

CAPÍTULO 2 PRUEBAS

2.1 INTRODUCCIÓN.

Las pruebas eléctricas son la base principal para verificar y apoyar los criterios de aceptación o para analizar los efectos, cuando sucedan cambios o variaciones con respecto a los valores iniciales de puesta en servicio o de la última prueba.

Se consideran pruebas eléctricas, aquellas que determinan las condiciones en que se encuentra el equipo eléctrico, para determinar sus parámetros eléctricos de operación.

Al final de este capítulo, en la tabla 2.2 se relacionan las pruebas aplicables a cada equipo en particular.

2.2 PRUEBAS DE FÁBRICA.

Las pruebas de fábrica se clasifican en 3 grupos:

a) PRUEBAS DE PROTOTIPO.

Las Pruebas de Prototipo son las que se realizan a diseños nuevos y tienen por finalidad, cumplir con los valores establecidos en las normas que se aplican y/o especificaciones bajo las cuales fueron fabricados los equipos. En estas pruebas entran en función tanto los materiales utilizados para su fabricación como los criterios de diseño considerados.

Las Pruebas de Prototipo incluyen las pruebas de rutina.

b) PRUEBAS DE RUTINA.

Son pruebas que deben efectuarse a cada uno de los equipos, conforme a métodos establecidos en las normas correspondientes, para verificar la calidad del producto y que están dentro de los valores permitidos. Estas pruebas son las que determinan la aceptación o rechazo de los equipos.

c) PRUEBAS OPCIONALES.

Estas pruebas son las que se realizan a los equipos, conjuntamente entre el fabricante y usuario a fin de determinar algunas características particulares del equipo

2.2.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS PRUEBAS DE FÁBRICA.

Dentro de las más importantes, se pueden citar las siguientes:

a) PRUEBA DE IMPULSO POR RAYO. Consiste en simular en el Laboratorio las condiciones de falla provocadas por descargas atmosféricas en los equipos.

Esta prueba se realiza aplicando al equipo impulsos de onda positiva o negativa, de acuerdo al nivel básico de impulso para cada tensión, en condiciones estándar y de acuerdo a las normas indicadas en las especificaciones.

La curva característica que se asemeja a las condiciones de una descarga atmosférica, es aquella que obtiene su máximo valor de tensión en un tiempo de 1.2 microsegundos y decrece al 50% del valor de tensión en un tiempo de 50 microsegundos, a esta curva se le llama onda completa, ver figura 2.1.

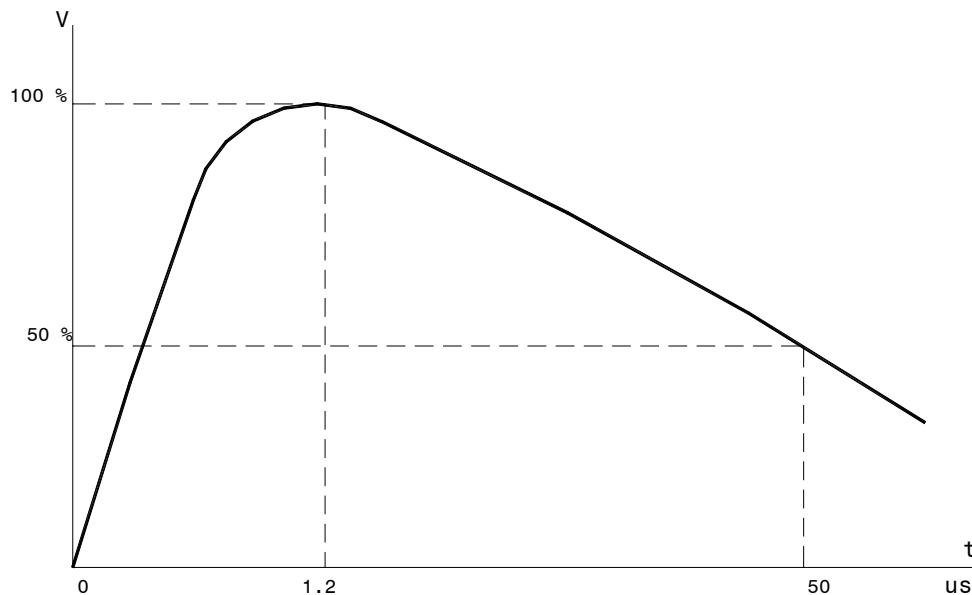


FIG. 2.1 ONDA COMPLETA, 1.2 X 50 MICROSEGUNDOS.

b) PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO. Consiste en aplicar al equipo una tensión a la frecuencia de operación del sistema, cuyo valor varía de acuerdo a lo indicado en la norma correspondiente para cada nivel de tensión (del 180% al 300% de la tensión



nominal), su duración es de un minuto.

c) PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES. Esta determina la calidad del aislamiento, es útil para detectar porosidades, grietas, burbujas de aire, etc. en el interior de un aislamiento sólido. El resultado de esta prueba está dado en picocoulombs.

d) PRUEBA DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA. Sirve para verificar que los equipos cumplan con la capacidad de diseño, sin rebasar los límites de temperatura establecidos por las normas correspondientes.

e) PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO. El objetivo es verificar la resistencia del aislamiento entre diferentes partes de un equipo. Como por ejemplo, para transformadores de potencia: entre espiras, entre secciones, entre capas, etc. y el aislamiento de estas partes a tierra que no fueron probadas durante la prueba de potencial aplicado. La prueba consiste en inducir al devanado el 200% de su tensión nominal, por un tiempo, que dependerá de la frecuencia utilizada, la cuál es modificada para no saturar el núcleo.

La referencia de ésta prueba es aplicar la tensión a 7200 ciclos en un segundo; como no es posible contar con un generador de esa frecuencia, en la práctica, el tiempo de prueba se obtiene dividiendo los 7200 Hz entre la frecuencia que produzca el generador de inducido con que cuente cada fábrica, por ejemplo, para un generador de 240 Hz el tiempo será de 30 segundos.

Además de las pruebas mencionadas, existen otras como:
Corto circuito, corriente sostenida de corta duración, resistencia óhmica, etc.

2.3 PRUEBAS DE CAMPO.

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

- a) Recepción y/o Verificación.
- b) Puesta en Servicio.
- c) Mantenimiento.

a) RECEPCIÓN Y/O VERIFICACIÓN. Se realizan a todo el equipo nuevo o reparado, considerando las condiciones de traslado; efectuando primeramente una inspección detallada de cada una de sus partes; para el caso de los transformadores de potencia se debe considerar una revisión interna de sus devanados.

b) PUESTA EN SERVICIO. Se realizan a cada uno de los equipos en campo después



de haber sido: instalados, ajustados, secados, etc., con la finalidad de verificar sus condiciones para decidir su entrada en operación.

c) **MANTENIMIENTO.** Se efectúan periódicamente conforme a programas y a criterios de mantenimiento elegidos y condiciones operativas del equipo.

2.3.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA REALIZAR PRUEBAS ELÉCTRICAS AL EQUIPO PRIMARIO.

