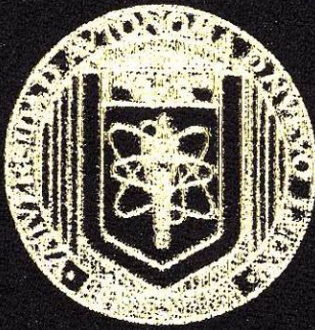


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



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

TESINA

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

PRESENTA

RUBEN PEÑA GUAJARDO

ASESOR: ING. EUDOCIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA

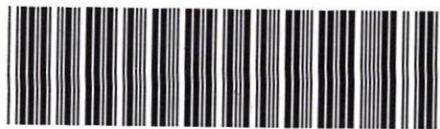
MAYO DE 1999

T

TK441

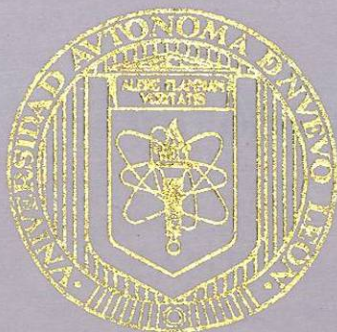
P41

c.1



1080089003

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



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

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

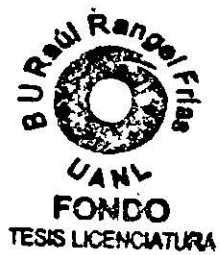
RUBEN PEÑA GUAJARDO

ASESOR: ING. EUDOCIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA

MAYO DE 1999

T
TK441
P41



INDICE

	Página
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO No. I INTRODUCCION A LOS EQUIPOS ELECTRICOS MANTENIMIENTO Y PRUEBAS.....	2
PRUEBAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE ALTERNA DE ESTADO SOLIDO.....	13
CAPITULO No. II PRUEBAS DE CORRIENTE DIRECTA PARA EQUIPOS ELECTRICOS.....	17
CAPITULO No. III PRUEBAS DE CORRIENTE ALTERNA PARA EQUIPOS ELECTRICOS.....	38
BIBLIOGRAFIA.....	46

INTRODUCCION.

Al instalar equipos eléctricos y ponerlos en funcionamiento se ocasiona un proceso de deterioro normal.

Al no revisar en forma periódica dicho deterioro se puede llegar a operar con mal funcionamiento e incluso tener fallas en el equipo.

Antes de entrar en materia quisieramos hacer una breve introducción general. Como es del conocimiento de todos nuestro país sufre actualmente de varios fenómenos económicos tales como la inflación, la recesión, etc., pero no podemos negar que en los últimos años nuestro país ha tenido un crecimiento industrial tal, que muchas empresas se han visto en la necesidad de utilizar cada vez mas, la alta tensión como fuente de suministro.

Dado lo anterior es necesario contar con una instalación denominada "subestación" para poder transformar el voltaje y bajarlo a niveles manejables.

Algunas empresas cuentan actualmente con este tipo de instalaciones, otras pueden estar en proceso de ampliación, algunas mas tienen la necesidad de contar con una subestacion ya sea por la continuidad de servicio o por la conveniencia tarifaria o por aumento de carga.

Enseguida enlistaremos los conceptos principales que intervienen para contar con este tipo de instalaciones:

- Diseño y selección del equipo.
- Instalacion y puesta en operación del equipo.
- La conservación del equipo instalado (mantenimiento).

En este resumen hablaremos del ultimo punto enumerado anteriormente, porque creemos que es uno de los aspectos mas importantes para que nuestra subestación opere con el mínimo de problemas teniendo con esto una magnífica continuidad de servicio.

Esto se logra con la implementación de un programa de mantenimiento eléctrico preventivo y de pruebas (MEPP) se puede reducir la probabilidad de una falla, al tomar acciones correctivas a tiempo sobre malos funcionamientos del equipo.

El programa consiste en hacer inspecciones de rutina, pruebas y reparaciones en equipos tales como transformadores, cables interruptores y periféricos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

MANTENIMIENTO Y PRUEBAS.

¿Por qué hacer Mantenimiento y Pruebas?

Debido a que un programa de mantenimiento bien organizado te dará beneficios tales como: minimizar accidentes, reducir paros de producción de las empresas y prolongar el tiempo entre fallas en los equipos eléctricos.

Planeación de un Programa MEPP.

Este programa se planeará a partir de dos criterios fundamentales a saber como son: la administración de mantenimiento y los requerimientos técnicos.

Para la Administración del mantenimiento son importantes las justificantes del mantenimiento y tener a la mano todo lo necesario para el mantenimiento.

Las justificantes del mantenimiento son razones tales como:

- Ventajas de los mantenimientos.
- Costos del Mantenimiento.
- Perdidas de Productividad debido a la falta de mantenimiento.

Tener a la mano lo necesario para el mantenimiento significa tener:

- Equipos de prueba.
- Herramienta.
- Traslado de personal.
- Y conocer los tiempos requeridos para llevar a cabo las inspecciones.

A los requerimientos técnicos pertenece:

- a) Examinar el equipo de la planta.
- b) Hacer un listado del equipo en orden de importancia.
- c) Hacer un plan para llevar a cabo un programa (MEPP) con frecuencia regular.
- d) Desarrollar instrucciones y procedimientos para el programa (MEPP).

Al examinar el equipo de la planta se requiere reunir información acerca de la potencia del sistema eléctrico, la cual se resume en:

- Diagramas de Bloques.
- Diagramas Unifilares.
- Diagramas Esquemáticos.
- Diagramas de Secuencia de Control.

- Diagramas de Cableado en otros.

De dichos diagramas los más comúnmente usados son:

El Diagrama Unifilar que muestra por medio de líneas y símbolos gráficos el flujo de potencia eléctrica; y el Diagrama Esquemático que muestra todos los circuitos y dispositivos de los elementos de los equipos; y además, como otra característica siempre muestra los circuitos de un modo desenergizado.

(Ver figuras 1.1 y 1.2 siguientes páginas).

Después de que el programa MEPP sea implementado es muy importante que contenga cinco elementos que son esenciales para su funcionamiento:

- **Responsabilidades.**

Las responsabilidades de un programa (MEPP) deberán ser claramente definidas por la organización de la Empresa con trabajos definidos por áreas.

- **Inspección.**

El propósito de la inspección es el de tener un avance en cuanto a las condiciones de los equipos, pudiéndose por ejemplo detectar deterioros, y hacerse una reparación o un reemplazo de los mismos antes de que suceda una falla.

- **Calendarios.**

Para llevar a cabo un mantenimiento hay que definir una fecha que deberá quedar establecida para ejecutarse.

Las fechas para la inspección de mantenimientos de rutina, dependen de varios factores como: edad de los equipos, frecuencia de operación, horas de servicio, condiciones de trabajo y requerimientos de seguridad

- **Ordenes de Trabajo.**

Las ordenes de trabajo son requeridas por el jefe de mantenimiento o área y pueden ser establecida por inspección de rutina que da una información concerniente al estado de los equipos.

- **Archivo de Reportes.**

Para hacer un programa efectivo es imperativo que el mantenimiento y pruebas de todos los equipos deberán ser completos y poder determinar la vida de éstos equipos .

Todos los formatos y reportes deberán ser archivados y tener acceso a ellos en caso de ser necesario para cualquier problema suscitado en el área de estos equipos.

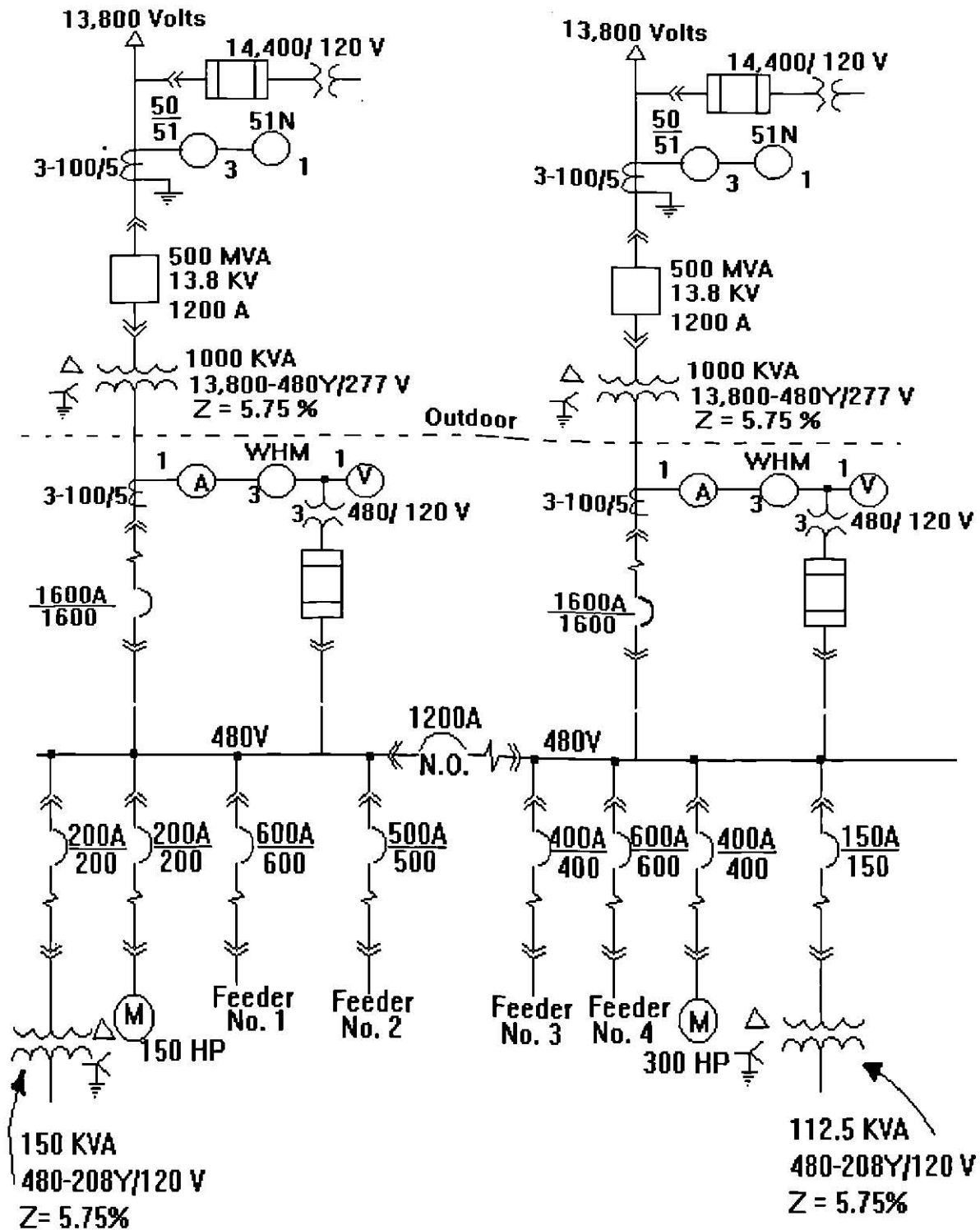
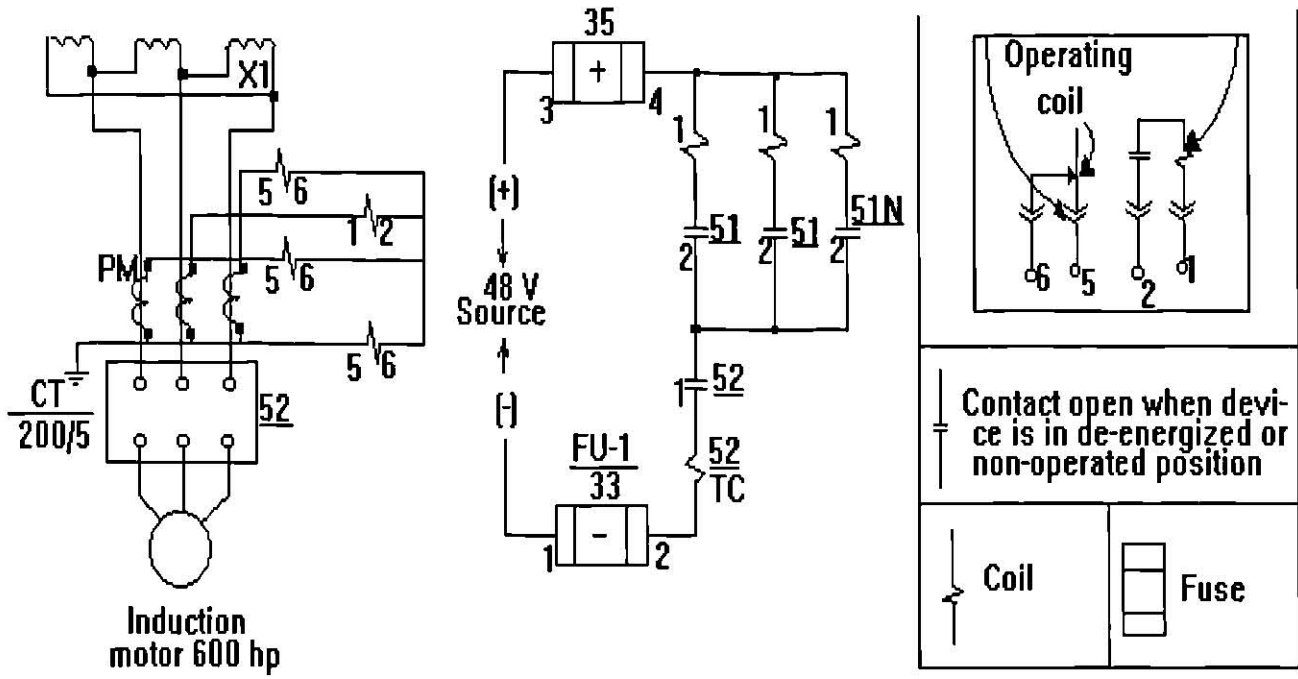


