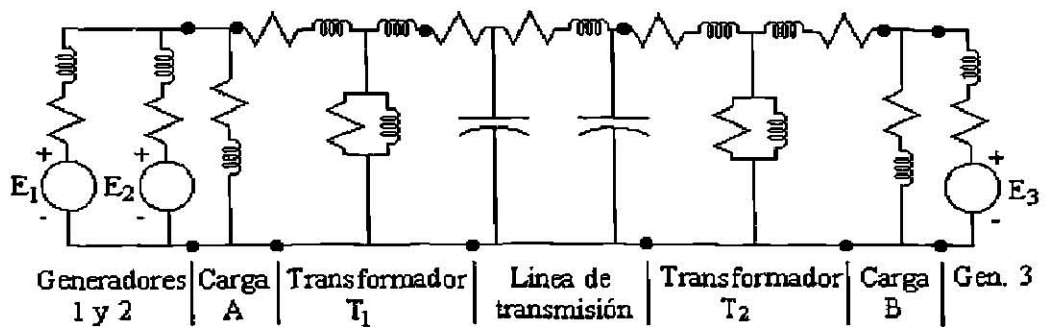


Figura 1.3. Diagrama de impedancias y reactivancias.

Este diagrama de impedancias no incluye las impedancias limitadoras de corriente, que se ven en el unifilar entre los neutros de los generadores y tierra, porque en condiciones de equilibrio, no circulan corrientes por la tierra y neutros de los generadores, ya que están al mismo potencial que el neutro del sistema.

*Diagrama esquemático.* Nos indica todos los circuitos y dispositivos de los elementos de los equipos y sus funciones, mostrando mediante líneas a todos los dispositivos de un modo desenergizado (Figura 1.4 a).

*Diagrama de cableado.* Es utilizado para localizar e identificar dispositivos eléctricos, terminales y cables interconectados (figura 1.4 b).

*Diagrama de interconexión.* Nos muestra las conexiones externas entre controles y equipo asociados o entre varias unidades de equipos ensamblados o asociados a un mismo interruptor (Figura 1.4 c).

#### **1.4 Tipos de pruebas para equipo eléctrico.**

Las pruebas para equipo eléctrico son las siguientes:

- Pruebas de aislamiento de estado sólido.
- Pruebas de dispositivos de protección.
- Pruebas de aislamiento de líquidos (aceites).
- Análisis de tiempos de disparo en interruptores.
- Pruebas de resistencia a tierra.
- Pruebas y análisis de gases.
- Pruebas de inspección infrarrojo.

##### **1.4.1 Pruebas de aislamiento de estado sólido.**

El aislamiento puede ser de material dieléctrico (sólido, líquido o gas), y que prevenga flujo eléctrico entre puntos de diferente potencial. Esto significa que se pueda aplicar un alto potencial de voltaje y determinar la corriente de fuga que exista bajo estas condiciones en una prueba. Una corriente excesiva de fuga puede determinar las condiciones de deterioro y una falla. Estas pruebas se hacen para corriente directa (CD) y para corriente alterna (CA), y en ambas se hacen pruebas de la resistencia del aislamiento y de alto potencial de voltaje.

En las pruebas destructivas que son llevadas a cabo mediante la aplicación de bajos voltajes el equipo sometido a prueba raramente es dañado. En las pruebas si el equipo falla o muestra una corriente de fuga excesiva, el equipo a prueba queda inutilizable. Si el equipo no falla entonces ha superado la prueba.

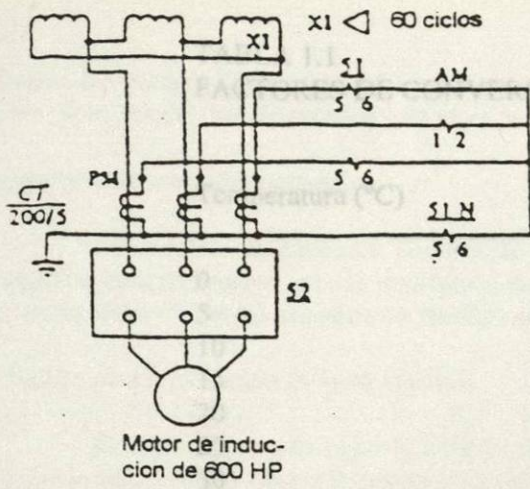
##### **Pruebas de aislamiento en voltajes de CD.**

###### *Prueba de resistencia de aislamiento.*

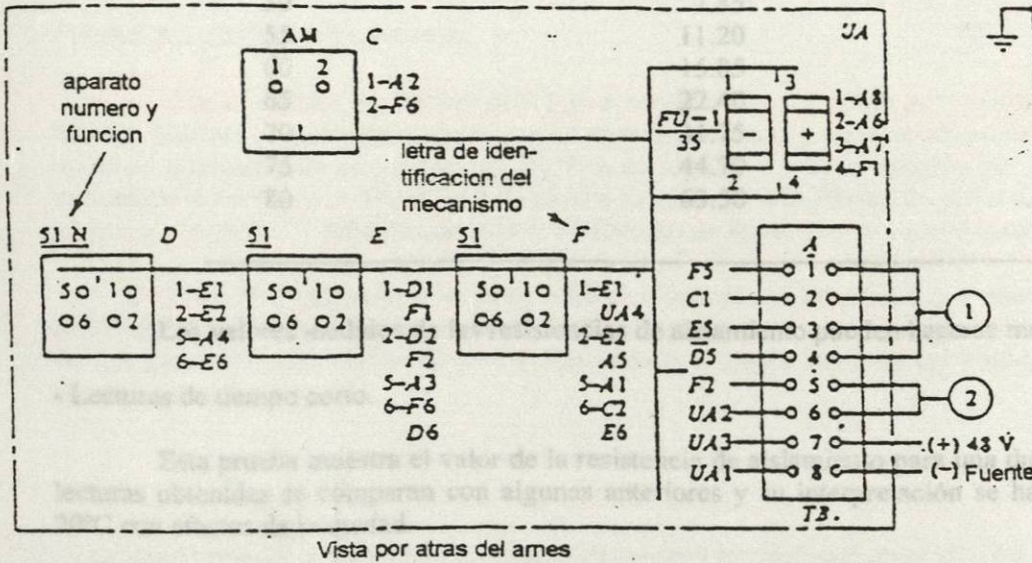
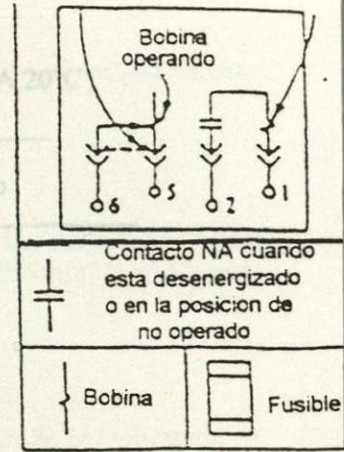
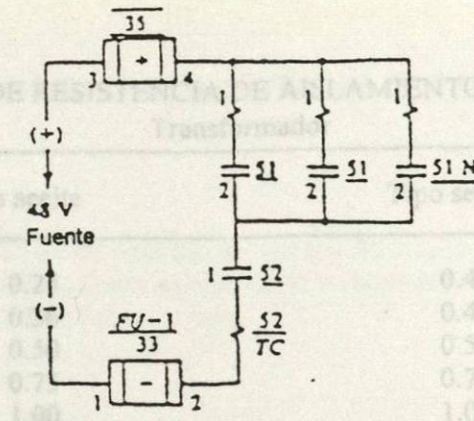
Esta prueba se hace aplicando voltajes de 100 a 5000 volts, se utiliza el megohmetro con mecanismo manual, motorizado o eléctrico, el cual indica la resistencia de aislamiento en megohms.

La calidad del aislamiento es evaluado tomando en base un nivel de resistencia de aislamiento, el cual varía dependiendo de la temperatura la humedad y otros factores ambientales. Por lo tanto, las lecturas de las pruebas deberán ser corregidas de acuerdo con un estándar de humedad y temperatura, ver tabla 1.1.

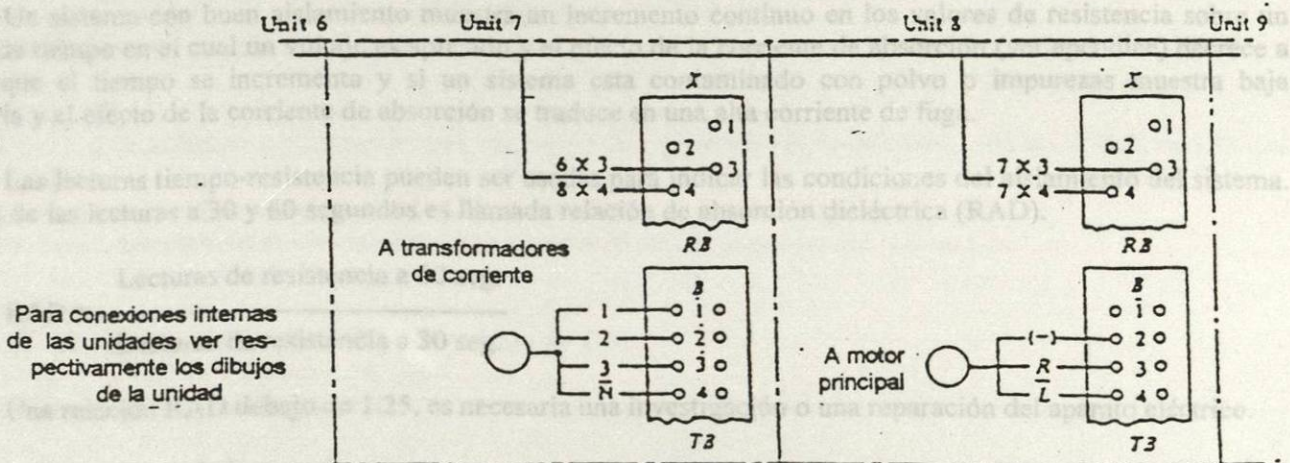
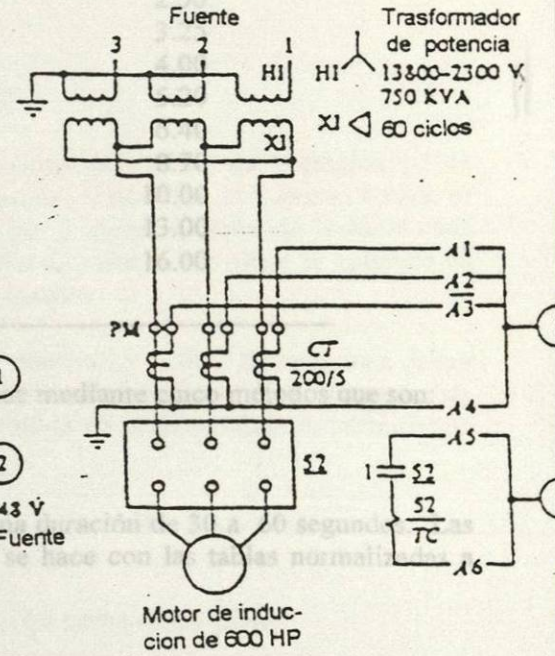
El valor de la resistencia de aislamiento en un megohmetro es inverso al volumen del aislamiento en que esta siendo probado. Como ejemplo, un cable de 167 mts de longitud (500 pies) deberá tener 1/10 de la resistencia de aislamiento de un cable de 50 pies bajo condiciones idénticas. Esta prueba nos da el nivel de deterioro del aislamiento, los valores de la resistencia de aislamiento no nos indica los puntos de debilidad ni tampoco los esfuerzos dieléctricos, pero si nos indica el nivel de contaminación del aislamiento.



(a) Diagrama esquemático



(b) Diagrama de cableado



(c) Diagrama de interconexión

Figura 1.3.

**TABLA 1.1**  
**FACTORES DE CONVERSION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 20°C**  
**Transformador**

Temperatura (°C)	En aceite	Tipo seco
0	0.25	0.40
5	0.36	0.45
10	0.50	0.50
15	0.75	0.75
20	1.00	1.00
25	1.40	1.30
30	1.98	1.60
35	2.80	2.05
40	3.95	2.50
45	5.60	3.25
50	7.85	4.00
55	11.20	5.20
60	15.85	6.40
65	22.40	8.70
70	31.75	10.00
75	44.70	13.00
80	63.50	16.00

Los valores medidos de las resistencias de aislamiento pueden hacerse mediante cinco métodos que son:

- Lecturas de tiempo corto.

Esta prueba muestra el valor de la resistencia de aislamiento para una duración de 30 a 60 segundos. Las lecturas obtenidas se comparan con algunas anteriores y su interpretación se hace con las tablas normalizadas a 20°C con efectos de humedad.

- Lecturas de tiempo-resistencia.

Un sistema con buen aislamiento muestra un incremento continuo en los valores de resistencia sobre un periodo de tiempo en el cual un voltaje es aplicado y el efecto de la corriente de absorción (ver apéndice) decrece a medida que el tiempo se incrementa y si un sistema esta contaminado con polvo o impurezas muestra baja resistencia y el efecto de la corriente de absorción se traduce en una alta corriente de fuga.

Las lecturas tiempo-resistencia pueden ser usadas para indicar las condiciones del aislamiento del sistema. La razón de las lecturas a 30 y 60 segundos es llamada relación de absorción dieléctrica (RAD).

$$RAD = \frac{\text{Lecturas de resistencia a 60 seg.}}{\text{Lecturas de resistencia a 30 seg.}}$$

Una relación RAD debajo de 1.25, es necesaria una investigación o una reparación del aparato eléctrico.

- Lecturas de picos de voltaje.

Esta prueba es aplicada en forma de picos para que el aislamiento que esta bajo prueba, sea fijado con un voltímetro. A medida que el voltaje es incrementado los puntos débiles del aislamiento deberán mostrar resistencias bajas que no se muestran con bajos niveles de voltaje. Residuos y polvos pueden ser detectados a

niveles de voltajes bajos, esto más bajos de los voltajes de operación, mientras que un daño físico, un aislamiento malo, solo pueden ser detectados con altos voltajes.

- Prueba de absorción dieléctrica.

Esta prueba se hace con voltajes de 10 Kilovoltios aplicado un tiempo de 5 a 15 minutos. La prueba es evaluada tomando como base la resistencia de aislamiento, si este se encuentra en buenas condiciones, la resistencia de aislamiento deberá aumentarse a medida que la prueba es desarrollada.

- Prueba de clasificación de polarización.

Esta prueba es una especialización de la prueba de absorción dieléctrica, y es la razón de la resistencia de aislamiento en 10 minutos a la resistencia de aislamiento en 1 minuto. Una clasificación menor a 1 indica deterioro en el equipo y necesita un mantenimiento inmediato. Esta prueba se utiliza para cables, transformadores y máquinas giratorias.

*Prueba de voltaje de alto potencial.*

Esta se da con un voltaje aplicado a través del aislamiento por encima del voltaje de operación (1.41 veces). Cuando un voltaje de alto potencial es aplicado a una prueba de absorción dieléctrica, el máximo voltaje es aplicado gradualmente en un periodo de 60 a 90 segundos y es mantenido por 5 minutos, tomando lecturas cada minuto de la corriente de fuga. Si esta prueba es aplicada a la prueba de picos de voltaje, el voltaje es aplicado en incrementos iguales y cada incremento es mantenido en intervalos de tiempo iguales.

El intervalo de tiempo entre en cada pico deberá ser de entre 1 y 4 minutos, y al final de cada uno, deben ser tomadas las lecturas de corriente de fuga y de resistencia de aislamiento antes del siguiente pico. Las pruebas de mantenimiento son hechas con un voltaje máximo debajo del 75% del voltaje de prueba máximo, permitiendo pruebas de aceptación.

Algunas de las ventajas y desventajas de las pruebas de alto voltaje de CD son las siguientes:

Ventajas.

- Las pruebas de CD es preferida en equipo cuya carga capacitiva es muy alta, tal como el los cables.
- El esfuerzo en una prueba de CD es menos dañino que una de CA.
- El tiempo de aplicación de un voltaje, no es tan crítico como en una prueba de CA.
- La prueba puede ser detenida antes de que falle el equipo.
- No es necesario hacer pruebas de aislamiento de resistencia en forma separada de una de sobrepotencial de CD.

Desventajas.

- La distribución de esfuerzo para transformadores, motores y generadores es diferente para un voltaje de CD que para uno de CA.
- La carga residual después de una prueba de CD es más dañina al ser descargada.
- El tiempo requerido para hacer una prueba de alto potencial de CD es más largo que en CA.