- a) Durante las pruebas deben tomarse todas las medidas de seguridad personal y para el equipo de acuerdo a lo indicado en el "Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo CFE" capítulo 100 y lo aplicable del capítulo 800.
- b) Para equipos en operación, con base en los programas de mantenimiento, tramitar los registros y licencias correspondientes de acuerdo a las Reglas de Despacho y Operación del Sistema Eléctrico Nacional vigente.
- c) Tener la seguridad de que el equipo a probar no este energizado. Verificando la apertura física de interruptores y/o cuchillas seccionadoras.
- d) El tanque o estructura del equipo a probar, debe estar aterrizado.
- e) Verificar que las condiciones climatológicas sean adecuadas y no afecten los resultados de las pruebas que se van a realizar.
- f) Aterrizar el equipo a probar por 10 minutos aproximadamente para eliminar cargas capacitivas que puedan afectar a la prueba y por seguridad personal.
- g) Desconectar de la línea o barra, las terminales del equipo a probar.
- h) En todos los casos, ya sea equipo nuevo, reparado o en operación, las pruebas que se realicen siempre deben estar precedidas de actividades de inspección o diagnóstico.
- i) Preparar los recursos de prueba indispensables como son: Equipos, Herramientas, Probetas, Mesas de prueba, etc.
- j) Preparar el área de trabajo a lo estrictamente necesario, delimitar el área de trabajo para evitar el paso de personas ajenas a la prueba; procurando se tengan fuentes accesibles y apropiadas de energía.
- k) Colocar él o los equipos de prueba sobre bases firmes y niveladas.
- l) Comprobar que las terminales de prueba están en buenas condiciones y que sean las apropiadas.
- m) Verificar y en su caso eliminar cualquier interferencia que pudiera afectar los valores de prueba, humedad, polvo, inducción electromagnética, etc.
- n) No aplicar tensiones de prueba, superiores a la tensión nominal del equipo a probar.
- o) Anotar o capturar las lecturas de la prueba con todos aquellos datos que



requiere el formato correspondiente (multiplicadores, condiciones climatológicas, etc.).

- p) Al terminar la prueba poner fuera de servicio el equipo de prueba y aterrizar nuevamente el equipo probado.
- q) Verificar antes de devolver la licencia que todas las conexiones y condiciones operativas del equipo han sido restablecidas.

2.3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

2.3.2.1 TEORÍA GENERAL

La resistencia de aislamiento se define como la oposición al paso de una corriente eléctrica que ofrece un aislamiento al aplicarle una tensión de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo y generalmente expresada en Megaohms ($M\Omega$), Gigaohms ($G\Omega$) o Teraohms ($T\Omega$).

A la corriente resultante de la aplicación de tensión de corriente directa, se le denomina "**Corriente de Aislamiento**" y consta de dos componentes principales:

a) La corriente que fluye dentro del volumen de aislamiento es compuesta por:

- i) Corriente Capacitiva.**
- ii) Corriente de Absorción Dieléctrica.**
- iii) Corriente de conducción irreversible.**

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

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



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

b) **Corriente de Fuga.**- Es la que fluye sobre la superficie del aislamiento. Esta corriente al igual que la Corriente de Conducción irreversible, permanece constante y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones del aislamiento.

Absorción dieléctrica

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

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

La pendiente de la curva puede expresarse mediante la relación de dos lecturas de resistencia de aislamiento, tomadas a diferentes intervalos de tiempo, durante la misma prueba. A la relación de 60 a 30 segundos se le conoce como "Índice de Absorción", y a la relación de 10 a 1 minuto como "Índice de Polarización".

Los índices mencionados, son útiles para la evaluación del estado del aislamiento de devanados de transformadores de potencia y generadores.

2.3.2.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA.

Entre los factores que afectan la prueba y tienden a reducir la resistencia de aislamiento de una manera notable son: la suciedad, la humedad relativa, la temperatura y la inducción electromagnética; para la suciedad, es necesario eliminar toda materia extraña (polvo, carbón, aceite, etc.) que esté depositada en la superficie del aislamiento; para la humedad, se recomienda efectuar las pruebas a una temperatura superior a la de rocío. La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura en la mayor parte de los materiales aislantes; para comparar adecuadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma base.

Esta conversión se efectúa con la siguiente ecuación:

$$R_c = K_t (R_t)$$

De donde:

R_c = Resistencia de aislamiento en Megaohms corregida a la temperatura base.

R_t = Resistencia de aislamiento a la temperatura que se efectuó la prueba.

K_t = Coeficiente de corrección por temperatura.

La base de temperatura recomendada, es de 20°C para transformadores y 40°C para máquinas rotatorias, que nos permiten comparar en forma objetiva los resultados en forma homogénea independientemente para eliminar los efectos de la temperatura en las pruebas se cuenta con factores de corrección de la temperatura en que se realiza la prueba. Para otros equipos, como interruptores, apartarrayos, boquillas, pasamuros, etc., no existe temperatura base, ya que la resistencia con respecto a la temperatura es estable.

Para equipos a probar, que se encuentren bajo el efecto de inducción electromagnética, es necesario acondicionar un blindaje para drenar a tierra las corrientes inducidas que afectan a la prueba.

Una forma práctica para el blindaje, es utilizar malla metálica multiaterrizada (jaula de Faraday) sobre el equipo, soportada con material aislante.

Para realizar lo anterior, se deben tomar las medidas estrictas de seguridad por la proximidad con otros equipos energizados.

Otro factor que afecta las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica es la presencia de carga previa en el aislamiento. Esta carga puede originarse porque el equipo trabaja aislado de tierra o por una aplicación de la tensión de C.D. en una prueba anterior. Por tanto es necesario que antes de efectuar las pruebas se descarguen los aislamientos mediante una conexión a tierra.

2.3.2.3 METODOS DE MEDICIÓN.

Las mediciones se obtienen mediante un medidor de resistencia de aislamiento de indicación directa. Este equipo ha sido el instrumento estándar para la verificación de la resistencia de aislamiento existiendo tres tipos: Los accionados manualmente, los accionados por motor (ver Fig. 2.2) y los de tipo electrónico y/o digital.



El primer tipo es satisfactorio para efectuar pruebas de tiempo corto y los tipos motorizado y digital para pruebas en donde es necesario determinar los índices de absorción y polarización.

a) MÉTODO DE TIEMPO CORTO.- Consiste en conectar el instrumento al equipo que se va a probar y operarlo durante 60 segundos.

