

US \$9.95
GBP £5.95

Evaluación de Estado de Equipo de Subestación



Megger

WWW.MEGGER.COM

INTRODUCCION	2	Pruebas en Corriente Alterna en otro Tipo de Aislamiento	16
TIPOS DE PRUEBAS	2	Prueba de Alto Potencial AC	16
METODOS DE PRUEBA	2	Prueba de Factor de Potencia	17
COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL AISLANTE ANTE LA INCIDENCIA DE UN CAMPO ELECTRICO	3	Prueba de Análisis de Respuesta en Frecuencia	19
PRUEBAS EN CORRIENTE CONTINUA DE EQUIPOS ELECTRICOS MAYORES	4	Ejecución de Pruebas en Corriente Alterna de Equipos Eléctricos	20
Pruebas en Corriente Continua en Aislamiento Sólido	4	Prueba de Factor de Potencia	20
Prueba de Resistencia de Aislamiento	4	Prueba de Corriente de Excitación	23
Prueba de Alto Potencial DC; Hi Pot DC	8	Prueba de Medición de Relación de Transformación, TTR	24
Prueba de Absorción Dieléctrica	8	Prueba de Polaridad	24
Prueba de Voltaje por Pasos	8	Prueba de Voltaje Inducido	24
Pruebas en Corriente Continua para otro tipo de Aislamiento	9	Pruebas en el Aceite Aislante	25
Ejecución de Pruebas en Corriente Continua de Equipos Eléctricos	9	Prueba de Subestaciones Eléctricas del Tipo Metal Enclosure	28
Prueba de Transformadores	9	Pruebas de Hi Pot AC	28
Prueba de Alto Potencial DC, Hi-Pot DC	10	Pruebas de Factor de Potencia	28
Conexión y procedimiento de Prueba	12	Prueba de Interruptores	28
Prueba de Subestaciones Eléctricas del Tipo Metal Enclosure	13	Prueba de Alto Potencial	28
Prueba de Alto Potencial DC	13	Prueba de Factor de Potencia	29
Prueba de Resistencia de Contacto	14	Prueba de Resistencia de Contactos	31
Prueba de Velocidad de Operación de Interruptores	14	Prueba del Aceite de Interruptores	31
Prueba de Aisladores Soporte y Bushings	15	Prueba de Bushings	32
Prueba de Pararrayos	15	Prueba de Pararrayos	33
Prueba de Condensadores	15	Pruebas de Hi Pot AC	33
PRUEBAS EN CORRIENTE ALTERNA DE EQUIPOS ELECTRICOS MAYORES	16	Pruebas de Factor de Potenci	33
Pruebas en Corriente Alterna para Equipos con Aislamiento Sólido	16	Prueba de Condensadores	34
Prueba de Alto Potencial AC (Hi-Pot AC)	16	Prueba de Cables y Copas Terminales	34
Prueba de Factor de Potencia	16	Prueba de Factor de Potencia	34
		Bibliografía	35

INTRODUCCION

Las pruebas de los equipos eléctricos tienen como fin verificar las condiciones en que estos se encuentran. Sirven para mantener la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico.

TIPOS DE PRUEBAS

Las pruebas eléctricas se denominan según el equipo y lugar donde estas se realicen.

Por tanto existen pruebas en fábrica, pruebas de aceptación, pruebas de mantenimiento predictivo y pruebas especiales de mantenimiento.

Pruebas de Fábrica: Tienen como objeto verificar las características, condiciones de operación y la calidad de fabricación del equipo antes de ser entregados al cliente. Pueden ser supervisadas por el cliente.

Pruebas de Aceptación: Son conocidas como las pruebas de las pruebas. Se realizan sobre equipos nuevos después de ser instalados y antes de ser energizados, también se debe efectuar en todo equipo que ha sido intervenido para realizar reparaciones mayores. Tienen como objeto lo siguiente:

- Verificar que el equipo cumple con lo especificado.
- Establecer referencias para pruebas futuras.
- Determinar si la instalación del equipo es la correcta.

Pruebas de Mantenimiento Predictivo: Se ejecuta en intervalos regulares durante la vida útil del equipo. Su objetivo consiste en verificar si un equipo se encuentra en condiciones de operación adecuadas y detectar a tiempo fallas que pudieran afectar esta situación.

Pruebas Especiales de Mantenimiento: Se realizan cuando existen sospechas o certeza de que el equipo se encuentra en problemas. También se ejecutan sobre equipos sometidos a condiciones extremas.

METODOS DE PRUEBA

Existen pruebas para equipos con aislamiento sólido, líquido, gas o una combinación de ellos. Estas pruebas pueden ser en corriente continua y en corriente alterna, también pueden catalogarse como pruebas destructivas y pruebas no destructivas.

Pruebas de Corriente Continua: Como su nombre lo indica, son pruebas que se realizan aplicando voltaje o corriente continua (DC). Entre estas pruebas se pueden mencionar: Pruebas de alto potencial, pruebas de resistencia de aislamiento y pruebas de medición de resistencias.

Ventajas

- a) Los esfuerzos eléctricos en corriente continua son considerados menos dañinos que los correspondientes a corriente alterna. (No existe inversión de polaridad)
- b) El tiempo de aplicación de energía continua (DC) no es tan crítico como en el caso de la aplicación de energía alterna AC.
- c) La prueba puede ejecutarse progresivamente de forma tal que cualquier variación súbita de la corriente de fuga, que pudiera indicar una falla en el aislamiento del equipo, permitiría parar la prueba.

Desventajas

- a) La distribución de los esfuerzos eléctricos en máquinas eléctricas sometidas a señales de prueba en corriente continua, son diferentes a los existentes cuando se aplica corriente alterna.
- b) La carga residual remanente luego de una prueba en DC puede causar daño al operador y debe ser descargada al finalizar la prueba. El efecto de polarización debe ser considerado.

Pruebas de Corriente Alterna: Son pruebas que con excepción a la de alto potencial AC, producen esfuerzos eléctricos similares a los existentes bajo condiciones de operación del equipo. Entre este tipo de pruebas podemos mencionar: Pruebas de Alto Potencial, pruebas de factor de potencia, pruebas de relación de transformación y pruebas de análisis de respuesta en frecuencia: FRA

Ventajas

- a) No queda carga residual luego de efectuar la prueba. El equipo bajo prueba no queda polarizado.
- b) Permite verificar el aislamiento y las propiedades electromagnéticas de los diferentes arrollados de las máquinas eléctricas.

Desventajas

- a) Algunas pruebas en corriente alterna como Hi Pot AC y VLF pudieran ser destructivas.
- b) El tiempo de aplicación del voltaje puede ser crítico.

Las pruebas destructivas son del tipo en el cual se aplica voltaje o corriente hasta que el sujeto bajo prueba falle. Conducidas con el propósito de establecer la robustez de cierto diseño; se toma nota del nivel de energía bajo el cual el equipo llega a fallar.

Las pruebas no destructivas generalmente se efectúan a niveles de voltaje bajos donde el equipo bajo prueba rara vez resulta dañado.

COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL AISLANTE ANTE LA INCIDENCIA DE UN CAMPO ELECTRICICO

En teoría, un material aislante no debería dejar conducir la corriente eléctrica. En la práctica, existe una pequeña corriente que circula por el material aislante que posee los siguientes componentes:

- Corriente de Fuga Superficial
- Corriente de Absorción Dieléctrica
- Corriente de Descarga Parcial
- Corriente Capacitiva de Carga
- Corriente de Fuga Volumétrica

Corriente de Fuga Superficial: Es aquella que aparece como consecuencia de la conducción existente en la superficie del aislamiento. Esta corriente circula por varios factores entre los que podemos mencionar: La contaminación y la humedad acumulada en la superficie del material a través del cual pasa el campo eléctrico.

Corriente de Absorción Dieléctrica: Corriente que aparece como consecuencia del proceso de polarización del material aislante (Orientación de cargas en el sentido del campo eléctrico), este fenómeno disminuye a medida que culmina el desplazamiento interno de cargas.

La corriente de absorción dieléctrica viene dada por:

$$i_a = V \times C \times D \times T^{-n}$$

donde:

- ia: Corriente de Absorción dieléctrica
- V: Voltaje de Prueba en Kilovoltios
- C: Capacitancia del equipo bajo prueba, en microfaradios
- D: Constante de Proporcionalidad
- T: Tiempo en Segundos
- n : Constante

Corriente de Descarga Parcial: También es conocida como la corriente por efecto corona o efecto punta. Estas típicamente se producen por tensiones eléctricas que aparecen alrededor de las puntas o esquinas del material conductor, sometido a un voltaje alto. También, pueden ser causadas por partículas conductoras/semiconductoras suspendidas en el dieléctrico que separan dos electrodos a diferentes potenciales.

Corriente Capacitiva de Carga: Corriente que aparece como consecuencia de la carga del capacitor que intrínsecamente se forma por el aislamiento que separa las partes energizadas entre si y entre las partes energizadas y la carcasa dentro del equipo eléctrico, esta corriente se incrementa a medida que se incrementa el voltaje DC y puede ser calculada según:

$$i_g = [E \times e^{-(t/rc)}/R]$$

donde:

- ig: Corriente de Carga Capacitiva
- E: Voltaje en Kilovoltios
- R: Resistencia en Megaohmios
- C: Capacitancia en microfaradios
- t : Tiempo en Segundos

La corriente de carga capacitiva es función del tiempo y decrece a medida que este transcurre, es decir, esta corriente posee valores iniciales muy altos que disminuyen a medida que transcurre el tiempo y el aislamiento se ha cargado al voltaje pleno.

Corriente de Fuga Volumétrica: Es la corriente que fluye a través del volumen del material y es la corriente que se utiliza para evaluar las condiciones de aislamiento bajo prueba. Se requiere que la inyección de voltaje se realice por un tiempo determinado para poder medir el valor de esta corriente.

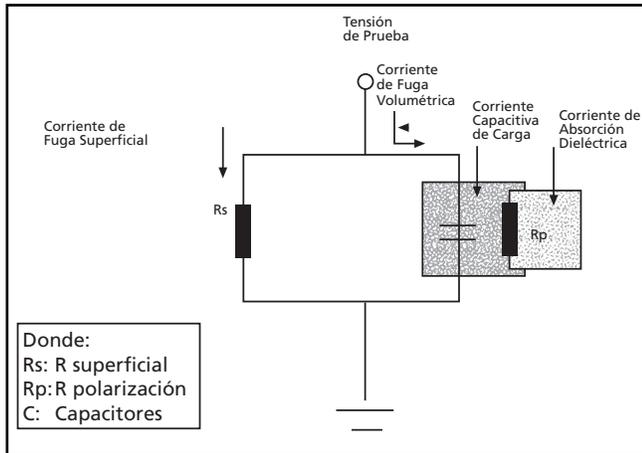


Figura 1

Corrientes en un Dieléctrico ante un Campo Eléctrico DC

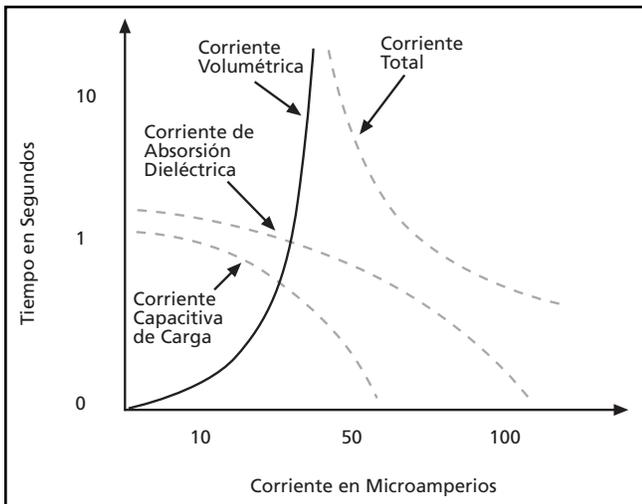


Figura 2

Corrientes de Fuga bajo un Campo Eléctrico DC

PRUEBAS EN CORRIENTE CONTINUA DE EQUIPOS ELECTRICOS MAYORES

Tal y como lo indicamos en el capítulo 3, las pruebas en corriente continua poseen una serie de ventajas logísticas y de seguridad sobre algunas de las pruebas en corriente alterna. A continuación describiremos los tipos de pruebas que se pueden realizar en corriente continua, así como las recomendaciones para realizar las pruebas en diferentes tipos de equipos.

Pruebas en Corriente Continua en Aislamiento Sólido

Los aislamientos sólidos son materiales utilizados en varios niveles de voltajes, que proveen un alto nivel de aislamiento y una capacidad importante de disipación de calor. Se comportan como materiales dieléctricos que previenen el flujo de electricidad entre puntos de diferente potencial. Se han utilizado para este propósito resinas epóxicas, porcelana, vidrio y polímeros base EPR, silicona o elastómeros termoplásticos.

Dos tipos de prueba en DC pueden ser conducidas en aislamiento sólido:

- Prueba de Resistencia de Aislamiento
- Prueba de Hi-Pot DC

Prueba de Resistencia de Aislamiento

Esta prueba se conduce con equipos que aplican voltajes entre 100 y 15000 voltios para algunos fabricantes y hasta 200000 voltios para otros fabricantes. El equipo empleado es un medidor de alta resistencia (en el rango de MegaOhmios) cuyo propósito es establecer la resistencia de aislamiento.

La calidad del aislamiento es evaluada según el valor obtenido. La resistencia de aislamiento también depende de factores externos al sujeto bajo evaluación estos pueden ser la temperatura, humedad y otros factores ambientales. Para máquinas rotativas y transformadores las lecturas deben ser corregidas a 20 grados centígrados, algunos autores sugieren corregir a 40 grados centígrados. Para cables las lecturas deben ser corregidas a 15,6 grados centígrados, según lo indicado en la tabla No 1.

TEMP.		ROTATING EQUIP.		CABLES										
°C	°F	CLASS A	CLASS B	Transformador de Acíete	CABLES									
					Código Natural	Código GR-S	Rendimiento Natural	Calor Resistencia Natural	Calor Resist. y Rend. de GR-S	Ozono Resist. y GR-S Natural	Cambrico Embarnizado	Papel Impregnado		
0	32	0.21	0.40	0.25	0.25	0.12	0.47	0.42	0.22	0.14	0.10	0.28		
5	41	0.31	0.50	0.36	0.40	0.23	0.60	0.56	0.37	0.26	0.20	0.43		
10	50	0.45	0.63	0.50	0.61	0.46	0.76	0.73	0.58	0.49	0.43	0.64		
15.6	60	0.71	0.81	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
20	68	1.00	1.00	1.00	1.47	1.83	1.24	1.28	1.53	1.75	1.94	1.43		
25	77	1.48	1.25	1.40	2.27	3.67	1.58	1.68	2.48	3.29	4.08	2.17		
30	86	2.20	1.58	1.98	3.52	7.32	2.00	2.24	4.03	6.20	8.62	3.20		
35	95	3.24	2.00	2.80	5.45	14.60	2.55	2.93	6.53	11.65	18.20	4.77		
40	104	4.80	2.50	3.95	8.45	29.20	3.26	3.85	10.70	25.00	38.50	7.15		
45	113	7.10	3.15	5.60	13.10	54.00	4.15	5.08	17.10	41.40	81.00	10.70		
50	122	10.45	3.98	7.85	20.00	116.00	5.29	6.72	27.85	78.00	170.00	16.00		
55	131	15.50	5.00	11.20			6.72	8.83	45.00		345.00	24.00		
60	140	22.80	6.30	15.85			8.58	11.62	73.00		775.00	36.00		
65	149	34.00	7.90	22.40				15.40	118.00					
70	158	50.00	10.00	31.75				20.30	193.00					
75	167	74.00	12.60	44.70				26.60	313.00					

*Corregidos a 20C para equipo rotatorio y transformadores; a 15.6C para cables.

Tabla 1
Factores de Corrección por Temperatura
 (Tabla tomada del libro "Más vale prevenir" de Megger)

El resultado de esta prueba tiene mayor poder predictivo si se compara con resultados de un registro histórico de pruebas efectuadas. De esta forma, se puede verificar la tendencia del nivel de aislamiento.

Un valor puntual de la resistencia de aislamiento pudiera ser insuficiente para indicar la fortaleza o debilidad del aislamiento. Un valor bajo en la resistencia de aislamiento pudiera indicar contaminación o la existencia de un problema que pudiera causar daños a corto plazo.

Para medir la resistencia de aislamiento o el nivel de aislamiento, pueden emplearse los siguientes procedimientos de prueba:

- a) Prueba de Corto Tiempo o Lectura Puntual
- b) Método Tiempo Resistencia
- c) Método de Voltaje por Pasos
- d) Relación de Absorción Dieléctrica
- e) Índice de Polarización
- f) Prueba de Descarga Dieléctrica

a) Prueba de Corto Tiempo o Lectura Puntual

Se conecta el equipo de medición de aislamiento en DC, al equipo al cual se le efectuará la prueba. Se efectúa una inyección de corto tiempo, entre 30 y 60 segundos.

El valor obtenido en la prueba, tiene mayor validez si se compara con valores obtenidos en pruebas anteriores del mismo equipo o con valores obtenidos en pruebas realizadas a equipos similares. Los valores a comparar deben estar referidos a 20° centígrados.

Si el equipo bajo prueba posee una capacitancia baja, una prueba puntual es más que suficiente para evaluar las condiciones del aislamiento. Sin embargo, la mayoría de los equipos eléctricos mayores poseen una capacitancia alta, por lo que una prueba rápida no es suficiente para hacer una evaluación de la condición del aislamiento.

b) Método Tiempo Resistencia

Este método es casi independiente de la temperatura. Con tomas de medidas consecutivas se puede arrojar información concluyente respecto al aislamiento sin contar con registros anteriores.