**Pruebas de aislamiento de estado sólido en voltaje de CA.**

Se pueden hacer varias pruebas para determinar las condiciones del aislamiento del sistema, siendo estas:

*Prueba de alto potencial.*

Esta prueba es conocida como la prueba de Hi-Pot, es hecha con un voltaje por encima del voltaje nominal de operación del sistema por espacio de 1 minuto.

### *Prueba de aislamiento del factor de potencia.*

Esta basado de que en los valores bajos de factor de potencia, el factor de disipacion puede suponerse la mismo que el factor de potencia. El factor de disipacion es igual a la tangente del angulo S, donde S es igual a 90°.

El aislamiento del factor de potencia es importante para determinar la calidad del aislamiento para los transformadores, interruptores, maquinas giratorias, cables, reguladores y líquidos aislantes.

### *Precauciones a tomar en la prueba.*

- El equipo bajo prueba deberá estar aislado del resto del sistema.
- La prueba deberá hacerse a una temperatura superior a 32 F y con una humedad relativa abajo del 70°.
- El minimo voltaje de prueba no debera de ser menor de 5000 volts, en todos los casos.
- La evaluacion de los datos de la prueba debera estar basada con los estándares comparativos de la industria o con resultados de pruebas previos en equipos similares.

### **1.4.2 Pruebas a dispositivos de protección.**

Los elementos de protección que podemos encontrar son los interruptores, apartarrays, cuchillas desconectoras, relevadores y pararrayos de los cuales hablaremos enseguida.

#### **Interruptores.**

Los interruptores durante las operaciones de apertura y cierre, se ven sometidos a esfuerzos mecánicos de accionamiento y a esfuerzos dieléctricos y termicos en los contactos. Esta accion hace que los interruptores eventualmen e puedan fallar, por esta razón se debe especificar un número de maniobras mecánicas determinadas pudiéndose indicar:

- Máximo número de maniobras.
- Efecto térmico en los contactos y se expresa por el número de maniobras a determinado valor de corriente.

Por ejemplo:

- Tres interrupciones a máxima corriente de corto circuito.
- Cinco interrupciones al 50% de la máxima corriente de corto circuito.
- Diez interrupciones al 15% de la máxima corriente de corto circuito.

Otra forma de especificar el aspecto de tiempo de vida de los contactos es por amperes acumulados que deba ser capaz de soportar el interruptor, simplemente se indica una cantidad equivalente al numero obtenido anteriormente, pero sin indicar cada valor particular.

Entre las pruebas a las que se someten los interruptores se encuentran:

1. - Prueba de interrupcion de corriente de corto circuito simétrico.
2. - Prueba de interrupción de corriente de corto circuito asimétrica.
3. - Prueba de interrupción de pequeñas corrientes inductivas.
4. - Prueba de interrupcion de corrientes capacitivas.
  - 4.1 - Desconexión de bancos de condensadores.
  - 4.2 - Desconexion de líneas en vacio.
5. - desconexion y cierre en oposicion de fase.
6. - Desconexión asincrónica.
7. - Recorre sobre falla y operacion monopolar.

Las pruebas recomendadas como rutina son:

1. - Prueba de comportamiento mecánico
2. - Medición de resistencia de los circuitos principales
3. - Prueba de calentamiento en los circuitos principales y auxiliares.

### 3. - Prueba de aislamiento en los circuitos principales y auxiliares.

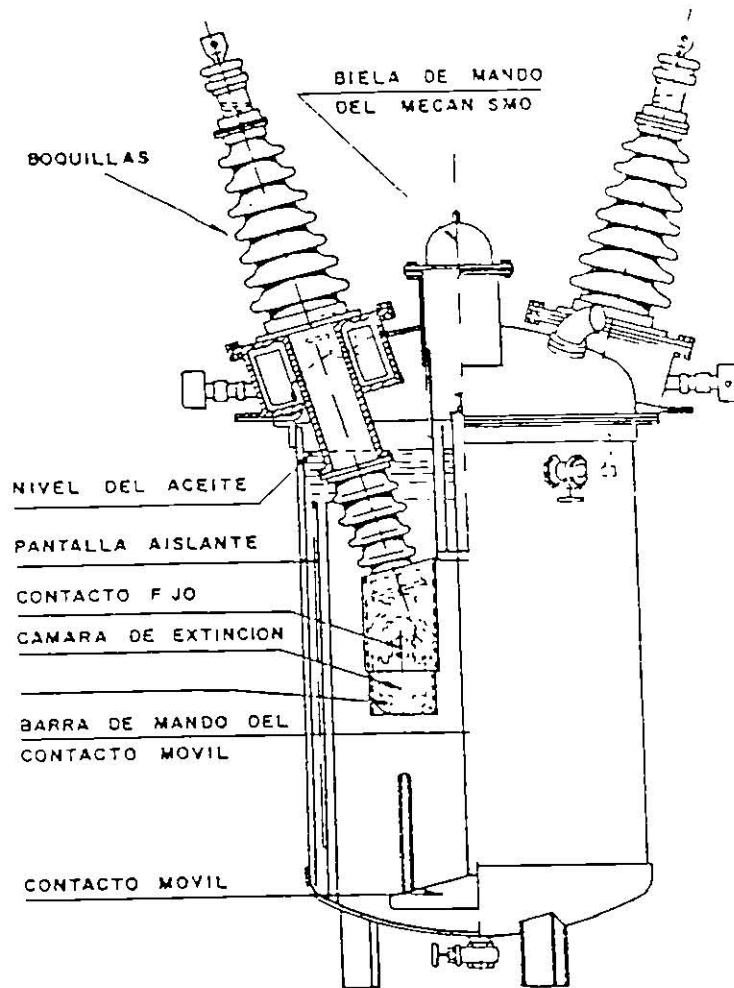


Figura 1.5. Interruptor de gran volumen de aceite.

Un interruptor de gran volumen de aceite es mostrado en la figura 1.5 y su funcionamiento es el siguiente: cuando ocurre una falla, los contactos móviles se desplazan hacia abajo, separándose de los contactos fijos. Al ocurrir esto se va creando una cierta distancia entre ellos, y en función de esa distancia esta la longitud del arco. El arco da lugar a la formación de gases, de tal manera que se crea una burbuja de gas alrededor de los contactos que desplaza una determinada cantidad de aceite.

Conforme aumenta la separación entre los contactos, el arco crece y la burbuja se hace más grande, de tal manera que alrededor de los contactos en su separación total, la presión ejercida por el aceite es considerable, por lo que en la parte superior del recipiente se instala un tubo de fuga de gases.

#### **Apartarrayos.**

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de tipo atmosférico y por fallas en el sistema.

El apartarrayos es un dispositivo que permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico. Para la protección del mismo se deben tomar en cuenta si se tendrían descargas directas a la instalación o descargas indirectas.

El caso más común son las descargas indirectas, y el apartarrayos opera cuando se presenta determinada carga, drenando la corriente a tierra. Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores cuya separación está determinada de acuerdo con la tensión a la que va a operar.

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema.

Los apartarrayos más usados son los apartarrayos tipo autovalvular y los de tipo de resistencia variable, figuras 1.6(a) y 1.6(b) respectivamente.

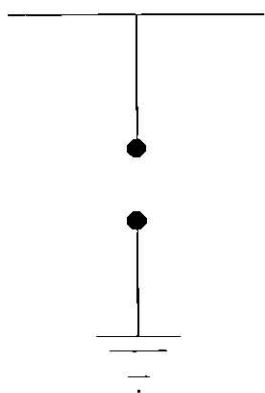


Figura 1.6 a

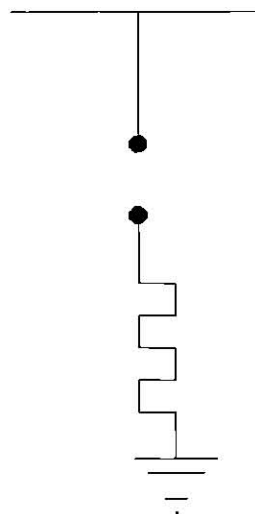


Figura 1.6 b

### Pruebas a cuchillas desconectoras.

El valor de la corriente de corto circuito es el mismo (simétrico y asimétrico) calculado para la especificación de interruptores.

En el caso de las cuchillas desconectoras, solo se tiene el propósito de indicar su capacidad dinámica y térmica, ya que las cuchillas no tienen capacidad interruptiva, pero en cambio deben soportar en forma satisfactoria los esfuerzos térmicos (figuras 1.7 a y b).

Desde el punto de vista dieléctrico se especifican los valores necesarios de tensión para la coordinación de aislamiento de la subestación.

Los niveles básicos a verificar son:

- El nivel de aislamiento al impulso por rayo
- Tensión de flameo a 60 Hz en seco.
- Determinación del nivel de ruido.

Especificaciones adicionales:

- Corriente de corto circuito dinámica. Sirve para verificar el comportamiento mecánico de las cuchillas, especialmente de los soportes.
- Corriente de corto circuito térmica. Normalmente se especifica a 1 segundo, y tiene como objetivo determinar el comportamiento térmico de la cuchilla, especialmente en las uniones.
- Prueba mecánica de operación. Se especifica un determinado número de maniobras de apertura y cierre de la cuchilla para verificar el comportamiento mecánico de las cuchillas y de sus elementos auxiliares de accionamiento.



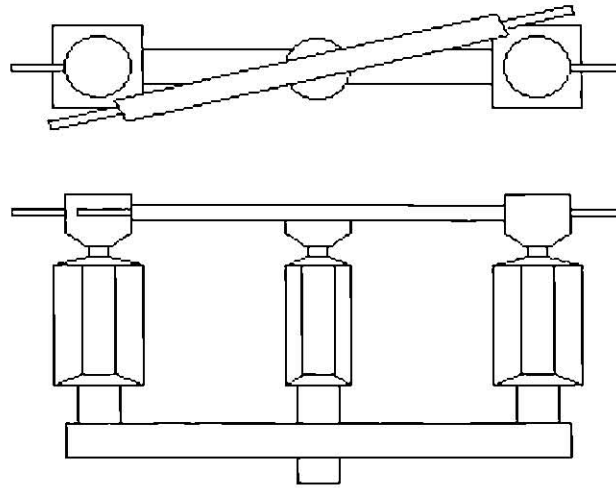


Figura 1.7 (a). Cuchilla desconectadora de tres columnas con accionamiento en la columna central .

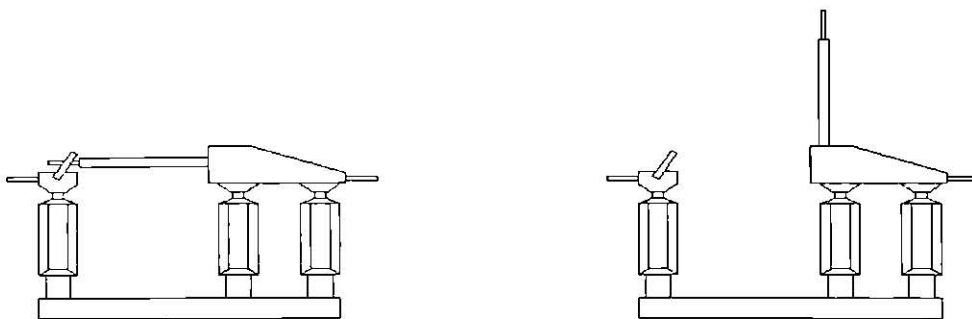


Figura 1.7 (b). Cuchilla desconectadora de tres columnas y apertura vertical.

### Relevadores.

Los transformadores de potencia pueden estar sujetos a fallas como sobrecargas, cortocircuitos o fallas en los devanados, fallas en las terminales, etc. Cualquier condición de falla produce esfuerzos mecánicos y térmicos en los devanados del transformador, las sobrecargas se pueden tener por periodos de tiempo más o menos largos, estando limitada sólo por las elevaciones de temperatura permitibles en los devanados y el aceite, pero las sobrecargas excesivas deterioran el aislamiento y producen las fallas subsecuentes. Por esta razón se protege al transformador con relevadores.

Los relevadores funcionan en respuesta a una o más magnitudes eléctricas cerrando o abriendo contactos, sus principios de operación son de atracción e inducción electromagnética. La figura 1.8 muestra la representación típica del circuito de un relevador.

Las principales características de relevadores usados en la protección de subestaciones son las siguientes:

- a) Bajo voltaje, baja corriente y baja potencia.
- b) Sobre voltaje, sobre corriente y sobre potencia.
- c) Direccionales o de corriente inversa.
- d) Direccional o de potencia inversa.
- e) Diferencial.
- f) De distancia.

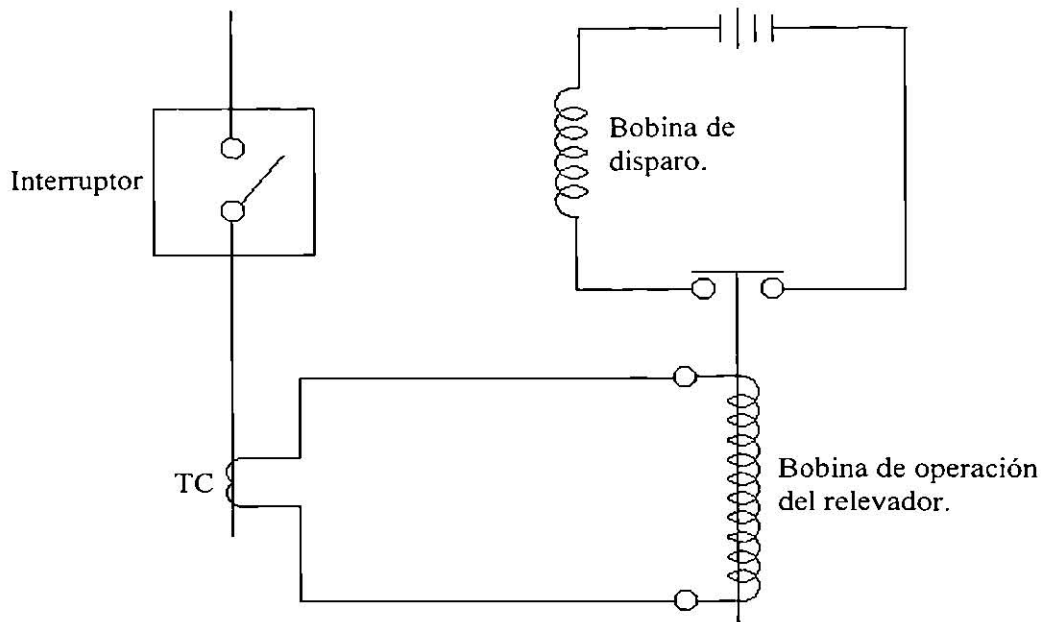


Figura 1.8

Los diferentes tipos de relevadores son:

*Relevadores de bisagra.* Este relevador consiste básicamente de un núcleo de hierro, el cual tiene enrollado una bobina de alambre, la que constituye el electroimán, una armadura móvil la cual está embisagrada en la parte fija del relevador, un contacto móvil que se encuentra en la armadura, un contacto fijo que está en la posición final del contacto móvil y un resorte que mantiene a la armadura alejada del electroimán. Cuando una corriente fluye por la bobina de alambre, se produce un flujo electromagnético en el núcleo de hierro, el cual atrae a la armadura hacia él, cerrando el circuito por medio de los contactos. El resorte tiene una fuerza de oposición la cual no permite que la armadura se mueva, solo cuando la fuerza del flujo magnético del núcleo, sobrepasa la fuerza del resorte, entonces los contactos se cierran. La figura 1.9 muestra un relevador de este tipo.

*Relevadores tipo embolo.* Es similar al de bisagra, utiliza el mismo principio de atracción electromagnética. Tiene una bobina de alambre a la cual se le aplica un determinado valor de corriente o voltaje, el flujo electromagnético resultante atrae al embolo de hierro. En el embolo se encuentra el contacto móvil, el cual, cuando se energiza la bobina cierra el circuito al conectarse con el contacto fijo. Al igual que el de tipo bisagra, este relevador, también tiene un resorte con la misma función. La figura 1.10 muestra un relevador de este tipo.

*Relevador de tipo de inducción.* Trabaja con el principio electromagnético. Sus partes principales son: una bobina de alambre, un magneto, un anillo de sombra, un disco de inducción, un contacto fijo, un contacto móvil, un resorte en espiral, el cual está montado de forma tal que está centrado en el eje del pivote del disco, un

magneto amortiguador y una serie de posiciones del disco predeterminadas llamadas palancas de tiempo. La bobina en el magneto U es energizada, creando en este un flujo magnético, la cual induce una corriente a el disco. El flujo en el magneto U induce una corriente a el anillo de sombra, el cual intersecta una parte del flujo en el magneto U, de tal forma, la reacción de los flujos producen una fuerza tangencial en el disco que lo hace girar. La figura 1.11 muestra un relevador de este tipo.