Este método tiene su principal aplicación en equipos pequeños y en aquellos que no tienen una característica notable de absorción, como son los interruptores, cables, apartarrayos, etc.

b) MÉTODO DE TIEMPO-RESISTENCIA O ABSORCIÓN DIELECTRICA.- Consiste en aplicar la tensión de prueba durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a 15, 30, 45 y 60 segundos, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos. Su principal aplicación es en transformadores de potencia y en grandes máquinas rotatorias dadas sus notables características de absorción

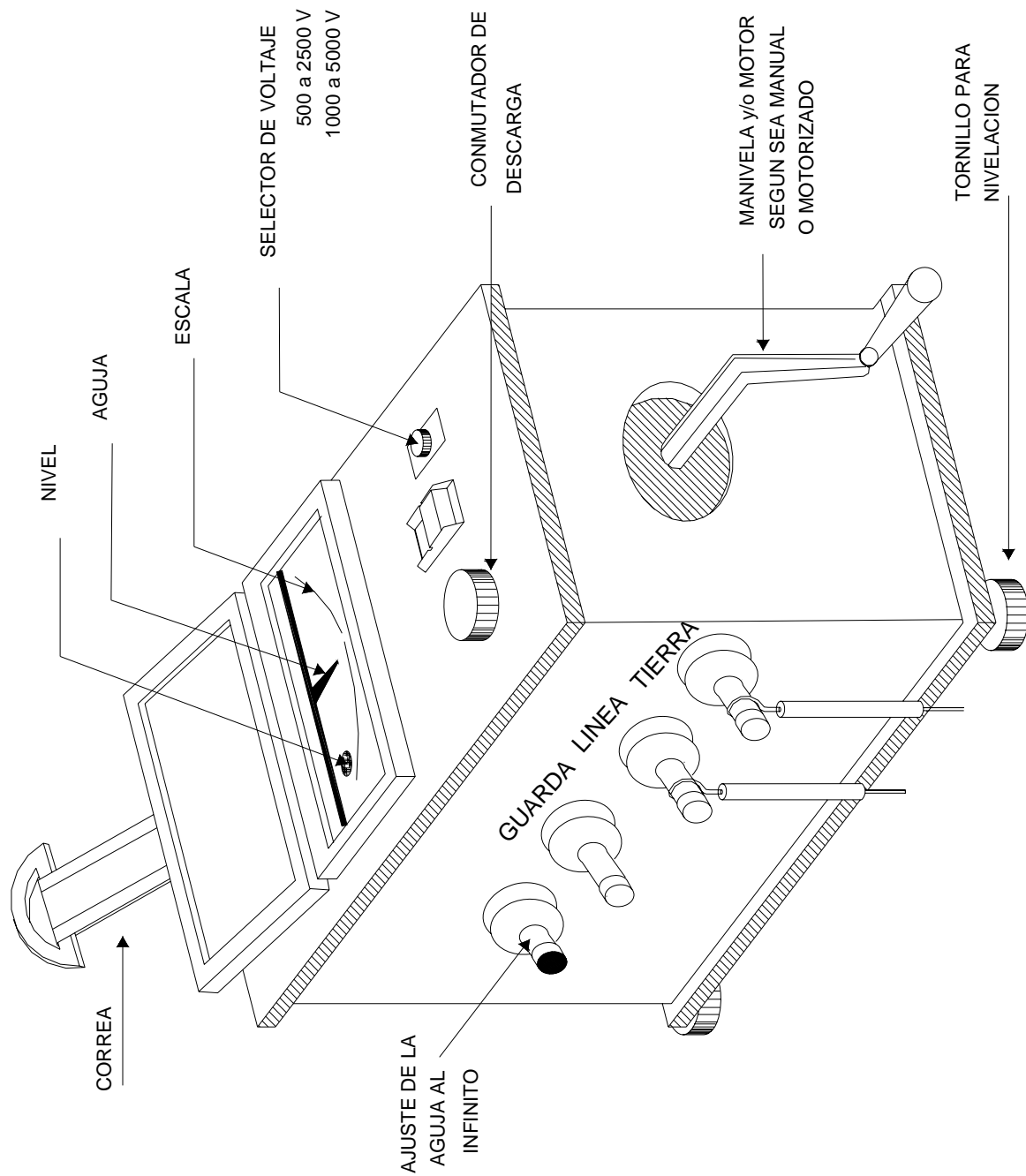


FIG. 2.2 MEGGER DE AISLAMIENTO



2.3.2.4 CONSIDERACIONES.

La medición de resistencia de aislamiento, es en sí misma una prueba de potencial, por lo tanto, debe restringirse a valores apropiados que dependan de la tensión nominal de operación del equipo que se va a probar y de las condiciones en que se encuentre su aislamiento. Si la tensión de prueba es alta, se puede provocar fatiga en el aislamiento.

Las tensiones de prueba de corriente directa comúnmente utilizados son de 500 a 5,000 Volts.

Las lecturas de resistencia de aislamiento disminuyen normalmente al utilizar potenciales altos, sin embargo para aislamiento en buenas condiciones, se obtendrán valores semejantes para diferentes tensiones de prueba.

Si al aumentar la tensión de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de aislamiento, puede ser indicativo de que existen imperfecciones o fracturas en el aislamiento, posiblemente agravadas por suciedad o humedad, aún cuando también la sola presencia de humedad con suciedad puede ocasionar este fenómeno.

2.3.2.5 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Aún cuando existe una gran variedad de instrumentos para la medición de la resistencia de aislamiento, puede decirse que la gran mayoría utiliza el elemento de medición de bobinas cruzadas, cuya principal característica es que su exactitud es independiente de la tensión aplicada en la prueba:

Los medidores de resistencia de aislamiento de los tipos manual y motorizado (ver Fig.2.3) consisten fundamentalmente de dos bobinas designadas como A y B montadas en un sistema móvil común con una aguja indicadora unida a las mismas y con libertad para girar en un campo producido por un imán permanente. En el caso de estos tipos de medidores de resistencia de aislamiento, el sistema está sustentado en joyas soportadas en resortes y está exento de las espirales de control que llevan otros aparatos como los ampérmetros y vóltmetros.

La alimentación de señal a las bobinas se efectúa mediante ligamentos conductores que ofrecen la mínima restricción posible, de tal forma, que cuando el instrumento está nivelado y no se le está alimentando corriente, la aguja indicadora flotará libremente pudiendo quedar en reposo en cualquier posición de la escala.

Adicionalmente al elemento de medición, estos tipos de medidores de resistencia de aislamiento tienen un generador de corriente directa accionado manualmente o mediante un motor el cual proporciona la tensión necesaria para efectuar la medición.

La bobina deflectora A está conectada en serie con una resistencia R' , quedando la resistencia bajo prueba conectada entre las terminales línea y tierra del aparato.

Las bobinas A y B están montadas en el sistema móvil con un ángulo fijo entre ellas y están conectadas en tal forma que cuando se les alimenta corriente, desarrollan pares opuestos y tienden a girar el sistema móvil en direcciones contrarias. Por lo tanto, la aguja indicadora se estabilizará en el punto donde los pares se balancean. Cuando el aislamiento es casi perfecto o cuando no se conecta nada a las terminales de prueba no habrá flujo de corriente en la bobina A. Sin embargo, por la bobina B circulará un flujo de corriente y por tal razón, girará en contra de las manecillas del reloj hasta posicionarse sobre el entrehierro en el núcleo de hierro C. En esta posición la aguja indicadora estará sobre la marca del infinito.