La prueba se basa en el efecto de absorción dieléctrica del buen aislamiento. En un buen aislamiento la corriente de absorción dieléctrica decrece a medida que el tiempo de prueba transcurre, esto se traduce en un aumento en la resistencia de aislamiento.

En un mal aislamiento, la corriente de absorción dieléctrica se mantiene durante el tiempo de prueba.

Durante la ejecución de la prueba se toman lecturas puntuales en tiempos específicos, registrando los diferentes valores obtenidos.

En la figura 3 podemos observar las diferencias entre un buen aislamiento y un mal aislamiento. En un buen aislamiento, la resistencia de aislamiento aumenta al transcurrir el tiempo, contrario a lo que ocurre en un mal aislamiento donde el valor de la resistencia se mantiene constante.

También es usual efectuar cocientes entre lecturas tomadas a diferentes intervalos de tiempo. Estos cocientes se denominan relación de absorción dieléctrica e índice de polarización. El cociente entre lecturas de resistencia de aislamiento tomadas a 60 segundos y a 30 segundos se denomina: "Relación de Absorción Dieléctrica".

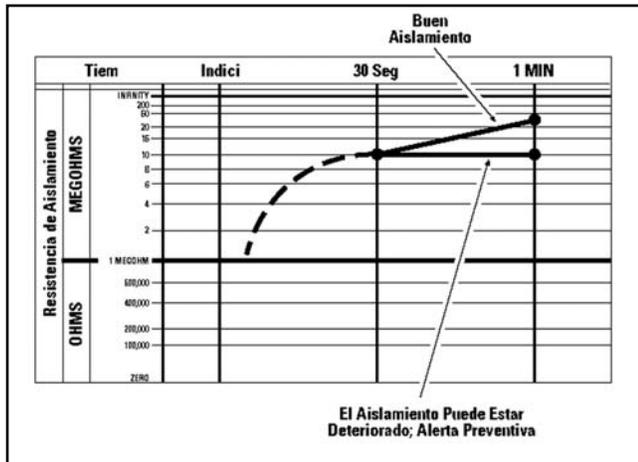


Figura 3

Trazo típico de una prueba tiempo resistencia
(Figura tomada del libro "Más vale prevenir" de Megger)

RAD = Resistencia leída a 60 segundos/Resistencia leída a 30 segundos.

Condición del aislamiento	Relación 60/30 segundos	Relación 10.1 min, IP (Índice de Polarización)
Peligroso	-	Menos de 1
Dudoso	1,0 a 1,25	1,0 a 2***
Bueno	1,4 a 1,6	2 a 4
Excelente	Arriba de 1,6**	Arriba de 4**

*Estos valores se deben considerar tentativos y relativos - sujetos a la experiencia con el método tiempo - resistencia en un periodo de tiempo.

Tabla 2

Valores de Referencia para los Indices RAD e Ip
(Tabla tomada del libro "Más vale prevenir" de Megger)

Estos valores deben considerarse como una orientación. La definición de índice de polarización (Ip) será descrita más adelante.

c) Método del Voltaje por Pasos

Para realizar esta prueba, se requiere un instrumento para medición de resistencia de aislamiento capaz de inyectar voltajes múltiples. Se debe medir la resistencia de aislamiento, en dos o más niveles de voltajes. El objetivo de la prueba consiste en verificar si el valor de la resistencia de aislamiento se incrementa a medida que se incrementa el voltaje.

Una disminución en los valores medidos, a medida que el voltaje se incrementa, muestra un deterioro en el aislamiento producto de envejecimiento, daños del equipo o contaminación.

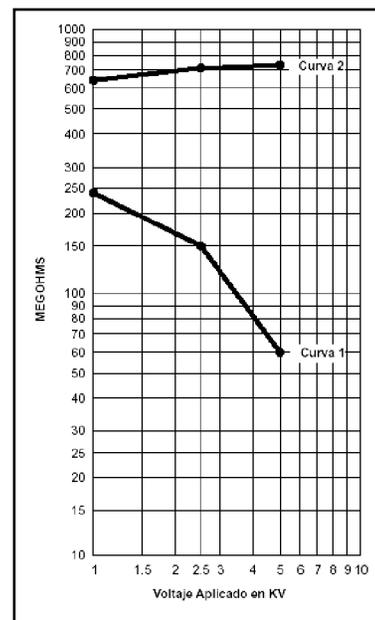


Figura 4

Prueba Tiempo Resistencia
(Figura tomada del libro "Más vale prevenir" de Megger)

Cuando el voltaje se incrementa, se producen esfuerzos eléctricos que se aproximan o exceden los valores de operación del equipo, la parte debilitada del aislante afecta el valor de la resistencia total de aislamiento. A medida que se incrementa el voltaje, aumentan los esfuerzos eléctricos sobre las partes de menor aislamiento, lo cual se traduce en una disminución del valor de la resistencia de aislamiento.

La curva No 1 de la figura 4 muestra este fenómeno.

d) Prueba de Absorción Dieléctrica

La prueba de absorción dieléctrica se conduce al nivel de voltaje nominal del equipo. El resultado de esta prueba consiste en realizar el cociente del valor de resistencia de aislamiento tomada a los 60 segundos y el valor de resistencia de aislamiento tomada a los 30 segundos. Algunos fabricantes y autores sugieren realizar el cociente entre el valor de resistencia de aislamiento tomada a los tres minutos y el valor de resistencia de aislamiento tomado a los 30 segundos.

La prueba mide la calidad del aislamiento. Si el aislamiento se encuentra en buenas condiciones el valor de la resistencia de aislamiento se incrementa a medida que transcurre el tiempo.

e) Índice de Polarización

Es una aplicación especial de la relación de absorción dieléctrica donde las lecturas de resistencia de aislamiento se realizan a 10 minutos y a 1 minuto. Esta medición es válida para aislantes que utilicen materiales de fácil polarización, como Mica-Asfalto.

$I_p = \text{Medición de la resistencia a 10 minutos} / \text{Medición de la resistencia a 1 minuto}$

Para nuevos materiales aislantes, esta prueba pudiera detectar humedad o contaminación. La tabla No 2 muestra valores referenciales para esta prueba.

f) Prueba de Descarga Dieléctrica

Esta prueba permite detectar el deterioro, envejecimiento, humedad y suciedad dentro del aislamiento. Los resultados dependen de la característica de descarga del aislamiento lo que permite probar la condición interna del mismo. La prueba es independiente de la contaminación que puede haber en la superficie del aislamiento. El procedimiento de prueba es el siguiente:

El equipo bajo prueba se energiza a un valor de voltaje por un tiempo entre 10 y 30 minutos, al culminar el tiempo de inyección se introduce una resistencia de descarga entre los terminales del equipo bajo prueba. La velocidad de descarga depende exclusivamente de la resistencia de descarga, de la cantidad de carga acumulada y de la polarización del aislante.

La corriente capacitiva decae rápidamente ya que la constante de tiempo del circuito RC es relativamente pequeña. La corriente de reabsorción posee un valor inicial alto, pero tiene una constante de tiempo grande (algunos minutos). Esta corriente tiene su origen en la realineación de las cargas que antes se encontraban polarizadas.

La lectura de la prueba de descarga dieléctrica se ejecuta 1 minuto después de haber introducido la resistencia de descarga, transcurrido este tiempo, la corriente capacitiva es insignificante respecto a la corriente de reabsorción.

El nivel de corriente de reabsorción indica la condición del aislamiento, una alta corriente de reabsorción indica que el aislamiento se encuentra contaminado, usualmente con humedad. Baja corriente indica que el aislamiento está limpio y que no posee mucha humedad.

La prueba de descarga dieléctrica depende de la temperatura, razón por la cual es importante registrar la misma.

El indicador que muestra el comportamiento viene dado por:

$$DD = \frac{\text{Corriente fluyendo luego de un minuto (en nA)}}{[\text{Voltaje de Prueba (en V)} \times \text{Capacitancia (en mf)}]}$$

Para valores de capacitancia entre 0,2 y 10 microfaradios los valores referenciales se encuentran según lo indicado en la tabla No 3.

DD Resultante	Condición del Aislamiento
Mayor a 7	Malo
Mayor a 4	Pobre
Entre 2 y 4	Cuestionable
Menor de 2	Bueno

Tabla 3

Valores Referenciales de la Prueba Descarga Dieléctrica¹

Algunos equipos para la medición de resistencia de aislamiento, marca Megger, ejecutan buena parte de las pruebas antes descritas. La figura 5 muestra uno de estos equipos.

¹ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de pruebas de su empresa.



Figura 5
Equipo S1-552 de 5 KV
Marca Megger

Varios equipos diseñados para la medición de la resistencia de aislamiento están equipados con terminales de guarda. El propósito de este terminal es proporcionar la facilidad de efectuar mediciones con tres terminales, de tal forma que una de las corrientes, de las que fluyen por dos posibles

trayectorias, no sea considerada. Contar con un tercer terminal de prueba (terminal de guarda) y conectar la misma en un punto estratégico del equipo bajo prueba, permite evitar la medición de la corriente que circula por espacios específicos del equipo. Este método permite enfocar la tarea de medición a geometrías de interés específico dentro del ensamblaje completo del equipo. Esto implica que solo se mide la corriente que circula por la parte del equipo que excluye geometrías o superficies entre la terminal de guarda y la terminal de alto voltaje.

La figura 6 muestra como se logra guardar la corriente superficial de un aislador utilizando una banda de neopreno alrededor del mismo.

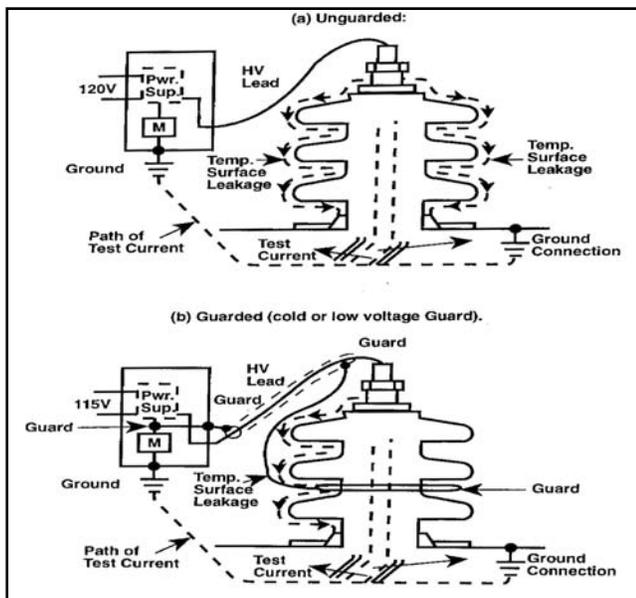


Figura 6
Uso del Terminal de Guarda
(Figura tomada de "The Lowdown on High - Voltage DC Testing" Megger)

Prueba de Alto Potencial DC; Hi Pot DC

La prueba de Hi Pot DC tiene como objeto verificar la rigidez dieléctrica de un material aislante.

La rigidez dieléctrica de un material aislante se define como el máximo gradiente de potencial que un material puede soportar sin que exista perforación o canales de conducción en el mismo. Esta es calculada a partir de los voltajes de ruptura y del espesor del aislante en el punto de ruptura o en un punto cercano a él.

La rigidez dieléctrica se expresa normalmente en términos de gradiente de voltaje en unidades tales como voltios por milímetros o Kilovoltios por centímetros. La rigidez dieléctrica de un sistema aislante determina el nivel de voltaje al cual el equipo puede operar. También determina cuanto sobrevoltaje continuo o instantáneo puede soportar.

La prueba se ejecuta colocando un voltaje mayor al voltaje nominal de 60 Hz, es decir, (mayor a 1,41 Voltaje nominal fase a tierra o fase -fase RMS) entre los terminales del equipo bajo prueba. La prueba es considerada como una prueba de riesgo medio y es preferible a la equivalente en AC. Permite detectar impurezas o humedad en el equipo que se encuentra bajo prueba.

Los equipos para ejecutar la prueba de Hi Pot DC deben tener la capacidad de variar el voltaje continuamente, desde cero hasta el valor requerido, midiendo la corriente que circula por el aislamiento. El micro amperímetro debe tener el número suficiente de rangos y la sensibilidad que permita tomar lecturas desde varios microamperios hasta algunos miliamperios.

Dos tipos de pruebas son posibles de implantar utilizando Alto potencial en DC; (Hi-Pot DC).

Prueba de Absorción Dieléctrica

Prueba de Voltaje por Pasos

Prueba de Absorción Dieléctrica

Se incrementa gradualmente el valor de voltaje hasta alcanzar el valor deseado en un período que puede estar entre 60 y 90 segundos. Una vez alcanzado el nivel requerido, debe mantenerse por 5 minutos, tomando lecturas de corriente cada minuto.

Prueba de Voltaje por Pasos

En este caso, el máximo voltaje se alcanza incrementando el mismo en varias etapas (Usualmente no menos de ocho), en cada etapa el voltaje debe mantenerse por un tiempo determinado, el mismo para todas las etapas, este tiempo debe estar comprendido entre 5 y 15 minutos. Al final de cada etapa o al alcanzar

la corriente un valor estable, se registra el valor de la corriente.

Cada vez que se alcanza una nueva etapa de voltaje, el valor de la corriente de fuga se incrementará temporalmente.

Nota Importante

En caso de percibir un incremento súbito de la corriente, transitorio, la prueba deberá ser abortada para evitar daños en el equipo.

El resultado de la prueba es una curva Voltaje vs Corriente se debe comparar con otros registros tomados previamente, tal y como se observa en la figura No 7.

Es importante tomar la temperatura ambiente en el momento de efectuar la prueba, de igual forma se recomienda hacer la prueba de lectura puntual y la de absorción dieléctrica antes de la prueba de voltaje por pasos.

Al culminar la prueba, el equipo bajo prueba debe ser descargado utilizando una pértiga aislante cuyo terminal posee una conexión a una tierra efectiva.

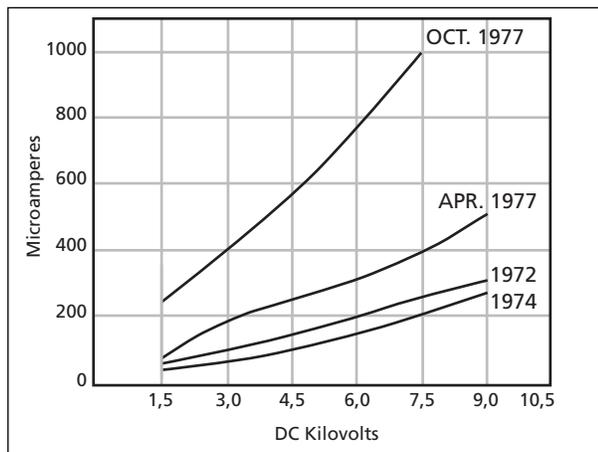


Figura 7
Prueba de Voltaje por Pasos

(Figura tomada de la publicación "An Introduction to the Testing of Insulation System in Electrical Apparatus"; Baker)



Figura 8
Equipo Hi-Pot AC/DC 230425 de Megger

Pruebas en Corriente Continua para otro tipo de Aislamiento

El desarrollo tecnológico ha evolucionado hacia el uso de otros elementos diferentes al aislamiento sólido en equipos eléctricos de potencia. Elementos como: Aire, aceite, SF₆ y el vacío son utilizados como aislamiento de equipos eléctricos.

Las pruebas en corriente continua en estos equipos, básicamente son las mismas que se describieron como pruebas para equipos eléctricos con aislamiento sólido y las mismas se realizan como pruebas de aceptación y de mantenimiento, con excepción de las pruebas tiempo resistencia que no aplican en sistemas aislados con aceite o gas.

Ejecución de Pruebas en Corriente Continua de Equipos Eléctricos

A continuación se describirán los procedimientos recomendados en las pruebas de algunos de los equipos que integran una subestación eléctrica. La información obtenida de estas pruebas indicará la necesidad de mantenimiento correctivo, reemplazo del equipo bajo prueba o la confirmación de que el equipo puede ser energizado sabiendo que la posibilidad de falla durante la puesta en servicio, será mínima.

Los equipos eléctricos pueden agruparse en dos grandes grupos, aquellos que poseen baja capacitancia y los que poseen una alta capacitancia.

Las barras de alto voltaje y los interruptores son ejemplos de equipos con capacitancia baja. En estos casos la corriente de absorción dieléctrica y la corriente capacitiva decrecen muy rápidamente. Una simple prueba de medición de resistencia de aislamiento es suficiente ya que el valor obtenido se estabilizará rápidamente.

Por otra parte en los equipos con alta capacitancia, la corriente de absorción y la corriente capacitiva decrecen lentamente razón por la cual resulta muy difícil obtener una lectura estable en forma rápida. Por lo tanto este tipo de equipos requiere de métodos de medición que muestren tendencias, tal y como ocurre con las pruebas de tiempo corriente.

Prueba de Transformadores

Las pruebas DC efectuadas sobre transformadores son catalogadas como pruebas no concluyentes. Proveen información respecto a las condiciones de los arrollados, contenido de humedad y carbonización.

Las fallas en transformadores son muchas veces producto de la degeneración de una falla incipiente, por lo que una prueba de mantenimiento predictivo pudiera detectarla a tiempo y así evitar que un daño mayor ocurra en el momento menos indicado.

Entre las pruebas en corriente continua que pueden efectuarse sobre un transformador podemos indicar:

Medición de Resistencia de Aislamiento

Esta prueba trata de determinar si existe un camino de baja resistencia en el aislamiento del transformador.