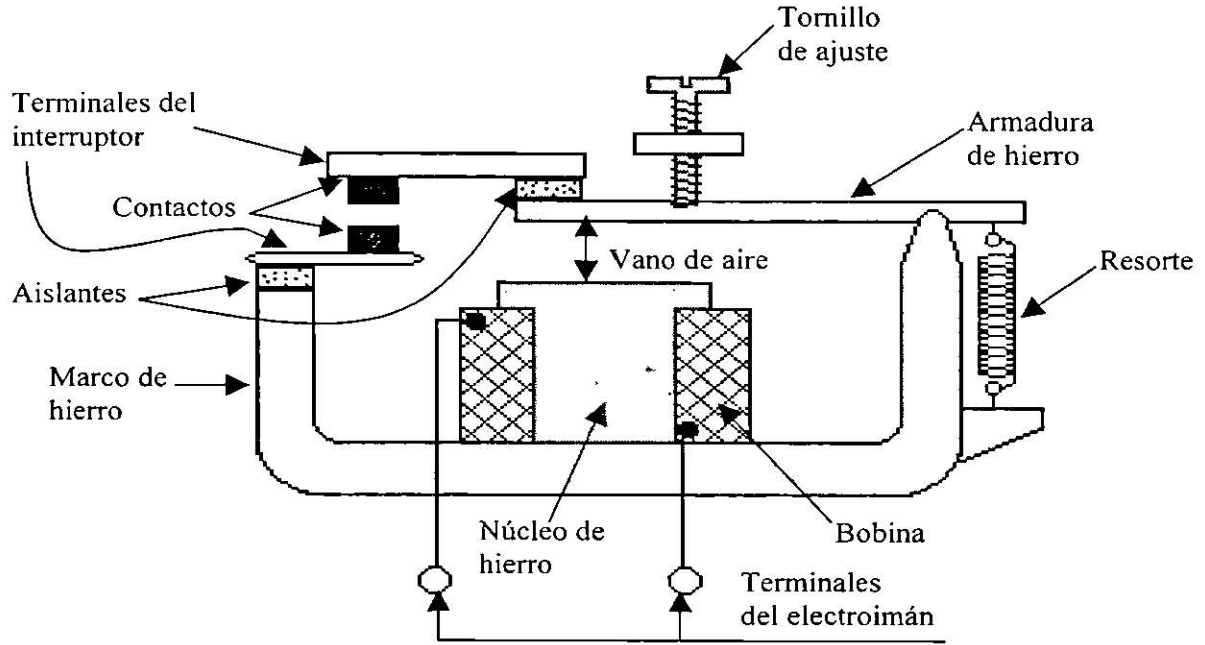


Figura 1.9. Relé tipo bisagra

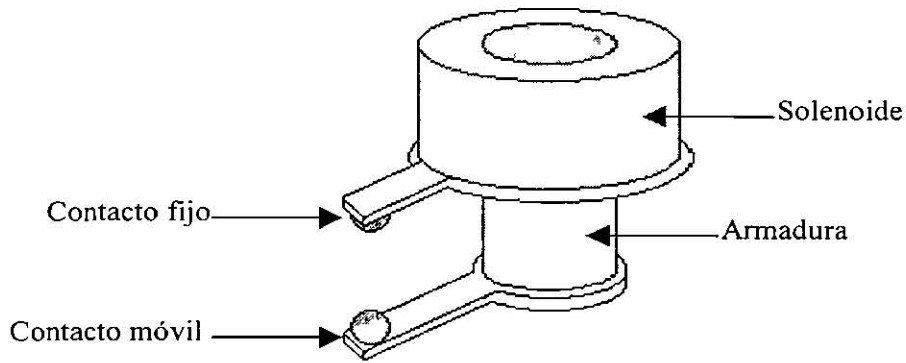


Figura 1.10. Relé tipo embolo.

*Relevador de copa de inducción.* es el que más se asemeja a un motor de inducción, sin embargo, en este caso el rotor de hierro es estacionario y solo la copa conductora de cobre o aluminio es libre de rota, es como un disco de inducción en forma de copa, esto hace que tenga baja inercia y la habilidad de acelerar rápidamente para operar en alta velocidad. El torque es producido por bobinas devanadas en el estator, que hacen girar a la copa y esta a su vez a un contacto móvil, que cierra el circuito conectándose al contacto fijo. En la figura 1.12 se muestra un relevador de este tipo.

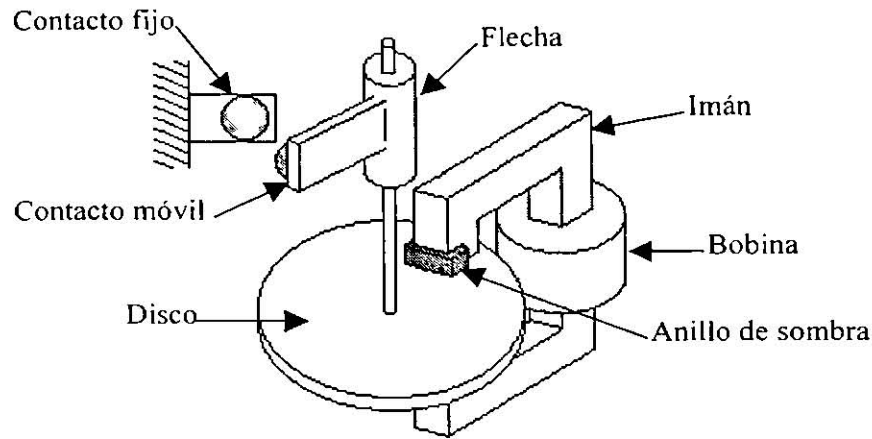


Figura 1.11. Relé de disco de inducción.

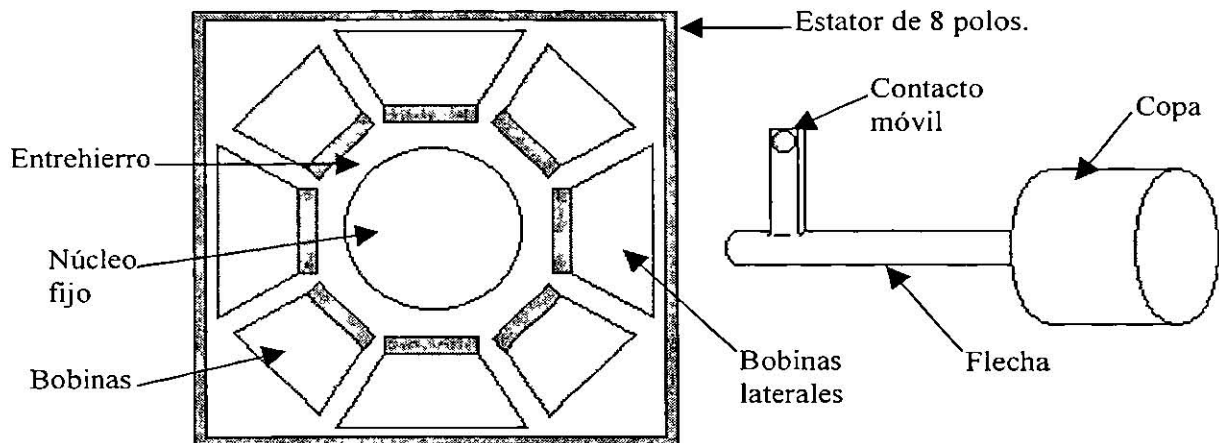


Figura 1.12. Relé de copa de inducción.

### Pararrayos.

Los pararrayos no evitan los rayos, sino que evita que las cargas se acumulen en los edificios en los que están puestos. El pararrayos deberá unirse a un conductor introducido en el suelo con una profundidad según la NOM para que siempre este rodeada de tierra húmeda, si no se entierra adecuadamente, el pararrayos puede ser una amenaza ya que facilitara las descargas de las nubes.

Los objetos altos aislados en espacios abiertos tales como un árbol aislado en un terreno grande acumulan las cargas rápidamente y son, por lo tanto, presa fácil de los rayos. Los edificios con estructura de acero tienen una estructura que se extiende hasta el suelo, por lo que tienen una buena protección.

### 1.4.3 Pruebas de aislamiento de líquidos (aceites).

El aislamiento de líquidos usados en transformadores o en otros aparatos eléctricos están sujetos a contaminación, la cual perjudica las propiedades del aislamiento de los devanados. Los elementos que causan deterioro de el aislamiento de los líquidos son: humedad, temperatura, oxígeno y otros que resultan de reacciones químicas que producen ácidos y sedimentos.

El aislamiento a base de liquido que hoy en día están en uso son: aceites, askarel y silicona. pero el askarel es muy tóxico, por lo que en la actualidad no se utiliza, y en todo el mundo se ha estado sacando este material, y ha quedado prohibida su fabricación.

Las pruebas que se recomiendan regularmente para monitorear las condiciones del aislamiento de los líquidos, de acuerdo con los métodos de ASTM se muestran en la tabla 1.2.

TABLA 1.2. Métodos de la ASTM para pruebas en los aislamientos de los

Prueba	Pruebas ASTM
Acidez.	D1534 o 1902
Color.	D1500
Voltaje de ruptura Dieléctrica.	D877 (silicona, askarel)
Examinación visual.	D1816 Aceite
	D1524 Aceites
	D1702 Askarel
Tensión interfaces (únicamente aceites).	D971
Número de neutralización.	D2285
Factor de potencia.	D974; D664
	D924

#### 1.4.4 Pruebas de resistencia de electrodos de tierra.

Un sistema integral de tierras es importante en un sistema eléctrico de potencia por las siguientes razones:

- Para mantener un punto de potencia de referencia para el equipo y seguridad del personal.
- Para proveer un punto de descarga para ondas viajeras debido a descargas atmosféricas.
- Para prevenir altos voltajes excesivos producidos por voltajes inducidos en los sistemas de potencia.

Por lo tanto para mantener un potencial de tierra efectivo se requieren pruebas periódicas a los electrodos del sistema de tierras, siendo su escala en ohms.

#### 1.4.5 Pruebas y análisis de fallas de gases.

Estas pruebas pueden proveer información de fallas incipientes en el aceite de transformadores y gases presentes en la capa de nitrógeno de el transformador. Debido a la temperatura algunos aceites de transformadores se descomponen y generan gases combustibles, los cuales se mezclan con el nitrógeno en la capa superior del aceite. Esta prueba sirve para conocer los porcentajes de gases combustibles.

#### 1.4.6 Pruebas de inspección infrarroja.

Hay diferentes dispositivos disponibles usados en pistolas infrarrojas para revisar puntos calientes en conexiones y otras partes energizadas de un sistema de potencia. Hay varias rutinas practicas en mantenimiento e inspección para determinar los puntos calientes. Desde luego el costo de estos dispositivos varías en un gran rango y pueden ser económicos si son rentados.

## CAPITULO 2

### PRUEBAS DE CORRIENTE DIRECTA PARA EQUIPOS ELECTRICOS

#### 2.1 Introducción

Las pruebas de CD son consideradas no destructivas o igual como si al tiempo ellas pudieran causar deterioro ambiental. Las pruebas en los equipos eléctricos nos indican si el equipo debe ser reemplazado o reparado. Por lo que las pruebas de las que se hablan son para los transformadores, líquidos aislantes, cables, interruptores, motores y generadores.

#### 2.2 Transformadores

La prueba de CD en los transformadores, implica pruebas de aislamiento de estado sólido expuesta al ambiente y de líquidos aislantes. La prueba de conductividad de CD para transformadores de aislamiento de dan en el orden de prioridades. En la figura 2.1 se muestra un transformador de potencia.

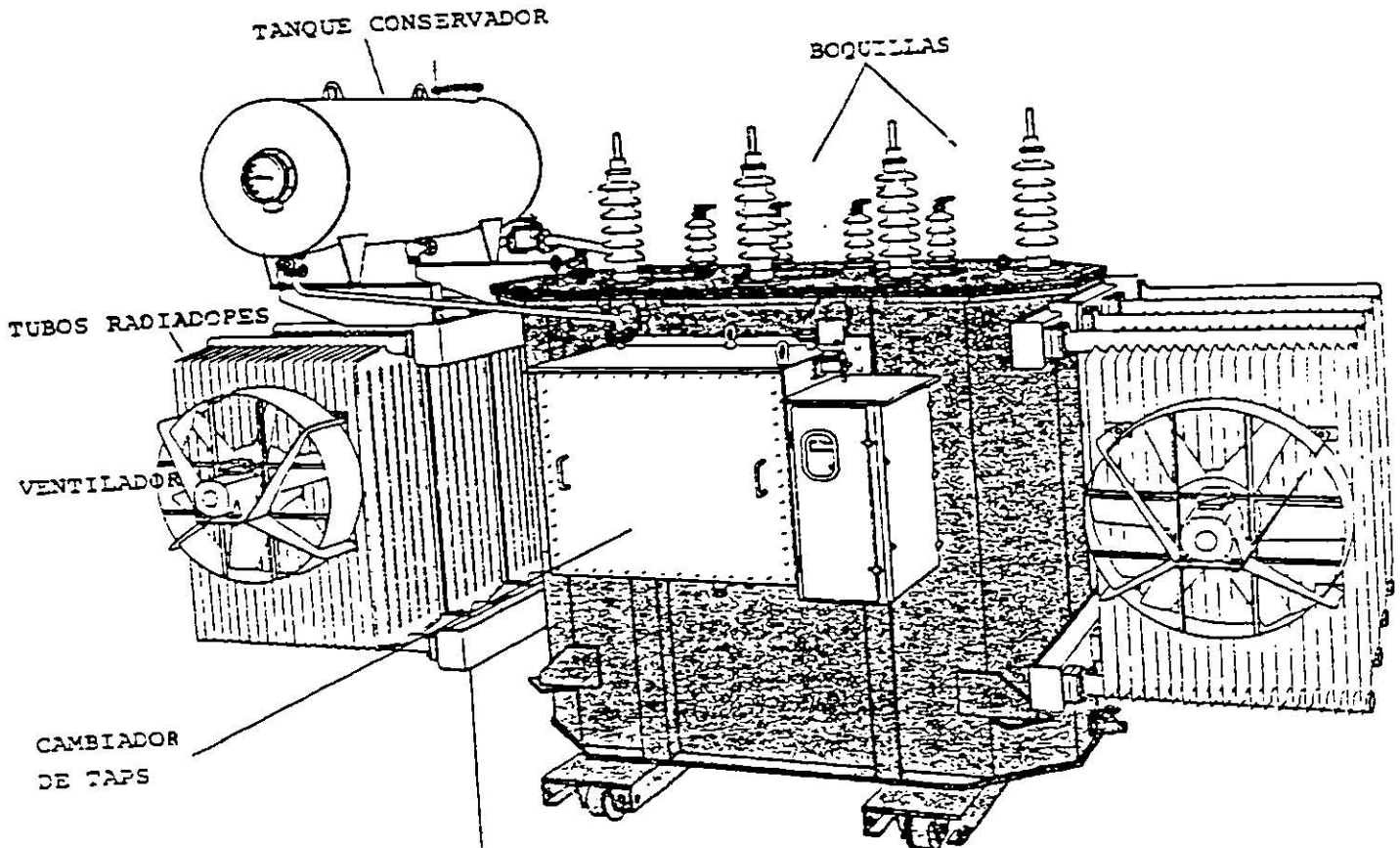


Figura 2.1. Transformador de potencia.

#### 2.2.1 Mantenimiento de resistencia de aislamiento.

Esta prueba se da por encima de un voltaje, para determinar si estos son resistentes al suelo, camino o medio ambiente.

Los valores de mantenimiento de la prueba son afectados por la temperatura, humedad, voltaje de prueba y tamaño del transformador. Esta prueba se puede hacer antes y después de una reparación. En estas pruebas se debe tomar en cuenta las siguientes cuestiones:

- Los datos de prueba pueden ser recordados para comparaciones futuras.
- Los valores de prueba pueden ser normalizados a 20°C para propósito de comparaciones.
- Los factores de conversión son presentados en la tabla 1.1.

La regla del pulgar es utilizada para valores aceptados hasta 1 megaohm / 1000 volts de aplicación en la prueba de voltaje.

La muestra de valores de resistencia de buen aislamiento en el sistema son presentados en la tabla 2.1.

TABLA 2.1. Valores típicos de resistencia de aislamiento para transformadores de distribución y potencia.