Con las terminales de prueba en cortocircuito fluirá una corriente mayor en la bobina A que en la bobina B, por tal motivo un par mayor en la bobina A desplazará el sistema móvil en sentido de las manecillas del reloj, hasta posicionar la aguja indicadora en el cero de la escala. Cuando se conecta una resistencia entre las terminales marcadas como línea y tierra del aparato, fluirá una corriente en la bobina deflectora A y el par correspondiente, desplazará el sistema sacándolo de la posición del infinito hacia un campo magnético que aumenta gradualmente, hasta que se alcanza un balance entre los pares de las dos bobinas. Esta posición depende del valor de la resistencia externa que controla la magnitud relativa de la corriente en la bobina A. Debido a que los cambios en la tensión afectan las dos bobinas en la misma proporción, la posición del sistema móvil es independiente de la tensión.

La función de la resistencia R' es limitar la corriente en la bobina A y evitar que se dañe el aparato cuando se ponen en cortocircuito las terminales de prueba.

En la figura 2.3 se muestra como se guarda la terminal de línea mediante una arandela metálica conectada al circuito de guarda, esto evita errores debido a fugas a través de la superficie del aparato, entre las terminales de línea y tierra. Básicamente lo que se hace, es proporcionar a la corriente de fuga un camino en derivación hacia la fuente de alimentación, que no pase por la bobina deflectora del aparato.

En el caso de los medidores de resistencia de aislamiento del tipo electrónico y/o digital la medición se efectúa bajo el mismo principio de comparación y balance de resistencias señalado anteriormente solo que mediante una emulación de la acción de las bobinas a través de circuitos y componentes electrónicos o mediante algoritmos



residentes en un microprocesador; Obteniéndose incluso para este tipo de medidores de resistencia de aislamiento mayor grado de exactitud y precisión que en aquellos equipos que utilizan medidores analógicos.

2.3.2.6 USO DE LA GUARDA.

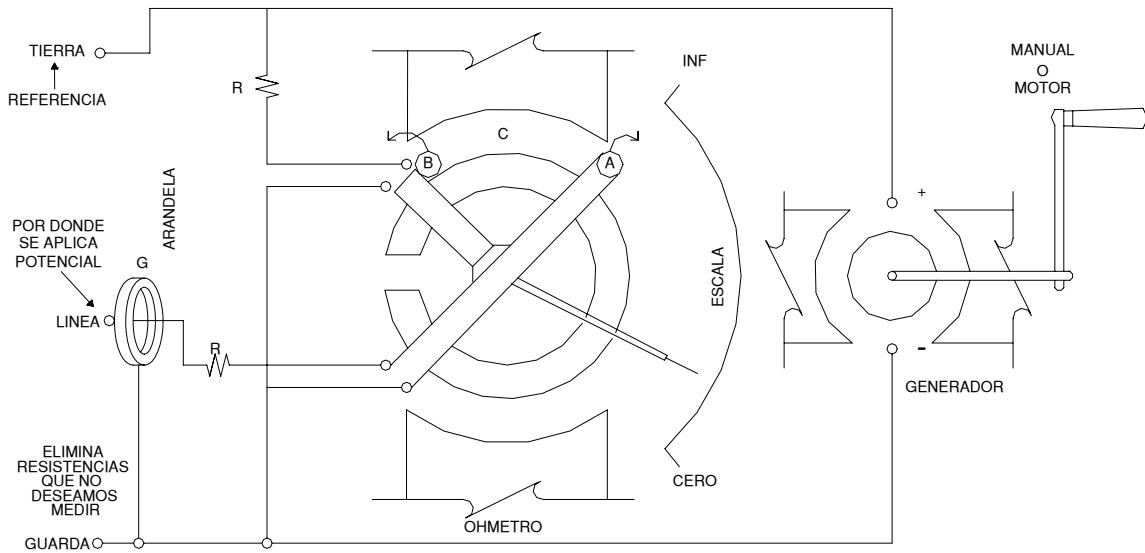
Generalmente todos los medidores de resistencia de aislamiento con rango mayor de 1000 Megaohms ($M\Omega$) están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es el contar con un medio para efectuar mediciones en mallas de tres terminales (ver Fig. 2.4) en tal forma que puede determinarse directamente el valor de una de las dos trayectorias posibles. Además de esta finalidad principal, dicha terminal hace posible que los medidores de resistencia de aislamiento puedan utilizarse como una fuente de tensión de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

Concretamente puede decirse que la corriente de fuga de toda componente de un sistema de aislamiento conectada a la terminal de guarda no interviene en la medición.

Así usando las conexiones indicadas en la figura 2.4, se medirá la resistencia "R₂₁" directamente ya que las otras dos no entran en la medición por estar conectada la terminal 3 a guarda.

Al usar la terminal de guarda, particularmente en el caso de los instrumentos accionados con motor, o los de tipo electrónico y/o digital debe asegurarse que no existen posibilidades de que se produzca un arco eléctrico entre las terminales de la muestra bajo prueba, conectadas a guarda y tierra. Tal situación podría causar arqueo indeseable en el conmutador del generador del instrumento.

Para todas las pruebas de resistencia de aislamiento citadas en este procedimiento deben utilizarse cables de línea con blindaje (el blindaje debe conectarse a guarda).



(GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA)

FIG. 2.3 DIAGRAMA ELEMENTAL DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO



FIG. 2.4 DIAGRAMA DE RESISTENCIA DE LÍNEA - GUARDA -TIERRA



2.3.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS AISLAMIENTOS.

2.3.3.1 TEORÍA GENERAL.

Una de las aplicaciones de esta prueba es conocer el estado de los aislamientos, basándonos en la comparación de un dieléctrico con un condensador, en donde el conductor energizado se puede considerar una placa y la carcasa o tierra del equipo como la otra placa del capacitor.

El equipo de prueba de aislamiento F.P. mide la corriente de carga y Watts de pérdida, en donde el factor de potencia, capacitancia y resistencia de corriente alterna pueden ser fácilmente calculados para una tensión de prueba dado.

El Factor de Potencia de un aislamiento es una cantidad adimensional normalmente expresada en por ciento, que se obtiene de la resultante formada por la corriente de carga y la corriente de pérdidas que toma el aislamiento al aplicarle una tensión determinada, es en sí, una característica propia del aislamiento al ser sometido a campos eléctricos.

Debido a la situación de no ser aislantes perfectos, además de una corriente de carga puramente capacitiva, siempre los atravesara una corriente que está en fase con la tensión aplicada (I_r), a esta corriente se le denomina de pérdidas dieléctricas, en estas condiciones el comportamiento de los dieléctricos queda representado por el siguiente diagrama vectorial.