Figura 1.1



[a] Elementary control diagram

Figura 2.1

¿Qué debe ser incluido en un Programa MEPP?

El Programa de Mantenimiento Eléctrico Preventivo y Pruebas deberá abarcar tres actividades:

Mantenimiento Eléctrico Preventivo y pruebas.
Reparaciones Eléctricas.
Análisis de fallas.

Mantenimiento Eléctrico Preventivo y Pruebas.

Esta actividad involucra inspección, limpiezas, ajustes y pruebas de equipos para asegurar una operación sin problemas hasta la siguiente fecha de mantenimiento.

Reparaciones Eléctricas.

La reparación de equipos eléctricos y máquinas periféricas asociadas con la producción de una planta es un requisito fundamental de un buen programa de mantenimiento.

El objetivo básico del programa de mantenimiento será el evitar tiempos fuera (sin trabajar) de los equipos o máquinas de producción.

Análisis de Fallas.

Las fallas de los equipos eléctricos deberán ser analizadas para atender y valorar los tiempos fuera de los mismos a no ser que la causa de la falla sea obvia; y deberán ser atendidas las causas y no los efectos de la falla.

Tipos de Métodos de Pruebas.

Las pruebas en los equipos eléctricos involucra revisar el aislamiento de los sistemas, propiedades eléctricas y otros factores relacionados con la operación total del sistema de potencia.

Las pruebas de los equipos eléctricos pueden ser enumeradas así:

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

Pruebas de Aislamiento de Estado sólido:

El aislamiento puede ser de cualquier material dieléctrico (sólido, líquido o gas) y prevenga el flujo eléctrico entre puntos de diferente potencial.

Las pruebas de aislamiento son hechas para determinar la integridad del medio de aislamiento. Esto consiste generalmente en aplicar un alto voltaje y determinar mediante pruebas la corriente de fuga que fluye bajo estas condiciones de prueba.

Una corriente excesiva de fuga puede indicar las condiciones de deterioro y un inminente peligro de falla.

Las pruebas de aislamiento pueden hacerse aplicando cualquiera de los siguientes voltajes:

Voltaje de corriente directa (DC).

Voltaje de corriente alterna (AC).

Las pruebas de aislamiento de estado sólido pueden agruparse en dos categorías que son: no destructivas y destructivas.

La prueba no destructiva es llevada a cabo mediante la aplicación de bajos voltajes y el equipo sometido a prueba es raramente dañado.

La prueba de alto potencial de corriente alterna es una prueba en la cual el voltaje es subido (levantado) hasta un nivel especificado. Si el equipo falla o muestra una corriente de fuga excesiva, el equipo bajo prueba queda inutilizable. Si el equipo no falla entonces a superado la prueba.

La prueba de alto potencial de corriente directa puede indicar que el equipo esta apto para funcionar en el presente pero que puede fallar en el futuro.

Algunas de las ventajas y desventajas de las pruebas de alto potencial de corriente directa son las siguientes:

Ventajas:

La prueba de corriente directa es preferida en equipo cuya carga capacitiva es muy alta, tal como cables.

El esfuerzo considerado en un voltaje de corriente directa (DC) es mucho menos dañino que en un voltaje de corriente alterna (AC).

El tiempo de aplicación de un voltaje de corriente directa (DC) no es tan crítico como el voltaje de corriente alterna (AC).

La prueba puede ser detenida antes de que falle el equipo.

Desventajas:

La distribución de esfuerzo para transformadores, motores y generadores es diferente para un voltaje de corriente directa que para voltaje de corriente alterna.

La carga residual después de una prueba de voltaje de corriente directa es más dañina al ser descargada.

Pruebas de Aislamiento de Estado Sólido en Voltaje C.D.

Antes de que entendamos las diferentes pruebas que se hacen con un voltaje de corriente directa, permítanos echar un vistazo a las corrientes varias que tienen lugar cuando un voltaje de corriente directa es aplicado a través de un aislamiento de estado sólido.

Esas corrientes son las siguientes:

- Corrientes de carga capacitiva.
- Corriente de absorción dieléctrica.
- Corrientes de fuga (de superficie).
- Corriente parcial de descarga (corona).
- Corriente de fuga Volumétrica.

• Corrientes de Carga Capacitiva.

La corriente de carga es función del tiempo y puede decrecer al tiempo que es aplicado el voltaje en forma creciente.

Las lecturas de esta prueba no deben ser tomadas hasta que la corriente haya descendido hasta un valor suficientemente bajo.

• Corriente de Absorción Dieléctrica.

La corriente de absorción dieléctrica es tan alta como el voltaje de prueba que se aplica y decrece a medida que le tiempo de aplicación del voltaje aumenta.

Las lecturas de esta corriente deberán medirse hasta que haya descendido lo suficiente.

• Corrientes de Fuga (de Superficie).

La corriente de fuga de superficie es debida a la conducción sobre la superficie del aislamiento y donde hay puntos a tierra.

Esta corriente no es deseada en los resultados de las pruebas y por lo tanto deberán ser eliminadas limpiando cuidadosamente la superficie de los conductores, para eliminar trayectorias a esta corriente de fuga.

- **Corriente Parcial de Descarga (Corona).**

La corriente parcial de descarga también conocida como la corriente corona, es causada por los sobre-esfuerzos en los quiebres de los conductores debido a la prueba de alto voltaje.

Esta corriente no es deseada y deberá ser eliminada mediante una protección o blindaje sobre los puntos de esfuerzos sobre las pruebas.

- **Corriente Volumétrica de Fuga.**

Esta es la corriente que es usada para evaluar las condiciones del aislamiento que está sometido a prueba.

El tiempo de la prueba deberá permitir que la corriente volumétrica se estabilice antes de tomar las lecturas de la misma.

Dos pruebas pueden ser hechas en estado sólido con la aplicación de voltaje de C.D. :

1. Prueba de la resistencia de aislamiento.
2. Prueba de voltaje de alto potencial.

- **Prueba de Resistencia de Aislamiento.**

Esta prueba se hace aplicando voltajes de 100 a 5000 volts.

El instrumento usado es un megóhmetro con mecanismo manual, motorizado o electrónico, el cual indica la resistencia de aislamiento en megóhms.

La calidad del aislamiento es evaluada tomando como base un nivel de resistencia de aislamiento.

El aislamiento puede variar, dependiendo de la temperatura, humedad y otros factores ambientales. Por lo tanto las lecturas de las pruebas deberán ser corregidas de acuerdo con un standard de humedad y temperatura.

El valor de resistencia de aislamiento en el megóhmetro es inversamente proporcional a el volumen de aislamiento en que está siendo probado.

Esta prueba nos da una indicación de el deterioro del aislamiento del sistema.

Los valores de la resistencia de aislamiento no nos indica los puntos de debilidad ni tampoco los esfuerzos dieléctricos. Sin embargo nos indican la

contaminación del aislamiento y debemos preocuparnos cuando los valores de las resistencias de aislamiento son bajos.

TEMPERATURA (° C)	TRANSFORMADOR EN ACEITE	TRANSFORMADOR 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 5 métodos comunes como son:

- Lecturas de Tiempo Corto.
- Lecturas Tiempo Resistencia.
- Lecturas de Picos de Voltaje.
- Prueba de Absorción Dieléctrica.
- Prueba de Clasificación de Polarización.

Lecturas de Tiempo Corto.

Esta prueba muestra simplemente el valor de la resistencia de aislamiento para una duración de tiempo corto de 30 a 60 segundos.

Las lecturas que se obtengan pueden ser comparadas con valores previos que se tengan, y para comparar los resultados se utilizan tablas normalizadas a 20ª C con los efectos de humedad también considerados.

- **Lectura Tiempo Resistencia.**

Un sistema bien aislado muestra un incremento continuo de los valores de resistencia sobre un periodo de tiempo en el cual el voltaje es aplicado.

Por otra parte, si un sistema esta contaminado con impurezas, polvo, etc. , mostrara baja resistencia.

El método de tiempo-resistencia es independiente de la temperatura y magnitud del equipo.

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

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

Una relación RAD abajo de 1.25 es motivo de una investigación o reparación de un aparato eléctrico, usualmente las lecturas (RAD) son manejadas con un megóhmetro.

- **Lecturas de Picos de Voltaje.**

En este método el voltaje es aplicado en forma de picos para que el aislamiento que está bajo prueba, sea fijado por un voltímetro.

A medida que el voltaje es incrementado los puntos débiles de aislamiento deberán mostrar resistencia bajas que obviamente no muestran con bajos niveles de voltaje.

Residuos, polvos y otros contaminantes pueden ser detectados a niveles de bajo voltaje, esto es más abajo de los niveles de operación, mientras que un daño físico, un aislamiento malo, etc., solo pueden ser detectados con altos voltajes.