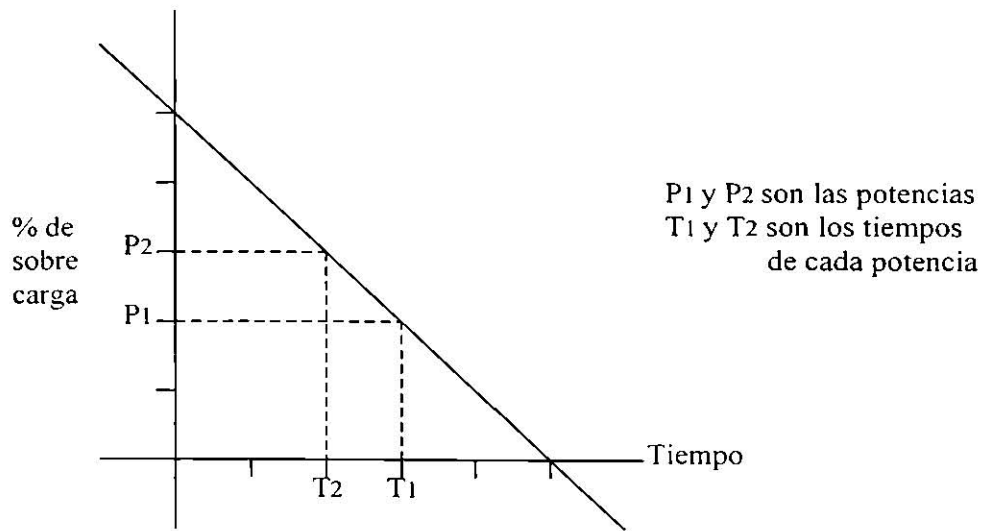
BOBINAS DEL TRANSFORMADOR VOLTAJE (KV)	BOBINA A TIERRA				
	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
Menores de 6.6	400	200	100	50	25
6.6 a 19	800	400	200	100	50
22 a 45	1000	500	250	125	65
66 y mayores	1200	600	300	200	75

La capacidad de sobrecarga de un transformador, esta en función de su capacidad de disipar el calor, o sea, que en cualquier situación de operación un transformador se puede sobrecargar sobre su capacidad nominal por un cierto periodo de tiempo. Por ejemplo, para transformadores de distribución sumergidos en aceite, la norma ANSI C57.96, da los valores mostrados en la tabla 2.2.

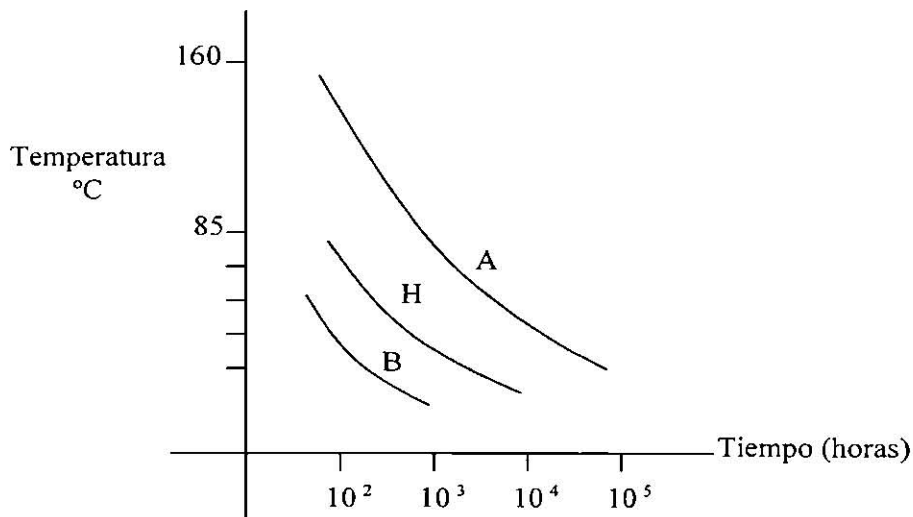
TABLA 2.2.

Valores	Número de veces la corriente nominal del transformador
2 segundos	25.00
10 segundos	11.30
30 segundos	6.70
60 segundos	4.75
5 minutos	3.00
30 minutos	2.00

En general la curva de operación de un transformador con sobrecarga tiene la siguiente forma:



La siguiente gráfica muestra la curva de vida de los aislamientos.



Los tiempos y valores de sobrecarga se expresan para periodos de operación de 24 horas y son aplicables 1 vez por día.

Para los transformadores de potencia se puede aplicar un criterio similar, dado que el comportamiento de la vida de los aislamientos con respecto a la temperatura es el mismo; solo que en algunos casos, se trata de determinar cual es la capacidad de calor en kilocalorías / minuto.

El enfriamiento base para transformadores de potencia, es el tipo OA para el cual esta definida una capacidad de disipación de calor dependiente del área dada por el tanque y los tubos radiadores.

En los transformadores de potencia, por cada periodo de 24 horas, se considera admisible una sobrecarga (sin causarle daño al equipo) de un 50% sobre su potencia nominal por periodo de una hora. Sobrecargas superiores son admisibles por menos tiempo. Por ejemplo, el 25% de sobrecarga en dos periodos de 4 horas es aceptable.



### 2.2.2 Niveles de aislamiento de transformadores.

Dependiendo de la clase de aislamiento del transformador en sus devanados, se especifican los niveles básicos de aislamiento al impulso por raya y por maniobra de interrupciones (este último para tensiones de 400 kv.).

Los valores básicos de aislamiento en los transformadores de potencia, se toman dependiendo del criterio de coordinación de aislamiento y en función de las características de los apartarrayos seleccionados, se pueden tener los siguientes casos con relación a los aislamientos internos y externos y sus características de aislamiento:

- El nivel de aislamiento interno es mayor que el nivel de aislamiento externo.
- El nivel de aislamiento interno es igual que el nivel de aislamiento externo.
- El nivel de aislamiento interno es menor que el nivel de aislamiento externo.

El punto de partida del análisis, es el aspecto económico y se considera la contabilidad al margen de protección del apartarrayos. Las decisiones adaptadas son dos:

- Niveles de aislamiento interno y externo iguales, lo que significa por ejemplo que de acuerdo a normas para un transformador de 230/115 kv.

	Devanados	Boquillas*
En 230 kv	1050 kv	1050 kv
En 115 kv	550 kv	550 kv

\*Apartarrayos de 80% de protección instalada tan cerca como sea posible del transformador.

Para el criterio del aislamiento exterior mayor que el nivel de aislamiento interno, se tiene por ejemplo:

Devanado de:	Nivel básico externo	Nivel básico interno*
230 kv	1050 kv	1050 kv
115 kv	550 kv	550 kv

\*Apartarrayos con mayor margen de protección que cuando los niveles de aislamiento interno y externos son iguales.

### 2.2.3 Cambiadores de derivación.

Los voltajes encontrados representan una regulación fina, con respecto a la tensión nominal, desde luego, permite regular el voltaje en las redes eléctricas que se conectan, dependiendo de los valores e carga, pero también cumplen con la función de contribuir al control de reactivos en la red, ya que para cada voltaje obtenido en un tap, la excitación requerida para el transformador es diferente y consecuentemente el consumo de reactivos.

La instalación de los mismos se puede hacer en el devanado de alto voltaje o el de bajo voltaje. La decisión en que devanado se debe de instalar, obedece a varios factores que se deben analizar y son los siguientes:

- El nivel de tensión.
- Magnitud de la corriente.
- La exactitud en la regulación (número de pasos).
- El tamaño del transformador.
- La forma de realización (con o sin carga).

Un tap instalado en el lado de bajo voltaje, tiene ventajas y desventajas y son las siguientes:

*Ventajas.*

1. - Mejor regulación de voltaje, ya que, al estar instalado en el lado de carga, se puede tener una mejor sensibilidad.
2. - Menor nivel de aislamiento, lo que reduce las distancias dieléctricas internas entre electrodos.

*Desventajas.*

1. - Manejo de corrientes elevadas, lo que da una mayor robustez en las partes vivas del cambiador.
2. - Ocupa más espacio proporcionalmente a los espacios disponibles en los devanados.
3. - Generalmente es más costoso en baja tensión.

El uso de taps en alta tensión tiene las siguientes ventajas y desventajas:

*Ventajas.*

1. - A pesar de requerir mayor nivel de aislamiento, es decir, mayores distancias dieléctricas, por manejar corrientes menores, es menos robusto y proporcionalmente el nivel de voltaje ocupa menor espacio.
2. - Se introducen menos transitorios de tensión.

*Desventajas.*

1. - Cuando se usan cambiadores de derivación sin carga, el número de taps esta limitado, no solo por los problemas de regulación, más bien por razones constructivas.
2. - Generalmente la regulación de voltaje es más fina en el lado de carga de un transformador que en el lado de línea.

Con relación al uso de cambiadores de derivación con carga y sin carga se pueden hacer los siguientes comentarios:

*Cambiadores sin carga.*

1. - Se requiere que el transformador este completamente desenergizado, para poder hacer la maniobra del cambio de tap.
2. - El número de pasos en generalmente restringido, siendo costumbre usar 2 ó 3 pasos de 2.5% de voltaje nominal hacia arriba y hacia abajo, por lo que, no se puede tener una regulación fina (figura 2.2).
3. - El costo de estos cambiadores es bajo, en el peor de los casos no llega a ser el 3% del valor del transformador.

*Cambiadores con carga.*

1. - Permiten una regulación de voltaje fina, ya que se pueden tener además del voltaje nominal, 20 y hasta 32 pasos de regulación en el lado de alta tensión.
2. - La regulación de voltaje se puede hacer con carga y de forma automática.
3. - El costo representa entre el 30 y el 40% del costo del transformador.

- 4. - Requiere de un circuito de control que introduce un costo adicional a la instalación.
- 5. - Para redes eléctricas con grandes variaciones de voltaje entre las condiciones de máxima y mínima demanda permiten una regulación de voltaje eficiente, ya que se pueden dejar para operación continua.
- 6. - Requiere de más mantenimiento comparativamente con los cambiadores sin carga.

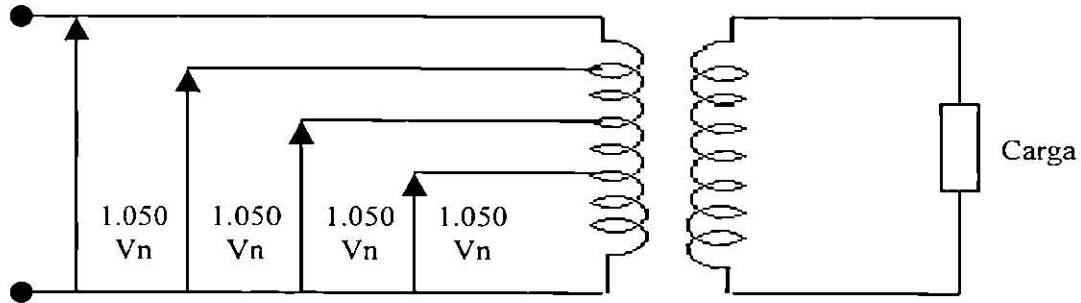


Figura 2.2

La tendencia es usar cambiadores de derivación con carga en redes eléctricas de alta tensión, es decir, en niveles de 230 kv y 400 kv por razones de un mejor control de reactivos y voltaje en el sistema, a pesar de cómo se ha indicado, su costo representa un alto porcentaje del costo del transformador.

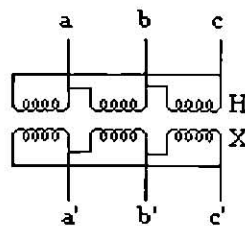
Este tipo de cambiador de derivaciones se encuentra instalado normalmente en forma exterior al transformador de potencia, ya sea junto al tanque o separado y dependiendo del diseño del fabricante puede ocupar mayor o menor espacio en la subestación, dentro del llamado modulo de transformación.

### 2.2.4 Conexiones de transformadores.

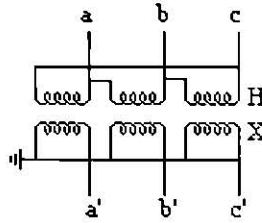
La ASA (American standards Asociaton) elaboro un sistema para marcar las terminales de los transformadores, por lo que se llego a que las terminales del lado de alto voltaje se marcan H1, H2 y H3 y las del lado de bajo voltaje como X1, X2 y X3. La terminal H1 esta siempre situada del lado izquierdo, cuando al transformador se va del lado de bajo voltaje.

Las bobinas de los transformadores se pueden conectar de distinta forma según lo que se requiera, por lo que, entre las que podemos encontrar están las siguientes:

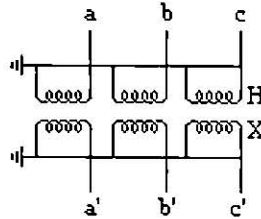
*Conexión delta-delta.* Esta se utiliza en lugares donde existen tensiones relativamente bajas: como en sistemas de distribución que se utilizan para alimentar cargas trifasicas a 3 hilos.



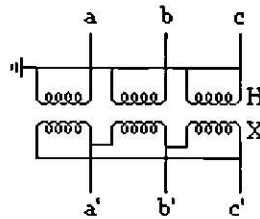
*Conexión delta-estrella.* Esta conexión se emplea en aquellos sistemas de transmisión en el que es necesario elevar voltajes de generación, en sistemas de distribución convenientemente, porque se pueden tener dos voltajes diferentes (entre fase y neutro). Esta es la más utilizada, por lo que, en la mayoría de las pruebas los transformadores tienen este arreglo.



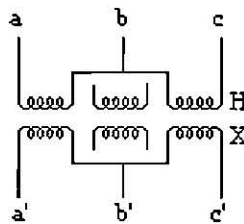
*Conexión estrella-estrella.* Esta conexión se emplea en tensiones muy elevadas, ya que disminuye la cantidad de aislamiento.



*Conexión estrella-delta.* Se utiliza en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras cuya función es reducir voltajes. Es empleada en algunas ocasiones para distribución rural a 20 kv.



*Conexión delta abierta- delta abierta (sistema V-V).* Esta puede ser una conexión de emergencia en transformadores trifasicos, ya que si en el transformador una de sus fases sufre una avería, se puede seguir alimentando carga trifasica operando el transformador a dos fases, solo que su capacidad disminuye a un 5.8% aproximadamente. Estos transformadores se emplean en sistemas de baja capacidad y usualmente operan como autotransformadores. En el ejemplo se saca el transformador central.



## 2.2.5 Procedimientos de prueba.

- No quitar la conexión a tierra en el transformador del tanque y núcleo. Asegúrese que el tanque y el núcleo del transformador estén aterrizados.

- Desconectar las líneas de alto voltaje, bajo voltaje y conexión a neutro, apartarays, sistemas de ventilación, contador o algún sistema de control de bajo voltaje.

- Antes de iniciar la prueba soltar juntas todas las conexiones de alto voltaje, asegurándose que los colgados sean limpios de todo metal y partes a tierra. También suelte juntos los bajos voltajes y conexiones a neutro, asegurándose que los colgados sean limpios de todo metal y partes a tierra.

- Use un megohmetro con una escala mínima de 20,000 Mega-ohms.

- Mantenimiento de resistencias son entonces puestas entre cada una de las bobinas y tierra. La bobina debe ser medida teniendo la tierra removida en orden a medición de resistencia de aislamiento.

- El megohmetro puede tomar lecturas si es mantenido por un periodo de un minuto. Para los transformadores monofasicos se hacen las siguientes lecturas a los arrollamientos:

Bobina de alta a bobina de baja y a tierra  
Bobina de alta a tierra  
Bobina de baja a bobina de alta y a tierra  
Bobina de alta a bobina de baja.

Las conexiones de estos tipos de pruebas se muestran en la figura 2.3.

- El megohmetro puede leer o grabar a lo largo de la prueba de temperatura. La lectura puede corregirse a 20°C con los factores de corrección de la tabla 1.1. Si los valores de prueba de campo correctos son un medio o más de lecturas de aislamiento de fabrica a 1000 megaohms o cualquiera menor, el transformador es considerado para la prueba de alta potencia.

- Para transformadores de tres arrollamientos, la prueba podrá ser hecha como sigue:

Alta a baja, terciario y a tierra (H-LTG)  
Terciario a alta, baja y tierra (T-HLG)  
Baja a alta, terciario y tierra (L-HGT)  
Alta, baja y terciario ya tierra (HT-G)  
Baja y terciario a alta y tierra (LT-HG)  
alta y baja a terciario y tierra (HL-TG)

- No se puede hacer la prueba del megohmetro del arrollamiento de transformador sin el líquido del transformador, porque el valor de resistencia de aislamiento en aire puede ser menor que el líquido. Tampoco podrá ser la resistencia de aislamiento del transformador cuando este bajo vacío, por la posibilidad de una descarga a tierra.