Los resultados de esta prueba se verán afectados por factores como temperatura, humedad, voltaje de prueba y tamaño del equipo.

Esta prueba debe realizarse antes de energizar un transformador, en rutinas de mantenimiento, bajo sospecha de falla de un equipo, antes y después de desarmar un transformador.

Todos los resultados deben ser referidos a 20 grados centígrados, según lo indicado en la tabla 1.

Esta prueba no es concluyente y solo debe ser tomada como una prueba de aislamiento adicional.

Procedimiento de Prueba

- a) No desconecte la conexión de tierra del transformador, asegúrese que el mismo se encuentren efectivamente puesto a tierra.
- b) No efectúe pruebas de resistencia de aislamiento si el transformador no posee los niveles adecuados de aceite, la rigidez dieléctrica del aire es menor que la del aceite.
- c) Desconecte el transformador tanto del lado de alto voltaje, bajo voltaje y terciario, en caso de que exista. También deben ser desconectados los pararrayos y cualquier otro dispositivo conectado a los arrollados del transformador.
- d) Cortocircuite entre si los terminales de alta del transformador, lo mismo debe hacerse entre los terminales de baja y con los terminales del terciario, en caso de existir. Se deberá verificar que los cables utilizados para el cortocircuito se encuentran aislados de todas las partes metálicas o puestas a tierra.
- e) Utilice un Megaóhmetro con una escala como mínimo de 20000 Megaóhmios.

- f) La medición de la resistencia de aislamiento debe hacerse según lo siguiente:

Lado de Alto Voltaje contra Lado de Bajo Voltaje.

Lado de Alto Voltaje contra Lado Terciario
(En caso de existir).

Lado de Bajo Voltaje contra Lado Terciario.

Lado de Alto Voltaje, Bajo Voltaje y Terciario cada uno contra Tierra.

El voltaje de prueba no debe superar el equivalente pico fase - fase o fase - tierra, según sea el esquema de conexión utilizado. Es decir, 1,41 por el valor de voltaje RMS.

- g) De acuerdo a los resultados que puedan obtenerse, se puede utilizar uno o más métodos de los descritos en el capítulo 5.

Análisis de Resultados

Los valores de resistencia de aislamiento esperados para transformadores en sistemas comprendidos entre 6 kV y 69 kV, a 20 grados centígrados, se encuentran entre 400 y 1200 MegaOhmios. Para otros valores de temperatura hay que considerar las siguientes reglas:

Por cada 10 grados de incremento de temperatura divida entre dos el valor de la resistencia obtenida.

Por cada 10 grados de disminución de temperatura multiplique por dos el valor de la resistencia obtenida.

Para cualquier otro valor de incremento o disminución de la temperatura favor utilice el valor que corresponde según lo indicado en la tabla No 1.

Prueba de Alto Potencial DC, Hi-Pot DC

La prueba de alto potencial DC sugiere aplicar una tensión mayor al voltaje nominal del equipo, con el fin de evaluar la condición del aislamiento del mismo. Esta prueba no se recomienda para transformadores con niveles de tensión superiores a 34,5 kV. En general esta prueba no es común en las pruebas de mantenimiento predictivo, por la posibilidad de daño que pudiese ocasionar la inyección del voltaje de prueba.

Esta prueba debe ejecutarse en pruebas de aceptación del transformador, ya sea nuevo o reparado.

Si se quiere conducir la prueba de Hi-Pot DC en labores de mantenimiento predictivo se debe aplicar el 65% del valor de prueba en fábrica, es decir, el 65% de 1,6 veces la tensión nominal del equipo, es decir, el 104% de la tensión de prueba de fábrica pero en DC. La tabla 4 muestra estos valores para transformadores de hasta 34,5 kV.

Voltaje Nominal (en kV)	Voltaje AC de Prueba en Fábrica (en KV)	Voltaje DC para Mantenimiento (en KV)
1,20	10	10,40
2,40	15	15,60
4,80	19	19,76
8,70	26	27,04
15,0	34	35,36
18,0	40	41,60
25,0	50	52,00
34,5	70	72,80

Tabla 4

Valores de Tensión de Prueba para Mantenimiento Predictivo de Transformadores de Potencia Sumergidos en Aceite²
Tomado del libro Electrical Equipment, Testing & Maintenance, A.S. Gil Pag. 235

El método para efectuar la prueba es el denominado voltaje por pasos según lo explicado en el punto 5.1.2.2 de este documento.

Procedimiento de Prueba

- El transformador debe haber pasado la prueba de resistencia de aislamiento antes de proceder con esta prueba.
- Asegure que la cuba del transformador esté correctamente conectada a tierra.
- Desconecte todo aquello que se encuentre conectado al lado de alta, lado de baja y el terciario en caso de que exista.
- Cortocircuite los terminales de alta entre si, también los terminales de baja y los del terciario.
- Conecte los terminales del equipo de prueba al lado de alta e incremente gradualmente el voltaje hasta el valor deseado. Utilice el procedimiento de voltaje por pasos, antes descrito. En este caso conecte los terminales de baja y terciario a tierra.
- Al finalizar disminuya gradualmente el voltaje a cero.

- Remueva la conexión a tierra del lado de baja y conéctelo al lado de alta.
- Antes de desconectar y cambiar los puntos de prueba, recuerde descargar el equipo contra tierra, utilizando la barra de descarga a tierra.
- Repita los pasos e y f, pero conectado el equipo de prueba en el lado de baja del transformador.
- Desconecte el lado terciario de tierra y conecte a tierra los lados de alta y baja del transformador, recuerde descargar el transformador antes de la desconexión. Repita nuevamente los pasos e y f, conectando en este caso las puntas de prueba en el terciario.
- Reponga todos los equipos y accesorios desconectados y vuelva a energizar el equipo.

Medición de Resistencia de Devanados

La medición de la resistencia de devanado es otra prueba en corriente continua, que se recomienda efectuar en los transformadores. El valor de resistencia entre dos terminales de un transformador, puede revelar una gran cantidad de información referente al mismo. Adicional a los problemas obvios como arrollados abiertos o vueltas cortocircuitadas, otros tipos de problemas pueden ser detectados.

La corriente DC pasará por el cambiador de tomas sin carga, por el cambiador de tomas bajo carga así como una serie de conexiones soldadas y apernadas.

La prueba se justifica debido a la posibilidad de daño durante la operación del transformador. Vibraciones, cortocircuitos, corrosión son causas que pueden debilitar la conexión de los devanados.

Debe ejecutarse como prueba de mantenimiento predictivo para detectar fallas incipientes en el transformador, producto del continuo funcionamiento del mismo.

La figura 9 muestra un modelo de equipo utilizado para realizar la medición de la resistencia de devanados.

² Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

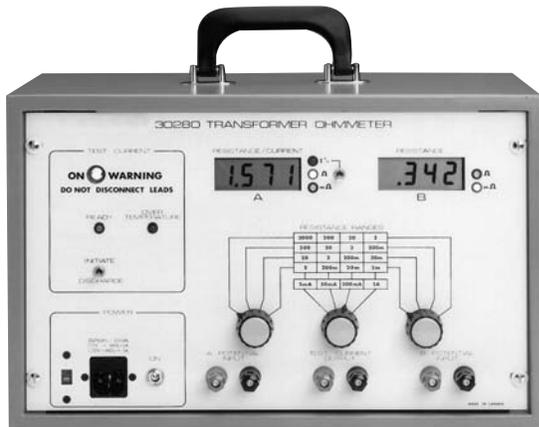


Figura 9
Transformer Ohmmeter de Megger

Conexión y procedimiento de Prueba

La prueba se efectúa con un equipo denominado Transformer Ohmmeter y la conexión se hace tal y como se indica en la figura 10.

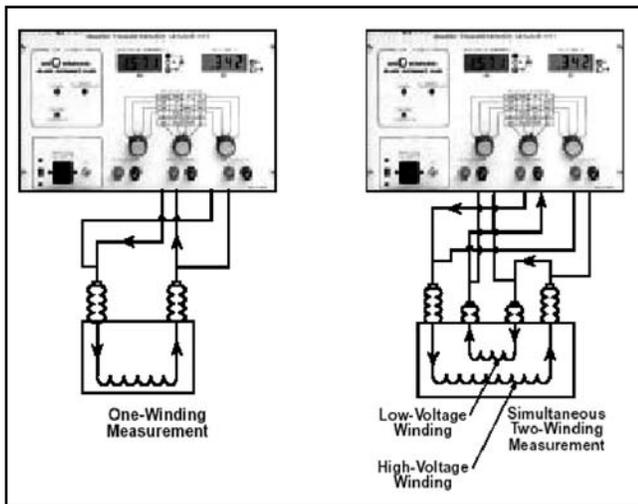


Figura 10
Modo de Conexión

La conexión se efectúa midiendo el arrollado primario o secundario en forma independiente, donde se conecta al arrollado bajo prueba la entrada de voltaje y la salida de corriente para poder calcular el valor de la resistencia.

Otra alternativa consiste en conectar en serie el arrollado primario y secundario con entradas de tensiones independientes para cada uno de los arrollados y así poder calcular los valores independientes de resistencia.

Durante las pruebas de aceptación, el transformador debe probarse en cada uno de los taps, tanto del cambiador bajo carga como el cambiador sin carga.

En pruebas de mantenimiento predictivo algunos usuarios recomiendan no modificar la posición del cambiador de tomas sin carga, ya que al ser un elemento fijo, es posible que la manipulación lo dañe debido a que el contenido de agua, oxígeno y otros gases disueltos en el aceite, pueden corromper las piezas que forman parte de este cambiador.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos de la prueba deben cotejarse, si es posible, con los siguientes valores:

- a) Comparación con los valores dados por el fabricante.
- b) Comparación con valores registrados en pruebas anteriores.
- c) Comparación de los valores de cada fase con el promedio.

La última de estas comparaciones puede en ocasiones ser suficiente, siempre y cuando el transformador no haya sido reparado. Los fabricantes aceptan tener como máxima desviación, entre cada fase y el promedio un 0,5%.

La variación de una fase con respecto a otra o la obtención de medidas inconsistentes, pudiera ser indicativos de espiras cortocircuitadas, espiras abiertas, problemas en los cambiadores de tomas o conexiones pobres. Por otra parte, otros fenómenos pueden ocasionar medidas inconsistentes. La variación de temperatura puede ocasionar variación en el valor de la resistencia, esto puede ser minimizado si se hacen las mediciones bajo condiciones ambientales similares. De lo contrario, se deberá normalizar el valor obtenido a una temperatura común a las mediciones anteriormente tomadas.

La corrosión puede ocasionar una disminución en el contacto en algunos taps del cambiador de tomas. La mayoría de las veces esto puede ser solventado operando el cambiador de tomas. Otro posible elemento que puede afectar el valor de la lectura consiste en tener en una o dos fases del transformador, transformadores de corriente o transformadores de voltaje para medición.

Prueba de Subestaciones Eléctricas del Tipo Metal Enclosure

Las pruebas de corriente continua para este tipo de subestación son las siguientes:

- Medición de Resistencia de Aislamiento
- Prueba de Alto Potencial DC
- Prueba de Resistencia de Contacto en Interruptores
- Prueba de Velocidad de Operación de Interruptores

Medición de Resistencia de Aislamiento

Estas subestaciones están conformadas por una serie de equipos entre los que se incluyen las barras, transformador de servicio, transformador de potencial, transformadores de corriente, interruptores, los sistemas de control y de protección.

La prueba de transformadores en general ya ha sido tratada y los procedimientos de pruebas ya han sido explicados. Este capítulo enfocará las pruebas de las barras e interruptores de la subestación.

Para el caso de las Barras, se efectúa la prueba fase por fase, cortocircuitando las fases que no están sometidas a prueba y conectándolas a tierra.

Se aplica un voltaje según lo indicado en la tabla 5, por un período entre 30 y 60 segundos, luego se mide la resistencia de aislamiento. Se pueden obtener bajos valores de resistencia de aislamiento debido a los muchos caminos de fuga que en paralelo pudieran existir debido a la humedad y el polvo. El resultado de esta prueba tiene mayor validez si es comparado con valores históricos, obtenidos de pruebas anteriores. Todos los valores deben estar referidos a 20° centígrados.

Voltaje Nominal (Voltios)	Voltaje Recomendado de Prueba DC	Mínimo Valor de Resistencia de Aislamiento en MegaOhmios
250	500	25
600	1000	100
1000	1000	100
2500	1000	500
5000	2500	1000
8000	2500	2000
15000	2500	5000
25000	5000	20000
35000	15000	100000
46000	15000	100000
Mayor a 69000	15000	100000

Tabla 5
Valores Estimados de Resistencia de Aislamiento³
Reproducido de la norma MTS -1993

Para el caso de los interruptores, la prueba se efectúa con los mismos niveles de tensión aplicado a las barras y por el mismo período de tiempo pero con el interruptor en posición abierto o cerrado.

Con el interruptor en posición abierto, inyecte alta tensión entre uno de los polos del interruptor y tierra, el resto de los polos del interruptor se cortocircuitan y conectan a tierra. Repita este procedimiento para cada uno de los polos registrando los resultados obtenidos. Con el interruptor en posición cerrado, cortocircuite uno de los polos con el otro de su propia fase, inyecte alta tensión en esta fase con el resto de los polos conectados a tierra. Repita el procedimiento para las fases dos y tres. El resultado de esta prueba tiene utilidad si se compara con resultados de pruebas anteriores

Prueba de Alto Potencial DC

Esta si puede determinar la condición del aislamiento en las barras de la subestación. Se debe hacer con los interruptores de potencia extraídos y a unos niveles de voltaje similares a los indicados en la tabla 6. Aunque la prueba en DC puede ser realizada, en este caso se prefiere realizar la prueba de alto potencial en corriente alterna aunque esta prueba produzca esfuerzos iguales o mayores a los que son sometidas las barras, bajo condiciones de operación normal.

³ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Al ejecutarse la prueba, se deben registrar los valores de temperatura y humedad.

Voltaje Nominal (Voltios)	Voltaje de Prueba (Voltios) 1 minuto
240	1600
480	2100
600	2300
2400	15900
4160	20100
7200	27600
13800	38200
23000	63600
34500	84800

Tabla 6

Hi Pot DC Valores de Prueba de Mantenimiento⁴

Tomado del libro *Electrical Equipment, Testing & Maintenance*, A.S. Gil Pag. 248

En el caso de los interruptores asociados a la subestación, podemos indicar que la prueba de alto potencial DC se recomienda para equipos que posean una estructura uniforme en el aislamiento. En algunos interruptores de distribución la estructura del aislamiento está formada por una serie de compuestos que poseen una amplia variedad de características eléctricas. Antes de probar con tensión DC se debe consultar al fabricante.

Prueba de Resistencia de Contacto

Los contactos estacionarios o móviles de los interruptores, están hechos de materiales resistentes al arco eléctrico que se originan durante la operación del interruptor bajo carga nominal o bajo falla. Si estos contactos no son probados regularmente, no habrá verificación del estado de su resistencia de contacto. Este valor puede incrementar debido al desgaste producido por los sucesivos arcos eléctricos, que se producen durante la operación normal.

Una forma de conocer el estado de los contactos consiste en medir el valor de la resistencia de los mismos. La resistencia puede ser medida entre los bushings

correspondientes a cada fase, con el interruptor en posición cerrada. Para interruptores con voltajes nominales superiores a los 15000 voltios, se recomienda efectuar la prueba con un equipo que sea capaz de inyectar una corriente de al menos 100 Amp o con una corriente entre 50 Amp y la corriente nominal del interruptor según la IEC 62271-100. Se recomienda observar valores de corriente de prueba establecidos por el fabricante del interruptor.

Los valores de resistencia de contacto son medidos en micro ohmios. Para interruptores clase 15 kV el valor debe estar entre 200 micro ohmios y 250 microohmios. La figura 11 muestra el equipo micro ohmímetro DLRO 600 de Megger.



Figura 11

Microohmímetro DLRO 600 de Megger

Prueba de Velocidad de Operación de Interruptores

En los interruptores, el tiempo de apertura y cierre es crítico ya que el mismo está ligado a la cantidad de energía que puede manejar el interruptor. Durante la secuencia de apertura o cierre, el arco eléctrico aparece entre el contacto móvil y el contacto fijo. Si la apertura o cierre del interruptor no se realiza en el tiempo para el que fue diseñado, la energía asociada al arco eléctrico puede superar la capacidad de disipación de energía térmica del interruptor con el consecuente daño del equipo. Por otra parte, la no extinción a tiempo del arco eléctrico acelera el deterioro de los contactos del interruptor lo cual adelanta el requerimiento de mantenimiento mayor en el mismo.

La forma de medir el tiempo de operación del interruptor se realiza por medio de un equipo denominado impulsógrafo. Este equipo es capaz de medir la velocidad de operación de apertura o cierre del

⁴ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de pruebas de su empresa.

interruptor, permite chequear si existe o no discordancia de polos entre cada una de las fases del interruptor. También puede medir la cantidad de corriente de apertura y cierre que circula por la bobina del relé que opera el interruptor. El impulsógrafo puede registrar la curva de operación del mecanismo del interruptor donde se verifica el ajuste del mecanismo del mismo utilizando transductores de movimiento.

La figura 12 muestra un resultado de una prueba del impulsógrafo así como el equipo que efectúa la prueba.