- **Prueba de Absorción Dieléctrica.**

La prueba de absorción dieléctrica es hecha con voltajes mucho más altos que los usados en las pruebas de resistencia de aislamiento ya que son valores del orden de 100 Kilovoltios.

Bajo esta prueba el voltaje es aplicado por un período de tiempo de 5 a 15 minutos.

Las lecturas de resistencia de aislamiento y corrientes de fuga son tomadas periódicamente. La prueba es evaluada tomando como base la resistencia de aislamiento.

Si el aislamiento esta en buenas condiciones, la resistencia de aislamiento deberá incrementarse a medida que la prueba es desarrollada.

La prueba de absorción dieléctrica es independiente del volumen y la temperatura de aislamiento que esta bajo prueba.

- **Prueba de Clasificación de Polarización.**

La prueba de clasificación de polarización es una aplicación especializada de la prueba de absorción dieléctrica.

La clasificación de polarización es la razón de la resistencia de aislamiento en 10 minutos a la resistencia de aislamiento en 1 minuto.

Una clasificación de polarización menor que 1 indica deterioro en el equipo y necesita un mantenimiento inmediato.

Esta prueba es usada para cables, transformadores y máquinas giratorias.

- **Prueba de Voltaje de Alto Potencial.**

Una prueba de alto potencial de corriente directa es un voltaje aplicado a través del aislamiento como una cresta de voltaje por encima del voltaje de operación (1.41 veces).

Esta prueba puede ser aplicada como un pico de voltaje.

Cuando un voltaje de alto potencial es aplicado a una prueba de absorción dieléctrica, el máximo voltaje es aplicado gradualmente en un período de 60 a 90 segundos. El máximo voltaje es entonces mantenido durante 5 minutos, tomando lecturas de corrientes de fuga cada minuto.

PRUEBAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE ALTERNA DE ESTADO SÓLIDO.

Dos pruebas pueden ser hechas en estado sólido con la aplicación de voltaje alterno para evaluar las condiciones del aislamiento del sistema.

Estas pruebas son las siguientes:

- Prueba de Alto Potencial.
- Prueba de Aislamiento del Factor de Potencia.

- **Prueba de Alto Potencial.**

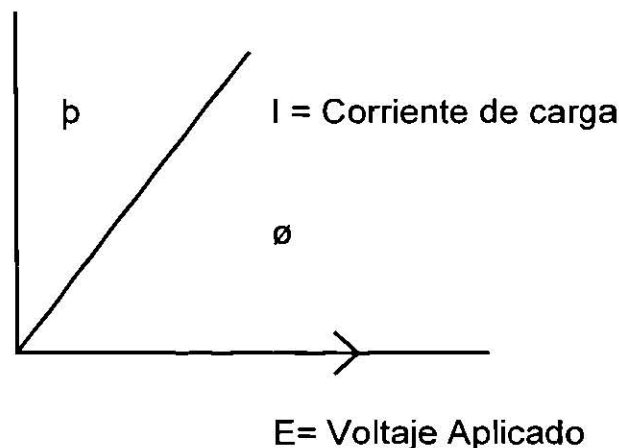
La prueba de alto potencial comúnmente conocida como la prueba de Hi-Pot (CA), es usualmente hecha con un voltaje superior al voltaje de operación normal del sistema por un corto tiempo algo así como 1 minuto.

Desde luego diferentes voltajes son involucrados en la operación de un sistema eléctrico de potencia y es recomendado seguir las instrucciones de manufactura a seguir un standard de valores en el desarrollo de estas pruebas.

- **Prueba de Aislamiento del Factor de Potencia.**

Cuando el aislamiento de un sistema es energizado con un voltaje de alterna, el factor de potencia es igual al coseno del ángulo entre la corriente de carga y el voltaje aplicado.

La evaluación esta basada en el hecho que para valores bajos de factor de potencia, el factor de disipación puede suponerse lo mismo que el factor de potencia. El factor de disipación es igual a la tangente del ángulo δ , donde δ es igual a $(90^\circ - \theta)$



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

Varias precauciones deben de tomarse en cuenta cuando se una prueba de factor de potencia:

- El equipo bajo prueba debe de estar aislado del resto del sistema.
- La prueba deberá hacerse a una temperatura superior a 32° F (0° C) y con una humedad relativa abajo del 70%.

La evaluación de los datos de la prueba deberá estar basada con estándares comparativos de la industria con valores de otros equipos similares, o con resultados de pruebas previos en equipos similares.

- **Pruebas a Dispositivos de Protección.**

Las pruebas a dispositivos de protección involucra pruebas y mantenimiento de interruptores de bajo voltaje, conexiones, relevadores y equipos tales como transformadores de instrumentos y cableados de baja tensión.

La función del mantenimiento y pruebas de protección es la de asegurar que un interruptor o relevador este en condiciones de ejecutar su función de operación.

Las pruebas de los dispositivos de protección pueden ser clasificadas como pruebas de rutina y verificación.

- **Pruebas de Aislamiento de Líquidos (Aceites).**

El aislamiento de líquidos usados en transformadores o en otros aparatos eléctricos están sujetos a una deterioración y contaminación en un periodo de tiempo.

Esta contaminación tiene un efecto perjudicial en las propiedades del aislamiento de los devanados.

Básicamente los elementos que causan el deterioro de el aislamiento de los líquidos son: humedad, temperatura, oxígeno, y otros como catálisis que resultan de reacciones químicas que producen ácidos y sedimentos, los cuales atacan el aislamiento de los líquidos.

El aislamiento a base de líquidos que hoy en día está en uso son: aceites, askarel, silicona, sin embargo el uso de askarel ha sido prohibido por el alto grado de tóxicos que contiene.

Métodos de la ASTM para pruebas en los aislamientos de los líquidos.

PRUEBA	METODOS ASTM
ACIDEZ	DI534 o 1902
COLOR	DI500
VOLTAJE DE RUPTURA DIELECTRICA	D877 (Silicona askarel) D1816 Aceite
EXAMINACION VISUAL	D1524 Aceites D1702 Askarel
TENSION INTERFACES (UNICAMENTE ACEITE)	D971 D2285
NUMERO DE NEUTRALIZACION	D974; D664
FACTOR DE POTENCIA	D924

- **Análisis de Tiempo de Disparo de Interruptores.**

La prueba de el análisis de tiempo de disparo de un interruptor se hace para determinar el mecanismo de operación del interruptor.

Esta prueba generalmente se hace con mediano y alto voltaje para determinar la posición de los contactos con relación al tiempo.

Esta relación entonces puede ser usada para determinar la velocidad de operación de los interruptores para abrir y cerrar los contactos.

- **Prueba de Resistencia de Electrodo de Tierra.**

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

Para mantenerse un punto de potencial de referencia para los equipos y seguridad del personal.

Para proveer un punto de descarga para ondas viajeras debido a descargas atmosféricas(rayos).

Para prevenir altos voltajes excesivos debido a voltajes inducidos en los sistemas de potencia.

Por lo tanto para mantener un potencial de tierra efectivo se requiere pruebas periódicas a los electrodos del sistema de tierras; una prueba ordinaria de una resistencia de tierra se determina en una escala calibrada en ohms.

- **Pruebas y Análisis de Fallas de Gases.**

Las pruebas y análisis de fallas de gases pueden proveer información sobre fallas incipientes en aceites 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.

Una pequeña muestra de nitrógeno puede ser obtenida del transformador para este propósito.

Esta prueba se determina en una escala de porcentaje de gases de combustible.

- **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 prácticas de mantenimiento e inspección para determinar puntos calientes en uniones, terminales o líneas sobrecargados.

CAPITULO II

PRUEBAS DE CORRIENTE DIRECTA PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS.

Este capítulo abarca las pruebas de corriente directa para cualquier desempeño en el campo para la aceptación y mantenimiento de equipos y aparatos eléctricos.

La información proporcionada por estas pruebas indica si es necesario el mantenimiento correctivo o el reemplazo del equipo instalado, asegura si el equipo recientemente instalado puede ser energizado con seguridad y la carta de deterioro gradual del equipo sobre la vida en servicio.

Los métodos de prueba de C.D. que son discutidos en este capítulo cubre transformadores, líquidos aislantes, cables, interruptores, motores y generadores.

Transformadores.

La prueba de C.D. de transformadores implica pruebas de aislamiento de estado sólido expuesto al viento y los líquidos aislantes usados en transformadores.

Las pruebas de aislamiento sólido al ambiente no son concluidas en sí mismas, proporciona información de valores en condiciones ambientales, semejantes al contenido de humedad y carbonización.

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

BOBINAS DEL TRANSFORMADOR VOLTAJE EN KV	BOBINA		A	TIERRA	
	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C
MENORES DE 6.6.	400	200	100	50	25
DE 6.6 A 19	800	400	200	100	50
DE 22 A 45	1000	500	250	125	65
DE 66 Y MAYORES	1200	600	300	100	75

Los procedimientos de prueba son los siguientes:

1) No desconecte la conexión a tierra en el transformador del tanque y núcleo. Asegúrese que el tanque y el núcleo del transformador están aterrizados.

2) Desconecte todo, el alto voltaje, bajo voltaje y conexión a neutro, apartarrayos, sistemas de ventilación, contador o algún sistema de control de bajo voltaje, estos son conectados al transformador ambiental.

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

4) Use un megohmetro con una escala mínima de 20,000 MΩ.

5) Mantenimiento de resistencias son entonces conectadas 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.

6) El megohmetro puede tomar lecturas si es mantenido por un periodo de un minuto. Hace las siguientes lecturas para transformadores de arrollamientos:

- Arrollamiento de alto voltaje a bobina de bajo voltaje y a tierra.
- Bobina de alto voltaje a tierra.
- Bobina de bajo voltaje a bobina de alto voltaje y a tierra.
- Bobina de bajo voltaje a tierra.
- Bobina de alto voltaje a bobina de bajo voltaje.

Las conexiones para estas pruebas son mostradas en las figuras 2.1(a) hasta (e) y 2.2(a) hasta (e). (Ver siguientes dos hojas).

Pruebas de Razón de Absorción Dieléctrica.

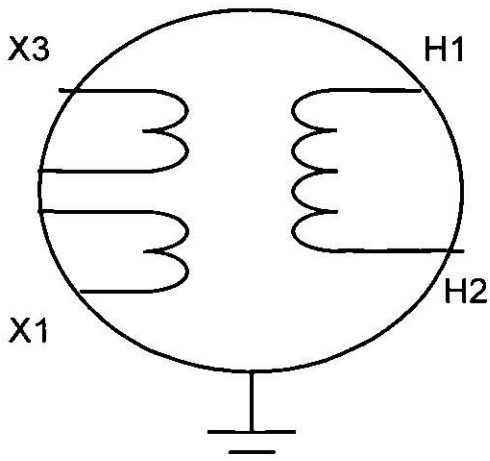
La razón de resistencia de aislamiento en bobinas para valores desde 60 segundos (s) hasta 30 segundos esta definida como la razón de absorción dieléctrica (DAR).

Esta prueba proporciona información similar a la prueba PI excepto que la duración de la prueba es más corta.