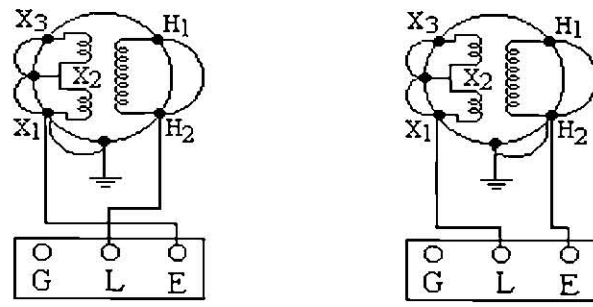
En la figura 2.4 se muestran las conexiones para pruebas en transformadores trifasicos, en donde a, c y e con las más utilizadas.

### 2.2.6 Prueba de absorción dieléctrica.

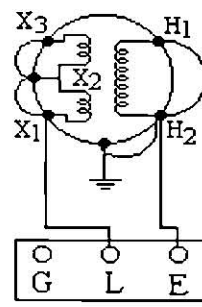
Esta prueba es una extensión de la prueba de medición de resistencia de aislamiento de transformadores expuestos al ambiente. La prueba consiste en aplicar un voltaje por 10 minutos y tomar lecturas de medición de resistencia a intervalos de 1 minuto. Los valores de la resistencia medidos durante esta prueba son graficados, cuyos ejes coordenados son resistencias y tiempo. La inclinación de la curva para un buen sistema de aislamiento es una línea recta incrementándose con respecto al tiempo, mientras que un pobre sistema de aislamiento tiene una curva de caída con respecto al tiempo.

La prueba de absorción dieléctrica tiene otras dos pruebas dentro de ella, y son las siguientes:

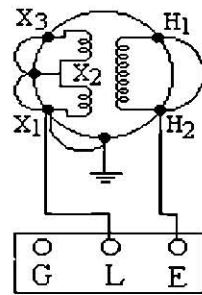
*Prueba para índice de polarización.* La razón de resistencia de bobinas para valores de 1 hasta 10 minutos, es definida como el índice de polarización (PI). El PI proporciona información sobre la humedad y el deterioro del aislamiento de las bobinas. Los valores del PI pueden variar desde arriba de 2 hasta por debajo de 1. Un valor mayor de 2 indica una condición aceptable, de entre 2 y 1 indican una condición mínima aceptable y valores inferiores a 1 indican una condición no aceptable.



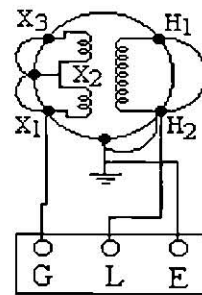
(a)



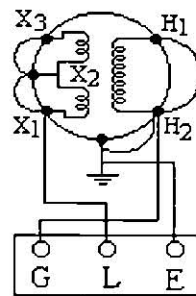
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2.3. Prueba de conexiones para aislamiento resistivo de transformadores de una sola fase.

Línea	Tierra	Protec.
L	E	G

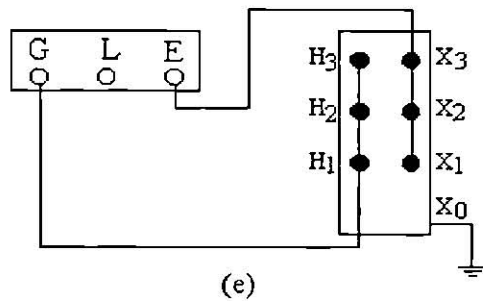
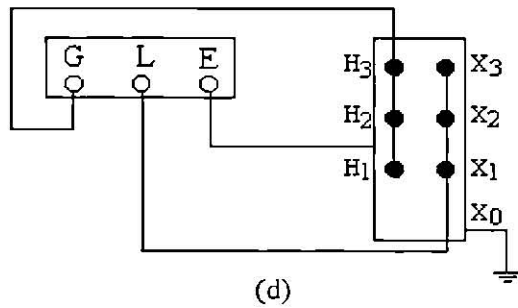
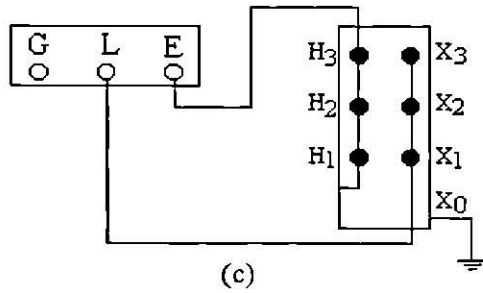
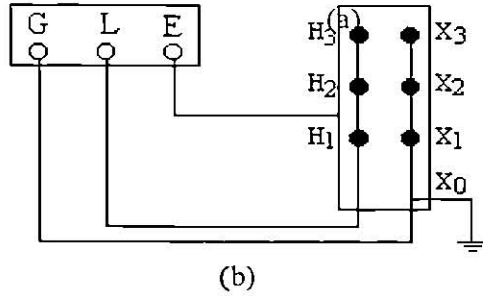
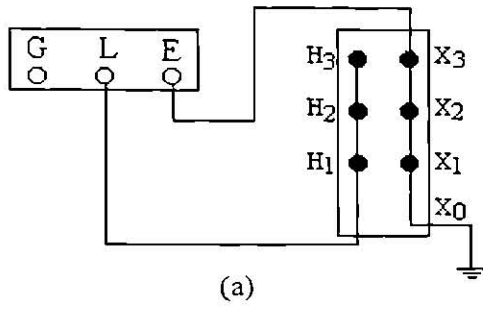


Figura 2.4. Conexiones de prueba para resistencia de aislamiento para transformadores trifasicos. (a) Conexión de bobina de alta a bobina de baja a tierra; (b) Conexión para bobina de alta a tierra y bobina de alta protegida; (c) Conexión de bobina de baja a bobina de alta a tierra; (d) Conexión de bobina de baja a tierra y bobina de alta y protegida; (e) Conexión de bobina de alta a bobina de baja.

*Prueba de razón de absorción dieléctrica.* La razón de resistencia de aislamiento en bobinas para valores desde 6 hasta 30 segundos, esta definida como la razón de absorción dieléctrica (DAR). Esta prueba proporciona información similar a la prueba PI, excepto por el tiempo, que es más corto. Las conexiones y procedimientos de prueba para conductores son iguales para mantenimiento de resistencia de aislamiento de las bobinas de transformadores.

### 2.2.7 Prueba de potencial en CD (Hi-pot).

Esta prueba es aplicada en alto porcentaje de voltaje para evitar la condición del aislamiento de las bobinas del transformador. Esta prueba no es recomendada en transformadores de potencia por encima de 34.5 kv; en su lugar la prueba de alto potencial de CA debe ser utilizada. Generalmente esta prueba no es empleada por la posibilidad de daño en el aislante de la bobina. De cualquier modo, esta prueba es hecha para aceptación y reparar los transformadores.

En caso de que la prueba de hi-pot sea dirigida para un mantenimiento de rutina, los valores de la prueba no deben de exceder el 65% de los valores de prueba de fabricación, el cual es igual a 1.6 veces el valor del tiempo de CA para pruebas periódicas. Esta prueba puede ser aplicada como una medición de la prueba de voltaje, donde las lecturas de corriente de salida son tomadas por cada medición. Si la corriente de salida es excesiva, es notificada para que el alto voltaje pueda ser atrasado antes de dañar la pieza. Por esa razón, la prueba de hi-pot en CA es considerada una prueba no destructiva.

Los valores de la prueba de hi-pot para voltajes de CD son mostradas en la tabla 2.3.

TABLA 2.3. Valores de la prueba dieléctrica para mantenimiento de rutina del líquido de los transformadores.

Bobina del transformador Razón de voltaje (kv)	Factor de prueba Voltaje de CA (kv)	Mantenimiento de rutina Voltaje de CD (kv)
1.2	10	10.40
2.4	15	15.60
4.8	19	19.76
8.7	26	27.04
15.0	34	35.36
18.0	40	41.60
25.0	50	52.00
34.5	70	72.80

### Procedimiento para la prueba Hi-pot de CD.

- En la figura 2.5 se muestra como es la conexión de los aparatos para realizar esta prueba.
  - El transformador debe tener aprobada la prueba de resistencia de aislamiento antes de iniciar la prueba.
  - El transformador debe de estar seguro de la carcasa, núcleo y tierra.
  - Desconectar las líneas de alto y bajo voltaje y las conexiones a neutro, el sistema de control bajo voltaje, sistema de ventilación y conecte los contadores a las bobinas y núcleo al transformador.
  - Cortocircuite con cables uniendo todas las conexiones de alto voltaje al mismo potencial con respecto a tierra. También cortocircuite con cables el bajo voltaje y conéctelo a tierra.
  - Conecte la prueba de alto potencial realizándola entre alto voltaje y tierra. Gradualmente aumente el voltaje por 1 minuto, después decremente gradualmente el voltaje hasta cero.



- Quite el bajo voltaje a los cables a tierra y conecte la prueba de alta potencia realizándola entre las bobinas de bajo voltaje y tierra. Gradualmente aumente el voltaje por 1 minuto, después decremente gradualmente el voltaje hasta cero.

- Si el procedimiento de las dos pruebas no causa daños o fallas en el transformador, es considerado satisfactorio y puede ser energizado.

- Desconecte todos los cables y vuelva a conectar las líneas del primario y el secundario y demás equipos que pudieran estar desconectados.

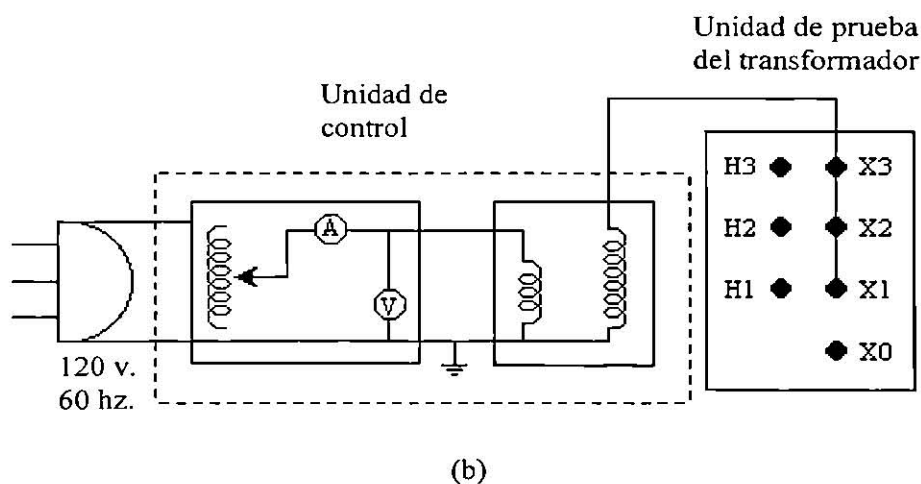
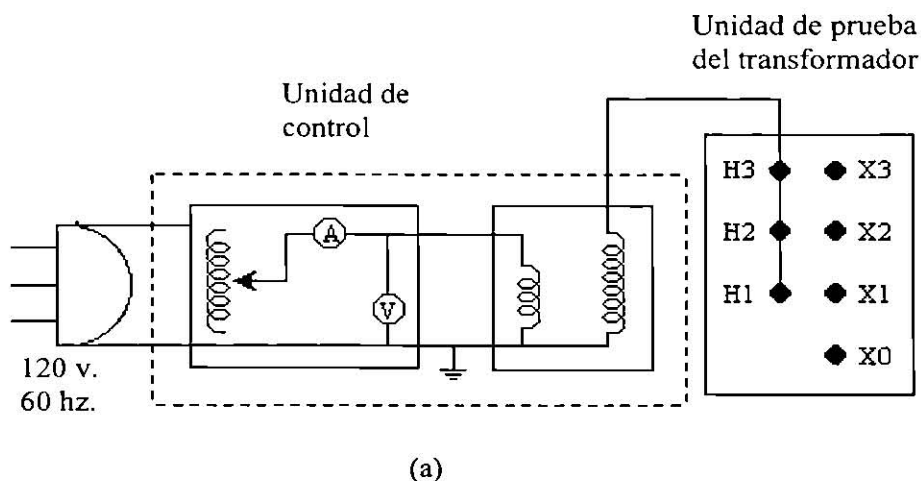


Figura 2.5. Conexión de la prueba de Hi-pot; (a) Conexión en las bobinas de alta; (b) Conexión de las bobinas de baja.

### Precauciones y consideraciones al ejecutar la prueba de hi-pot.

El liquido en el transformador de los dos sistemas esta en serie, esto es, aislamiento sólido con aceite o fluido sintético. Cuando la prueba de hi-pot de CA ó CD se aplica voltaje, la caída de voltaje es distribuida como sigue:

Voltaje	Papel celulosa aislamiento	Aceite
CA	25 %	75 %
CD	75 %	25 %

Cuando se utiliza corriente directa en el líquido del transformador, el aislamiento sólido puede ser sobrecargado.

Este aislamiento puede ser debilitado cerca del neutro, puede permanecer en servicio debido a la baja tensión bajo operaciones de operación. De cualquier modo, cuando el voltaje esta sujeto a la prueba de hi-pot, este puede caer y requerir de reparación inmediata. El aislamiento debilitado puede ser detectado por la medición de bajos voltajes.

Si una prueba de hi-pot es llevada a cabo por un mantenimiento de rutina, hay que considerar:

1. - Simular una falla que puede ocurrir.
2. - Tener un repuesto o pieza a la mano.
3. - Tener personal disponible para desempeñar el trabajo.

### 2.3 Cables y accesorios.

Las pruebas de cables por el deterioro gradual por el tiempo, hacen aceptables las pruebas de instalación, para verificación de empalmes y uniones, y para probar reparaciones especiales. El mantenimiento prueba el criterio de ejecutar sobre los cables que están a prueba de voltaje para el 60% de la prueba final de voltaje de fabricación.

Las pruebas de voltaje en CD en cables, son medidas la resistencia del aislamiento y la prueba de alta potencia. La prueba hi-pot en CD puede ser hecha como caída de corriente contra prueba de voltaje y caída de corriente contra prueba de tiempo. Estas son propiedades del comportamiento de la primera prueba de medición para resistencia de aislamiento, y si los datos obtenidos son bien vistos, entonces se procede con la prueba de sobrepotencial.

#### 2.3.1 Prueba de medición de la resistencia de aislamiento.

La resistencia del aislamiento es medida por un instrumento consistente de un generador de CD y un ohmetro de alto rango. Este aparato da lecturas del aislamiento en ohms y mega ohms; este es un método no destructivo para determinar la condición del aislamiento del cable para probar la contaminación debido a la humedad, suciedad o carbonización.

El método de medición de resistencia de aislamiento no da la lectura de resistencia dieléctrica del aislamiento del cable o fragilidad en el cable, siendo los siguientes voltajes usados:

Rango de voltaje del cable	Voltaje del megaohmetro
debajo de 300 volts	500 volts
de 300 a 600 volts	500 a 1 kilovoltios
de 2.4 a 5 kilovoltios	2.5 a 5 kilovoltios
arriba de 5 kilovoltios	arriba de 5 kilovoltios

El procedimiento general cuando se utiliza un megaohmetro (Megger) para la prueba de resistencia es el siguiente:

- Desconecte el cable a ser probado, de los equipos y circuitos para garantizar que no esta energizado.
- Descargue toda la capacitancia almacenada en el cable por tierra antes de la prueba y después de esta.
- Conecte la terminal de línea del aparato al conductor a prueba.

- Aterrizar los otros conductores juntos a la vaina y a tierra. Conecte este a la terminal de tierra del aparato.

- Igualmente tome los otros valores de resistencia de aislamiento entre un conductor y otros conductores conectados, un conductor a tierra y sobre manera. Las conexiones son presentadas en la figura 2.6.

- La terminal de protección del megaohmetro puede ser usada para eliminar los factores de pérdidas de superficie a través de aislamiento expuesto en la parte final del cable, o ambos extremos del cable o pérdidas por tierra.

Las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser realizadas a intervalos regulares y registrada para propósito de comparación. Un continuo descenso en los valores obtenidos, indica un aislamiento deteriorado, aunque los valores medidos de resistencia son superiores a los límites mínimos aceptados.

### **2.3.2 Pruebas de sobrepotencial en CD.**

Esta prueba es para la aprobación y mantenimiento del cable. Esto indica la condición relativa del aislamiento a voltajes mayores o cercanos a los niveles de operación. Esta prueba es usada para identificar las debilidades en el aislamiento del cable y para una avería o falla incipiente, aunque no se recomienda. Se sabe que el cable falla cuando hay cambios en la corriente de fuga.