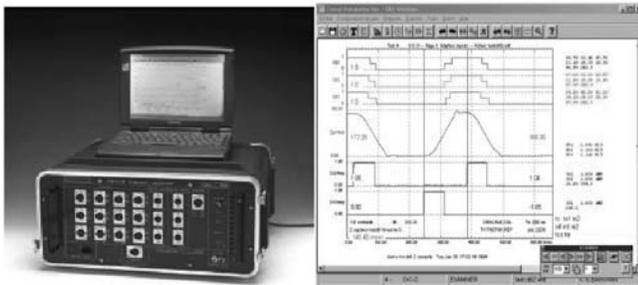


Figura 12
Impulsógrafo Zensol CBA 32P y Registro de Apertura de un Interruptor

La curva superior de la gráfica de la derecha representa el registro de operación de los contactos del interruptor. También puede ser registrado el comportamiento de la corriente en las bobinas de los relés de apertura y cierre del interruptor entre otros parámetros.

Prueba de Aisladores Soporte y Bushings

Las pruebas indicadas para aisladores soporte y bushings son similares a las pruebas de aislamiento indicadas para los otros equipos aquí expuestos: Prueba de resistencia de aislamiento y prueba de alto potencial DC.

Para el caso de probar resistencia de aislamiento se pueden utilizar los voltajes de prueba indicados en la tabla 5. Si se quiere probar el valor de la resistencia de aislamiento sin considerar las pérdidas en la superficie, se puede utilizar una banda de neopreno alrededor de la superficie aislante para así dejar de considerar la corriente de fuga superficial, tal y como se observa en la figura 6.

Prueba de Pararrayos

La prueba en corriente continua de pararrayos implica el uso de un equipo para la medición de resistencia de aislamiento o un equipo de alto potencial DC. La idea nuevamente consiste en medir la resistencia del aislamiento, la corriente de fuga que circula por el pararrayos y la condición de las válvulas de óxido de zinc.

En caso que el pararrayos posea varias secciones, debe probarse sección por sección. En el caso de pararrayos de óxido de zinc, se pudiera probar la condición de las pastillas de óxido de zinc ya que energizando el pararrayos entre el conector de alta tensión y tierra, guardando la superficie del pararrayos, la corriente circulante posee dos componentes, la fuga interna del aislador y la corriente que circula por los bloques de óxido de zinc. También es posible inferir la existencia de humedad en el interior del pararrayos ya que a las corrientes indicadas en el párrafo anterior, se agrega la fuga originada por la conducción que produce el agua dentro del pararrayos. La prueba debe efectuarse con el Voltaje MCOV equivalente.

Prueba de Condensadores

En el caso de la prueba de aceptación una inyección con alto potencial DC debe ser realizada con un nivel de voltaje del 75% del valor de prueba de fábrica, lo que representa un valor de aproximadamente 3,2 veces el voltaje nominal fase - fase, aplicado por un tiempo de 15 segundos para evitar daños en la resistencia de descarga del equipo de prueba.

En el caso de condensadores de dos terminales, unidades monofásicas, se une uno de los terminales a la carcasa, inyectando alta tensión entre el terminal libre y la carcasa según lo indicado en la tabla 7. La experiencia indica que realizar esta prueba a un condensador del lote adquirido es suficiente.

Durante el proceso de mantenimiento predictivo, la conexión para la medición de resistencia de aislamiento, fase-fase o fase - carcasa, se realiza según lo siguiente: Cuando se prueba resistencia de aislamiento fase a contenedor, se cortocircuitan las dos fases que no se encuentran bajo prueba y estas se conectan a la carcasa

Como resulta obvio, estos equipos poseen alta capacitancia razón por la cual resulta muy difícil obtener una lectura de Mega Ohmios estable rápidamente. Por lo tanto se requiere de métodos de prueba de tipo tiempo corriente. Tal y como se describe al inicio de este documento.

Los niveles de tensión para pruebas de mantenimiento se indican en la tabla 5.

Voltaje Nominal del Capacitor	Voltaje de Prueba de alto Potencial DC
Hasta 1200 Voltios	5000 Voltios
5000 Voltios	15000 Voltios
15000 Voltios	39000 Voltios
22000 Voltios	45000 Voltios

Tabla 7
Valores de Voltaje de Prueba de Aceptación para Condensadores de dos Terminales⁵

PRUEBAS EN CORRIENTE ALTERNA DE EQUIPOS ELECTRICOS MAYORES

Tal y como se explicó en el capítulo 3, las pruebas de corriente alterna somete a los equipos bajo prueba a esfuerzos eléctricos similares a los de condiciones de operación normal, con excepción de la prueba de Hi Pot AC. Como limitante se encuentra el gran peso y tamaño de los equipos de prueba lo cual favorece al uso de los equipos de prueba en corriente continua.

Pruebas en Corriente Alterna para Equipos con Aislamiento Sólido

Básicamente existen dos tipos de pruebas en corriente alterna para equipos con aislamiento sólido.

Prueba de Alto Potencial AC (Hi-Pot AC)

Se realizan con voltajes superiores a los de operación normal por un tiempo relativamente corto, alrededor de un minuto. El nivel de voltaje utilizado debe estar acorde con lo recomendado por el fabricante y lo indicado por las normas correspondientes. Generalmente estos valores se encuentran alrededor del 75% del voltaje de prueba de fábrica para pruebas de aceptación y entre el 125% y el 150% del voltaje nominal para pruebas de mantenimiento por un período de 1 minuto. Las conexiones de prueba son iguales a las recomendadas para pruebas de alto potencial DC con la salvedad de que no se requiere la descarga de los equipos. La figura 13 muestra un equipo para efectuar esta prueba.



Figura 13
Equipo Hi-Pot AC, 230315

Prueba de Factor de Potencia

Es una prueba importantísima para determinar la calidad del aislamiento en todo tipo de equipo eléctrico. En el caso de aislamiento sólido, se recomienda utilizar un nivel de voltaje similar al valor de voltaje nominal del equipo.

En secciones posteriores, se describirá en detalle el principio teórico de esta prueba, el resultado de la misma no puede ser considerado como concluyente por si mismo, siempre debe compararse con resultados anteriores con valores referidos al mismo nivel de voltaje y a 20 grados centígrados.

Pruebas en Corriente Alterna en otro Tipo de Aislamiento

Aún cuando existen varias pruebas en AC involucradas con la prueba de equipos eléctricos mayores en subestaciones, las pruebas involucradas en la verificación de las condiciones del aislamiento son:

- Prueba de Alto Potencial AC
- Prueba de Factor de Potencia

Prueba de Alto Potencial AC

Es una prueba de inyección de alto voltaje que tiene como objeto someter al aislamiento a esfuerzos eléctricos superiores a los que se someterá durante su vida de operación.

El principio se basa en el supuesto de que si un equipo es capaz de soportar un nivel de voltaje superior al voltaje nominal, por un tiempo determinado, el mismo no tendrá problemas bajo condiciones normales de operación. Durante la prueba, el equipo debe energizarse por al menos 1 minuto, con niveles de tensión que varían de acuerdo al tipo de equipo, nunca menor a 1000 voltios.

⁵ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

La prueba se efectúa incrementando la tensión en forma progresiva verificando el valor de la corriente de fuga que circula por el aislamiento.

Una corriente excesiva o un incremento súbito de la corriente es un indicativo de que pueden existir problemas en el mismo.

Prueba de Factor de Potencia

En el capítulo 4 se describió un modelo simplificado del comportamiento de un aislante al ser expuesto ante un campo eléctrico.

La prueba del factor de potencia se basa en un modelo conformado por un capacitor en paralelo con una resistencia o un capacitor en serie con una resistencia. El capacitor representa la capacitancia del equipo bajo prueba y la resistencia representa las pérdidas en el aislamiento cuando se le aplica un voltaje de prueba. Para nuestro análisis el modelo considerado es una resistencia en paralelo con un capacitor. La figura 14 muestra este modelo donde I_t representa la corriente total que circula por el equipo de prueba, I_c es la corriente capacitiva e I_r la corriente resistiva.

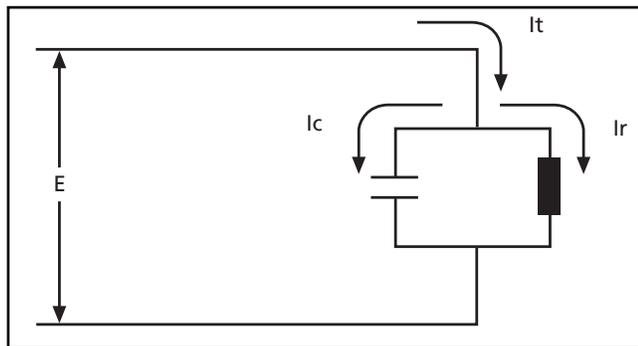


Figura 14
Modelo Paralelo de Aislamiento

El elemento resistivo en el circuito equivalente representa los vatios de pérdidas disipados en el aislamiento cuando se aplica un voltaje. El elemento capacitivo representa el capacitor que existe entre la parte que se energiza del equipo, la carcasa y tierra.

En un circuito eléctrico con un voltaje AC aplicado los vatios pérdida vienen dados por:

$$\text{Vatios} = E \times I_t \times \cos \varnothing$$

Donde \varnothing representa el ángulo de fase entre el voltaje de prueba y la corriente total que fluye por el aislamiento. El coseno del ángulo \varnothing es conocido como factor de potencia y es igual a:

$$\cos \varnothing = \text{Vatios} / E \times I_t$$

De igual forma el ángulo complementario, ϑ representa el ángulo entre la corriente total y la corriente capacitiva. Para este ángulo existe una relación que se denomina factor de disipación definido como:

$$\tan \vartheta = I_r / I_c$$

lo que en el plano de impedancias implica:

$$\tan \vartheta = R / X_c$$

Por lo que

$$\tan \vartheta = R \times W \times C$$

Como curiosidad matemática podemos ver que para valores de ϑ menores a 20 grados, $\tan \vartheta$ es aproximadamente igual al $\cos \varnothing$. La tabla 8 muestra valores comparativos entre factor de potencia y factor de disipación para diferentes valores de \varnothing y ϑ .

Angulo \varnothing	% $\cos \varnothing$	Angulo ϑ	% $\tan \vartheta$
90,0	0	0	0
89,71	0,5	0,29	0,5
87,13	5,0	2,87	5,0
84,26	10,0	5,74	10,05
81,37	15,0	8,63	15,18
80,00	17,36	10,0	17,63
75,00	25,88	15,0	26,79
70,00	34,20	20,0	36,39

Tabla 8
Comparación entre Factor de Potencia y Factor de Disipación

En la figura 15 se observa el circuito simplificado del equipo de medición del factor de potencia.

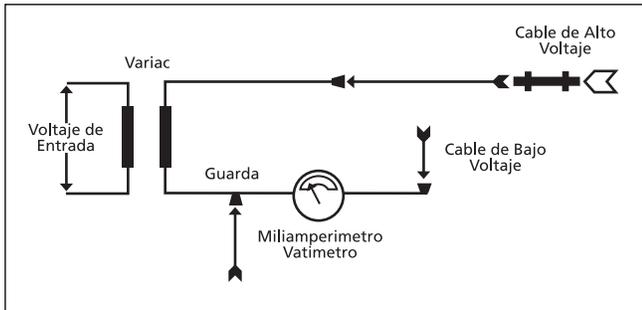


Figura 15

Circuito Simplificado Equipo Medición Factor de Potencia

El circuito básicamente debe medir la corriente total que circula por el equipo bajo prueba y los vatios pérdida. El cálculo del factor de potencia vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Factor de Potencia} = \text{Vatios} \times 10 / \text{Miliamperes}$$

El valor de la capacitancia podrá calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Capacitancia en picofaradios} = 265 \times \text{Miliamperes}$$

Siempre y cuando el factor de potencia sea menor al 15% y el voltaje de prueba sea 10 kV.

En el caso de que el voltaje de prueba sea otro diferente a 10 kV, la corriente y los vatios pérdida pueden referirse a 10 kV aplicando las siguientes equivalencias:

$$\text{Corriente equivalente a 10 kV} = \text{Corriente Leída} \times 10 / \text{Voltaje de Prueba.}$$

$$\text{Vatios equivalentes a 10 kV} = \text{Vatios Leídos} \times 100 / (\text{Voltaje de Prueba})^2$$

Modos de Prueba

Existen tres modos de prueba asociados a la medición del factor de potencia, Modo UST, Modo GST - Tierra, Modo GST - Guarda.

Modo UST

En Inglés Ungrounded Specimen Test, significa prueba de un equipo no puesto a tierra. Como su nombre lo indica la prueba mide la corriente del equipo que no circula hacia tierra. La figura 16 muestra la forma de conexión del equipo.

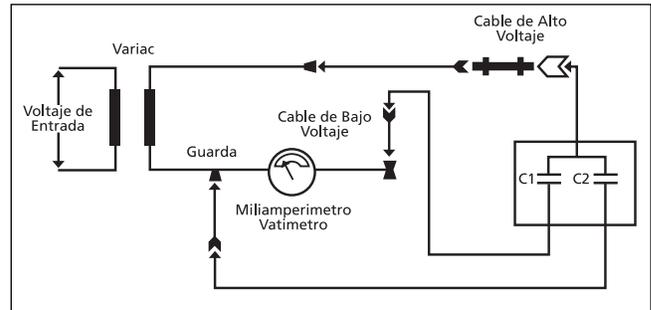


Figura 16

Prueba de Factor de Potencia Modo UST

Modo GST - Ground, GST - Tierra

En Inglés Grounded Specimen Test, tiene como significado prueba de un equipo puesto a tierra. La prueba tiene como objeto medir toda la corriente de fuga que circula hacia tierra y que circula hacia el cable de bajo voltaje, que en este caso también está puesto a tierra. La figura 17 muestra la forma de conexión del equipo.

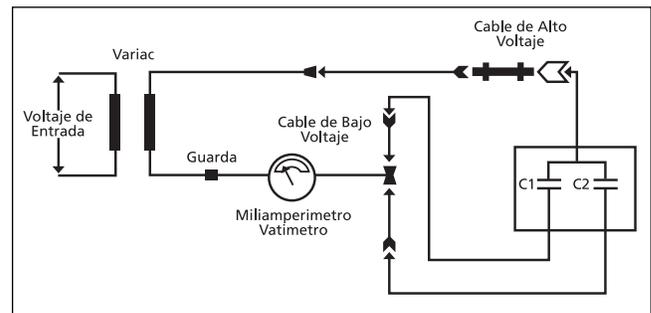


Figura 17

Prueba de Factor de Potencia Modo GST - Tierra

Modo GST - Guarda

En este modo solo se mide la corriente de fuga hacia tierra obviando la corriente.

que circula por el cable de bajo voltaje, la figura 18 muestra la conexión del equipo bajo prueba.

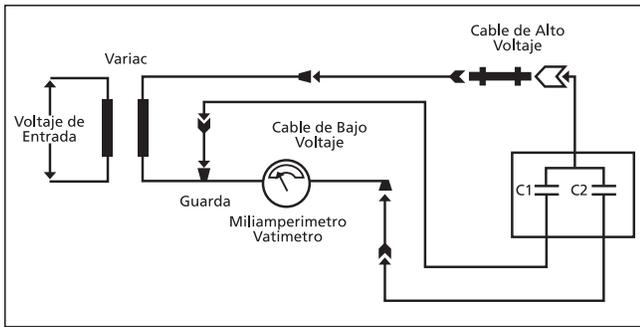


Figura 18

Prueba Factor de Potencia Modo GST - Guarda

La figura 19 muestra un equipo automático que mide el factor de potencia y la corriente de excitación en forma automática.



Figura 19

Equipo DELTA 2000 para la Medición del Factor de Potencia

Prueba de Análisis de Respuesta en Frecuencia

Técnica de mantenimiento predictivo que permite valorar la condición e integridad mecánica de los arrollados y el núcleo del transformador. Basa sus resultados en la variación de los parámetros eléctricos dependientes de la frecuencia de los arrollados del transformador; capacitancia e inductancia, antes y después de algún cambio en la geometría interna del equipo bajo prueba.

Existen dos métodos para efectuar la prueba de análisis de respuesta en frecuencia, el método del impulso de bajo voltaje y el método de barrido en frecuencia. Ambos métodos arrojan resultados iguales y pueden ser utilizados indistintamente.

Estos parámetros varían cuando los arrollados están parcial o totalmente cortocircuitados, abiertos, deformados o sueltos. Fenómenos como cortocircuitos, producen esfuerzos mecánicos en el transformador que gradualmente desplazan, aflojan o deforman los arrollados. Debilidad mecánica en el papel, utilizado en el aislamiento del transformador, pueden causar desplazamiento de las bobinas y núcleo, como consecuencia en la disminución de la tensión de amarre de los arrollados. La corrosión puede causar la destrucción o deterioro de retenes, estructuras soporte de los arrollados y núcleo del transformador. Si el desplazamiento no es de gran magnitud solo podrá ser detectado con esta prueba.

Adicionalmente, la prueba de análisis de respuesta en frecuencia puede detectar: Cortocircuito entre espiras, cortocircuito entre bobinas y arrollados abiertos.

El resultado de la prueba se obtiene al calcular el cociente: Señal de salida, en frecuencia, del transformador y señal de entrada, en frecuencia, del mismo. Este cociente se denomina función de transferencia y viene dada por:

$$H(f) = y(f)/x(f)$$

La representación gráfica de esta respuesta en frecuencia, debe ser comparada periódicamente con el fin de verificar la existencia de cambios dentro del transformador. Cualquier cambio en la capacitancia o inductancia del transformador producirá un movimiento de los polos en la función de transferencia o creación de nuevos polos que podrán ser detectados por simple comparación.