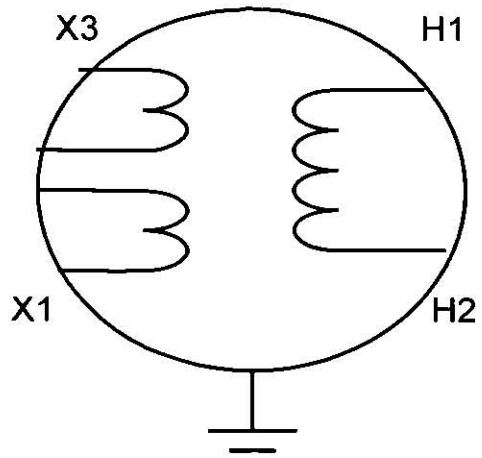
Prueba de Alto Potencial en C.D. (Hi-Pot).

La prueba de alto potencial en C.D. es aplicada en alto porcentaje de voltaje para evaluar la condición del aislamiento de las bobinas del transformador.

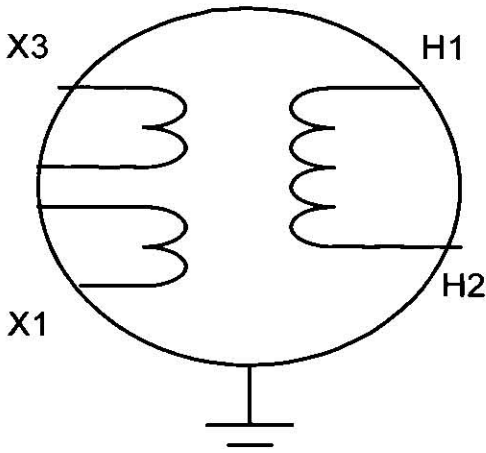
La prueba de alto voltaje en c.d. no es recomendada en transformadores de potencia por encima de 34.5 KV.; en su lugar la prueba de alto potencial en c.a. debe ser usada.



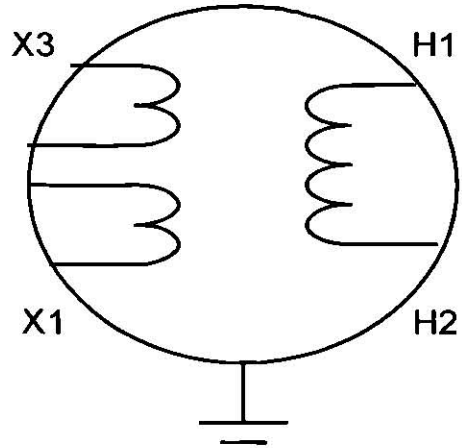
(A)



(B)



(C)

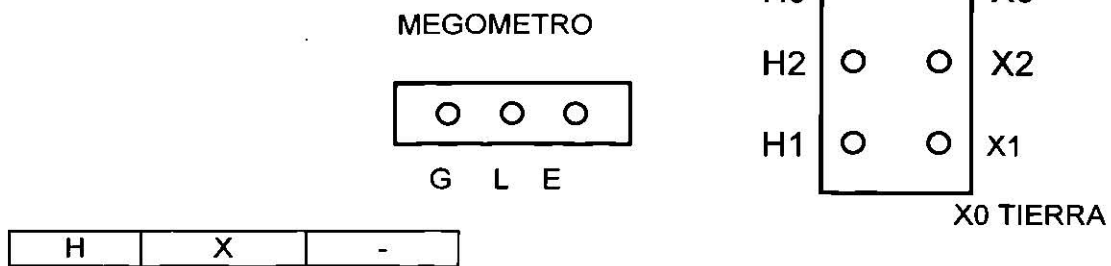


(D)

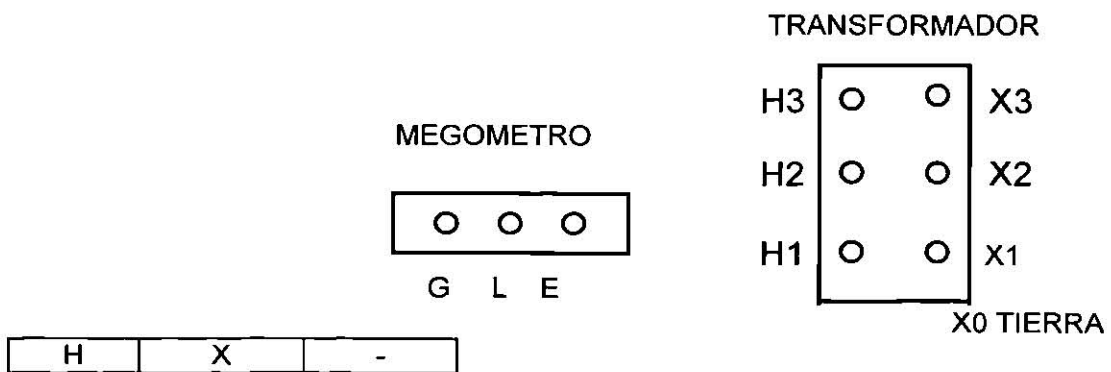
FIGURA 2.1
Prueba de conexiones para aislamiento resistivo de
transformadores de una sola fase

CONEXION DE ARROLLAMIENTO

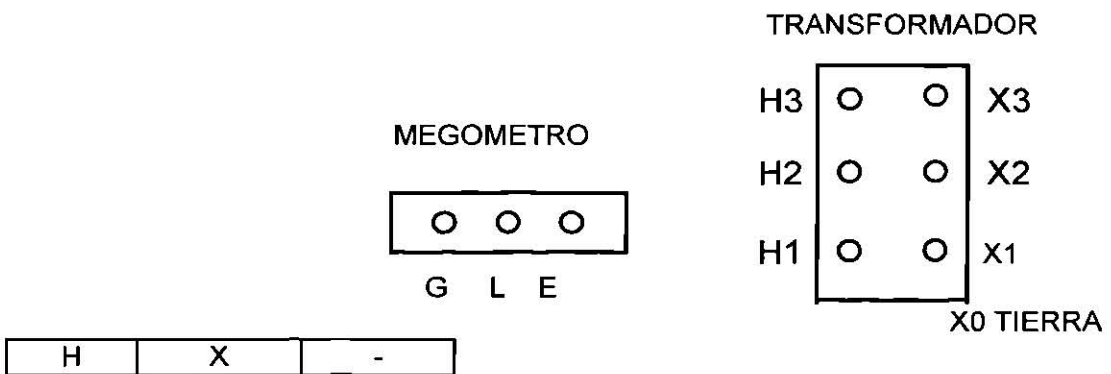
LINEA	TIERRA	PROTECCION
L	E	G



(A)



(B)



(C)

FIGURA 2.2

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.**

Generalmente, por rutina el mantenimiento del transformador, esta prueba no es empleada por la posibilidad del daño al aislante de la bobina. De cualquier modo esta prueba es hecha para aceptación y después reparar los transformadores.

En caso que la prueba de hi-pot sea dirigida para un mantenimiento de rutina los valores de la prueba no deben de exceder del 65% de los valores de prueba de fabricación, el cual es a 1.6 veces el valor del tiempo de C.A. para las pruebas periódicas (i.e., $1.6 \times 65 = 104\%$ de C.A. del valor de prueba de fabrica).

La prueba de hi-pot de c.d. puede ser aplicada como una medición de la prueba de voltaje donde las lecturas de corriente de salida son tomadas para cada medición. Si la corriente de salida es excesiva es notificada, el alto voltaje puede ser atrasado antes de dañar la pieza. Por esta razón, la prueba de hi-pot en c.d. es considerada una prueba no destructiva.

Los valores de prueba de hi-pot para voltajes de C.D. son mostrados en la tabla 2.3.

TABLA 2.3

BOBINA DEL TRANSFORMADOR RAZON DE VOLTAJE (KV)	FACTOR DE PRUEBA VOLTAJE C.A. (KV)	MANTENIMIENTO DE RUTINA VOLTAJE C.D. (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

El procedimiento para dirigir esta prueba es como sigue (referencia a la figura 2.3(a) y (b) para la conexión de esta prueba).

- El transformador debe tener aprobada la prueba de resistencia de aislamiento antes de iniciar esta prueba.

- El transformador debe ser seguro de la carcasa, núcleo y tierra.

- Desconectar todo el alto voltaje, bajo voltaje y conexiones a neutro, sistema de control de bajo voltaje, sistema de ventilación y conecte los contadores a las bobinas y núcleo del transformador.

- Cortocircuite con cables uniendo todas las conexiones de alto voltaje a el mismo potencial con respecto a tierra. También cortocircuite con cables uniendo todo el bajo voltaje y conectando a tierra.

- Conecte la prueba de alto potencial realizándola entre alto voltaje y tierra.

Gradualmente aumente el voltaje de prueba al valor deseado. De a las pruebas de voltaje una duración de 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. Incremente gradualmente el voltaje de prueba hasta el valor deseado. De a las pruebas de voltaje una duración de 1 minuto, después decremente gradualmente el voltaje hasta cero.

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

Cables y Accesorios.

Las pruebas de cables son dirigidas por la carta de deterioro gradual por los años, hace aceptables las pruebas después de la instalación, para verificación de empalmes y uniones, y para probar reparaciones especiales.

Las pruebas de voltaje de C.D. realizadas en cables son medidas de la resistencia de aislamiento y la prueba de alta potencia en C.D. (prueba de hi-pot en C.D.).

La prueba de hi-pot en C.D. puede ser hecha como caída de corriente contra prueba de voltaje, caída de corriente contra prueba de tiempo, o va, no va prueba de sobrepotencial.

Estas son propiedades del comportamiento de la primera prueba de medición para resistencia de aislamiento, y si los datos son bien vistos, entonces se procede con la prueba de sobrepotencial.

Prueba de Medición de la Resistencia de Aislamiento.

La resistencia de aislamiento es medida por un instrumento portátil consistente de un generador de voltaje directo, semejante a un generador, batería, o rectificador, y un ohmetro de alto rango, este proporciona lecturas de resistencia de aislamiento en megohms u ohms.

Este es un método no destructivo para determinar la condición del aislamiento del cable para comprobar la contaminación debido a humedad, suciedad, o carbonización.