Los valores de voltaje de prueba de CD en la prueba de hi-pot están basados sobre la prueba de voltaje final de fabrica, el cual esta determinado por el tipo y espesor del aislamiento, el tamaño del conductor, la construcción del cable y aplicaciones en los estándares industriales.

Los valores de la prueba de CD correspondientes a un factor de CA de prueba para cada sistema de aislamiento. Esta razón se distingue como K la cual cuando es multiplicada por la prueba de aceptación con un factor del 80% y manteniendo el factor del 60% produciendo los factores de conversión para obtener los voltajes de prueba de CD para las pruebas de hi-pot. Los factores de conversión para prueba de voltajes, se muestran en la tabla 2.4.

Como una regla general, para la existencia de cables de mayor valor para mantenimiento no debe exceder del 60% del voltaje de prueba final de fabricación, y el valor mínimo de prueba no debe ser menor que el de CD equivalente del voltaje de operación.

En caso de que el cable no pueda ser desconectado de algún equipo, el voltaje de prueba debe ser reducido al nivel de voltaje de menor valor del equipo conectado.

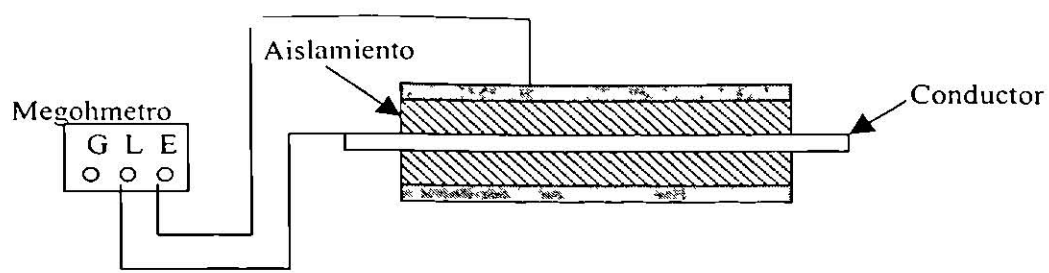
### **2.3.3 Voltaje contra prueba de caída de corriente.**

Aquí el voltaje es elevado en pasos iguales y el tiempo puesto entre cada paso para la caída de corriente para llegar a ser estable; siendo la corriente alta como el voltaje aplicado debido a la capacitancia de la corriente de carga, cada corriente en la superficie y corriente de descarga parcial.

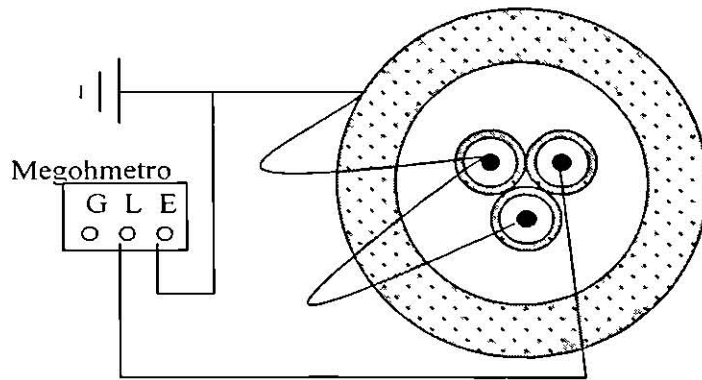
Como instantes del paso, estas corrientes transitorias llegan a ser mínimas con el estado estable de la corriente restante, que es la actual caída de corriente y una pequeña cantidad de absorción de corriente.

En cada paso de voltaje, la caída de corriente registrada es tomada antes del procedimiento al siguiente paso, usualmente, es recomendado por lo menos en ocho pasos iguales de voltaje y 1 a 4 minutos entre pasos.

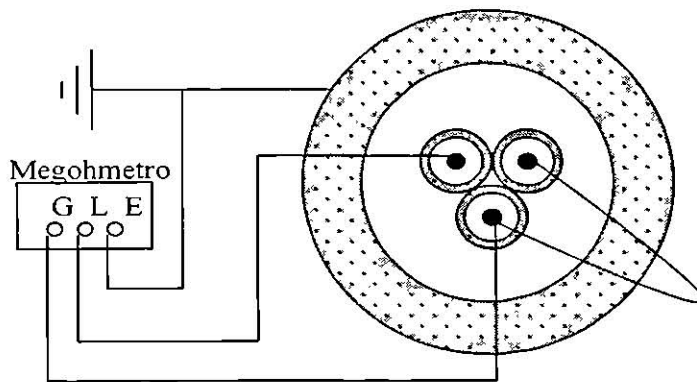
La caída de corriente contra voltaje son trazados como, una curva. Si la caída de corriente comienza a aumentar, hay que detener la prueba ya que puede dañarse el aislamiento del cable.



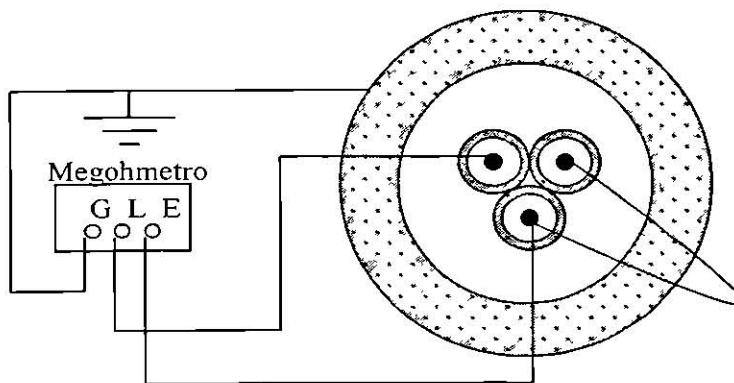
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.6. Conexiones de la prueba de cable para medición de la resistencia de aislamiento: (a) Conexión para la prueba de un conductor sencillo; (b) Conexión para un cable de tres conductores, un conductor a otro y el envolvente a tierra; (c) Conexión para un cable de tres conductores, un conductor a la vaina y a tierra y dos conductores protegidos; (d) Conexión para un cable de tres conductores, un conductor a todos los otros conductores sin pérdidas por tierra.

TABLA 2.4. Factores de conversión para la prueba de hi-pot en CD.

Tipos de aislantes	K	Factor de conversión	
		Aceptación de CD Voltaje de prueba (0.8 x K)	Mantenimiento de CD Voltaje de prueba (0.6 x K)
Papel impregnado cubierto de plomo	2.4	1.92	1.44
Coagulo de barniz	2.0	1.60	1.20
Resistencia de hule compuesto de goma	3.0	2.40	1.80
Polietileno	3.0	2.40	1.80
Cloruro de polivinilo	2.2	1.76	1.32
Compuesto de goma	2.2	1.76	1.32

#### 2.3.4 Caída de corriente contra tiempo de prueba.

Cuando el voltaje de prueba final de caída de corriente contra prueba de voltaje es alcanzado, puede ser dejado encendido 5 minutos, y la caída de voltaje contra tiempo puede ser trazada para intervalos regulares de tiempo como la caída de corriente durante estos pasos para un alto valor inicial hasta un valor de estado estable.

Una buena curva como la figura 2.7 para cables debe indicar un decremento en la caída de corriente con respecto a tiempo o un valor en estado estable sin algún incremento de corriente durante la prueba.

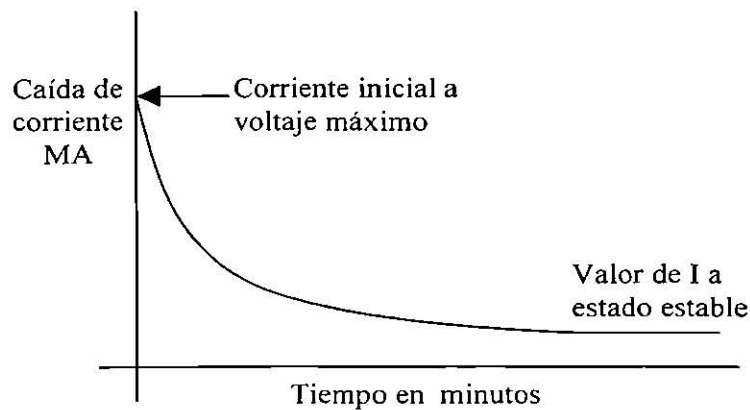


Figura 2.7. Caída de corriente contra tiempo.

#### 2.3.5 Prueba de sobrepotencial.

El voltaje es aplicado gradualmente para suministrar un estado de caída de corriente hasta el valor especificado, usualmente, 1 a 1.5 minutos es suficiente para alcanzar el voltaje final de prueba y ya llegado el voltaje final es mantenido por cinco minutos, y si el aumento de la corriente por falla de corto circuito, la prueba estará bien; aunque esta prueba no proporciona suficiente información como de resistencia requerida.

Este tipo de prueba es realizada después de la instalación y reparación, donde solo un cable resiste la verificación de fuerza sin un daño.

### 2.3.6 Prueba de sobrepotencial de CD (conexiones y procedimientos).

La prueba de conexiones para esta prueba, son iguales a los que muestran en la figura 2.6 (a) y para cables de tres conductores son iguales a los que muestra la figura 2.6 (b) y (c). Los procedimientos de prueba son los siguientes:

- El cable puede ser probado si esta desenergizado, abierto en ambos extremos si en posible, y aterrizado a descarga, ninguna carga electrostática en el cable. Interruptores, transformadores de potencia, carga detenida, fusibles, apartarayos y algunos interruptores deben ser desconectados. Si es imposible desconectar alguno o varios de los equipos conectados, la prueba de voltaje no debe de exceder el valor al cual podrán sobretensionarse estos dispositivos. En la figura 2.8 se muestran los equipos que deben ser desconectados.

- La prueba de voltaje de CD, debe ser aplicada para fase a tierra en cada conductor con otros conductores, protecciones y carcasas metálicas conectadas a tierra u otros conductores con protección.

- Asegúrese que el interruptor principal ON-OFF del aparato del hi-pot este en la posición de apagado (off) y el interruptor de encendido del alto voltaje en la posición de apagado (off) con el interruptor del control de voltaje colocado en la posición de cero antes de iniciar la prueba.

- Conecte el aparato asegurándose de que se tenga se una buena tierra y que las conexiones estén bien aseguradas.

- Conecte la línea de retorno para otros conductores que no estén bajo prueba a tierra y a la terminal de toma de tierra o a la protección del aparato. El interruptor de aterrizado del hi-pot debe colocarse en un rango adecuado, siendo alrededor de 100 volts de aislante requeridos en la línea de retorno. Conecte la protección y vaina a tierra y a la terminal de tierra del aparato. La terminal de tierra esta provista por derivación de corriente, debido a la corona micrometrica alrededor, de manera que la corona de corriente no es incluida en la lectura de prueba.

- Conecte un extremo de la salida o línea del cable a la fase deseada del cable bajo prueba, donde la corona de corrientes puede ser supuesta debido a la aplicación de alto voltaje, se recomienda que las conexiones sean roscadas y tapadas con bolsas de plástico o usar un aro de corona o protector de corona y el extremo del cable de salida o montaje de línea del aparato de prueba.

- El cable usado para conectar el aparato hi-pot al cable bajo prueba, que es, la línea o cable de salida, debe ser corto y directo y sostenido a la línea de tramo de manera que no toque el suelo o que se aterrice en materiales o superficies.

En caso de extensión de cables, son usados con la salida hasta alcanzar el cable bajo prueba, de preferencia usar cables cubiertos para este objeto. Los cables de extensión cubiertos y el cable deben de ser corridos desde el empalme para evitar fugas posteriores. En caso de que el cable de extensión no sea cubierto, debe de ser precavido al colocarse, para mantener el alambre no cubierto lejos del aterrizado así como de superficies.

- Cuando el cable cubierto es probado, lo recomendado es arreglar la tapa posterior alrededor de 2.54 cm para cada 10 kv. La cubierta en el aparato, el extremo del cable es conectado a tierra y la cubierta en el otro extremo del cable puede ser encintado y dejado pendiente sin alguna conexión hecha a este.

- El aparato de prueba debe de ser conectado dentro de 115 kv. y 60 hz de salida. Es importante que la CD que proporciona el voltaje, tenga una buena regulación en la línea, porque el voltaje de CD de salida del aparato depende de la línea de CD de voltaje de entrada.

El rango de voltaje de prueba en kv. debe ser seleccionado antes de iniciar la prueba. La potencia ahora puede ser cambiado a encendido (on) y la prueba empieza.

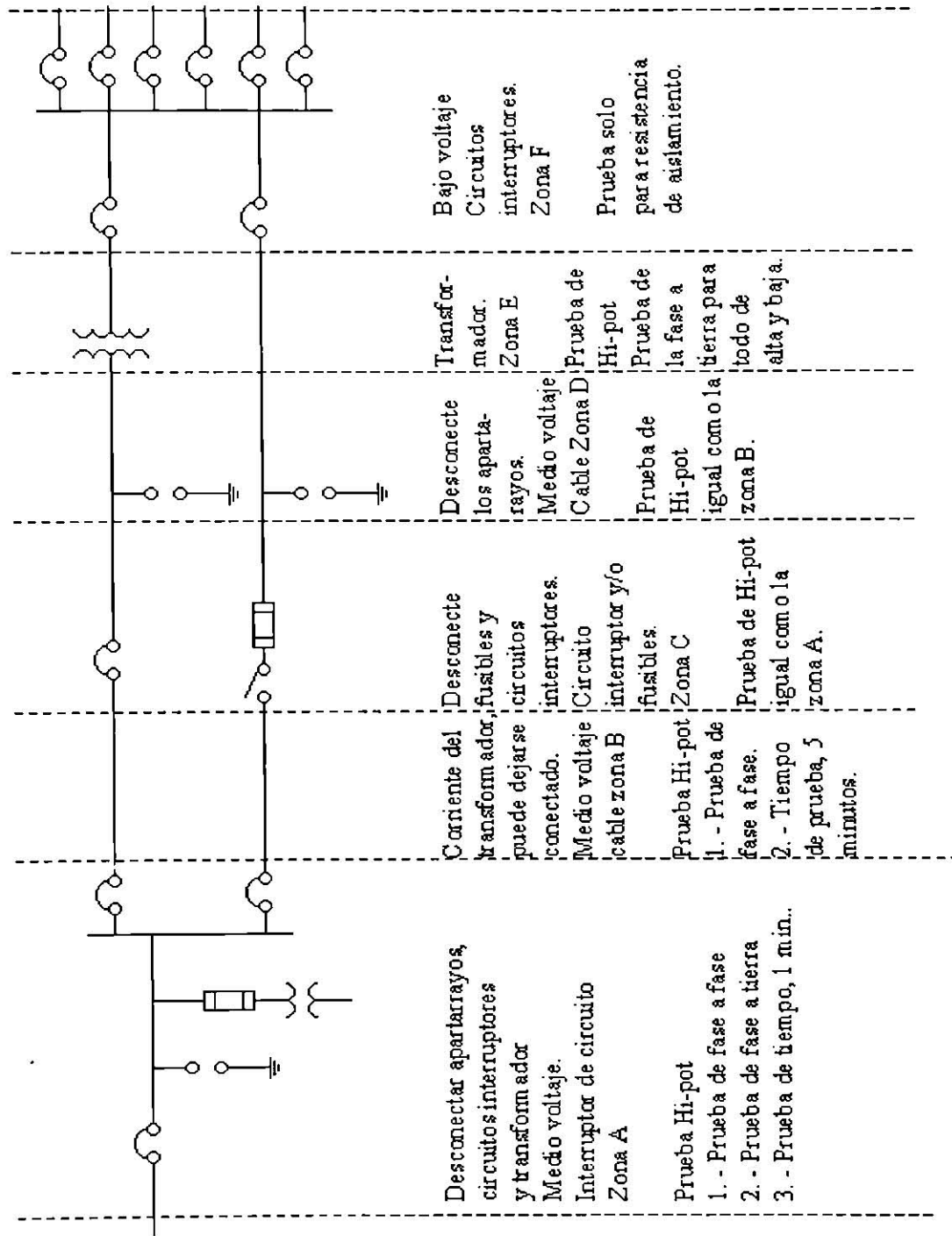


Figura 2.8. Prueba de alta potencia para cables y equipos asociados, además, equipos a desconectar durante la prueba.

- Después de que la prueba es concluida, cambie el interruptor de alto voltaje del aparato a la posición de apagado (off). Deje el cable probado descargando a través del circuito interno del aparato o la tierra externa aplicada al cable por medio de la varilla caliente o guantes. No toque el cable hasta que este completamente descargado.