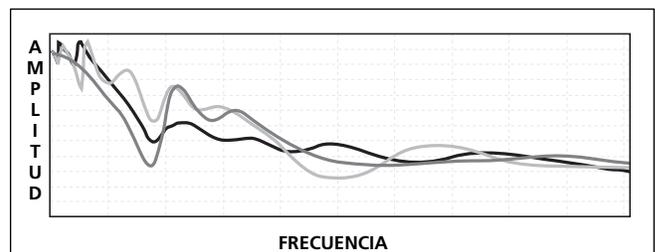


Figura 20

Resultado Prueba de Análisis de Respuesta en Frecuencia

La figura 20 muestra un ejemplo grafico de la respuesta en frecuencia de un transformador.

Ejecución de Pruebas en Corriente Alterna de Equipos Eléctricos

Prueba de Transformadores

Pruebas de Alto Potencial AC

Es una prueba que se aplica para evaluar la condición de los arrollados del transformador. Se recomienda para todo tipo de transformador en especial aquellos con un voltaje nominal superior a 34,5 kV.

Para mantenimiento de rutina, el voltaje de prueba no debe exceder el 65% del voltaje de prueba de fábrica. En la práctica esta prueba no es común que se efectúe como rutina de mantenimiento, debido al riesgo al que puede ser sometido el transformador. Esta prueba se usa con mayor frecuencia durante pruebas de aceptación, donde el voltaje no deberá superar el 75% del valor de prueba de fábrica. Se puede efectuar una prueba de alto potencial AC para labores de mantenimiento utilizando el voltaje nominal como voltaje de prueba y energizando el transformador por un periodo de 3 minutos.

La tabla 9 muestra los valores de prueba de alto potencial AC para pruebas de aceptación de transformadores aislados en aceite. La forma de conexión es idéntica a la recomendada para pruebas de alto potencial DC excepto a la conexión de tierra de los arrollados no energizados y la descarga del arrollado probado.

Voltaje Nominal en kV.	Voltaje de Prueba en Fábrica en kV	Voltaje de Prueba de Aceptación en KV
2,4	15	11,2
4,8	19	14,25
8,7	26	19,5
15,0	34	25,5
18,0	40	30,0
25,0	50	37,5
34,5	70	52,5
46,0	95	71,25
69,0	140	105,0

Tabla 9

Voltajes para Pruebas de Alto Potencial AC en Transformadores Sumergidos en Líquidos Aislantes⁶

Tomado del libro *Electrical Equipment, Testing & Maintenance*, A.S. Gil Pag. 267

⁶ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Prueba de Factor de Potencia

Tal y como se indicó con anterioridad, la prueba de factor de potencia tiene como finalidad medir la corriente que circula por el equipo bajo prueba. La figura 21 muestra el modelo de un transformador de una fase y dos devanados en donde se observan tres condensadores, CHG, CHL y CLG. El mismo concepto aplica a transformadores de tres fases.

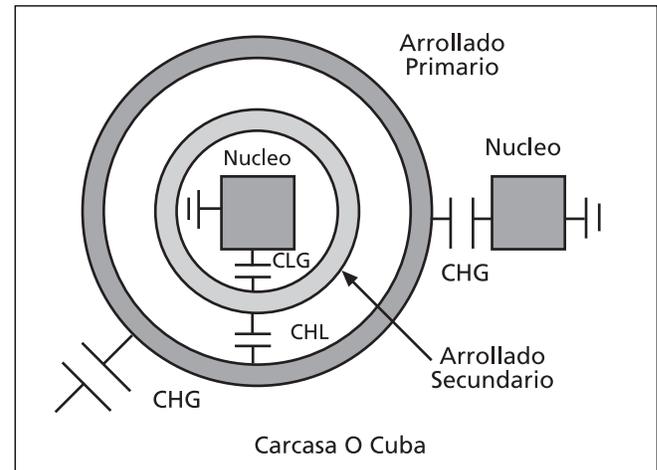


Figura 21

Modelo de un Transformador de dos Devanados

CHG: representa la capacitancia de aislamiento entre el arrollado de alta y tierra, representado por la cuba del transformador, el núcleo y elementos estructurales.

CLG: representa la capacitancia de aislamiento entre el arrollado de baja tensión y tierra.

CHL: representa la capacitancia de aislamiento entre arrollado de alta y arrollado de baja. La figura 22 representa un modelo dieléctrico de un transformador de dos devanados.

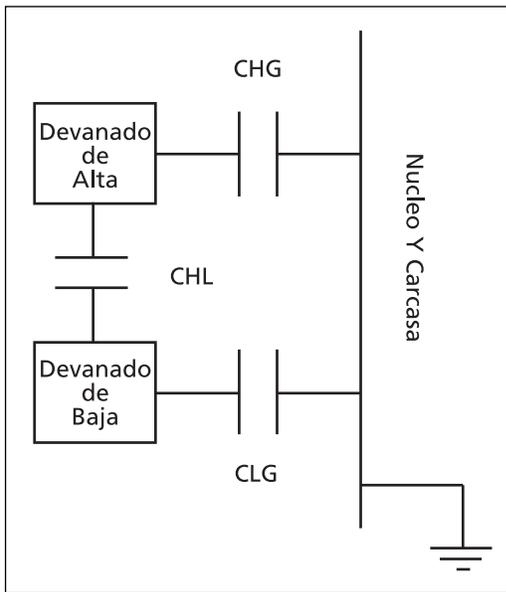


Figura 22
Modelo Dieléctrico de un Transformador

Conexiones para la Prueba

Se deben cortocircuitar los terminales del transformador del lado de alta tensión (terminales de alta entre si), los terminales del transformador del lado de baja tensión (terminales de baja entre si) y los del terciario en caso de que exista. La conexión en Delta no presenta problemas en ese sentido. Recordando aislar el transformador del resto de las conexiones del sistema.

La conexión en Estrella debe considerar lo siguiente:

En caso de ser estrella no puesta a tierra, se deben hacer las mismas condiciones que las recomendadas para la conexión delta. Si la estrella tiene la conexión a tierra, debe desconectarse X0 o H0 de tierra y cortocircuitar este bushing con los bushings de fase.

Si los bobinados no se cortocircuitan, la inductancia de los mismos será introducida en el circuito dieléctrico del transformador, dando como resultado una corriente total menor y por ende un mayor factor de potencia. La figura 23 muestra el diagrama vectorial que explica este fenómeno.

Se observa que el incremento de la corriente inductiva reduce el valor efectivo de la corriente capacitiva, lo que implica que la corriente total I_t sea menor que la corriente I_c resultando un ángulo ϕ menor y un factor de potencia mayor.

Procedimiento de Prueba

- a) Se coloca el cable de alta tensión en el lado de alta tensión y el cable de baja tensión en el lado de baja. Si el transformador tiene un voltaje nominal menor a 12 kV, se inyectará voltaje hasta un valor igual o menor al voltaje nominal.

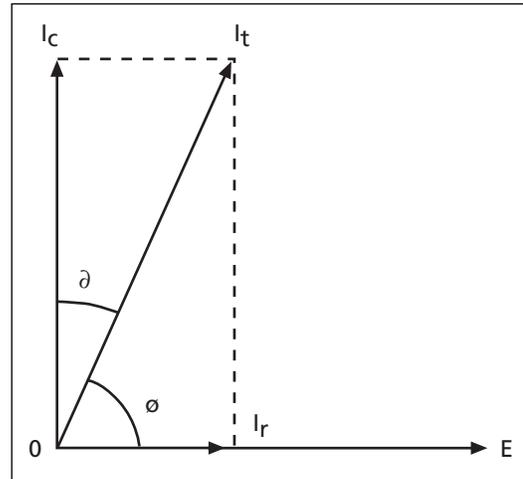


Figura 23
Diagrama Vectorial

Si el transformador posee un voltaje nominal por encima de 12 kV, se debe utilizar un voltaje de prueba de 10 kV.

- b) Se prueba el transformador en tres modos: UST, GST - Ground y GST - Guarda.

En modo UST se obtiene como resultado la capacitancia CHL.

En el modo GST - Ground se obtiene como resultado CHL + CHG

En el modo GST - Guarda se obtiene como resultado CHG.

Todos los resultados anteriores deben incluir el valor de factor de potencia medido.

Modo UST, la figura 24 muestra como debe hacerse la conexión para este modo de prueba, en un transformador de dos devanados.

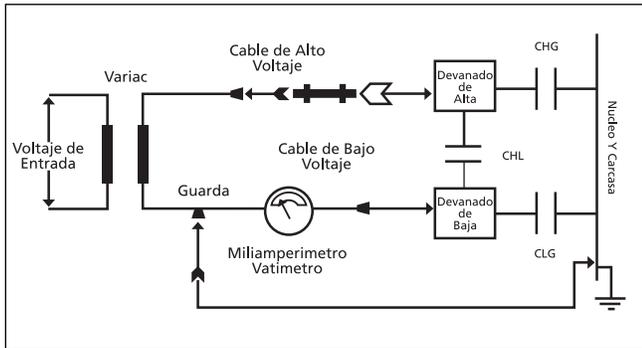


Figura 24
Conexión Modo UST

Modo GST - Ground. La figura 25 especifica como se efectúa la conexión para este modo de prueba.

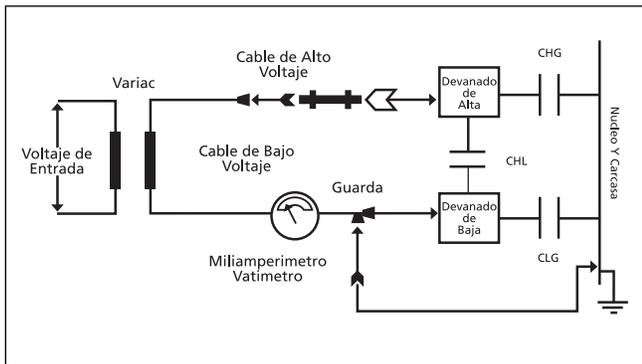


Figura 25
Conexión Modo GST - Ground

Modo GST - Guarda. La figura 26 indica la forma de conexión para realizar la prueba.

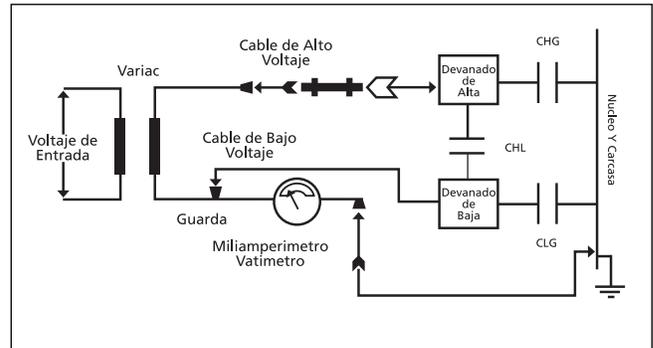


Figura 26
Conexión Modo GST - Guarda

- c) Una vez culminadas estas pruebas, se procede a intercambiar los cables de alto y bajo voltaje repitiéndose las pruebas indicadas en el punto anterior. Los resultados obtenidos son:

En modo UST se obtiene como resultado la capacitancia CHL.

En el modo GST - Ground se obtiene como resultado CHL + CLG

En el modo GST - Guarda se obtiene como resultado CLG.

Junto con los valores correspondientes de factor de potencia.

En caso de que se ejecute la prueba a un transformador de tres devanados, también deben ser cortocircuitados los bushings del devanado terciario y se conecta el segundo cable de baja tensión a este arrollado, si se está inyectando por el lado de alta o por el lado de baja.

Si el equipo bajo prueba es un autotransformador deben cortocircuitarse alta y baja y efectuar la medición respecto al terciario obteniéndose los siguientes resultados:

En modo UST se obtiene como resultado la capacitancia CHT

En el modo GST - Ground se obtiene como resultado CHT + CHG

En el modo GST - Guarda se obtiene como resultado CHG

Junto con los valores correspondientes de factor de potencia.

Intercambiando los cables de alto y bajo voltaje del equipo de factor de potencia, se repiten las pruebas y se obtienen los siguientes resultados:

En modo UST se obtiene como resultado la capacitancia CLT

En el modo GST - Ground se obtiene como resultado CLT + CTG

En el modo GST - Guarda se obtiene como resultado CTG.

También se deben registrar los valores correspondientes de factor de potencia.

Interpretación de las Mediciones

En este punto vale indicar que la mejor referencia que puede existir, es el registro histórico de pruebas anteriores efectuadas al equipo bajo prueba. Variaciones importantes en el valor del factor de potencia, entre dos pruebas efectuadas en tiempos diferentes pudieran indicar problemas en el equipo.

En caso de no contar como valores de referencia. La tabla 10 muestra una guía sobre cuales deben ser los valores de factor de potencia adecuados para diferentes equipos. Nuevamente se insiste que estos valores son una guía y no deben ser considerados como absolutos para una toma de decisiones.

Tipo de Aparato a Probar	F de P a 20° C
Transformador en Aceite mayor de 115 kV Nuevo	0,25 a 1,0
Transformador en Aceite mayor de 115 kV 15 Años	0,5 a 1,5
Transformador en Aceite de Distribución	1,5 a 3,0
Interruptores de Potencia, aislados en Aceite	0,5 a 2,0
Cables de Alta Tensión papel - aceite hasta 28 kV	0,5 a 1,5
Cables de Alta Tensión llenos de aceite, presurizado	0,2 a 0,5
Estator de Máquinas Rotatorias de 2,3 a 13,8 kV	2,0 a 8,0
Condensadores sin resistencia de descarga	0,2 a 0,5
Bushings sólido	3,0 a 10,0
Bushings Relleno Compuesto hasta 15 kV	5,0 a 10,0
Bushings Relleno Compuesto entre 15 kV y 46 kV	2,0 a 5,0
Bushings Relleno de Aceite menor a 110 kV	1,5 a 4,0
Bushings Relleno de Aceite mayor a 110 kV	0,3 a 3,0

Tabla 10

Factores de Potencia Típicos de Algunos Equipos Eléctricos⁷

⁷ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

La humedad puede ser un factor que afecta la medición e incrementa las pérdidas superficiales. De igual forma, el sucio sobre aisladores o cualquier otra superficie aislante influye en un aumento en las pérdidas con el consecuente incremento en el valor del factor de potencia.

La interferencia electromagnética puede influir en el resultado de la medición, por lo que se recomienda efectuar la medida bajo polaridad normal e inversa, promediando los valores obtenidos. Se debe utilizar el circuito supresor de interferencia que posee el equipo, en caso de que se cuente con esta opción.

Prueba de Corriente de Excitación

La corriente de excitación es aquella requerida por el transformador para mantener el flujo magnético en el núcleo. Se obtiene aplicando voltaje, al primario del transformador, manteniendo el secundario abierto. La prueba de corriente de excitación provee un medio para detectar problemas en el núcleo, vueltas cortocircuitadas en el arrollado, conexiones eléctricas débiles, etc. Al igual que lo expuesto a lo largo de este documento, se debe registrar los resultados de las pruebas para futuras comparaciones. Se realiza con el mismo equipo utilizado para la medición del factor de Potencia, ver figura 19.

En la prueba de corriente de excitación la inyección de voltaje se efectúa por el lado de alta tensión, ya que de esta forma el valor de la corriente requerida es menor. Si la conexión del transformador es en estrella, la conexión deberá efectuarse entre fase y neutro, con el neutro desconectado. En caso de que la conexión sea en delta, la prueba se hace entre fase y fase. El terminal que queda libre debe ser conectado a tierra. En el caso de transformadores trifásicos, tipo núcleo, los resultados mostrarán dos corrientes iguales y una diferente. Si el lado de baja tensión se encuentra en estrella y posee conexión a tierra esta deberá estar conectada.

La prueba de corriente de excitación debe realizarse en todas las posiciones del cambiador de tomas del transformador, en especial si este es bajo carga. Muchos usuarios no efectúan pruebas modificando la posición del cambiador de tomas sin carga, alegan que el cambiador pudiera estar dañado y el movimiento pudiera ocasionar una falla en el cambiador de tomas que pudiera inhabilitar al transformador.

Prueba de Medición de Relación de Transformación, TTR

La prueba TTR (en Inglés Transformer Turns Ratio) sirve para determinar el número de vueltas del arrollado primario respecto al número de vueltas, de la misma fase, del arrollado secundario. La prueba permite detectar espiras cortocircuitadas, circuitos abiertos, conexiones incorrectas y defectos en el cambiador de tomas.

El máximo error aceptado con respecto a los valores nominales es de 0,5%. Se recomiendan utilizar TTR's con errores entre 0,1% y 0,3%.

El TTR puede efectuar la prueba con voltajes de 8 voltios, 40 voltios y 80 voltios pudiendo ser con equipos monofásicos o trifásicos. Versiones actualizadas de equipos TTR, pueden medir desviaciones angulares entre los voltajes de los arrollados primario y secundario, este valor pudiera indicar problemas en el núcleo del transformador o problemas con espiras cortocircuitadas.

Prueba de Polaridad

Tiene como finalidad detectar la correcta polaridad del transformador entre el lado primario y secundario.

Para efectuar la prueba:

- Se fija en forma arbitraria la polaridad del lado de alta H1 y H2.
- Se conecta el otro terminal de alta tensión con su correspondiente de baja tensión y se aplica un voltaje bajo de 120, 240 o 480 Voltios en los terminales H1 - H2.
- Se mide el voltaje entre el terminal de alta tensión y el correspondiente de baja tensión, tal y como se observa en la figura 27.

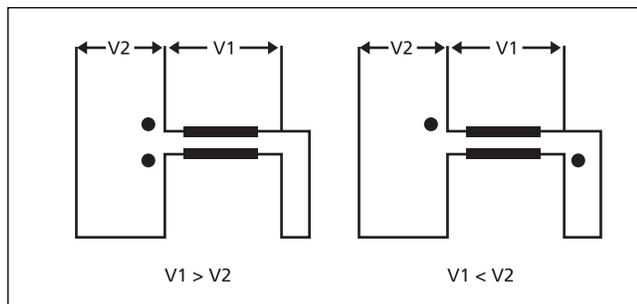


Figura 27
Prueba de Polaridad

- Si $V1$ es mayor que $V2$, significa que los terminales adyacentes son de igual polaridad.
- Si $V1$ es menor que $V2$, significa que los terminales adyacentes son de diferente polaridad.