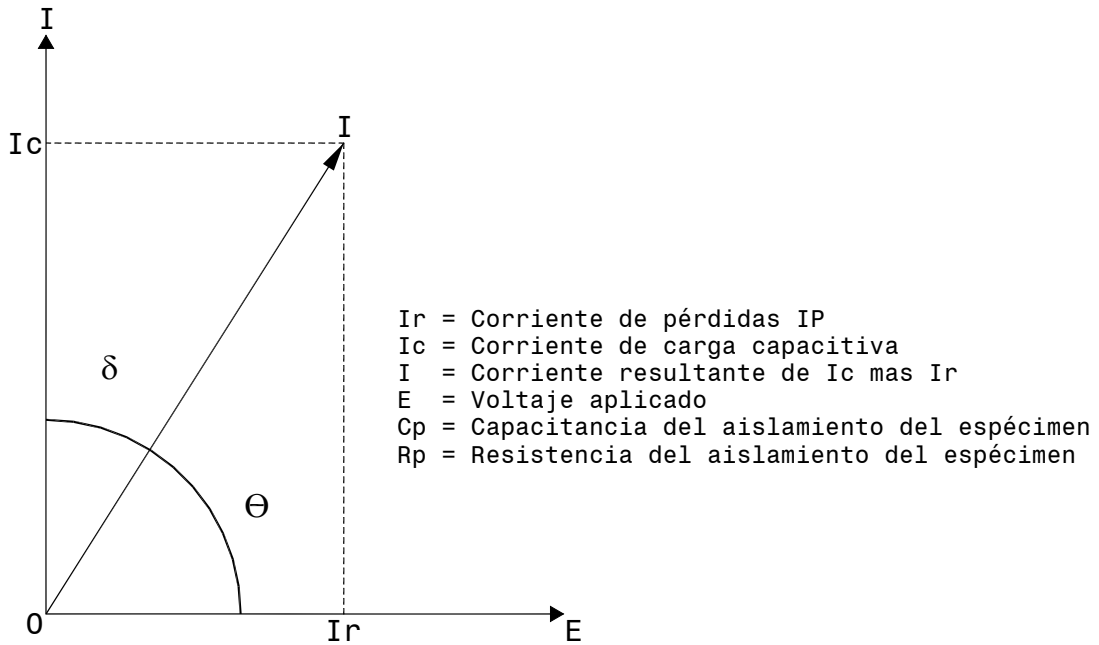
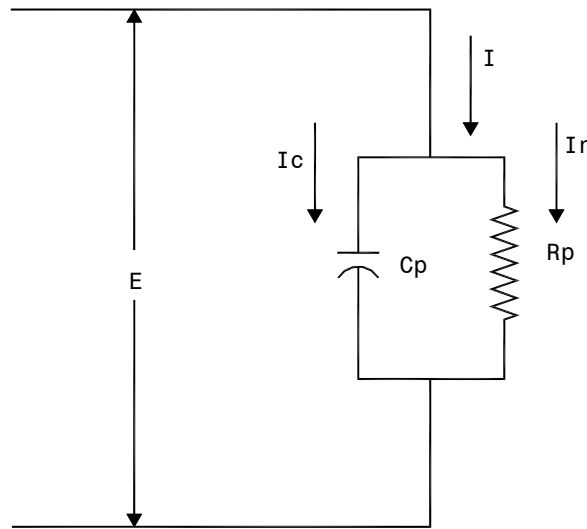


FIG. 2.5 DIAGRAMA VECTORIAL QUE MUESTRA EL COMPORTAMIENTO DE UN AISLAMIENTO AL APLICARLE UNA TENSIÓN DADA



$$\text{WATTS} = E * I * \text{COSENO } \theta$$

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \text{COSENO } \theta = \frac{\text{WATTS}}{E * I}$$

FIG. 2.6 CIRCUITO SIMPLIFICADO EQUIVALENTE DE UN DIELECTRICO.



Para aislamientos con bajo Factor de Potencia, (I_c) e (I) son sustancialmente de la misma magnitud y la corriente de pérdidas (I_r) muy pequeña, en estas condiciones el ángulo θ es muy pequeño y el Factor de Potencia estará dado entonces por:

$$FP = \cos\theta = \text{SEN}\sigma \quad \text{y prácticamente} \quad = \text{TAN}\sigma$$

De lo anterior se desprende que el Factor de Potencia siempre será la relación de los Watts de pérdidas (I_r), entre la carga en Volts-Amperes del dieléctrico bajo prueba (I).

El método de medida del equipo de prueba, se fundamenta, en un circuito puente de resistencias y capacitores.

Con el conocimiento de los valores de la corriente de carga, la tensión de prueba y la frecuencia, la capacitancia del aislamiento puede ser determinada de la siguiente manera.

$$X_c = \frac{V}{I}$$

$$C = \frac{1}{w * X_c}$$

La capacitancia de aislamientos secos no es afectada apreciablemente por la temperatura; sin embargo en los casos de aislamientos húmedos o contaminados, esta tiende a incrementarse con la temperatura.

Tomando en consideración que la reactancia de los aislamientos es predominantemente capacitiva y las pérdidas eléctricas reducidas, la magnitud de la corriente de carga puede calcularse por:

$$I = V * w * C \quad \text{ó} \quad VA = V^2 * w * C$$

Donde:

I = Magnitud de la corriente de carga

V = Potencial aplicado

w = frecuencia angular ($2\pi f$)

C = Capacitancia

De las fórmulas anteriores puede determinarse la máxima capacitancia que un equipo

de prueba puede aceptar para obtener mediciones confiables. Por ejemplo:

La máxima capacitancia que un modelo específico de equipo de prueba de 10 KV, puede medir por 15 minutos es:

$$C = \frac{I}{w * V} = \frac{0.200 \times 10^{12}}{377 \times 10^4} = 53,000 \text{ picofaradios}$$

Y en forma continua:

$$C = \frac{I}{w * V} = \frac{0.100 \times 10^{12}}{377 \times 10^4} = 26,500 \text{ picofaradios}$$

Las boquillas para Transformadores, Interruptores, etc. usualmente tienen capacitancias considerablemente menores que los valores calculados anteriormente.

Los cables de potencia de gran longitud, pueden tener una capacitancia que excede los 26,500 picofaradios del medidor, se recomienda hacer el cálculo previo del valor de la capacitancia del cable que se trate, para poder efectuar la prueba de factor de potencia.

Los equipos con capacitancias mayores que los valores límites calculados para cada tipo de medidor de factor de potencia, deben ser probados a tensiones menores.

El diagrama simplificado de la Figura 2.7 muestra en forma general los circuitos principales que conforman un equipo para medición de factor de potencia. Con base en dicho diagrama a continuación se describe la operación del equipo.

De la fuente de suministro se conecta el autotransformador que alimenta a través del conmutador reversible, cambiando la polaridad al transformador de alta tensión con lo cual se elimina la interferencia causada por el campo eléctrico de otros equipos energizados.

La alimentación al circuito amplificador puede ser conmutada a las posiciones A, B, C.

En la posición "A" el medidor es ajustado a escala plena por medio del control.

En la posición "B" el medidor registra la tensión a través de R_B el cual es función de la corriente total I_T y la lectura que se tiene son mili amperes.

En la posición "C" la entrada al circuito amplificador consiste de ambas tensiones, la



tensión a través de la resistencia R_B y la tensión V_R , ambas tensiones están en oposición y pueden ser balanceados por el ajuste de R .

No es posible un balance completo, la tensión a través de R_B incluye ambas componentes, en fase (I_R) y la componente en cuadratura (I_c); mientras en el circuito de referencia la tensión a través de r esta en cuadratura, y se puede variar su valor, por lo tanto se tiene un balance parcial o una lectura mínima la cual es proporcional a la tensión a través de R_B , resultando la corriente en fase (I_R).