- Conecte una tierra al cable que fue probado y déjelo conectado por lo menos el doble del tiempo de prueba o hasta que el cable sea conectado dentro del sistema.



## CAPITULO 3

### PRUEBAS DE CORRIENTE ALTERNA PARA EQUIPOS ELECTRICOS

#### 3.1 Introducción

Las pruebas de corriente alterna son usadas en campo para mantenimiento o para aceptar equipos eléctricos, siendo estas pruebas para lo que son transformadores, líquidos aislantes y cables; siendo las pruebas más utilizadas las de alto potencial y la del factor de potencia.

La prueba de alto potencial se hace con voltajes superiores al voltaje nominal de operación, siendo pruebas de corta duración y la prueba del factor de potencia es sobre el aislamiento del sistema y mide el coseno del ángulo entre la corriente de carga y el voltaje aplicado.

#### 3.2 Transformadores

Las pruebas a los transformadores se pueden hacer con un voltaje de CA o de CD, aunque se prefiere la prueba con CA, porque se pueden simular los esfuerzos internos al que se somete al transformador durante condiciones normales de operación.

Las pruebas que se le hacen a un transformador son las siguientes:

- Prueba de alto potencial con CA (hi-pot).
- Prueba del factor de potencia de aislamiento.
- Relación de vueltas del transformador (TTR).
- Prueba de polaridad.
- Prueba de potencial inducido.
- Prueba de excitación.

##### 3.2.1 Prueba de alto potencial con CA (hi-pot)

Esta prueba se hace para evaluar la condición de los devanados del transformador, y se hace para todos los voltajes, especialmente para los superiores a 34.5 kv.

En mantenimiento, el voltaje de prueba no debe exceder el 65%, ya que se pueden dañar los aislamientos de los devanados. En campo la prueba se hace al 75% del valor con que se hizo la prueba de fábrica.

Los valores de la prueba para diferentes relaciones de voltajes en transformadores, se ve en la tabla 3.1.

##### 3.2.2 Prueba del factor de potencia del aislamiento

Esta prueba se hace en transformadores de alto voltaje y mide la pérdida de potencia debido a las corrientes de fuga a través del aislamiento.

El factor de potencia se representa como la relación de watts (W) entre los volts-amperes, cuya ecuación se escribe como sigue:

TABLA 3.1. Prueba de alto potencial de CA para aceptación y en mantenimiento

Relación de voltaje (Kv)	Voltaje aplicado prueba de fabrica	Voltaje aplicado en campo (Kv) 75%	Voltaje aplicado en mantenimiento de rutina 65%
1.20	10	7.50	6.50
2.40	15	11.20	9.75
4.80	19	14.25	12.35
8.70	26	19.50	16.90
15.00	39	25.50	22.10
18.00	40	30.00	26.00
25.00	50	37.50	32.50
34.00	70	52.50	45.50
46.00	95	71.25	61.75
69.00	140	105.00	91.00

$$f.p. = W / E \cdot I = (E \cdot I \cdot \cos \theta) / E \cdot I = \cos \theta$$

Donde:

E = Voltaje de fase.

I = Corriente total de fase.

$\theta$  = Ángulo de fase entre E e I.

W = Watts.

La corriente total de fase (I), es el resultante de las corrientes resistivas ( $I_r$ ) y capacitiva ( $I_c$ ), pero cuando el transformador es energizado con el secundario abierto (sin carga), la corriente resistiva es muy pequeña y es limitada por las pérdidas dieléctricas. Esta es una condición de cuando el factor de potencia es muy bajo y la mayor parte de la corriente es corriente capacitiva; así entonces se puede representar el factor de potencia como la relación de la corriente resistiva y la corriente capacitiva.

La figura 3.1 muestra una forma típica simple de un transformador de dos devanados y pruebas estándar que le son aplicadas; los valores aceptados en la prueba de factor de potencia para transformadores se ven en la tabla 3.2.

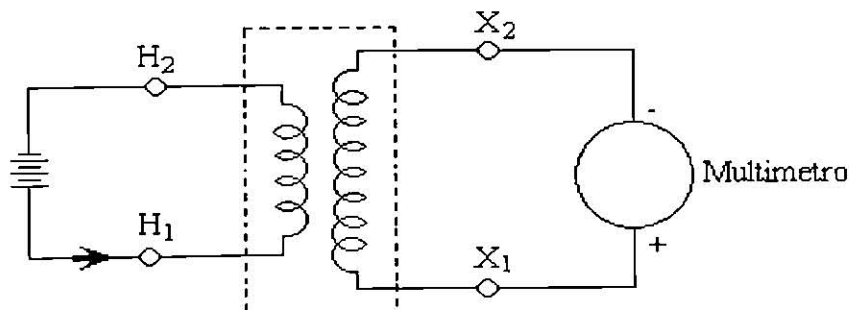


Figura 3.1.

TABLA 3.2. Valores de factores de potencia para transformadores.

Prueba	% del factor de potencia		
	Bueno	Limite	Investigar
Devanado H	0.5 ó menos	0.5 a 1.0	Arriba de 1.00
Devanado X	0.5 ó menos	0.5 a 1.0	Arriba de 1.00
Entre devanados	0.5 ó menos	0.5 a 1.0	Arriba de 1.00

### 3.2.3. Polaridad y relación de transformación.

La relación o razón de transformación, se define como el cociente entre las tensiones en terminales de un transformador ideal, y estas deben de ser iguales al cociente entre los números de espiras. En un transformador real el cociente entre las terminales puede ser superior o inferior a un pequeño porcentaje al cociente entre los números de espiras, esto se debe a las caídas de tensión en las impedancias de fuga de los devanados. Como estas caídas de tensión dependen de la magnitud y el factor de potencia de la carga, el cociente de la tensiones entre las terminales no será una constante característica del transformador solo, ya que depende de la carga, por esa razón conviene definir la razón de transformación como el cociente entre los números de espiras.

La finalidad de las pruebas de polaridad y relación de transformación es, determinar si el equipo está fabricado con el correcto número de vueltas de conductor eléctrico en sus bobinas para lograr la tensión deseada.

#### Polaridad

Las polaridades pueden ser aditivas, cuando las espiras tanto del secundario como del primario van en el mismo sentido. Sustractivas, cuando las espiras del primario van en sentido opuesto a las del secundario o viceversa.

Los devanados dispuestos para polaridad sustractiva o polaridad aditiva, están mostrados en las figuras 3.2 y 3.3.

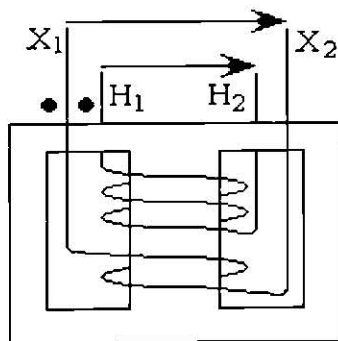


Figura 3.2. Polaridad aditiva.

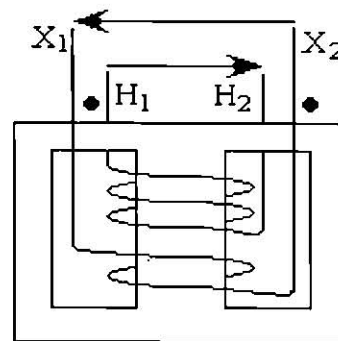


Figura 3.3. Polaridad sustractiva.

Tres métodos están en común para probar la polaridad y checar las marcas de los conductores de los transformadores, y son los siguientes:

- a) Método del golpe inductivo (prueba con CD).
- b) Con fuente de CA.
- c) Por comparación con un transformador cuyas marcas se conocen.

**a) Método del golpe inductivo**

La polaridad de los transformadores dispuestos como se muestran en las figuras 3.2 y 3.3, pueden ser determinados al tiempo que se toman las medidas de resistencia como sigue:

- 1. - Con corriente directa pasando a través del devanado de alto voltaje se conecta un voltímetro de CD de alto voltaje; a través de las terminales de salida de los mismos devanados de tal manera que se consiga una pequeña deflexión del indicador.
- 2. - Luego transfiera los dos conductores del voltímetro directamente a través del transformador, a los conductores de bajo voltaje adyacentes respectivamente.

Para que se comprenda mejor, en la figura 3.3, el voltímetro estaría conectado entre las terminales H1 y H2, después la terminal del voltímetro que estaba conectado en H1 pasaría a conectarse a X2 y la otra terminal que estaba conectada a H2 pasaría a conectarse a X1. Al hacer este cambio la corriente de excitación se va a interrumpir y se va a inducir un voltaje en el devanado de bajo voltaje (a esto se le llama movimiento inductivo), que ocasionara una deflexión en el voltímetro. Si la deflexión es en el mismo sentido que en la primer conexión, la polaridad será aditiva; si se deflexiona en sentido contrario la polaridad será sustractiva.

**b) Con una fuente de voltaje alterno.**

La manera de proceder aquí, es conectando los conductores o cortocircuitando H1 y X1 tal como se muestra en la figura 3.4.

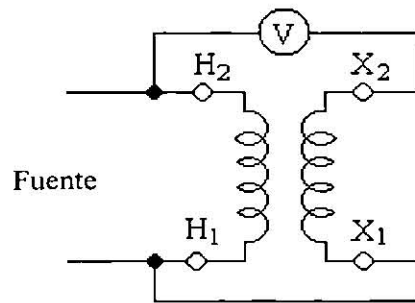


Figura 3.4. Diagrama para la prueba de polaridad por el método de voltaje alterno.

Aplice cualquier valor conveniente de voltaje alterno al devanado completo de alto voltaje y tome la lectura del voltaje aplicado y el voltaje entre los conductores H2 y X2. Si la ultima lectura es mayor que la primera, la polaridades es aditiva; si la última lectura de voltaje es menor de la primera (indicando la diferencia aproximada en voltaje entre los devanados de alto y bajo voltaje), la polaridad es sustractiva.

Este método esta prácticamente a transformadores en los que la razón de transformación es de 30 a 1 o más, puesto que de otro modo la diferencia entre las dos lecturas no sería tan marcada.

**c) Por comparación con un transformador cuyas marcas se conocen.**

Cuando un transformador estándar, de polaridad conocida y de la misma razón del transformador que se va a probar, se encuentra disponible, la polaridad puede ser checada como sigue (ver figura 3.5): se conectan los devanados de alto voltaje de ambos transformadores en paralelo, conectando los conductores marcados similarmente juntos. Se conectan también los conductores de bajo voltaje también se conectan, los de la mano izquierda (X1) se conectan entre ellos, y los de la mano derecha (X2) se dejan libres. Con estas conexiones, se aplica un valor reducido de voltaje a los devanados de alto voltaje y se mide el voltaje en los conductores libres (X2). Una lectura de cero o despreciable del voltímetro, indicará que las polaridades relativas de ambos transformadores son iguales.

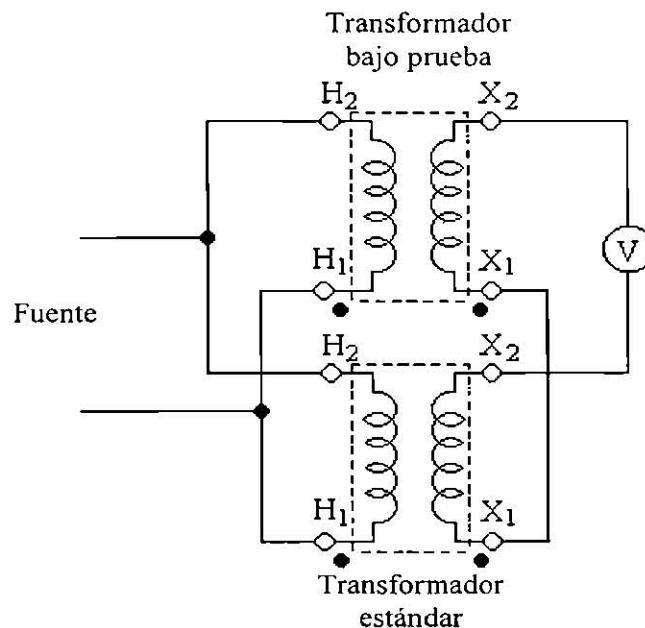


Figura 3.5. Voltímetro dispuesto para leer la diferencia entre los dos voltajes de secundario.

**Relación o razón de transformación**

Si el transformador tiene taps, la razón de vueltas deberá ser determinada para todos los taps también, así como el devanado completo. La prueba de razón deberá ser realizada a voltaje nominal o más bajo, y a frecuencia nominal o más alta.

Los transformadores que tienen capacidades de 500 watts o menos y que tiene una corriente de excitación de más del 10%, deberán ser probados solamente a voltajes y frecuencias nominales. Los métodos de prueba son los siguientes:

- a) Método del voltímetro.
- b) Método del transformador estándar.
- c) Método con potenciómetro de resistencia.

**a) Método del voltímetro.**

Dos voltímetros deberán ser usados con transformador de potencial si es necesario, una para leer el devanado de alto voltaje y el otro para el devanado de bajo voltaje, los dos voltímetros deberán ser leídos simultáneamente. Una segunda serie de lecturas deberán ser leídas con los instrumentos intercambiados, y el promedio de las dos series de lecturas tomadas, para compensar los errores de instrumento.

Las razones del transformador de potencial deberán ser tales que conduzcan alrededor de las mismas lecturas sobre los dos voltímetros: de otro modo la compensación por error de instrumento mediante un intercambio de instrumentos no serán satisfactorias y será necesario aplicar correcciones apropiadas a las lecturas del voltímetro.

Estas pruebas deberán ser realizadas a no menos de cuatro voltajes, en etapas aproximadamente de 10%, y el promedio resultante deberá ser tomado como el valor verdadero. Estos diversos valores, deberán de estar dentro del 1%, de otro modo las pruebas deberán ser repetidas con otros voltímetros.

**b) Método del transformador estándar.**

Un método conveniente de medir la razón de un transformador, es por comparación con un transformador estándar de razón conocida. El transformador que se va a probar, es excitado con el transformador estándar de la misma razón nominal, y deberán estar en paralelo. En los dos secundarios se conectan dos voltímetros para medir los voltajes en ellos (figura 3.6). Los voltímetros deberán ser intercambiados y la prueba repetida. El promedio de los resultados es la razón correcta.

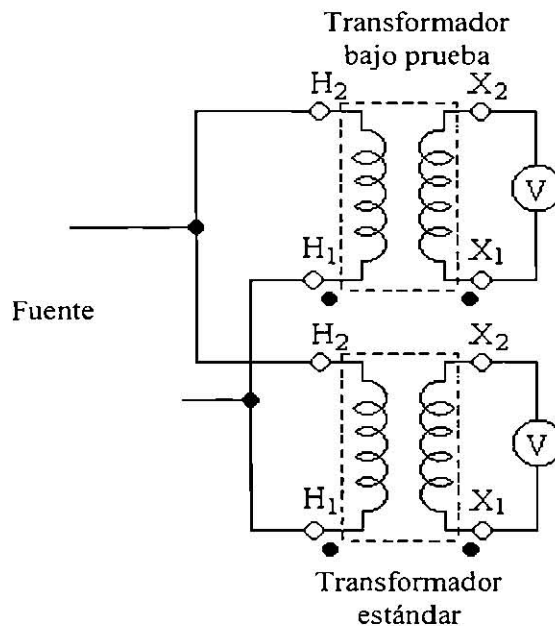


Figura 3.6. Voltímetro dispuesto para leer los voltajes de secundario, después de intercambiar.

**c) Método con potenciómetro de resistencia.**

Un potenciómetro de resistencia que tiene un rango adecuado, preferiblemente graduado en términos de la razón de la porción entre conexiones a la total, puede ser usado para determinar la razón del transformador cuando está dispuesto como se muestra en la figura 3.7.

El contacto deslizando es medido a lo largo de la resistencia del potenciómetro hasta que el detector marca cero. Luego la razón sería  $R / R1 = \text{Razón del transformador}$ .

Estas pruebas de polaridad, no solo se utilizan para comprobar si los diseños cumplen con los requisitos de fabricación, sino que también se utilizan para el emparalelado o la colocación en batería de dos o más transformadores.