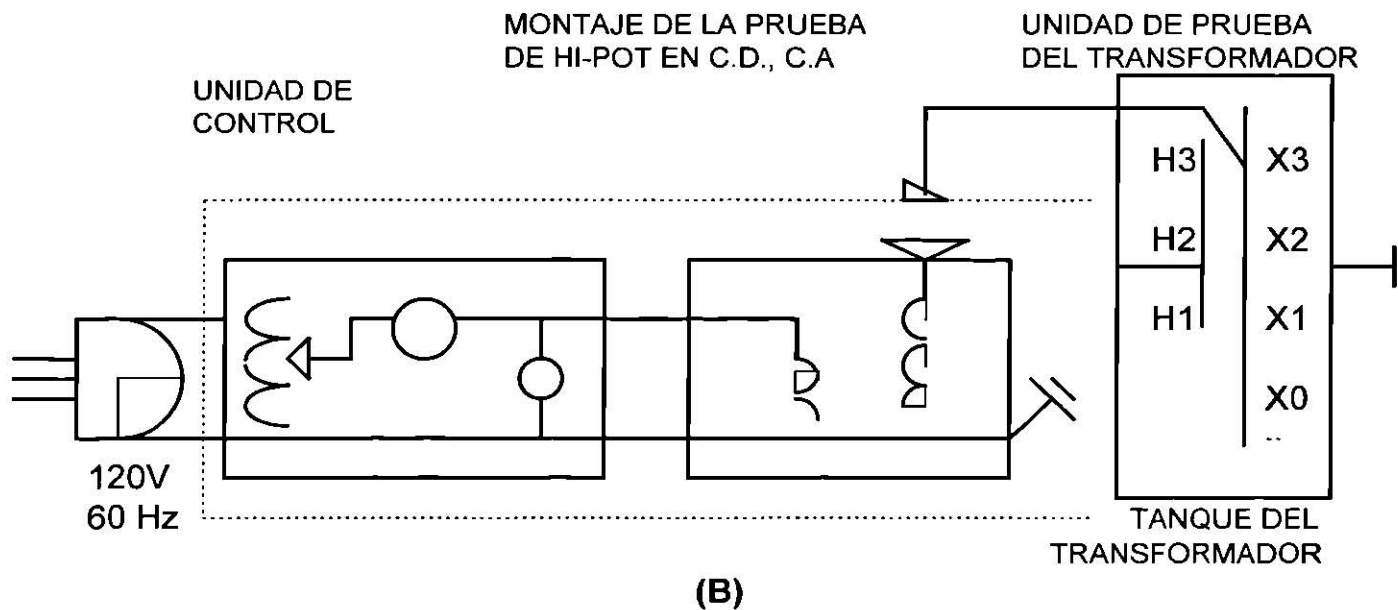
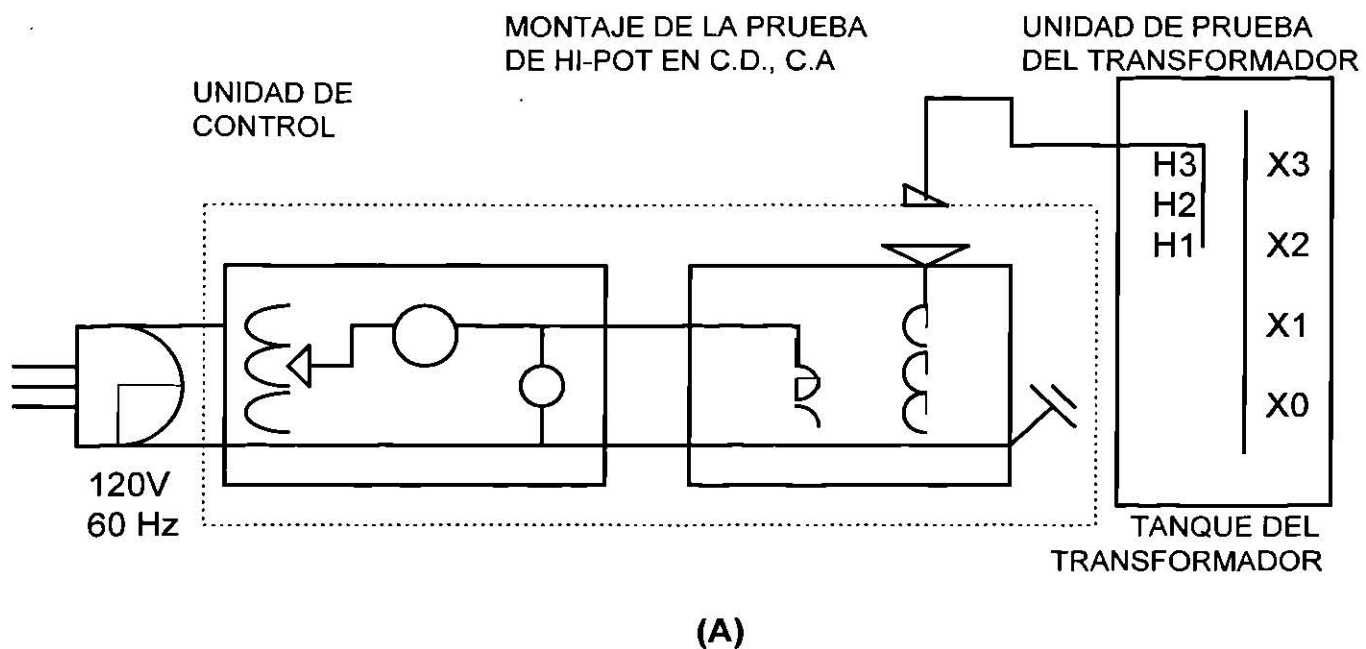


FIGURA 2.3
Conexión de la prueba de alto voltaje del transformador (HI-POT):
A) Conexión de la prueba HI-POT en las bobinas de alta.
B) Conexión de la prueba HI-POT en las bobinas de baja.

Este es el procedimiento general cuando se utiliza un megohmetro (Megger) para la prueba de medición de resistencia:

- Desconecte el cable a ser probado por otros equipos y circuitos para garantizar que no está energizado.

- Descargue toda la capacitancia almacenada en el cable por tierra antes de la prueba, además después de terminar la prueba.

- Conecte la terminal de línea del aparato al conductor a prueba.

- Aterrice todos los otros conductores juntos en la vaina y a tierra. Conecte este a la terminal de tierra del aparato de la prueba.

- Igualmente tome otros valores de resistencia de aislamiento entre un conductor y otros conductores conectados, un conductor a tierra sobre manera. Las conexiones son presentadas en la figura 2.4 (a) hasta (d).

- La terminal de protección del megohmetro puede ser usada para eliminar los efectos 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 debe ser realizada a intervalos regulares y registrada para propósitos de comparación. Guardando en la memoria para comparaciones válidas, las lecturas deben de ser correctas a una baja temperatura, tal como 20° C.

Un continuo descenso es una indicación de aislamiento deteriorado aunque los valores medidos de resistencia son superiores a los límites mínimos aceptados.

Prueba de Sobrepotencial en C.D.

Esta prueba es extensamente usada para aprobación y mantenimiento de cable. Ello puede indicar la condición relativa del aislamiento a voltajes mayores o cercanos a los niveles de operación.

Esta prueba puede ser utilizada para identificación de debilidades en el aislamiento del cable y puede también ser usada para una avería o falla incipiente.

Los valores de voltajes de prueba para C.D. en la prueba de hi-pot están basados sobre la prueba de voltaje final de fábrica, el cual está determinado por el tipo y el espesor del aislamiento, el tamaño del conductor, la construcción del cable, y aplicaciones en los estándares industriales.

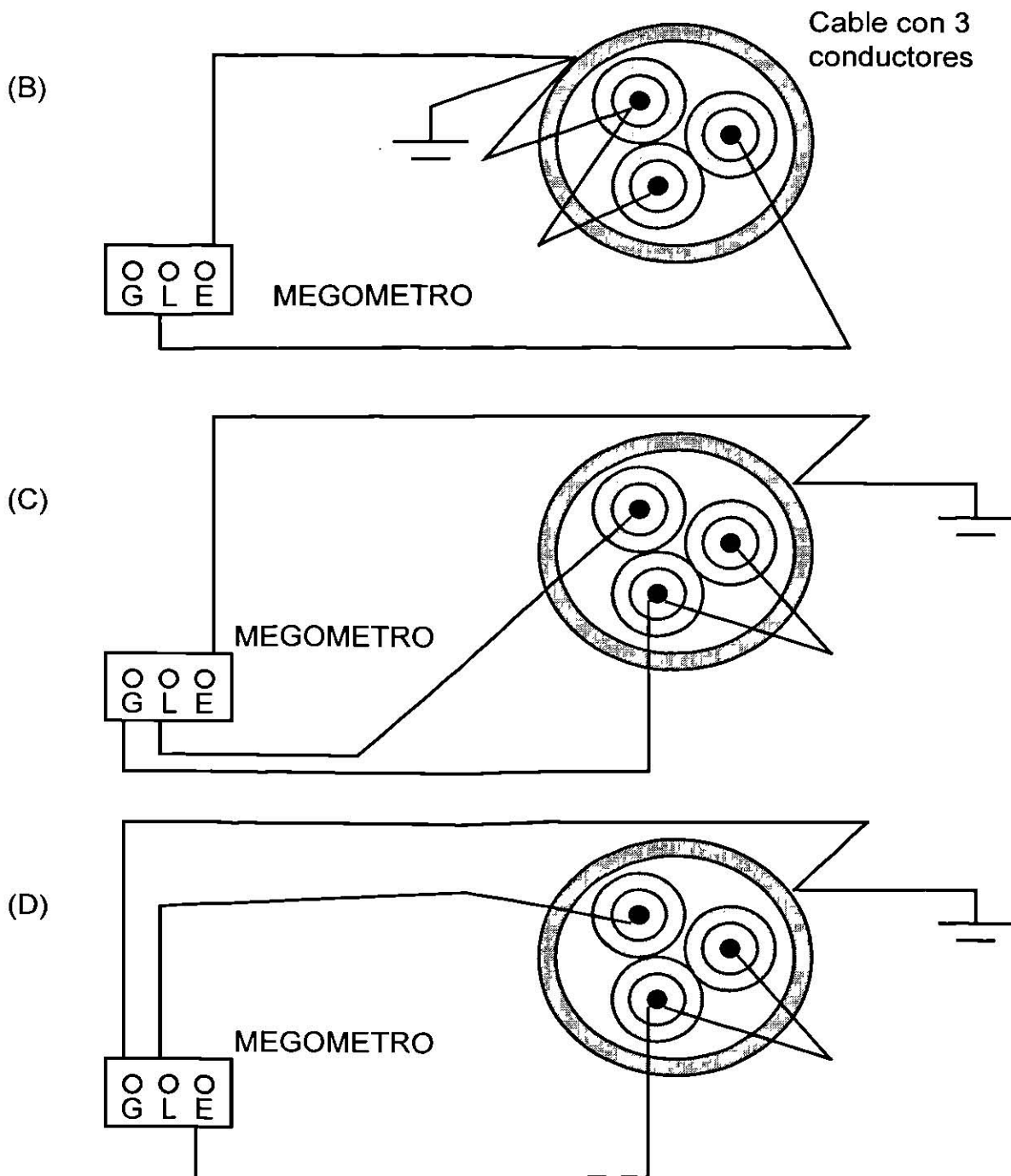


Figura 2.4
Conexiones de la prueba de cable para medición de la resistencia del aislamiento.

- B) Conexión para un cable de 3 conductores, un conductor a otro conductor y el envoltorio a tierra.
- C) Conexión para un cable de 3 conductores, un conductor a la vaina y a tierra y dos conductores protegidos.
- D) Conexión para un cable de 3 conductores, un conductor a todos los otros conductores sin pérdidas por tierra.

Los valores de la prueba de C.D. correspondientes a un factor de C.A. de prueba para los voltajes de C.A. para cada sistema de aislamiento.

Esta razón esta designada como k la cual cuando es multiplicada por la prueba de aceptación con un factor del 80% y de mantenimiento por un factor del 60% produciendo los factores de conversión para obtener los voltajes de prueba de C.D. para las pruebas de hi-pot.