El producto de la mínima lectura y el multiplicador de Watts es igual a los Watts de pérdida disipados en el espécimen bajo prueba.

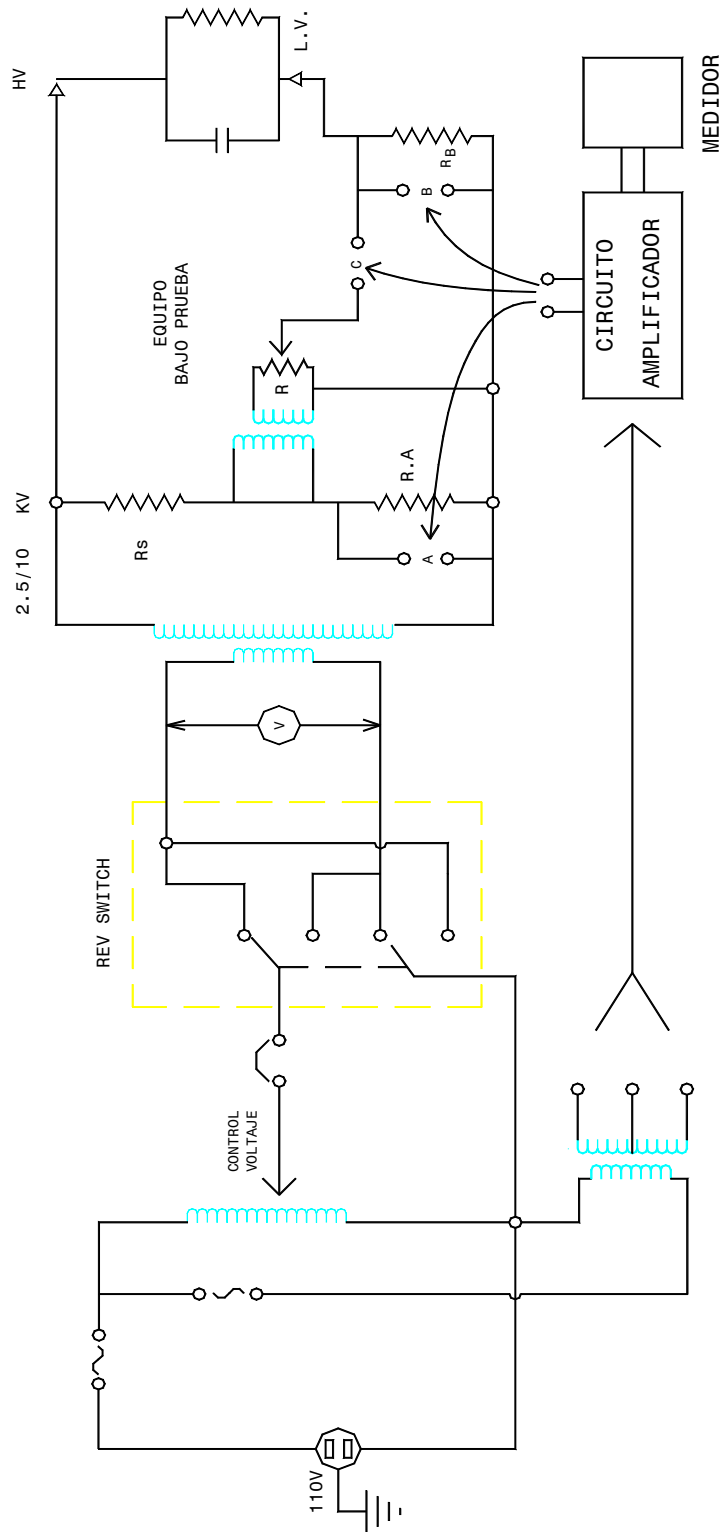


FIG. 2.7 CIRCUITO SIMPLIFICADO DE EQUIPO F.P.

2.3.3.2 METODOS DE PRUEBA CON EL EQUIPO PARA MEDICIÓN DE FACTOR DE POTENCIA.

a) ESPÉCIMEN ATERRIZADO.- Se prueba en GST (Ground Specimen Test- Espécimen bajo prueba aterrizado). Cuando el selector de LV se coloca en posición GROUND (Figura 2.9(a)), el cable LV es conectado a potencial de tierra. De esta forma el cable de baja tensión (LV) puede ser utilizado para aterrizar el espécimen bajo prueba. Es también posible aterrizar el espécimen, utilizando la terminal de tierra del cable de alta tensión (HV), del cual se muestra un detalle en la figura 2.8. Otra forma es aterrizar directamente a tierra.

b) ESPÉCMEN GUARDADO.- Se prueba en GST-GUARD. Cuando el selector del LV se coloca en posición GUARD (Figura 2.9b), el cable LV es conectado a guarda del equipo de prueba, haciendo una comparación entre las figuras 2.9a y 2.9b se puede observar esta diferencia entre ambos circuitos de medición entre las terminales de alta tensión y tierra. La simple diferencia entre las dos figuras es la posición de la conexión del cable LV con respecto al medidor de mVA (milivoltamperes) y mW (milliwatts). La conexión a guarda también puede ser posible si se utiliza la terminal de guarda del cable HV.

c) ESPÉCIMEN NO ATERRIZADO.- Se prueba en UST (Ungrounded Specimen Test). Cuando el control de LV se coloca en posición UST (Figura 2.9c), solamente la medición de MVA y MW se efectúa a través del cable LV. Se puede observar como el punto de conexión de guarda y tierra son comunes, de este modo la medición de MVA y MW no es realizada a través de tierra.

CONCLUSIONES:

Primera: Si se utiliza el método GST, lo que no se quiera medir se conecta a guarda.

Segunda: Si se utiliza el método UST, lo que no se quiera medir se conecta a tierra.

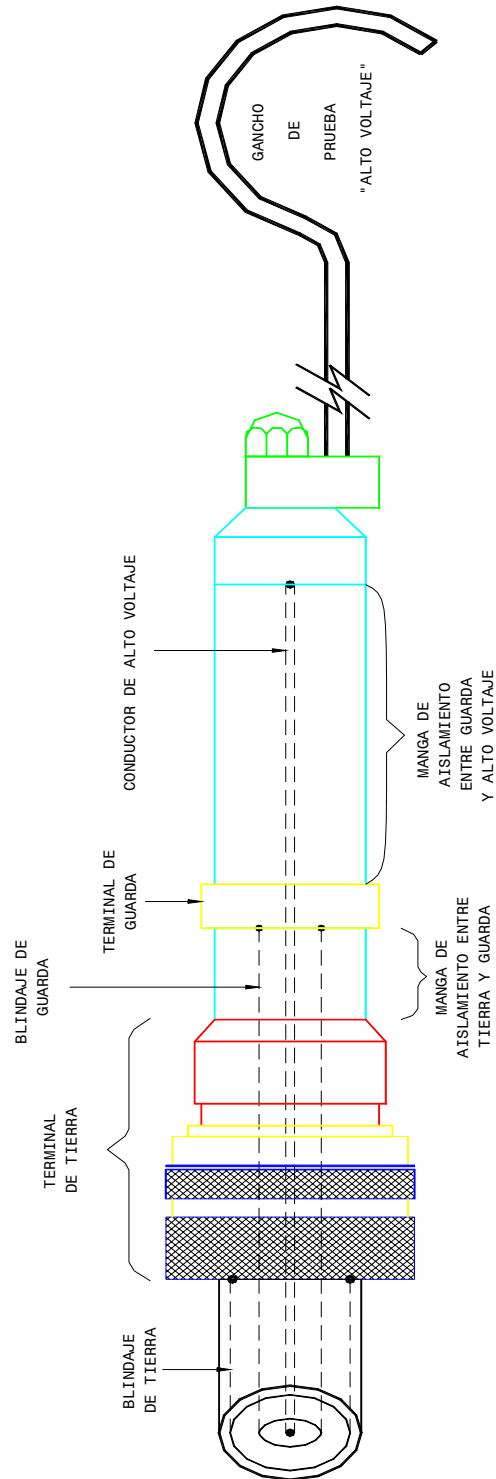


FIG. 2.8 TERMINAL DE ALTA TENSIÓN.