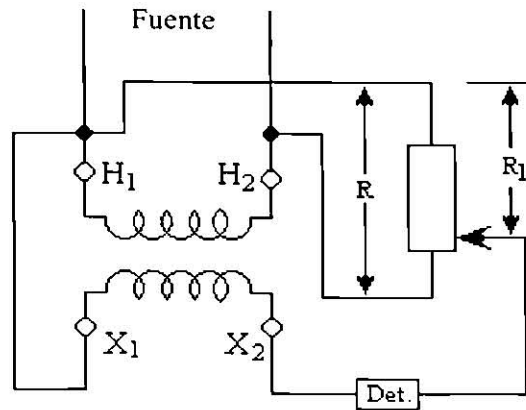


Figura 3.7. Potenciometro de resistencia para la prueba de razón

### 3.2.4. Prueba de potencial inducido.

Esta prueba se hace con niveles de voltaje más altos que los niveles de voltaje normales de operación. Bajo esta prueba el aislamiento entre devanados y entre fases es sometido a un esfuerzo de un 65% por encima de la prueba a que es sometido en la fabrica a una frecuencia arriba de los 60 ciclos, por lo general de 200 a 300 ciclos. La frecuencia con la que se hace esta prueba es de 5 años.

En la prueba de potencial inducido, la frecuencia del potencial aplicado deberá ser lo suficientemente alta para asegurarnos de que la corriente de excitación del transformador excede cerca de un 30% de esta misma corriente cuando esta a plena carga, por lo general la frecuencia es de 120 ciclos.

Cuando se aplican frecuencias arriba de los 120 ciclos, la prueba es más severa y por esta razón la duración debe de ser reducida tal como se muestra en la tabla 3.2.

El voltaje para empezar esta prueba deberá ser de la cuarta parte o menos del voltaje normal e irse aumentando hasta alcanzarlo en no más de 15 segundos. Después de mantener la prueba el tiempo mostrado en la tabla 3.2, se reduce el voltaje en un tiempo no mayor a los 5 segundos, a una cuarta parte del voltaje nominal o menos y en circuito abierto.

TABLA 3.2. Duración de la prueba de potencial inducido a diferentes frecuencias.

Frecuencia (Hz)	Duración (tiempo en seg.)
120 ó menos	60
180	40
240	30
300	20
400	18

Cuando esta prueba se hace a transformadores trifasicos, se puede desarrollar energizando una fase y el voltaje se aplica entre líneas con la fase que se esta probando a tierra. Los neutros del devanado pueden o no ser aterrizados durante la prueba.

Cuando la prueba de voltaje inducido sobre un devanado, da como resultado un voltaje entre terminales de otro devanado y que exceda la frecuencia del voltaje aplicado, entonces los devanados pueden ser separados y aterrizados.

### **3.2.5 Prueba de corriente de excitación.**

La prueba de corriente de excitación (figura 3.8), cuando es usada en mantenimientos preventivos rutinarios para aceptar transformadores, provee un medio de detección, si se tiene un corto circuito en sus devanados, problemas en su núcleo, falsos contactos interiores, etc.

La corriente de excitación (o corriente de vacío del transformador) en un transformador, es la corriente en el primario del mismo cuando es aplicado un voltaje en ese lado y el secundario se mantiene en circuito abierto.

Esta prueba se realiza como sigue: En la figura 3.8 (a) se representa la fase H1-2 energizada de una conexión trifásica en delta. Tres medidas son hechas de rutina (H1-2, H2-3 y H3-1) a voltajes abajo del nominal, no excediendo de 2.5 ó 10 Kv dependiendo de la relación que tenga el equipo a prueba. El devanado de bajo voltaje no es mostrado en la figura, esta aislado de la fuente de voltaje o carga durante la prueba. Si la conexión esta en estrella, el neutro esta aterrizado.

La figura 3.8 (b) ilustra la misma prueba con una fase energizada, estando el transformador trifásico conectado en estrella.

### **3.3 Pruebas a líquidos aislantes.**

Los líquidos aislantes tales como el aceite, silicon, askarel, etc., tienen una función doble, actúan como aislante y como agente refrigerante (por convección), y son usados en transformadores, interruptores y capacitores. El aceite es de naturaleza mineral y se habla de aceites con base parafínica o aromática. La rigidez dieléctrica de los aceites utilizados están en el orden de los 200 kv/cm. El azufre en los aceites es inconveniente, pues ataca al cobre, recubriéndolo de una costra, que por ejemplo, en reguladores de tensión, adquieren resistencias de contacto crecidas que implican excesivos calentamientos. Por lo que en el proceso de su refinamiento, el aceite debe tener menos del 0.2% de azufre.

El aceite experimenta un proceso de envejecimiento. Esto significa que, con el tiempo se altera, se oxida, forma productos ácidos y puede hasta crear lodos. Contribuyendo factores como el aire (oxígeno), temperatura (sobrecargas, calentamientos locales, etc.), la luz, las radiaciones ultravioletas. Con esto las características aislantes y refrigerantes empeoran, hasta dejarlo inservible por lo tanto es necesario monitorearlos y hacerles pruebas para determinar sus propiedades dieléctricas.

En seguida se mencionan los tipos de pruebas para los líquidos aislantes.

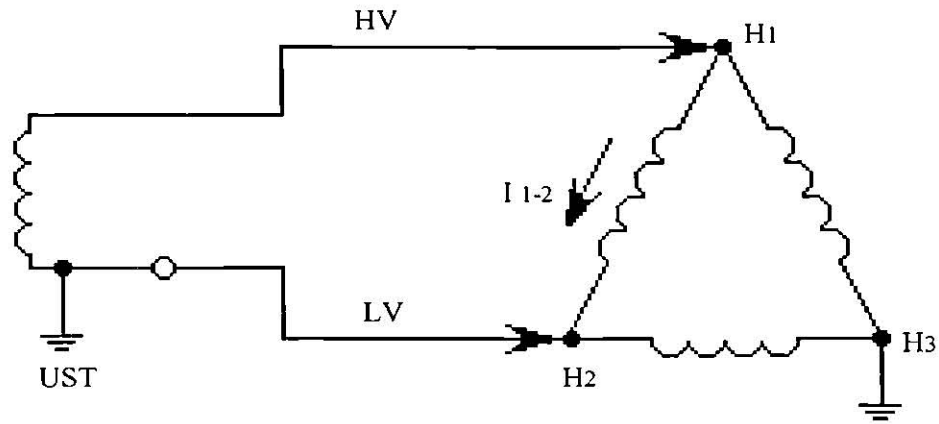
#### **3.3.1 Prueba dieléctrica en líquidos ( cup tests).**

Esta prueba de sobre voltaje alterno se aplica a los líquidos aislantes para determinar su punto de ruptura. Los valores de ruptura son mostrados en la tabla 3.3.

La prueba dieléctrica consiste en tomar una muestra del líquido aislante del transformador en una pequeña taza y aplicarle voltaje gradualmente entre dos electrodos sumergidos en dicho aceite y determinar en que valor de voltaje se produce un arco en los electrodos. La prueba es repetida por lo menos cinco veces para determinar el promedio de ruptura en KV.

En líquidos como el askarel y aceite, es utilizado un recipiente (cup) que tiene en su interior dos electrodos separados 2.5 mm (0.1 pulgadas).

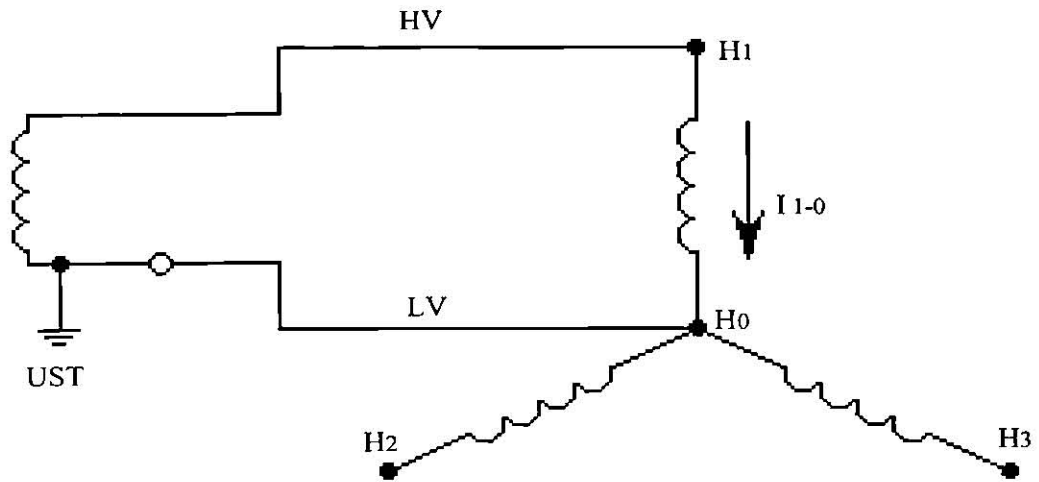




Ie	Energizado	UST	Tierra	Flotante
H1 - H2	H1	H2	H3 , *	X1, X2, X3
H2 - H3	H2	H3	H1 , *	X1, X2, X3
H3 - H1	H3	H1	H2 , *	X1, X2, X3

\* si X esta conectado en estrella, X0 es aterrizado.

(a)



Ie	Energizado	UST	Tierra	Flotante
H1 - H0	H1	H0	*	H2 H3 . X1, X2, X3
H2 - H0	H2	H0	*	H1H3 . X1, X2, X3
H3 - H0	H3	H0	*	H1H2 . X1, X2, X3

\* si X esta conectado en estrella, X0 es aterrizado.

(b)

Figura 3.8 (a) y (b)

TABLA 3.3. Valores dieléctricos para líquidos aislantes en transformadores

Tipos de líquidos	Ruptura dieléctrica en kv	
	Satisfactorio	Se necesita cambiar
Aceite	23	Menor de 23
Askerel	26	Menor de 25
Silicona	26	Menor de 26
Wescosol	26	Menor de 26

### 3.3.2 Prueba dieléctrica ASTM D-877.

Generalmente los equipos con que se va a efectuar una prueba de rigidez dieléctrica son portátiles. Las pruebas cuya ruptura esté en el orden de 40 kv, son aceptables.

Para tomar muestras de los líquidos se utilizan recipientes de vidrio, ya que como el aceite para transformadores en transparente, se pueden inspeccionar y ver si tiene impurezas. De cualquier forma hay que filtrarlo.

El procedimiento para esta prueba es el siguiente:

1. - Los electrodos y la copa deberán limpiarse con papel de seda o gamuza que estén limpios y ecos. El espacio entre electrodos es una medida estándar de 0.1 pulgadas.
2. - Se vacía la muestra del líquido aislante en la copa y una vez que este completamente estático (sin burbujas), se aplica voltaje a razón de 3 kv / segundo hasta que suceda la ruptura.
3. - Al comenzar cada prueba, los electrodos deben de ser examinados para asegurarse de que están libres de impurezas como la acumulación de carbón.
4. - Si en una prueba, la ruptura salió por debajo de los valores establecidos para que el aceite sea aceptado, los electrodos y la copa deberán ser limpiados antes de hacer una segunda prueba.
5. - La rigidez dieléctrica se ve alterada por impurezas y para obtener resultados satisfactorios, el aceite debe de ser filtrado varias veces hasta obtener puntos de ruptura de acuerdo con los valores mínimos establecidos.
6. - La temperatura no debe de ser menor de 20°C (68°F) cuando se haga la prueba.

### 3.3.3 Muestreo de aceite de transformadores.

Las instrucciones generales para un muestreo de aceite de transformadores son los siguientes:

1. - Para pruebas de rigidez dieléctrica, acidez y tensión interfacial, con una muestra en un recipiente cuyo volumen sea menor a los 2 litros es suficiente.
2. - Las muestras deberán sr tomadas en días secos, y con poca humedad.
3. - Las muestras no deberán ser tomadas en días lluviosos que tienen por humedad atmosferica arriba del 70%.

4. - Las muestras hay que protegerlas del viento y del polvo.

5. - Si las muestras son tomadas de válvulas, hay que limpiarlas para que estén libres de polvo y otros contaminantes.

### **3.3.4 Prueba del factor de potencia.**

El factor de potencia de un líquido aislante, es el valor que se obtiene del coseno del ángulo de desfase entre el voltaje aplicado y la corriente resultante. El factor de potencia indica la pérdida de capacidad dieléctrica del líquido aislante y que aumenta al incrementarse la temperatura. La prueba del factor de potencia es ampliamente usada en pruebas de aceptación y mantenimientos preventivos en líquidos aislantes. Esta prueba es hecha con la norma ASTM D-924.

Un aceite aislante en buen estado, no debe de exceder de 0.05 %v a 20°C. Un factor de potencia alto en aceites ó líquidos es indicio de deterioro y/o contaminación con sedimentos, carbón, humedad, barniz, etc. Un factor de potencia en aceite usado, que sea mayor que el 0.5%, deberá ser analizado en el laboratorio para determinar su origen. En el askarel el factor de potencia es considerado alto, si es mayor a 2.0%. En un aceite nuevo se considera un factor de potencia de 0.05% o menos a una temperatura de 20°C.

El carbón o asfalto en el aceite causa decoloración. El carbón no necesariamente causa un factor de potencia alto, a menos que presente humedad.

En conclusión, un aceite cuyo factor de potencia se encuentre entre 0.05 y 2 % a 20°C se considera satisfactorio. Un aceite que tenga un factor de potencia cuyo valor es mayor del 2% a 20°C deberá ser cambiado.

## APENDICE

**Apartarrayos.** - Es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico, el cual debe de ser conectado a un extremo de la línea y el otro extremo a tierra, necesitándose vencer una resistencia para aterrizarlo.

**Apartarrayos tipo autovalvular.** - Este consiste en varias capas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables, cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones.

**Apartarrayos tipo resistencia variable.** - Este funda su principio de operación, con dos explosores y se conecta en serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y en sistemas de distribución.

**Capacitancia.** - Es la propiedad de un circuito a oponerse a cualquier cambio de voltaje.

**Corriente de absorción.** - Esta corriente es tan alta como el voltaje de prueba que se aplica y decrece a medida que el tiempo de aplicación de voltaje aumente.

**Corriente de carga capacitiva.** - Esta es tan alta como el voltaje que se aplica, esta en función del tiempo, esto es que la corriente de carga inicial y por lo tanto no debe evaluarse en el tiempo que el voltaje es aplicado. Las lecturas de esta prueba no deben ser tomadas hasta que la corriente haya descendido hasta un valor bajo.

**Corriente de fuga.** - Esta es la corriente que es usada para evaluar las condiciones del aislamiento que esta sometida a prueba deberá que la corriente volumétrica se estabilice antes de tomar las lecturas de las mismas.

**Corriente total.** - Es el promedio de todas las corrientes de fugas.

**Cuchillas desconectores.** - Es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico, por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede con carga, hasta ciertos límites.

**Descargas indirectas.** - Son sobretensiones que se almacenan sobre las líneas por cargas electrostáticas, que al ocurrir la descarga atmosférica se parte en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz y dañan el equipo.

**Interruptor.** - Es un dispositivo cuya función es interrumpir y establecer la continuidad de un circuito eléctrico. Si la operación se efectúa sin carga, el interruptor se llama desconector o cuchilla desconectora, si en cambio la apertura es con carga o con corriente de corto circuito, el interruptor se llama disyuntor o interruptor de potencia.

**Pararrayos.** - Su objetivo es ofrecer una protección contra los rayos, descargando las pequeñas cargas eléctricas tan pronto como se acumulan. Los apartarrayos acaban en una punta, porque los objetos agudos sueltan las cargas más rápido que los de cualquier otra forma y los pararrayos están conectados directamente a tierra.

**Relevador.** - Es un dispositivo eléctrico que sirve para desconectar las líneas de alimentación, activando unas cuchillas desconectoras.

**Tap.** - La función de un tap es la de disponer un rango de valores de voltaje arriba o abajo del voltaje nominal.

**Transformador.** - Es una maquina eléctrica que nos permite modificar el voltaje y corriente de una línea de alimentación, ya sea a menos voltaje y más corriente ó viceversa.

## BIBLIOGRAFIA

1. - Fundamentos de Eléctricidad - Electronica  
Autor: Slurzberg y Osterheld  
Editorial: Mc Graw Hill
2. - Analisis de Sistemas Eléctricos de Potencia  
Autor: William D. Stevenson  
Editorial: Mc Graw Hill
3. - El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales  
Autor: Gilberto Enriquez Harper
4. - Electrical Equipement Testing and Mainteinance  
Autor: Gill  
Editorial: Prentice Hall
5. - Elementos de Centrales Eléctricas II  
Autor: Gilberto Enriquez Harper  
Editorial: Limusa
6. - El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores  
Autor: C. Russell Mason  
Editorial: Cecsca
7. - Maquinas Eléctricas y Transformadores  
Autor: Irving L. Kosow  
Editorial: Prentice Hall
8. - Transformadores de Potencia, de Media y de Protección  
Autor: Enrique Ras Oliva  
Editorial: Boixareu Editores, España
9. - Tesis: Elaboración de pruebas a Transformadores  
Autor: Marcos A. Delgado Alvarez