Estos factores de conversión para pruebas de voltajes recomendada es expuesta en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

TIPOS DE AISLANTES	K	FACTOR DE ACEPTACION C.D. VOLTAJE DE PRUEBA	CONVERSION MANTENIMIENTO C.D. VOLTAJE
		(0.8 x K)	(0.6 x K)
PAPEL IMPREGNADO			
CUBIERTO DE PLOMO	2.4	1.92	1.44
CUANGULO DE VARNIZ	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

Algunos factores deben ser considerados en la selección correcta de voltaje para la existencia de cables que están en servicio.

Como una regla general, para la existencia de cables el mayor valor mínimo de prueba no debe ser menor que el de C.D. equivalente del voltaje de operación.

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

La prueba de hi-pot puede ser conducida como un paso de la prueba de voltaje como sigue:

Voltaje contra prueba de Caída de Corriente (Paso de la prueba de Voltaje).

En esta prueba, el voltaje esta elevado en iguales pasos y el tiempo es puesto entre cada paso para que la caída de corriente llegue a ser estable.

La corriente es relativamente alta como el voltaje aplicado debido a la capacitancia de la corriente de carga, caída de la 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 muy 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 ocho pasos iguales de voltaje es usado; y menor que 1 a 4 minutos es admitido entre cada paso.

La caída de corriente contra voltaje es trazada como una curva. Tan larga como esta trazada la curva en forma lineal para cada caso, el sistema de aislamiento esta en buena condición.

En algunos valores de voltajes de pasos, si la caída de corriente empieza a aumentar deberá ser notificado, un aumento en la inclinación de la curva podrá ser notificado como se muestra en la figura 2.6 en el punto A.

Si la prueba es seguida mas allá de esta prueba de voltaje, la caída de corriente podrá incrementarse más rápida e inmediatamente cae puede suceder en el aislamiento del cable.

A menos que la caída sea deseada la prueba debe ser detenida tan pronto como suceda el incremento de la inclinación y sea notificado en la curva de voltaje contra caída de corriente.



Figura 2.6 Paso de voltaje alto-potencial prueba de corriente

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 por lo menos 5 minutos, y la caída de corriente 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 en estado estable.

Una buena curva para cables debe indicar generalmente un continuo decremento en la caída de corriente con respecto al tiempo o un valor en estado estable sin algún incremento de corriente durante la prueba.

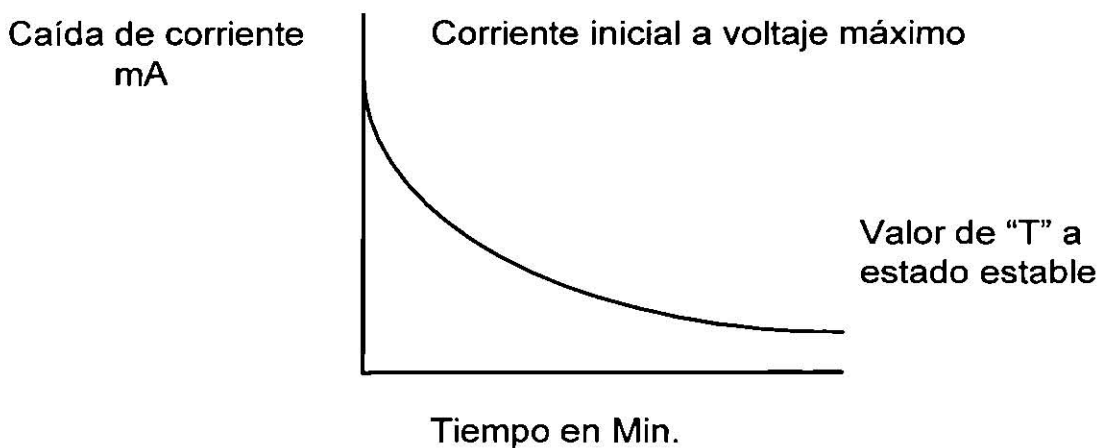


Figura 2.7 Caída de corriente contra tiempo.

Funciona, no Funciona prueba de Sobrepotencial.

La prueba de hi-pot puede ser conducida como un funciona, o no funciona en la prueba de sobrepotencial.

En esta prueba el voltaje es gradualmente aplicado hasta el valor especificado.

La razón de elevar el voltaje de prueba es mantenido para suministrar un estado de caída de corriente hasta el voltaje de prueba es alcanzado.

Usualmente , 1 a 1 1/2 minutos es considerado tiempo suficiente para alcanzar el voltaje final de prueba.

El voltaje final de prueba puede ser sostenido por 5 minutos, y sino es repentino el aumento en la corriente por la falla de cortocircuito, la prueba será exitosamente aprobada.

Esta prueba no proporciona un análisis completo de la condición del cable, pero proporciona suficiente información como de resistencia requerida.

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

Conexiones y Procedimientos de la Prueba de Sobrepotencial en C.D.

La prueba de conexiones para esta prueba son similares a las que son mostradas en la figura 2.4(a) y para cables de tres conductores son similares a los expuestos en la figura 2.4(b) y (c).

Los procedimientos de prueba son los siguientes:

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

- * La prueba de voltaje de C.D. 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 y carcasas metálicas aterrizadas.

- * Asegurarse que el interruptor principal "ON-OFF" del aparato del HI-POT esté en la posición de apagado (OFF) y el interruptor de encendido de alto voltaje en la posición de voltaje (OFF) con el interruptor del control de voltaje colocado en la posición de cero antes de iniciar la prueba.

- * Conecte el aparato de prueba HI-POT asegurando el montaje de la tierra a una buena tierra eléctrica y asegurarse que las conexiones están apretadas. Nunca opere el aparato de prueba HI-POT de C.D. sin esta conexión a tierra del aparato.

- * Conecte la línea de retorno para otros conductores que no están bajo prueba a tierra y a la terminal de toma de tierra o a la protección del aparato como desea. El interruptor de aterrizado del HI-POT debe de ser cambiado a la posición adecuada. Normalmente, 100 V de aislante son requeridos en la línea de retorno. Conecte la protección y vaina a tierra y también a la terminal de tierra del aparato de prueba.

La terminal de tierra está provista por derivación de corriente debido a la corona alrededor micrométrica 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, asegúrese que las conexiones estén apretadas y sin algún borde afilado. Donde la corona de corrientes puede ser supuesta debido a la aplicación de alto voltaje es recomendado que las conexiones sean roscadas, tapadas con bolsas de plástico o usar un aro de corona o protector de corona. El extremo del cable de salida es conectado a la salida o montaje de línea del aparato de prueba.

* El cable utilizado para conectar el aparato de prueba HI-POT al cable bajo prueba, que es, la línea o cable de salida, debe ser corto y directo y sostenida a la línea del tramo de manera que no toque el suelo o aterrice materiales o superficies. En caso de extensión de cables son usados con la salida o línea hasta alcanzar el cable bajo prueba, preferiblemente deben ser utilizados cables cubiertos para este objetivo. Los cables de extensión cubiertos y el cable deben ser corridos desde el empalme cubierto y el cable del HI-POT debe ser conectado con un empalme cubierto, el cual debe ser corrido desde el empalme para evitar fugas posteriores. En caso de que el cable de extensión no sea cubierto, debe ser precavido de colocar para mantener el alambre no cubierto lejos del aterrizado así como de superficies previamente explicado.

* Cuando el cable cubierto es probado, lo recomendado es arreglar la tapa posterior alrededor de 1" para cada 10 KV. La cubierta en el aparato de prueba el extremo del cable es conectado a tierra como se explico previamente. La cubierta en el otro extremo del cable puede ser encintado y dejado pendiente sin alguna conexión hecha a este.

* El aparato de prueba ahora debe ser conectado dentro de 115 KV., 60 hertz de salida. Es importante que la C.D. que proporciona voltaje tenga una buena regulación en la línea, porque el voltaje de C.D. de salida del aparato de prueba depende de la línea de C.D. de voltaje de entrada. El rango de voltaje de prueba en KV. debe ser seleccionado antes de iniciar la prueba. La potencia puede ahora ser cambiado a encendido (ON) y la prueba empieza uno como pasos de voltaje o como prueba en marcha, no en marcha.

* Después de que la prueba es concluida, cambie el interruptor de alto voltaje del aparato de prueba a la posición de apagado (OFF). Deje el cable probado descargando a través del circuito interno del aparato de prueba o a 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.

Prueba de Alto Potencial con C.A. (Hi-Pot).

La prueba de alto potencial se hace para evaluar la condición de los devanados del transformador.

Esta prueba es recomendada para todos los voltajes, especialmente para aquellos superiores a 34.5 KV.

En mantenimiento de rutina, el voltaje de prueba no deberá exceder del 65% ya que existe la posibilidad de dañar los aislamientos de los devanados.

Esta prueba también se hace para aceptar o checar reparaciones pero aquí el voltaje de prueba se hace al 75% del valor con que se hizo la prueba de fábrica.

Los valores de prueba del alto potencial para diferentes relaciones de voltaje en transformadores se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Prueba de Alto Potencial de C.A. para Aceptación y en Mantenimiento de Rutina en Transformadores Autoenfriados en Aceite Aislante.

RELACION DE VOLTAJE (KV)	VOLTAJE APLICADO PRUEBA DE FABRICA	VOLTAJE APLICADO EN CAMPO (KV) A UN 75%	VOLTAJE APLICADO EN MTTTO DE RUTINA (KV) A UN 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

Prueba de Factor de Potencia del Aislamiento.

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

El factor de potencia puede ser representado como la relación de watts(W) dividido por los volts-amperes.

La ecuación se escribe de la siguiente forma:

$$FP = \frac{W}{EI} = \frac{EI \cos \theta}{EI}$$

Donde "E" = voltaje de fase.
"I" = Corriente Total de fase.
"θ" = Ángulo de fase entre E e I.
"W" = Watts.

Los valores aceptados en la prueba de factor de potencia para transformadores son mostrados en la tabla 3.2

TABLA 3.2 VALORES DE FACTORES DE POTENCIA PARA TRANSFORMADORES.

PRUEBA	BUENO	% DEL FACTOR DE POTENCIA	
		LIMITE	INVESTIGAR
DEVANADO H	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0
DEVANADO X	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0
ENTRE DEVANADOS	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0

Pruebas de relación de Vueltas de Transformación. (TTR).

La prueba de relación de vueltas (TTR), aplica 8V de C.A. al devanado de bajo voltaje del transformador bajo prueba y el transformador de referencia en el equipo TTR.

El devanado de alto voltaje del transformador bajo prueba y el transformador de referencia en el equipo TTR están conectados a través de un instrumento detector.

Después de que la polaridad ha sido establecida a 8V, cuando el aparato detector indica cero, la lectura que se lee, indica la relación de vueltas del transformador bajo prueba.

La prueba de relación de vueltas (TTR) proporciona la siguiente información:

- Determina la relación de vueltas y la polaridad de los transformadores monofásicos y trifásicos.

- Confirma la relación de transformación de los datos de placa del transformador.

- Determina la relación de vueltas y la polaridad (pero no la relación del voltaje) de transformadores que no tienen datos de placa. Esta prueba no incluye la posición del tap de derivaciones del transformador.

- Identifica perturbaciones en los devanados del transformador, por ejemplo si estos devanados están abiertos o en cortocircuito. Los resultados de esta prueba deberán estar adentro de un 0.5% de los datos de placa.