Otra alternativa, es una prueba donde se utiliza una batería DC de voltaje entre 7,5 y 12 voltios. El terminal negativo de la batería se conecta a uno de los terminales de alta H1 o H2 del transformador, dejando el otro terminal de alta suelto. Se conecta un voltímetro analógico con su terminal negativo en X1 o X2, el correspondiente a donde se conectó el terminal negativo de la batería en el lado de alta. El terminal positivo en el otro terminal del lado de baja.

Se conecta el terminal positivo de la batería al terminal libre del lado de alta del transformador. Si la aguja del voltímetro se mueve hacia el lado positivo, la polaridad asumida es correcta, en caso contrario es incorrecta. Existe un equipo que facilita la ejecución de esta prueba, solo basta con conectar apropiadamente terminales de alta y baja adyacentes y un indicador tipo led mostrará la polaridad correcta. Ver figura 28.



Figura 28
Medidor de Polaridad de Transformadores

Prueba de Voltaje Inducido

No es una prueba común y se efectúa energizando al transformador al 65% de la tensión de prueba de fábrica, a una frecuencia superior a 60 Hz: 120 Hz, 200 Hz o 300 Hz. La prueba es una prueba destructiva, si el transformador soporta el voltaje aplicado por el tiempo especificado la prueba se considera exitosa.

El objetivo consiste en comprobar el estado del aislamiento entre vueltas y el estado de aislamiento entre fases. La tabla 11 muestra la frecuencia de la señal de prueba y el tiempo de duración de la prueba.

Frecuencia del Voltaje de Prueba (Hz)	Duración de la Prueba (Segundos)
120 o menos	60
180	40
240	30
300	20
400	18

Tabla 11
Frecuencia de Inyección vs Frecuencia de Prueba para Prueba de Voltaje Inducido⁸

La prueba de tensión inducida sobreexcita al transformador; la frecuencia de la señal aplicada debe ser lo suficientemente alta para prevenir que la corriente de excitación supere el 30% de la corriente nominal.

El voltaje de prueba debe incrementarse gradualmente hasta alcanzar el valor final en un tiempo no mayor de 15 segundos.

Recomendaciones

Cuando el transformador posea un lado con conexión de neutro puesto a tierra, se deben tomar ciertas precauciones para evitar grandes esfuerzos electrostáticos y electromagnéticos entre el otro arrollado y tierra.

Los transformadores trifásicos deben ser probados con voltajes fase a tierra, fase por fase.

Pruebas en el Aceite Aislante

ASTM ha desarrollado una serie de pruebas tipo para verificar el estado del aceite, utilizado como aislante, en equipos eléctricos de potencia. A continuación describiremos las mismas.

a) Rigidez Dieléctrica.

Las Normas ASTM D-877, ASTM D1816. IEC 156, CEI 344 e IP 295, entre otras, son las encargadas en normalizar la medición de la rigidez dieléctrica.

La más recomendada es la ASTM D1816 y por ello se utiliza muchas veces como valor de referencia para comparar diferentes resultados. Para esta prueba se coloca una muestra de aceite en una vasija que posea dos electrodos tipo hongo de 36 mm de diámetro y separados entre sí a una distancia indicada en la norma. El aceite debe ser agitado.

El voltaje se incrementa a una rata constante de 0,5 kV/s, hasta que exista un rompimiento de la rigidez del aceite, se deja reposar el aceite por un minuto y se repite el procedimiento 5 veces.

Para equipos aislados en sistemas con voltaje nominal sobre los 230 kV, la prueba se efectúa utilizando electrodos esféricos espaciados 0,04 o 0,08 pulgadas.

La figura 29 muestra el equipo semiautomático OTS 60PB de Megger.



Figura 29
Equipo para la Medición de la Rigidez Dieléctrica del Aceite, Megger OTS60PB

b) Grado de Acidez (ASTM D974)

Los ácidos se forman como producto de la oxidación del aceite y se presentan cada vez que el aceite está contaminado. La concentración de ácido en el aceite está determinado por la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) necesario para neutralizar la cantidad de ácido en un gramo de aceite.

c) Factor de Potencia (ASTM D924)

Es una indicación de la cantidad de energía que se pierde como calor en el aceite. Cuando el aceite puro actúa como dieléctrico se pierde muy poca energía durante la carga de la capacitancia del aceite. La prueba se efectúa energizando una celda que posee un valor de gap (capacitancia) conocido con un equipo para la medición del factor de potencia. Un aceite nuevo posee un factor de potencia de 0,05% o menor, referido a 20 grados centígrados, valores de hasta 0,5% de factor de potencia, referidos a 20 grados centígrados son aceptables, valores entre 0,5% y 1% deben ser considerados como sospechosos y mayores al 1%, referidos a 20 grados centígrados, son considerados bajo investigación, aceite para ser reacondicionado o para ser cambiado.

⁸ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

d) Color (ASTMD - 1500)

El color del aceite nuevo es considerado como un índice de refinación, para aceite usado, la oscuridad es un indicador de contaminación o deterioro. El grado de color del aceite se obtiene por comparación contra una tabla de colores diseñada por la norma.

e) Humedad

El contenido de humedad en el aceite es muy importante para determinar la condición del mismo y su posible utilización. La presencia de humedad (hasta pequeñas partes de 25 partes por millón, 25 ppm) usualmente se refleja en una disminución de la rigidez dieléctrica del aceite.

A medida que aumenta la temperatura del aceite, la cantidad de agua disuelta en el mismo aumenta. Grandes cantidades de agua pueden ser retenidas en aceite con temperatura alta, lo cual afecta drásticamente la característica dieléctrica del aceite. La tabla 12 muestra los valores permitidos.

Nivel de Voltaje del Transformador en kV	Cantidad de Agua en PPM
Por debajo de 15 kV	35 PPM Máximo
Entre 15 kV y 115 kV	25 PPM Máximo
Entre 115 kV y 230 kV	20 PPM Máximo
Por encima de 230 kV	15 PPM Máximo

Tabla 12
Cantidad Permitida de PPM de Agua por Nivel de Voltaje⁹

f) Gases Disueltos en el Aceite.

Los primeros mecanismos que inciden en la pérdida de aislamiento del aceite son calor y contaminación. Un valor inaceptable de resistencia de aislamiento pudiera indicar rápidamente problemas en el aislamiento, pero muy difícilmente le indicará la causa del deterioro. El estándar ASTM para líquidos aislantes, provee información referente a la calidad del aceite en el momento de la prueba pero no determina la causa del deterioro que deberá ser determinado en futura investigación.

La detección de gases disueltos en el aceite, es frecuentemente la primera indicación de falla en equipos eléctricos. Representa una herramienta efectiva de diagnóstico que permite determinar problemas en transformadores y otros equipos eléctricos. Un deterioro en el material aislante o en los conductores, conduce a la aparición de lodo o ácido, el calentamiento o la producción de arcos eléctricos los cuales originan una serie de gases que pueden tomar dos direcciones:

Algunos migran al espacio de aire existente en la parte superior del equipo eléctrico y otros, la mayoría, se disuelven en el aceite aislante. Un análisis cromatográfico del aceite pudiera indicar cual es la condición del equipo.

El sobrecalentamiento pudiera originar una descomposición de la celulosa, que es la clase de material sólido, típicamente utilizado para aislar los conductores dentro del transformador. A temperaturas superiores a 140 grados centígrados, la celulosa comienza a descomponerse, produciéndose dióxido de carbono o monóxido de carbono. Las puntas o dobleces en los elementos conductores internos a los equipos eléctricos, son consideradas áreas de altos esfuerzos donde pueden originarse estas descargas de baja energía. El efecto corona produce grandes cantidades de hidrógeno libre que se disuelve en el aceite aislante. A veces resulta difícil identificar de donde proviene el hidrógeno; puede producirse por efecto corona o como consecuencia de la oxidación de las partes metálicas que se utilizan en la construcción del equipo eléctrico. Cuando los niveles de energía son lo suficientemente importantes, como para permitir la creación de chispas menores, se originan cantidades menores de metano, etano y etileno. Las chispas son definidas como descargas con una duración menor a 1 microsegundo.

Un arco eléctrico produce un gas característico denominado acetileno. La presencia de este gas en el aceite hace más fácil la detección de este tipo de falla.

Altos Niveles de Hidrógeno (H₂), Oxígeno (O₂) y Nitrógeno (N₂) pueden indicar la presencia de agua, corrosión, sellos dañados o bushings con fugas. Altos niveles de monóxido de carbono o dióxido de carbono, reflejan que un transformador ha sido sometido a condiciones de sobrecarga menores. La presencia de acetileno, etileno, metano y etano pueden ser indicadores de la integridad de los componentes internos del equipo eléctrico, la tabla 13 muestra la concentración sugerida de gases en aceite de transformadores de potencia.

⁹ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Tipo de Gas	Límite Máximo Permitido (PPM)
Hidrógeno (H ₂)	100
Oxígeno (O ₂)	50000
Metano (CH ₄)	120
Acetileno (C ₂ H ₂)	35
Etileno (C ₂ H ₄)	50
Etano (C ₂ H ₆)	65
Monóxido de Carbono (CO)	350
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2500

Tabla 13
Límites de Concentración de Gases de Transformadores en PPM¹⁰

La tabla 14 indica la relación entre el tipo de gases detectados y el posible problema encontrado en un transformador.

Gases Detectados	Interpretación
Dióxido de carbono, monóxido de Carbono o Ambos.	Sobrecarga del transformador o incremento anormal en la temperatura causante de algún deterioro en la celulosa.
Hidrógeno y Metano	Efecto corona, electrolisis del agua o corrosión.
Hidrógeno, dióxido y monóxido de carbono.	Efecto corona con presencia de celulosa transformador sometido a sobrecarga.
Hidrógeno, metano, con pequeñas cantidades de etano y etileno.	Chisporroteo y otras fallas menores
Hidrógeno, metano con dióxido y monóxido de carbono y pequeñas cantidades de otros hidrocarburos pero no acetileno.	Chisporroteo y otras fallas menores causantes de algunas descargas en el aceite.
Alta cantidad de hidrógeno y otros Hidrocarburos incluyendo acetileno.	Arco de alta energía causante de un rápido deterioro del aceite.

¹⁰ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

continúe

Gases Detectados	Interpretación
Alta cantidad de hidrógeno, metano, etileno y algo de acetileno	Arco que produce alta temperatura en el aceite pero en un área confinada Conexiones pobres o cortos entre vueltas
Igual al punto anterior más la presencia de dióxido y monóxido de carbono.	Igual al punto anterior más la degradación de la celulosa.

Tabla 14
Relación entre Gases Disueltos en el Aceite y Posibles Causas

Análisis de Respuesta en Frecuencia

Esta prueba debe incluirse como parte de las pruebas de fábrica.

La prueba en fábrica debe considerarse como una referencia del estado mecánico / geométrico inicial del ensamblaje interno del transformador. Resultados de esta primera medición deberán mantenerse a lo largo de su vida útil, cualquier variación en mediciones futuras implica cambios internos.

El registro de fábrica debe ser comparado con uno nuevo que se realizará al llegar el transformador a la subestación donde será instalado. La comparación servirá para verificar si ocurrió algún inconveniente durante el traslado del transformador.

Deberá efectuarse otra prueba durante el proceso de recepción, el resultado debe ser comparado con los dos registros anteriores, si es igual, debe ser considerado como la huella digital del transformador para este tipo de prueba.

Variaciones entre 5% y el 10% pudieran considerarse aceptables; valores mayores a estos ameritan mayor estudio.

La prueba debe efectuarse bobina por bobina del transformador, es decir, en un transformador trifásico de dos arrollados se deben efectuar seis pruebas.

La figura 30 muestra la forma de conexión que debe efectuarse para la ejecución de la prueba de análisis de respuesta en frecuencia.

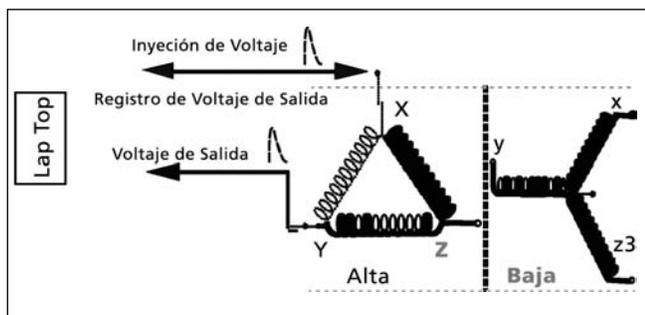


Figura 30

Conexión Prueba de Análisis de Respuesta en Frecuencia.

Prueba de Subestaciones Eléctricas del Tipo Metal Enclosure

El diseño de subestaciones eléctricas del tipo Metal Enclosure, suponen una vida útil, alrededor de 30 años. Sin embargo, elementos como humedad, polvo y ambientes corrosivos pudiera disminuir la expectativa de vida de este equipo.

El polvo unido a la humedad, es el mayor enemigo del sistema aislante de este tipo de subestación.

Existen dos pruebas en AC para estos equipos:

- Pruebas de Hi Pot AC.
- Pruebas de Factor de Potencia.

Pruebas de Hi Pot AC.

Esta prueba debe efectuarse si y solo si la prueba de medición de resistencia de aislamiento en DC (MEGGER) resulta satisfactoria y si la limpieza interna de la subestación ha sido realizada.

El voltaje de prueba debe ser el 75% del valor final del voltaje de prueba de fábrica, la tabla 15 muestra los valores de voltaje de prueba para diferentes valores de voltaje nominal.

Voltaje Nominal (Voltios)	Nivel de Voltaje para Prueba de Fábrica (Voltios)	Nivel de Voltaje para Prueba de Mantenimiento (Voltios)
480	2000	1500
600	2200	1650
2400	15000	11300
4160	19000	14250
7200	26000	19500
13800	36000	27000
14400	50000	37500
23000	60000	45000
34500	80000	60000

Tabla 15

Voltajes de Prueba para Ensayos de Hi Pot AC¹¹

La prueba de los interruptores asociados a estas subestaciones será tratado a posterior. El procedimiento de prueba es el mismo al de la prueba de Hi Pot DC.

Pruebas de Factor de Potencia

Es una prueba útil para encontrar signos de deterioro en el aislamiento, el análisis de los resultados debe efectuarse por comparación. La prueba debe efectuarse en el modo GST-Ground y debe hacerse fase por fase, probando una fase y cortocircuitando las otras dos y llevándolas a tierra. Se deben desconectar todos los equipos auxiliares posibles: Transformadores de medición, transformadores de servicios auxiliares, interruptores, etc.

Prueba de Interruptores

Prueba de Alto Potencial

El interruptor debe probarse tanto en posición abierta como en posición cerrada. En posición abierta se debe probar polo por polo, colocando el resto de los polos no probados a tierra.

En posición cerrada, se coloca la punta de alto voltaje en cualquiera de los polos conectando a tierra los polos de las fases restantes. La tensión de prueba debe ser aplicada según los valores indicados en la tabla 15.

¹¹ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Prueba de Factor de Potencia

Existen diferentes tipos de interruptor, a continuación presentamos las recomendaciones para ejecutar esta prueba:

Interruptores en Aceite

Un interruptor en aceite, consiste en un tanque de acero lleno de aceite donde se sumergen, el mecanismo de operación y los contactos. También posee bushings que permiten conectar la barra de la subestación con los contactos del interruptor.

Con el interruptor en posición abierta, se debe probar entre el terminal de cada bushing y tierra, en modo GST - Ground. Tiene como objeto probar el aislamiento entre cada terminal y tierra.

Con el interruptor en posición cerrada y el equipo en modo GST - Ground, se efectúa la prueba, realizando la inyección entre uno de los terminales del interruptor y tierra.

Cada una de las fases, deberá tener ambos bushings cortocircuitados.

En caso de existir resultados sospechosos, pudiera descartarse daños o altas pérdidas en los bushings de dos maneras:

Prueba en modo GST - Guard.

Donde se guardará las pérdidas en el bushing, en caso de que el mismo posea taps donde conectarse.

Prueba en modo UST

Donde se debe probar las condiciones del bushing, midiendo las pérdidas para verificar daños en el mismo. Para ejecutar esta prueba el bushing debe contar con su respectivo Tap.

En este tipo de interruptor se puede calcular el índice de pérdidas en el tanque.

Este índice se define de la siguiente manera:

$TLI = (\text{Pérdidas con el interruptor cerrado} - \text{Las pérdidas de los bushings con el interruptor abierto})$

El TLI nos permite obtener información referente a los siguientes aspectos:

- a) Elevado Contenido de Agua en el Aceite
- b) Contenido elevado de Carbón en los Interruptores
- c) El revestimiento del tanque saturado de agua.
- d) La guía de la varilla de operación se ha deteriorado.

La tabla 16 muestra las acciones a tomar según el valor del Índice de Pérdidas en el Interruptor.