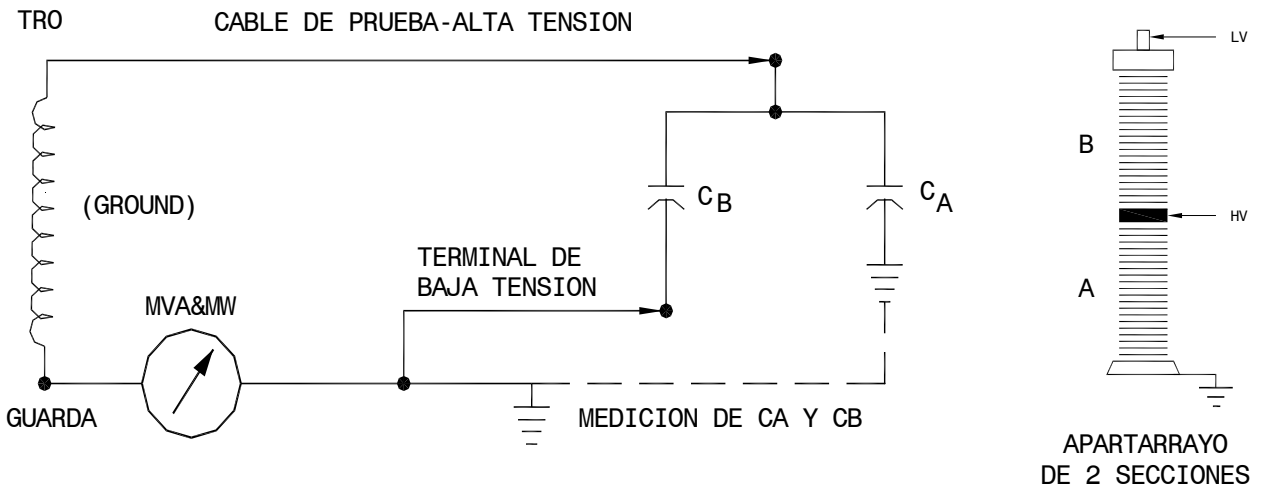


FIG. 2.9a POSICIÓN DEL CABLE DE BAJA TENSIÓN -TIERRA
 (especimen aterrizado, medición de las capacitancias CA y CB en paralelo)

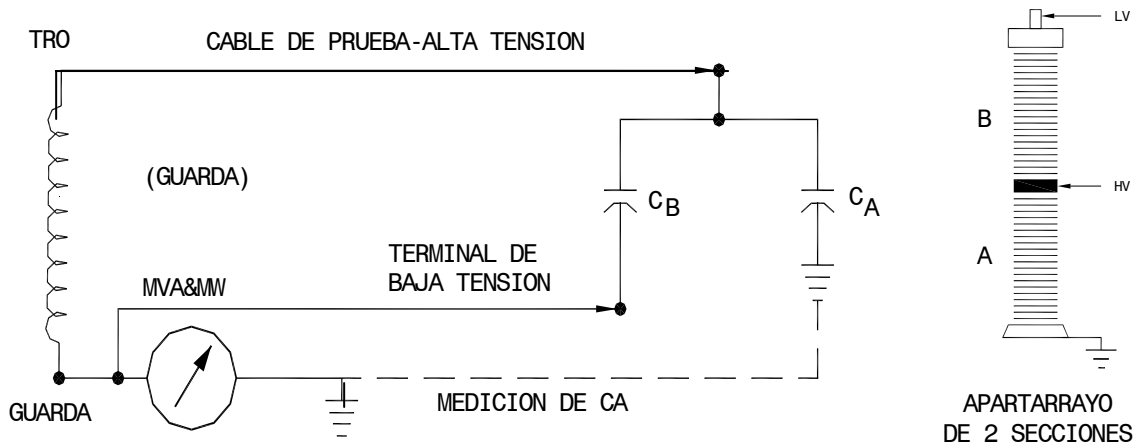
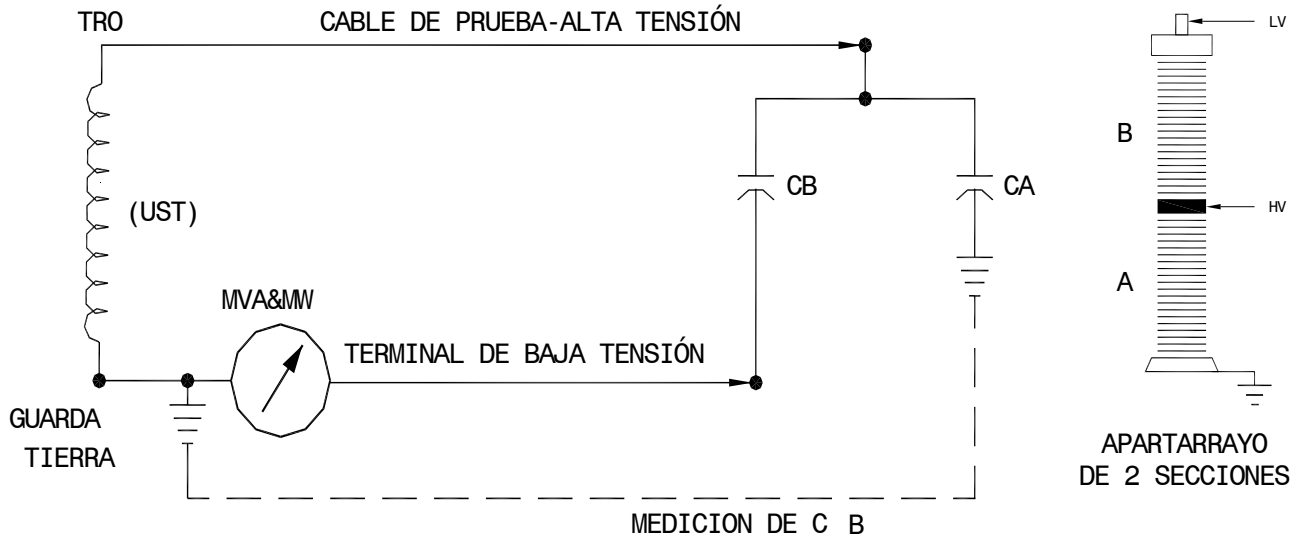


FIG. 2.9b POSICIÓN DEL CABLE DE BAJA TENSÓN-GUARDA
 (especimen guardado, medición de la capacitancia CA)



(especimen UST, medición de la capacitancia CB)

FIG. 2.9c POSICIÓN DEL CABLE DE BAJA TENSIÓN-UST

2.3.3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA.