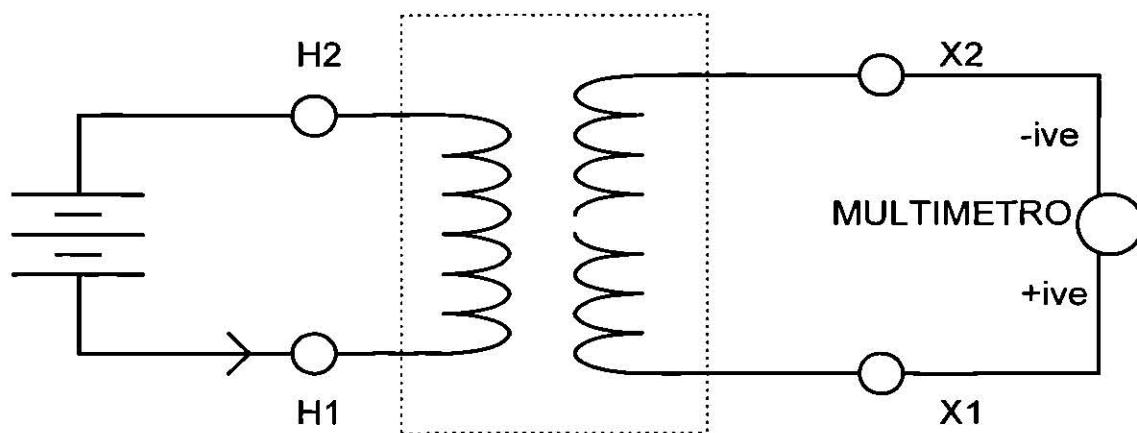
Prueba de Polaridad.

La prueba de polaridad puede hacerse con un TTR en transformadores de potencia, distribución y potencial. Sin embargo, para transformadores de corriente el TTR no es usado.

En vez de esto lo que comúnmente se hace es aplicar un voltaje C.D. a través de una batería y un multímetro.

Esta prueba con una batería de C.D: si puede utilizarse en transformadores de potencia y distribución, pero el TTR se prefiere.

La conexión para esta prueba en transformadores de corriente se indica en la figura 3.1.



El voltaje de C.D. de la batería que generalmente es usado es de 7.5V y el multímetro tiene un rango de voltaje de 3V.

Prueba de Corriente de Excitación.

La corriente de excitación de un transformador es la corriente en el primario del mismo cuando es aplicado un voltaje en este lado y el secundario se mantiene en circuito abierto.

La corriente de excitación también es conocida como la corriente en vacío del transformador.

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

En la figura 3.2 (a) se representa la fase H1-2 energizada de una conexión trifásica en Delta.

Tres medidas son hechas rutinariamente (H1-2, H2-3, H3-1) a voltajes generalmente abajo del nominal, no excediendo 2.5 o 10 KV. dependiendo de la relación que tenga el equipo de 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 está en estrella, el neutro está aterrizado normalmente.

Prueba de Potencial Inducido.

La prueba de potencial inducido es una prueba que se hace con niveles de voltaje más altos que los voltajes 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 fábrica a una frecuencia arriba de los 60 ciclos, algo así como de 200 a 300 ciclos.

La frecuencia con la que se hace prueba deberá ser de 5 años o más.

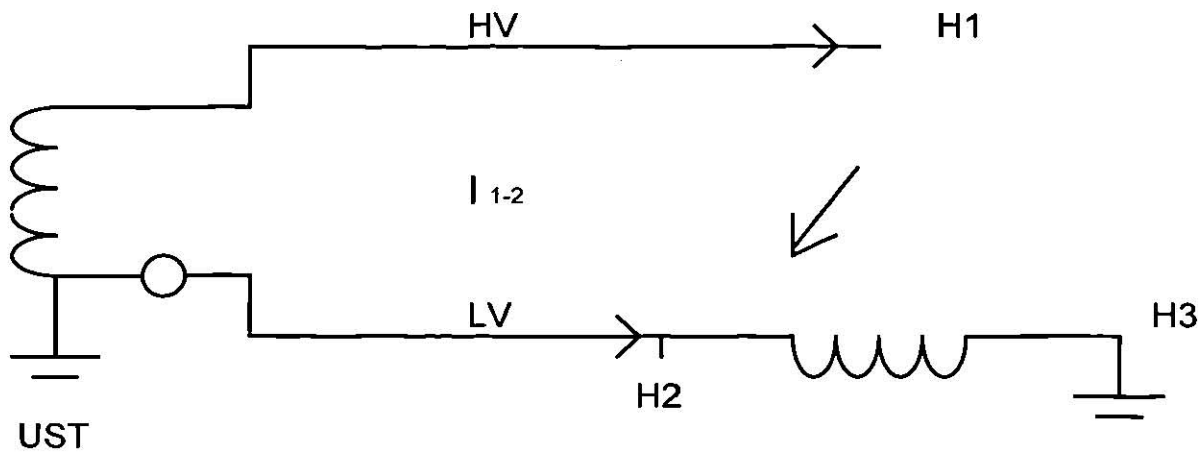
TABLA 3.3. VALORES DIELECTRICOS PARA LIQUIDOS AISLANTES EN TRANSFORMADORES

TIPOS DE LIQUIDOS	RUPTURA DIELECTRICA EN KV SATISFACTORIO	SE NECESITA REGENERAR
ACEITE	23	MENOR DE 23
ASKAREL	26	MENOR DE 25
SILICONE	26	MENOR DE 26
WECOSOL	26	MENOR DE 26

Prueba Dieléctrica ASTM D-877.

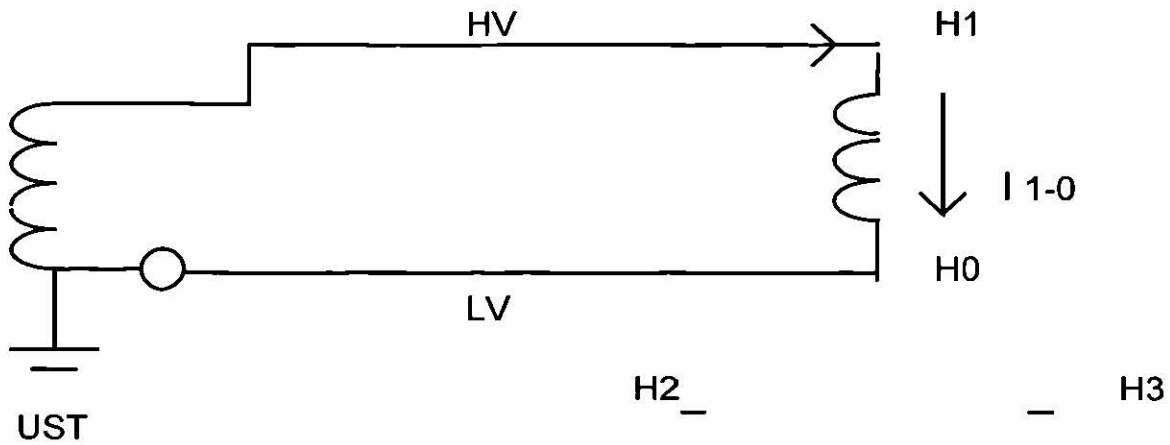
Generalmente los equipos con que va a efectuarse una prueba de rigidez dieléctrica son portátiles.

Las pruebas dieléctricas cuya ruptura esta en el orden de 40 KV., son aceptables.



le	ENERGIZADO	UST	TIERRA	FLOTADO
H1 - H2	H1	H2	H3 *	X1 X2 X3
H2 - H0	H2	H0	H1 *	X1 X2 X3
H3 - H0	H3	H0	H2 *	X1 X2 X3

(A) * Si X, X0 es aterrizado es conectado en estrella.



le	ENERGIZADO	UST	TIERRA	FLOTADO
H1 - H0	H1	H0	*	H2H3.X1X2X3
H2 - H0	H2	H0	*	H1H3.X1X2X3
H3 - H0	H3	H0	*	H1H2.X1X2X3

(B) * Si X, X0 es aterrizado es conectado en estrella.

FIGURA 3.2.

Las instrucciones y procedimientos son los siguientes:

A) Los electrodos y la copa deberán limpiarse con papel seda o gamuza que estén limpios y secos.

B) Los electrodos y la copa deberán estar libres de gasolinas o solventes utilizados en su limpieza y secado.

C) Después de haber cumplido con los incisos A) y B) la copa es llenada con el líquido aislante que se va a probar y una vez que esté completamente estático (sin burbujas), se aplica voltaje a razón de 3 KV/seg. hasta que sucede la ruptura.

D) Al comenzar cada prueba, los electrodos deben ser examinados para cerciorarse de que estén libres de impurezas, acumulación de carbón, separación de electrodos, etc.

E) Si en la prueba, la ruptura salió por abajo de los valores establecidos para que el aceite sea aceptado, los electrodos y la copa deberán ser limpiados y preparados antes de hacer una segunda prueba.

F) La rigidez dieléctrica se ve alterada por impurezas y para obtener resultados satisfactorios, el aceite debe ser filtrado varias veces hasta obtener puntos de ruptura de acuerdo con los valores mínimos establecidos.

G) La temperatura que debe haber al hacer una prueba no debe de ser menor de 20° C (68° F).

H) El voltaje aplicado comenzará de cero (0) y se incrementará uniformemente a razón de 3 KV/seg. hasta obtener el valor de ruptura.

Muestreo de Aceite de Transformadores.

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

1) Para las pruebas de rigidez dieléctrica, acidez, y tensión interfacial, con una muestra cuyo volumen sea menor a los 2 litros es suficiente.

2) Las muestras deberán ser tomadas en días secos y con poca humedad.

3) Las muestras no deberán ser tomadas en días lluviosos que tienen por consecuencia una humedad atmosférica 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.

Pruebas 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 comúnmente hecha con la ASTM D-924.

Un aceite aislante en buen estado no debe de exceder de 0.05% a 20° C.

Un factor de potencia alto en aceites o líquidos aislantes 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 aceite como askarel un factor de potencia alto es considerado como el 2%.

Un aceite nuevo se considera con un factor de potencia de 0.055 o menos a una temperatura de 20° C.

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

Las siguientes sugerencias sirven de guía para evaluar una prueba de factor de potencia:

Un aceite que tenga un factor de potencia cuyo valor se encuentre entre 0.5 a 2.0% a 20° C se considera satisfactorio.

Un aceite que tenga un factor de potencia cuyo valor sea superior al 2% a 20° C debe considerarse su regeneración.

CAPITULO III PRUEBAS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA

Los métodos de corriente alterna que se tratan en este capítulo son para transformadores, líquidos, aislantes y cables.

Las pruebas más comúnmente usadas son: la de alto potencial y la de factor de potencia.

La prueba de alto potencial se hace con voltajes superiores al voltaje nominal de operación y son pruebas de corta duración.

La prueba de factor de potencia está enfocada sobre el aislamiento del sistema y mide el coseno del ángulo entre la corriente de la carga y el voltaje aplicado.

Esta prueba tiene como base una temperatura normal de 0 °C y una humedad relativa del 70%.

Transformadores.

Las pruebas a transformadores pueden hacerse con un voltaje de C.D. o C.A. pero es preferible la prueba con C.A. porque se simula los esfuerzos internos a que se somete un transformador durante condiciones normales de operación.

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

- Prueba de Alto Potencial con C.A.(Hi-Pot).
- Prueba del Factor de Potencia de Aislamiento.
- Relación de Vueltas del Transformador. (TTR).
- Prueba de Polaridad.
- Prueba de Excitación.
- Prueba de Potencial Inducido.