Debajo de -0,20	Entre -0,20 y -0,10	Entre -0,10 y 0,05	Entre 0,05 y 0,10	Sobre 0,10
Investigar Inmediatamente	Ejecute pruebas con Más frecuencia	Normal para la Mayor parte de Tipos de interruptor	Ejecute pruebas con más frecuencia	Investigar en forma inmediata.
Posibles problemas en el ensamblaje de la guía de la varilla de operación, en los contactos o en la parte superior de la varilla de operación.	Posibles problemas en el ensamblaje de la guía de la varilla de operación, en los contactos o en la parte superior de la varilla de operación.	Normal para la Mayor parte de Tipos de interruptor	Posibles problemas en las varilla de operación, aceite, revestimiento del tanque, contactos auxiliares y soporte aislante.	Posibles problemas en la varilla de operación, aceite, revestimiento del tanque, contactos auxiliares y soporte aislante.

Tabla 16
Índice de Pérdida de Tanque¹²

¹² Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Interruptores aislados en SF₆

Los interruptores aislados en SF₆, poseen dos variantes que serán analizadas a continuación.

Tanque Muerto

Con el interruptor abierto la prueba debe hacerse bushing por bushing, en modo GST - Ground y con el interruptor puesto a tierra. El resultado de esta prueba indicará las pérdidas a tierra y la capacitancia a tierra de cada polo del interruptor.

En modo UST y con el interruptor abierto, se energiza uno de los bushing de cada fase y se recoge en el otro bushing de la fase bajo prueba, se repite la prueba en las tres fases y tiene el objeto de verificar el aislamiento entre los contactos del interruptor.

Finalmente, con el interruptor cerrado se efectuarán pruebas en modo GST - Ground, cortocircuitando los bushings correspondientes a cada fase, obteniendo los resultados de las pérdidas a tierra.

Tanque Vivo

De este tipo de interruptor básicamente existen dos tipos: Tipo columna y tipo "T".

Los interruptores tipo columna poseen un aislador soporte que tiene como finalidad aislar la cámara de interrupción de tierra.

Las pruebas que se recomiendan son las siguientes:

Con el interruptor abierto y en modo UST, se energiza la parte inferior de la cámara de interrupción y recogiendo en la parte superior de la cámara con el cable de baja tensión.

Bajo la misma condición pero en modo GST - Guarda, se energiza la parte inferior de la cámara de interrupción y se guarda el terminal superior de la cámara.

En la primera prueba se miden las pérdidas entre los polos del interruptor.

La segunda prueba, mide las pérdidas a tierra, el aislamiento del aislador soporte y del mecanismo de operación del interruptor.

La figura 31 muestra un esquema de la conexión para la prueba.

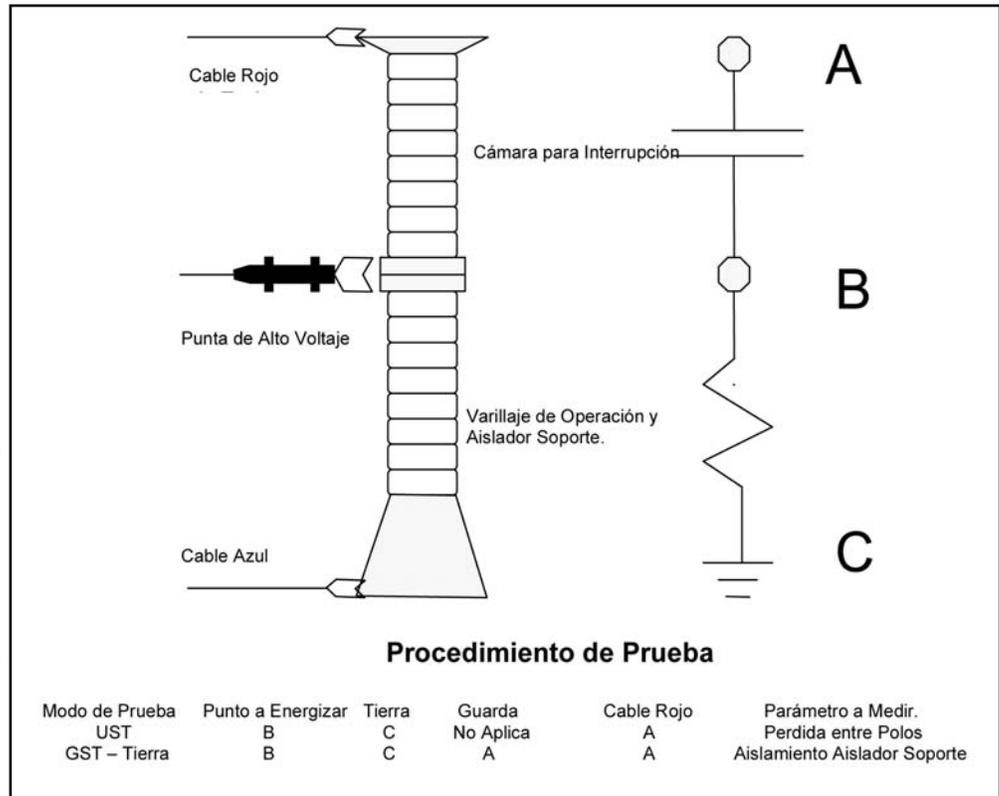


Figura 31 - Pruebas Interruptor tipo Columna

Interruptores tipo "T"

Con el interruptor abierto y en modo UST, se energiza el punto común de las cámaras de interrupción y se recoge por cada uno de los dos extremos con el otro extremo colocado a tierra, uno por uno. En esta prueba se miden las pérdidas entre polos.

Con el interruptor abierto y en modo GST - Guarda, se energiza el punto común de las cámaras de interrupción y se guardan ambos extremos de las cámaras del interruptor. En esta prueba se mide el aislamiento y pérdidas del aislador soporte.

Las figuras 32 y 33 indican las conexiones para ejecutar las pruebas.

Como observaciones adicionales podemos indicar:

Los efectos de los resistores de pre-inserción son insignificantes en los resultados de las pruebas. Los bushings de entrada son evaluados en términos de capacitancia y factor de potencia.

Pérdidas altas en las pruebas en modo UST implican deterioro o contaminación de las capacitancias de aislamiento entre polo y polo o contaminación en la porcelana del aislador.

Pérdidas altas en las pruebas GST-Guarda puede indicar condensación en el mecanismo de operación del interruptor, se recomienda repetir la prueba varias veces.

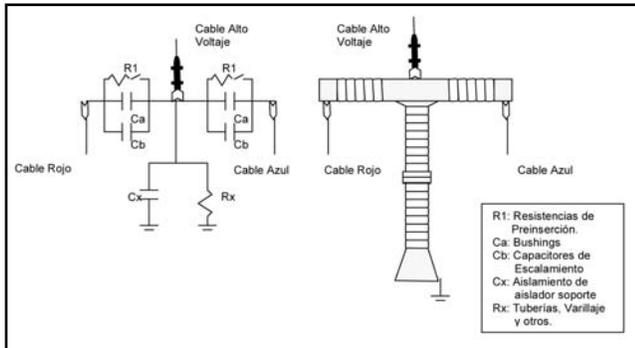


Figura 32
Pruebas en modo UST interruptores tipo T

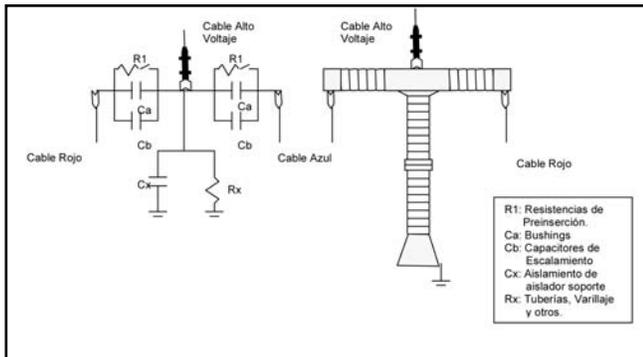


Figura 33
Pruebas en modo GST - Guard interruptores tipo T

En el caso de interruptores tanque VIVO, los valores no se corrigen por temperatura.

Interruptores de Vacío

La prueba se ejecuta de igual forma que se realizó para interruptores aislados en SF₆ del tipo tanque muerto, se recomienda efectuar la prueba con el interruptor en posición abierto. En este caso, los valores no se corrigen por temperatura.

Adicionalmente, las botellas de vacío, pueden ser probadas con un HI Pot AC.

Interruptores de Soplado Magnético

Al igual que el caso anterior, la prueba se ejecuta de igual forma que se realizó para interruptores aislados en SF₆ del tipo tanque muerto, se recomienda efectuar la prueba con el interruptor en posición abierto.

En este caso, los valores no se corrigen por temperatura.

Prueba de Resistencia de Contactos

A pesar de ser una prueba en DC, esta prueba es tan importante que vale hacer énfasis en la misma.

Tal y como se comentó, la prueba de resistencia de contactos tiene como finalidad verificar el estado de los contactos del interruptor. Estos se desgastan como consecuencia de la operación bajo carga o bajo falla del mismo.

kV	Amperes	Microohms	kV	Amperes	Microohms
5 - 15 kV	600	100	7,2 - 15	600	300
	1200	50		1200	150
	2000	50		2000	75
			4000	40	
			23 - 24	Todos	500
			46	Todos	700
			69	600	500
				1200	500
				2000	100
			115-230	Todos	800
Interruptores de Aire			Interruptores de Aceite.		

Tabla 17
Valores de Resistencia de Contacto¹³

Esta prueba aplica para todo tipo de interruptores independiente del nivel de voltaje. La tabla 17 muestra valores referenciales máximos para interruptores de Aire e Interruptores de Aceite.

Prueba del Aceite de Interruptores

En interruptores, al menos se deben efectuar la prueba de rigidez dieléctrica de aceite y la prueba de factor de potencia del ensamblaje completo. En caso de querer realizar otras pruebas consulte la sección **Pruebas en el Aceite Aislante**, página 25.

¹³ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Prueba de Bushings

La principal función de un bushing es proveer una entrada aislada de un conductor energizado hacia un tanque o cámara.

Un bushing también pudiera servir como soporte de partes energizadas de un equipo eléctrico.

Se clasifican según su tipo:

Tipo Condensador

Están diseñados para reducir el tamaño físico de los bushings, se fabrican con papel impregnado en aceite o con papel impregnado en resina.

Durante el arrollado del papel sobre el núcleo, el cual sirve de barra conductora, se coloca una serie de folios que actúan como condensadores posicionados en intervalos definidos, con el objeto de lograr una distribución axial del voltaje. Por otra parte, la longitud de estos folios permiten que el voltaje se distribuya a lo largo del bushing.

Los bushings modernos están equipados con taps de prueba. Para niveles de voltaje, superiores a 69000 voltios, los taps son del tipo voltaje o potencial, para niveles de voltaje inferior o igual a los 69000 voltios, los taps son del tipo factor de potencia.

La figuras 34 y 35 muestran ambos tipos de taps.

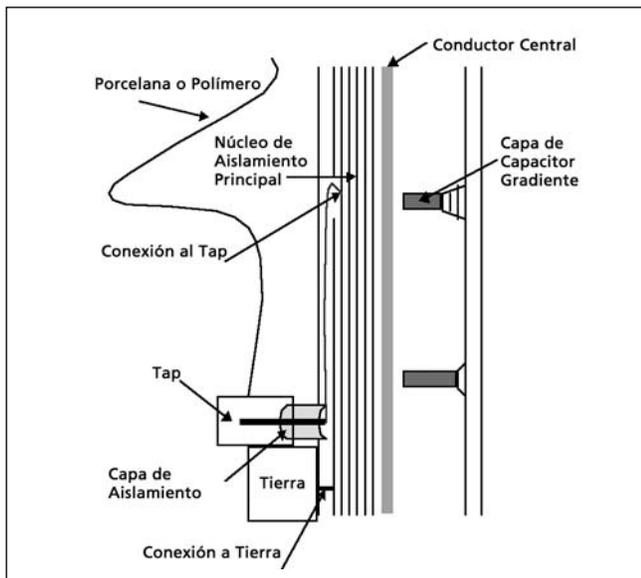


Figura 34
Tap de Potencial

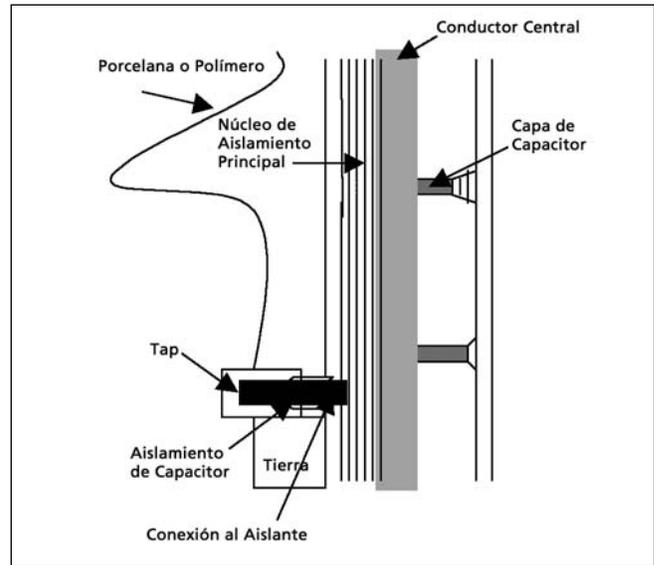


Figura 35
Tap Tipo Factor de Potencia

Los taps del tipo factor de potencia pueden soportar hasta 500 Voltios, los taps de voltaje o potencial pueden soportar entre 2,5 y 5 kV.

Tipo No Condensador

Son bushings fabricados como una pieza de porcelana sólida, como una combinación entre porcelana y gas o con capas concéntricas de aislador y aceite.

La prueba recomendada a los bushings con tensión AC es la prueba de factor de potencia.

- Prueba Overall:
Esta prueba se efectúa entre el conductor central y el flanche, energizando el punto de alta tensión del bushing y recogiendo o conectando el cable de baja tensión al flanche o la base del aislador. El modo de prueba debe ser GST - Ground.
- UST, C1:
Donde el cable de alta tensión se conecta al conductor central y el cable de baja tensión al tap C1.
- UST, C1 invertido:
El cable de alta tensión en C1 y el de baja tensión en el conductor central. No debe excederse el voltaje nominal del tap.
- UST, Tip Up:
Se ejecuta la prueba C1, a 2 kV y 10 kV y a 2 veces el voltaje fase a tierra si la tensión fase a tierra es menor a 6kV.

- e) GST - Guarda, C2
Se conecta el cable de alta tensión en C1 y el cable de baja tensión al conductor central, guardando el cable de baja tensión y midiendo solo la fuga entre el Tap C1 y C2.
- f) UST, Prueba de Collar Caliente
Se coloca la banda de neopreno en la porción del aislador que se desea probar, la punta de baja tensión se coloca en el conductor central y se energiza la banda de neopreno.
- g) GST - Ground, Prueba de Collar Caliente 2.
En este caso se miden todas las fugas existentes en la superficie del aislador, se coloca la banda de neopreno en la parte central del bushing y la misma se energiza para que posteriormente sean tomadas las lecturas por el equipo.
- Todos los valores deben ser corregidos a 20 grados centígrados.

	Aceptable	En Observación	Falla
Prueba C1	Valores de factor de Potencia Hasta 2 veces el valor de placa Variación de Capacitancia no mayor al 5% respecto al valor de placa.	Valores de factor de potencia entre 2 y 3 veces el valor de placa, con una variación de capacitancia entre el 5% y 10% del valor de placa.	Por encima de tres veces el valor de placa, con una variación de capacitancia mayor al 10% del valor de placa.
Prueba C2	El factor de potencia se encuentra alrededor del 1% Variación en la capacitancia no mayores al 5% del valor anterior y de otros similares.	Variación de Capacitancia entre el 5 y el 10% del valor de placas.	Variaciones de capacitancia mayores al 10%.
Collar Caliente GST.	Pérdidas menores a 100 miliVatios.		Pérdidas mayores a 100 miliVatios.

Tabla 18
Análisis de Resultados Pruebas de Bushings¹⁴

Prueba de Pararrayos

Las pruebas en AC de pararrayos pueden efectuarse utilizando Hi-Pot AC y/o una prueba de factor de potencia.

Pruebas de Hi Pot AC

Se puede aplicar una tensión AC a valores que no sobrepasen los voltajes nominales fase a tierra, registrando los valores de corriente de fuga.

En caso de querer probar pararrayos con varias secciones, se debe probar cada una de las secciones entre fase y tierra, aplicando el voltaje correspondiente.

Los resultados deben compararse con los valores iniciales de prueba o respecto a otros pararrayos iguales.

Pruebas de Factor de Potenci

La medición de las pérdidas dieléctricas es efectiva en la detección de pararrayos defectuosos, contaminados o deteriorados.

La tabla 19, muestra cuales son los voltajes de pruebas para los diferentes valores de voltaje nominal de pararrayos.

¹⁴ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Voltaje Nominal	Voltaje de Prueba
Entre 2,7 y 5,1 kV	2,5 kV
Entre 6,0 y 7,5 kV	5 kV
Entre 8,1 y 10 kV	7,5 kV
Más de 12 kV	10 kV

Tabla 19
Voltajes de Pruebas de Pararrayos¹⁵

Procedimiento de Pruebas

Algunos arreglos de pararrayos utilizan varias columnas para poder manejar el nivel de voltaje requerido con la capacidad de energía necesaria. En caso de probar una de las unidades que conforma este pararrayos o probar una unidad integrada se debe probar el equipo en modo GST - Tierra. Se debe desconectar los contadores de descarga antes de realizar la prueba.

Análisis de Resultados

Valores por encima de los esperados pueden ser resultado de polvo, humedad o ambos, tanto en el exterior o en el interior del pararrayos.

Valores inferiores a los esperados puede ser el resultado de problemas en conexiones internas.

Prueba de Condensadores

Son equipos que generalmente poseen muy alta capacitancia. A veces, esta capacitancia supera los requerimientos del equipo de medición. Se pueden hacer pruebas solo en modo GST - Tierra. La siguiente figura muestra como efectuar la prueba de un condensador.