Prueba de Alto Potencial con C.A.

La prueba de alto potencial se hace para evaluar la condición de los devanados del transformador.

Esta prueba es recomendada para todos los voltajes, especialmente para aquellos superiores a 34.5 KV.

En mantenimiento de rutina, el voltaje de prueba no deberá exceder del 65% ya que existe la posibilidad de dañar los aislamientos de los devanados.

Esta prueba también se hace para aceptar o checar reparaciones pero aquí el voltaje de prueba se hace al 75% del valor con que se hizo la prueba de fábrica.

Los valores de prueba del alto potencial para diferentes relaciones de voltaje en transformadores se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Prueba de Alto Potencial de C.A. para Aceptación y en Mantenimiento de Rutina en Transformadores Autoenfriados en Aceite Aislante.

RELACION DE VOLTAJE (KV)	VOLTAJE APLICADO PRUEBA DE FABRICA	VOLTAJE APLICADO EN CAMPO (KV) A UN 75%	VOLTAJE APLICADO EN MTTO DE RUTINA (KV) A UN 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

Prueba del Factor de Potencia de Aislamiento.

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

El factor de potencia puede ser representado como la relación de watts(W) dividido por los volts-amperes.

La ecuación se escribe de la siguiente forma:

$$FP = \frac{W}{EI} = \frac{E I \cos\theta}{EI}$$

Donde

- “E” = Voltaje de fase.
- “I” = Corriente Total de fase.
- “θ” = Ángulo de fase entre E e I.
- “W” = Watts.

Los valores aceptados en la prueba de factor de potencia para transformadores son mostrados en la tabla 3.2

TABLA 3.2 VALORES DE FACTORES DE POTENCIA PARA TRANSFORMADORES.

PRUEBA	BUENO	% DEL FACTOR DE POTENCIA	
		LIMITE	INVESTIGAR
DEVANADO H	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0
DEVANADO X	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0
ENTRE DEVANADOS	0.5 o MENOS	0.5 a 1.0	ARRIBA DE 1.0

Relación de Vueltas del Transformador. (TTR).

La prueba de relación de vueltas (TTR), aplica 8V de C.A. al devanado de bajo voltaje del transformador bajo prueba y el transformador de referencia en el equipo TTR.

El devanado de alto voltaje del transformador bajo prueba y el transformador de referencia en el equipo TTR están conectados a través de un instrumento detector.

Después de que la polaridad ha sido establecida a 8V, cuando el aparato detector indica cero, la lectura que se lee, indica la relación de vueltas del transformador bajo prueba.

La prueba de relación de vueltas (TTR) proporciona la siguiente información:

- Determina la relación de vueltas y la polaridad de los transformadores monofásicos y trifásicos.

- Confirma la relación de transformación de los datos de placa del transformador.

- Determina la relación de vueltas y la polaridad (pero no la relación del voltaje) de transformadores que no tienen datos de placa. Esta prueba no incluye la posición del tap de derivaciones del transformador.

- Identifica perturbaciones en los devanados del transformador, por ejemplo si estos devanados están abiertos o en cortocircuito. Los resultados de esta prueba deberán estar dentro de un 0.5% de los datos de placa.

Prueba de Polaridad.

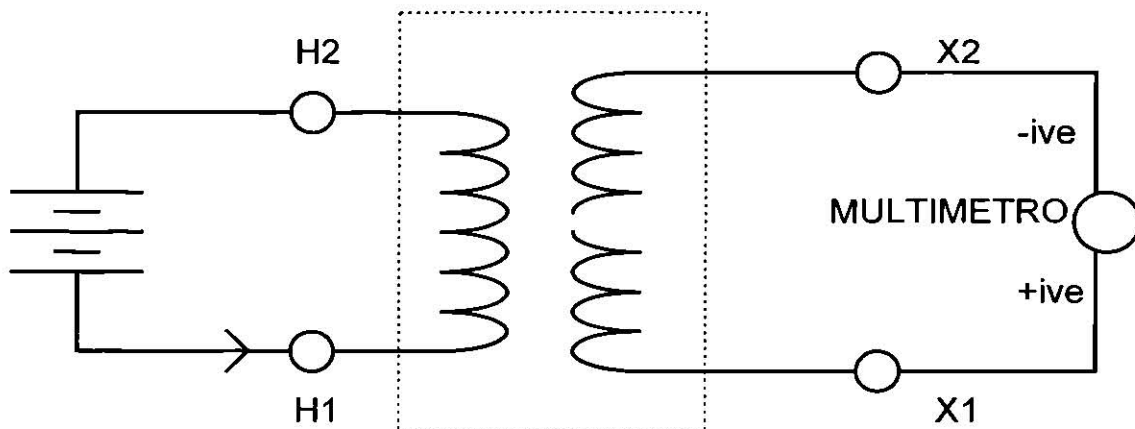
La prueba de polaridad puede hacerse con un TTR en transformadores de potencia, distribución y potencial. Sin embargo, para transformadores de corriente el TTR no es usado.

En vez de esto lo que comúnmente se hace es aplicar un voltaje C.D. a través de una batería y un multímetro.

Esta prueba con una batería de C.D. si puede utilizarse en transformadores de potencia y distribución, pero el TTR se prefiere.

La conexión para esta prueba en transformadores de corriente se indica en la figura 3.1.

El voltaje de C.D. de la batería que generalmente es usado es de 7.5V y el multímetro tiene un rango de voltaje de 3V.



Prueba de Excitación.

La corriente de excitación de un transformador es la corriente en el primario del mismo cuando es aplicado un voltaje en este lado y el secundario se mantiene en circuito abierto.

La corriente de excitación también es conocida como la corriente en vacío del transformador.

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

En la figura 3.2 (a) se representa la fase H1-2 energizada de una conexión trifásica en Delta.

Tres medidas son hechas rutinariamente (H1-2, H2-3, H3-1) a voltajes generalmente abajo del nominal, no excediendo 2.5 o 10 KV dependiendo de la relación que tenga el equipo de 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 está en estrella, el neutro está aterrizado normalmente.

Prueba de Potencial Inducido.

La prueba de potencial inducido es una prueba que se hace con niveles de voltaje más altos que los voltajes 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 fábrica a una frecuencia arriba de los 60 ciclos, algo así como de 200 a 300 ciclos.

La frecuencia con la que se hace prueba deberá ser de 5 años o más.

TABLA 3.2 DURACION DE LA PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO A DIFERENTES FRECUENCIAS

FRECUENCIA (Hz)	TIEMPO DURACION (SEGS)
120 o MENOS	60
180	40
240	30
300	20
400	18

Pruebas de Líquidos Aislantes.

Los líquidos aislantes tales como aceites, silicon, etc., son usados en transformadores, interruptores, capacitores; debido a que estos líquidos aislantes se deterioran durante su uso, es necesario monitorearlos y hacerles pruebas para determinar sus propiedades dieléctricas.

Prueba Dieléctrica en Líquidos (Cup Tests)

Esta prueba de sobre voltaje alterno es aplicado a los líquidos aislantes para determinar su punto de ruptura.

Los valores típicos se muestran en la tabla 3.3.

La prueba dieléctrica consiste simplemente en tomar una muestra del líquido aislante del transformador en un pequeño recipiente o tasa (cup) y aplicarle voltaje entre electrodos sumergidos en dicho aceite.

La prueba es repetida por lo menos 5 veces para determinar el promedio de ruptura en KV.

En líquidos como Askarel, Aceite, etc. es utilizado un recipiente (cup) que tiene en su interior los electrodos separados 2.5 mm = 0.1 pulg.

TABLA 3.3. VALORES DIELECTRICOS PARA LIQUIDOS AISLANTES EN TRANSFORMADORES

TIPOS DE LIQUIDOS	RUPTURA DIELECTRICA EN KV SATISFACTORIO	SE NECESITA REGENERAR
ACEITE	23	MENOR DE 23
ASKAREL	26	MENOR DE 25
SILICONE	26	MENOR DE 26
WECOSOL	26	MENOR DE 26

Esta es descrita paso a paso en seguida.

Prueba Dieléctrica ASTM D-877.

Generalmente los equipos con que va a efectuarse una prueba de rigidez dieléctrica son portátiles.

Las pruebas dielectricas cuya ruptura esta en el orden de 40 KV, son aceptables.

Las instrucciones y procedimientos son los siguientes:

A) Los electrodos y la copa deberán limpiarse con papel seda o gamuza que estén limpios y secos.

B) Los electrodos y la copa deberán estar libres de gasolinas o solventes utilizados en su limpieza y secado.

C) Después de haber cumplido con los incisos A) y B) la copa es llenada con el líquido aislante que se va a probar y una vez que esté completamente estático (sin burbujas), se aplica voltaje a razón de 3 KV/seg. hasta que sucede la ruptura.

D) Al comenzar cada prueba, los electrodos deben ser examinados para cerciorarse de que esten libres de impurezas, acumulación de carbón, separación de electrodos, etc.

E) Si en la prueba, la ruptura salió por abajo de los valores establecidos para que el aceite sea aceptado, los electrodos y la copa deberán ser limpiados y preparados antes de hacer una segunda prueba.

F) La rigidez dieléctrica se ve alterada por impurezas y para obtener resultados satisfactorios, el aceite debe ser filtrado varias veces hasta obtener puntos de ruptura de acuerdo con los valores mínimos establecidos.

G) La temperatura que debe haber al hacer una prueba no debe de ser menor de 20° C (68° F).

H) El voltaje aplicado comenzará de cero (0) y se incrementará uniformemente a razón de 3 KV/seg. hasta obtener el valor de ruptura.

Muestreo de Aceite de Transformadores.

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

1) Para las pruebas de rigidez dieléctrica, acidez, y tensión interfacial, con una muestra cuyo volumen sea menor a los 2 litros es suficiente.

2) Las muestras deberán ser tomadas en días secos y con poca humedad.

3) Las muestras no deberán ser tomadas en días lluviosos que tienen por consecuencia una humedad atmosférica 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.

Pruebas 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 comúnmente hecha con la ASTM D-924.

Un aceite aislante en buen estado no debe de exceder de 0.05% a 20° C.

Un factor de potencia alto en aceites o líquidos aislantes 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 aceite como askarel un factor de potencia alto es considerado como el 2%.

Un aceite nuevo se considerará con un factor de potencia de 0.055 o menos a una temperatura de 20° C.

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

Las siguientes sugerencias sirven de guía para evaluar una prueba de factor de potencia:

Un aceite que tenga un factor de potencia cuyo valor se encuentre entre 0.5 a 2.0% a 20° C se considera satisfactorio.

Un aceite que tenga un factor de potencia cuyo valor sea superior al 2% a 20° C debe considerarse su regeneración.

BIBLIOGRAFIA

**PUESTA EN OPERACION Y MANTENIMIENTO DE
SUBESTACIONES INDUSTRIALES DE ALTA TENSION
(CURSO TUTORIAL).
VOLTRAK, S.A. DE C.V.**

**FUNDAMENTOS DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y
PRUEBAS DE EQUIPOS ELECTRICOS EN LA INDUSTRIA
F . I . M . E . (U . A . N . L .)
ING. EUDOCIO RODRIGUEZ GARCIA**