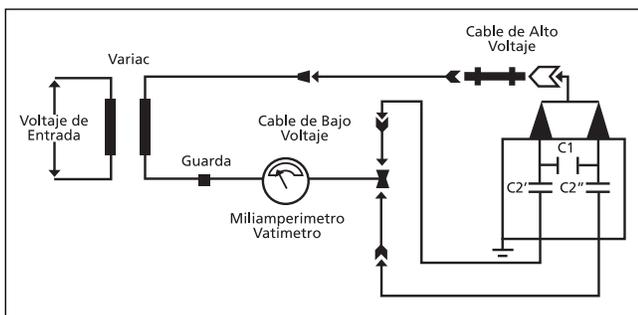


Figura 36
Esquema de Prueba para Condensadores

Procedimiento de Pruebas

- Se debe garantizar que el condensador esté completamente descargado.
- La prueba debe hacerse en modo GST - Tierra.
- El voltaje de prueba no debe exceder el valor de fase a tierra.

Resultados

Aún cuando no se puede medir el principal aislamiento, C1, la prueba es efectiva para detectar problemas en el aislamiento asociado a los bushings y del aislamiento de las paredes internas a tierra.

El factor de potencia del aislamiento interno a tierra, debe ser menor del 0,5%.

Prueba de Cables y Copas Terminales

Existen dos tipos de pruebas en AC para cables de potencia. La primera es la prueba de factor de potencia y una prueba especial para cables de multiplex capas o del tipo XLPE, Hi-Pot AC con baja frecuencia, VLF (en Inglés Very Low Frequency).

Prueba de Factor de Potencia

La prueba de factor de potencia puede ser útil en detectar humedad en el aislamiento. Debido a la alta capacitancia del cable, la prueba de factor de potencia es posible para longitudes cortas de conductores. Utilizar el Inductor resonante, permite probar longitudes mayores de cables.

La prueba de collar caliente, pudiera permitir la prueba de copas terminales. En sistemas de alto voltaje, las copas cuentan con un tap de pruebas el cual permite probarla en modo UST.

¹⁵ Los valores indicados en la tabla deben ser considerados solo como referencia, en ningún caso pretenden sustituir tendencias de pruebas anteriores o protocolos de prueba de su empresa.

Conexión y Modo de Prueba

- El cable debe ser desconectado en ambos extremos y claramente identificado.
- Se debe conectar el cable de tierra a la puesta a tierra de la subestación.
- El cable de alta tensión se conecta a la parte que se energiza del cable.
- El cable de bajo voltaje debe estar conectado a la pantalla.
- Modo de prueba: GST - Ground.
- Si valores altos de factor de potencia son encontrados, se debe efectuar otro tipo de prueba, por ejemplo, Tip-Up Test. En dicha prueba se mide el factor de potencia a varios niveles de voltaje, si el factor de potencia no cambia se sospecha que la humedad pudiera ser la causante del problema. Si al incrementar el voltaje el factor de potencia se incrementa, implica que la carbonización del aislamiento o la ionización es la causa de la falla.

Resultados

Como es común en las pruebas de factor de potencia, el resultado obtenido debe ser comparado con resultados previos, con datos del fabricante o con el obtenido en la prueba de las otras fases.

Prueba VLF

Desde finales de la década de los 90, se ha confirmado que algunas fallas en los cables del tipo múltiples capas o XLPE, son el resultado de las pruebas que se le hacen a este tipo de cables utilizando DC.

La norma Europea DIN VDE 0276 -260 no recomienda la prueba de este tipo de cable con DC.

Las pruebas DC polarizan el cable. Si el mismo posee tiempo en servicio un fenómeno denominado arborización, consecuencia del ingreso de humedad, contribuye en la disminución del aislamiento y en la aparición de fallas futuras.

La prueba VLF es una prueba de Hi Pot AC a baja frecuencia, 0,1 Hz o menor.

¿Por que probar con baja Frecuencia?

3 kilómetros de cable de 18 kV, posee una capacitancia con un valor alrededor de 1 microfaradio, esto representa una reactancia de 2650 Ohmios.

Una prueba a 3 veces V_n a 60 Hz.; 54 kilovoltios, implica requerir de una corriente de 20 amperes lo que implica una potencia de 1060 kVA.

Si se efectúa la prueba a 0,1 Hz, la reactancia capacitiva es de 1,6 Megaohmios lo cual implica que se requiera de una corriente de 33 miliamperios a 54kV o lo que es lo mismo 1,8 kVA, valor razonable para un equipo portátil de prueba.

Conexión de la Prueba y Resultados

Se conecta el equipo entre la parte que se energiza del cable y la pantalla, con esta última conectada a tierra.

Se inyecta un voltaje de tres veces el nominal fase a tierra.

El mismo debe ser mantenido por 15 minutos.

Si el cable soporta el voltaje por el tiempo indicado se encuentra en perfecto estado. En caso contrario, el cable está dañado.

Se recomienda ampliamente que la forma de onda asociada al equipo VLF sea senoidal ya que solo este tipo de equipo permitiría la adición de un equipo que sirva en pruebas de diagnóstico.

Bibliografía

- | | | |
|--|---|--|
| 1. The Lowdown on High-Voltage DC Testing; A.O. Reynolds, Biddle Instruments. | 8. Teoría y Procedimientos de Pruebas Doble, Notas de Instrucción. | 15. Facilities Instructions, Standards and Techniques, Maintenance of Power Circuit Breakers, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamations, 2001. |
| 2. Más Vale Prevenir; Guía Completa para Pruebas de Aislamiento Eléctrico; Staff de Megger. | 9. Power Transformer Maintenance and Acceptance Testing, Headquarters, Department of the ARMY, November 1998. | 16. Insulation, Cutler Hammer University. |
| 3. Electrical Equipment, Testing & Maintenance; A.S. GIL, Prentice Hall. | 10. Técnicas de Medición en Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico, Universidad Simón Bolívar, Jorge Rivero, Juan C Rodríguez, Elizabeth Da Silva, Miguel Martínez, Oscar Cabrera, Mayo 1999. | 17. Megger, DELTA 2000 Instructions Manual, Megger 2000. |
| 4. NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance, 1998 Edition | 11. Very Low Frecuency AC HIPOTS, Michael T Peschel, High Voltage. | 18. Zensol, Pruebas de Tiempo con Interruptores. |
| 5. A Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1 kV; David O. Jones, Jeffrey R. Jowett, S. Graeme Thomson; David S. Danner. | 12. Multiamp Technical Notes, Transformer Ohmmeter, 1992 | 19. M2H Instructions Books, Doble Engineering. |
| 6. Maintenance Engineering Hand Book, Lindley R. Higgins, Mc Graw Hill | 13. Análisis de Respuesta a la Frecuencia de la Impedancia como Herramienta de Diagnóstico de Transformadores; Librado Magallanes, Ernesto López, Isal Gallardo. | 20. Frequency Response Analysis (FRA) for transformer Testing using FRAMIT, It's Application and Interpretation, Richard Breytenbach, Starlogic Instrument Development |
| 7. Transformers Topics, Parsons Peebles LTD, EDINBURGH. | 14. Testing Solid Insulation of Electrical Equipment, High- Potencial, AC Proof Test. | 21. Winding Frequency Response Analysis using Impulse Frequency Response Analysis (IFRA) Method, Richard Breytenbach, Starlogic. |



BITE 3 **Equipo para Prueba de Impedancia de Baterías**

El BITE 3 mide la impedancia interna y el voltaje de las celdas de plomo ácido con capacidad de hasta 2000 A/hora. Asimismo mide la resistencia de la conexión entre las celdas, la corriente de flotación y la corriente

de cresta con su contenido armónico para proporcionar una mejor evaluación.

- Determina la salud de las baterías de plomo ácido con capacidad de hasta 2000 A/hora
- Prueba en línea con cálculos de pasa/alerta/falla
- Mide impedancia, resistencia de conexión entre las celdas y el voltaje de las celdas
- INCLUYE el software con administración de bases de datos ProActiv™

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



S1-552 y S1-1052 **Probadores de resistencia de aislamiento de 5-kV y 10 kV**

Los probadores de aislamiento S1-552 y el S1-1052 están diseñados específicamente para ayudar al usuario con la prueba y mantenimiento de equipo de alto voltaje. Ambos instrumentos tienen una corriente

de corto circuito de 5mA lo que permite una carga y prueba más rápidas de altas cargas inductivas

- Operado con suministro de la red o con baterías
- Rechazo de interferencia de 2 miliamperios de valor efectivo a 200 V y más para uso en subestaciones y patios de maniobras de alto voltaje
- Rango de medida a 15TΩ (S1-552) y 35 TΩ (S1-1052)
- Pruebas de resistencia de aislamiento automático, pruebas de Razón Dialéctica de Absorción (Dielectric absorption ratio- DAR), Índice de Polarización (IP), Voltaje Escalonado (SV) y prueba de Descarga Dialéctica (DD)
- Descarga de resultados RS232 o USB
- Memoria a bordo para almacenamiento de resultados

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



DLRO® y DLRO® 10X **Ohmímetro Digital para Baja Resistencia (DLRO)**

El DLRO10 y el DLRO10X son instrumentos totalmente automáticos que seleccionan la corriente de prueba más adecuada hasta de 10 A CD para medir la resistencia de 0,1 μΩ a 2000 Ω, en uno de siete rangos. El DLRO10X utiliza un

sistema de menú controlado por un botón de dos ejes para permitir la selección manual de la corriente de prueba y asimismo agrega la descarga en tiempo real de los resultados y el almacenamiento de los mismos para una descarga posterior a una PC.

- La prueba con reversión automática de la corriente para cancelar fuerzas electromotivas (erms) presentes
- Con protección a 600 V
- Automáticamente detecta la continuidad en las conexiones de potencia y de corriente
- Teclado alfanumérico para ingresar las notas de las pruebas (DLRO10X)
- Límites alto y bajo determinados por el usuario (DLRO10X)

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



DLRO® 200 y DLRO® 600 **Micro-ohmímetros digitales**

El DLRO200 y el DLRO600 miden las resistencias entre 0,1 μΩ a 1 Ω a altas corrientes, adecuándolos para probar los contactos de prueba de los

interruptores, de contactos de conmutador, de empalmes de barras y para otras aplicaciones de alta corriente. El DLRO200 puede proporcionar corrientes de prueba de 10 Amps hasta 200 Amps, mientras que el DLRO600 puede proporcionar corrientes de prueba de hasta 600 Amps, sujeto a la resistencia de carga y suministro de voltaje

- Memoria integrada de hasta 300 resultados de prueba
- Con mejor resolución de 0,1 μΩ
- Puerto RS232 para bajar los resultados almacenados o para salida en tiempo real a una impresora
- Pequeño y liviano con menos de 33 lbs (15 Kg)
- Viene completo con cables de prueba de 10,4 pies (5 m) y con software para descarga de los datos

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



OTS60PB **Equipo Portátil automático para Prueba dieléctrica del aceite**

El OTS 60PB está diseñado específicamente para determinar la fuerza dieléctrica de los aceites aisladores. Puede recuperar los voltajes de ruptura de pruebas individuales,

determinar automáticamente el promedio de los resultados y el cálculo de la desviación estandar proporciona facilidad de uso y mejora la eficiencia operativa

- Operación totalmente automática
- Batería interna recargable
- Puerto RS-232
- Tiene disponibilidad de equipo de impresión opcional



DELTA-2000 **Equipo automático para Prueba del factor de potencia del aislamiento de 10 kV**

El DELTA-2000 está diseñado para determinar las condiciones del aislamiento eléctrico en aparatos de alto voltaje tales como transformadores, bujes o pasatapas

(bushings), interruptores, cables, pararrayos y maquinaria eléctrica rotativa. Este equipo ha sido diseñado para proporcionar una prueba completa de diagnóstico de aislamiento de corriente alterna.

- Es extremadamente fácil de utilizar, sin necesidad de un ajuste extenso equipo o software
- Trabaja en condiciones de alta interferencia en patios de maniobra de hasta 765 kV
- Capacidad integrada para almacenar, imprimir y descargar los resultados de prueba
- Diseño fuerte y portátil para uso en el campo y en el taller

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



MPRT Sistema de Prueba para Relevadores de Protección

El MPRT está diseñado para desarrollar pruebas rutinarias de relevadores de protección utilizados en la operación de

compañías de luz y fuerza, plantas de energía e industrias pesadas y elimina la complejidad de la prueba de relevadores de protección

- Consiste en la "Caja de Potencia", el Controlador Interfaz Touchview (TVI), los programas básicos de AVTS
- Diseño de salida ultra flexible proporciona hasta 4 voltajes y cuatro corrientes de salida de corriente, u ocho corrientes.
- Sistemas hechos contra pedido basados en las necesidades específicas
- Rutinas de prueba preajustadas integradas y salida constante de potencia (CPO)



Ohmímetro de Transformadores para prueba de resistencia de devanados y prueba del cambiador de derivaciones

El Ohmímetro de transformadores (Catálogo No. 830280) es un instrumento portátil diseñado para

realizar medidas de resistencia en devanados de transformadores de potencia (también en devanados de maquinaria eléctrica rotativa) en una forma exacta y segura. Además es útil para determinar el funcionamiento de los cambiadores de derivaciones de transformadores (cambiadores de derivaciones bajo carga y derivaciones sin carga)

- Rango de resistencia de 0 a 2000 Ω con resolución de $\mu\Omega$
- Corriente de prueba con rango de 5 mA a 5 Amperios
- Mide dos devanados al mismo tiempo
- Descarga automática de devanado para la seguridad del operador
- Protegido contra las interrupciones en el circuito de corriente



CTER91 Equipo para prueba de excitación, relación de vueltas y polaridad de transformadores de corriente

El equipo de prueba CTER-91 es una unidad liviana, portátil para efectuar pruebas de excitación, relación de vueltas

y polaridad en transformadores de corriente utilizando el método de comparación de voltaje. Proporciona una salida variable de voltaje. Es un instrumento de precisión para probar transformadores de corriente con una relación de vueltas o con múltiples relaciones de vueltas

- Prueba los transformadores de corriente en los bujes (pasatapas o bushings) montados adentro de los transformadores o armarios de maniobras
- Las pruebas de saturación, relación y polaridad se realizan sin cambiar las conexiones de las salidas de prueba
- Protección contra sobrecargas y corto circuitos
- Proporciona un rango alto de 1000V



Equipo trifásico para prueba de relación de vueltas en Transformador

El TTR trifásico es un instrumento totalmente automático diseñado para medir la relación de vueltas de

transformadores de potencia, distribución e instrumentos. Las desviaciones en la relación de vueltas, la corriente de excitación y el ángulo de fase indican problemas con el transformador

- Medida de alta relación de vueltas(45000:1) con exactitud excelente (0,1%)
- Almacenaje de datos integrado (hasta 200 juegos de resultados) y capacidades de bajar datos a la computadora
- Indica el % de error contra los datos de placa y los límites de pasa/falla
- Selección del operador de prueba "rápida" o prueba completa

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



TTR100 y TTR25 Equipos para Prueba de Relación de vueltas de tipo manual portátil

El TTR100 y el TTR25 se utilizan para medir la relación de vueltas, la corriente de excitación y la polaridad de los devanados en transformadores monofásicos y de distribución y de potencia trifásicos (probados fase a fase) en distribución

unifásica y trifásica y transformadores de potencia (probados fase por fase) transformadores de potencia y de corriente con derivaciones. El TTR 100 también se utiliza para medir el desplazamiento de fase y la resistencia de devanados con corriente directa.

- Totalmente automático, robusto y liviano
- Mide la relación de vueltas 20000:1
- Operado por baterías
- Almacena 200 juegos de resultados (TTR100)
- Puerto RS232 para transferencia de datos e impresión (TTR100)

Asimismo, automatiza la adquisición de datos y el control del (incluya el nombre del instrumento) al utilizar el Software de PowerDB (vea la página 37).



PowerDB Software para Pruebas de Mantenimiento y Administración de Datos de SubEstaciones

El PowerDB es un paquete de software muy poderoso y fácil de utilizar que proporciona una administración total de

datos para trabajos de prueba de aceptación y mantenimiento. No se requiere conocimientos sobre base de datos y dispone de una variedad de herramientas (tales como un editor de formularios) que están integrados para ayudarlo en la administración de los datos de prueba. Asimismo, incluye ecuaciones de cálculo, cálculos para corrección de temperatura, con capacidad para graficar los datos y mucho más.

El Power DB también proporciona control y adquisición de datos de instrumentos de prueba para la mayoría de los instrumentos mostrados en estas dos páginas.

- Proporciona más de 100 formularios de prueba que son estándar en la industria
- Permite establecer la tendencia de datos para efectuar el análisis predictivo de fallas
- El PowerDB también se puede conectar con sistemas CMMS de compañías grandes



UK

Archcliffe Road Dover
CT17 9EN England
T +44 (0) 1304 502101
F +44 (0) 1304 207342
UKsales@megger.com

UNITED STATES

4271 Bronze Way
Dallas TX 75237-1019 USA
T 800 723 2861 (USA only)
T +1 214 333 3201
F +1 214 331 7399
USSales@megger.com

OTHER TECHNICAL SALES OFFICES

Norristown USA, Sydney AUSTRALIA,
Toronto CANADA, Trappes FRANCE,
Kingdom of BAHRAIN, Mumbai INDIA
Johannesburg SOUTH AFRICA
Conjure THAILAND

ISO STATEMENT

Registered to ISO 9001:2000 Cert. no. 10006.01
5KV_UG_es_V01
www.megger.com
Megger is a registered trademark