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

2.3.3.4 MÉTODO DE MEDICIÓN.

La prueba consiste en aplicar un potencial determinado al aislamiento que se desea probar, medir la potencia real que se disipa a través de él y medir la potencia aparente del mismo. El Factor de Potencia se calcula dividiendo la potencia real entre la potencia aparente.

2.3.3.5 CONSIDERACIONES.

Para la interpretación de resultados de prueba, es necesario el conocimiento de valores típicos de Factor de Potencia de materiales aislantes.

Como referencia, se presentan valores de Factor de Potencia y constantes dieléctricas de algunos materiales.



MATERIAL	% FP a 20°C	CONSTANTE DIELECTRICA
Aire	0.0	1.0
Aceite	0.1	2.1
Papel	0.5	2.0
Porcelana	2.0	7.0
Hule	4.0	3.6
Barniz Cambray	4.0 – 8.0	4.5
Agua	100.0	81.0

A continuación se indican también ciertos valores de Factor de Potencia de aislamiento de algunos equipos, que se han obtenido como promedio de diversas pruebas realizadas.

EQUIPO	% FP a 20 °C
Boquillas tipo condensador en aceite	0.5
Boquillas en compound	2.0
Transformadores en aceite	1.0
Transformadores nuevos en aceite	0.5
Cables con aislamiento de papel	0.3
Cables con aislamiento de barniz cambray	4.0 – 5.0
Cables con aislamiento de hule	4.0 – 5.0

El principio fundamental de las pruebas es la detección de cambios en las características del aislamiento, producidos por envejecimiento, contaminación del mismo, como resultado del tiempo, condiciones de operación del equipo y los producidos por el efecto corona.

2.3.3.6 INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN PARA MEDIDORES DE FACTOR DE POTENCIA.

En este procedimiento se describen los medidores de Factor de Potencia que en mayor cantidad posee Comisión Federal de Electricidad. En el punto 2.3.3.7 se mencionan las instrucciones de comprobación en campo, para cierto tipo de equipo. Dependiendo de la marca del equipo para medición de factor de potencia, es necesario consultar su instructivo correspondiente.

2.3.3.6.1 MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 2.5 KV.

En la figura 2.10 se muestra la carátula para cierto tipo de medidor, misma que incluye los controles que se mencionan en las siguientes recomendaciones de operación para dicho equipo:

- a) Colocar el medidor de Factor de Potencia sobre una base firme y nivelada, enseguida conectar al medidor sus cables: tierra, HV y LV, verificar que el control de tensión se encuentre en posición cero. Insertar el cable de alimentación de corriente alterna y los cables de seguridad manual.
- b) Conectar el cable de alta tensión (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.
- c) Conectar la terminal de baja tensión (LV), el selector (LV) se coloca en la posición deseada (GROUND, GUARD o UST). Si la terminal de baja tensión (LV) no se va a usar, el selector (LV) se coloca en GROUND.
- d) Colocar el selector de MVA y MW en su posición central (CHECK) y el selector de rango en su posición superior (HIGH).
- e) Seleccionar el máximo multiplicador de MVA y MW (2000).
- f) Accionar el interruptor de encendido a la posición ON.
- g) Colocar el interruptor inversor (REV. SWITCH) en cualquiera de las dos posiciones (izquierda o derecha). La posición central es desconectado (OFF).
- h) Activar los interruptores de seguridad del operador y el de extensión remota, con esto se energiza un relevador del equipo, la lámpara indicadora verde se apaga y enciende la lámpara roja. Si esto no sucede, invertir la polaridad de la clavija del cable de la alimentación de 127 Volts, o bien, verificar el correcto aterrizamiento del equipo de prueba.
- i) Incrementar lentamente la tensión, girando hacia la derecha la perilla de control de tensión hasta que el voltmetro indique 2.5 KV. Si durante el ajuste de tensión, el indicador del medidor tiende a sobrepasar su escala, ajustarlo girando hacia la izquierda la perilla (METER ADJ.) de modo que la aguja se mantenga dentro del rango.
Si el interruptor termo magnético se abre antes de alcanzar 1.25 KV, el espécimen se debe probar abajo de ese rango. Si el interruptor termo magnético se abre entre 1.25 y 2.5 KV, se tiene que probar a un valor inferior al del que se presentó la apertura de interruptor termo magnético y para esto se deben seguir los pasos indicados en "medición abajo de 2.5 KV".
- j) Cuando se alcanza la tensión de prueba de 2.5 KV, ajustar el medidor de MVA y MW en 100, girando la perilla METER ADJ.
- k) Cambiar el selector de la posición CHECK a la posición MVA y seleccionar el



multiplicador de rango (RANGE) a la posición en la cual se produce la mayor deflexión sobre la escala y registrar la lectura en el formato correspondiente.

l) En caso de no poderse tomar la lectura, cambiar de rango, para esto, colocar el selector en la posición CHECK, y la perilla multiplicadora en su máximo valor, y repetir el procedimiento, registrando la lectura en el formato correspondiente y anotar el multiplicador utilizado. La lectura debe ser verificada para ambas posiciones del selector (REV. SWITCH) tanto para milivoltamperes como miliwatts, si existe alguna diferencia entre estas dos lecturas consultar las instrucciones sobre interferencia electrostática al final de esta sección.

m) Cambiar el interruptor SELECTOR a la posición CHECK para ajustar las 100 unidades del medidor de los MVA y MW, enseguida dejarlo en la posición MW, la escala (HIGH, MED o LOW) no se debe mover del rango que se utilizó para obtener los MVA. El multiplicador de escala propia si se puede variar. Girar la perilla de ajuste (MW ADJ) hasta que la lectura mínima sea obtenida, seleccionar el multiplicador de MW menor que produzca la mayor deflexión medible en la escala. Cada vez que el multiplicador sea reducido, la lectura de los MW deberán de ser ajustados a la mínima deflexión de la aguja, con la perilla (MW ADJ.).

n) Registrar la lectura de MW y su multiplicador en el formato correspondiente.

o) Anotar el valor de la capacitancia indicada en la perilla (MW ADJ), obtenida en el ajuste de los miliwatts (MW)

p) Colocar los controles en su posición inicial: el interruptor selector de MVA y MW en la posición CHECK, el control de tensión en cero, los interruptores de seguridad desactivados y el de encendido en posición (OFF); Antes de desconectar los cables del equipo bajo prueba.

q) El selector RANGE (HIGH, MED o LOW) y selectores de multiplicación para MVA y MW pueden ser colocados en su posición superior, o pueden dejarse en su posición actual cuando se va a efectuar otra prueba similar.

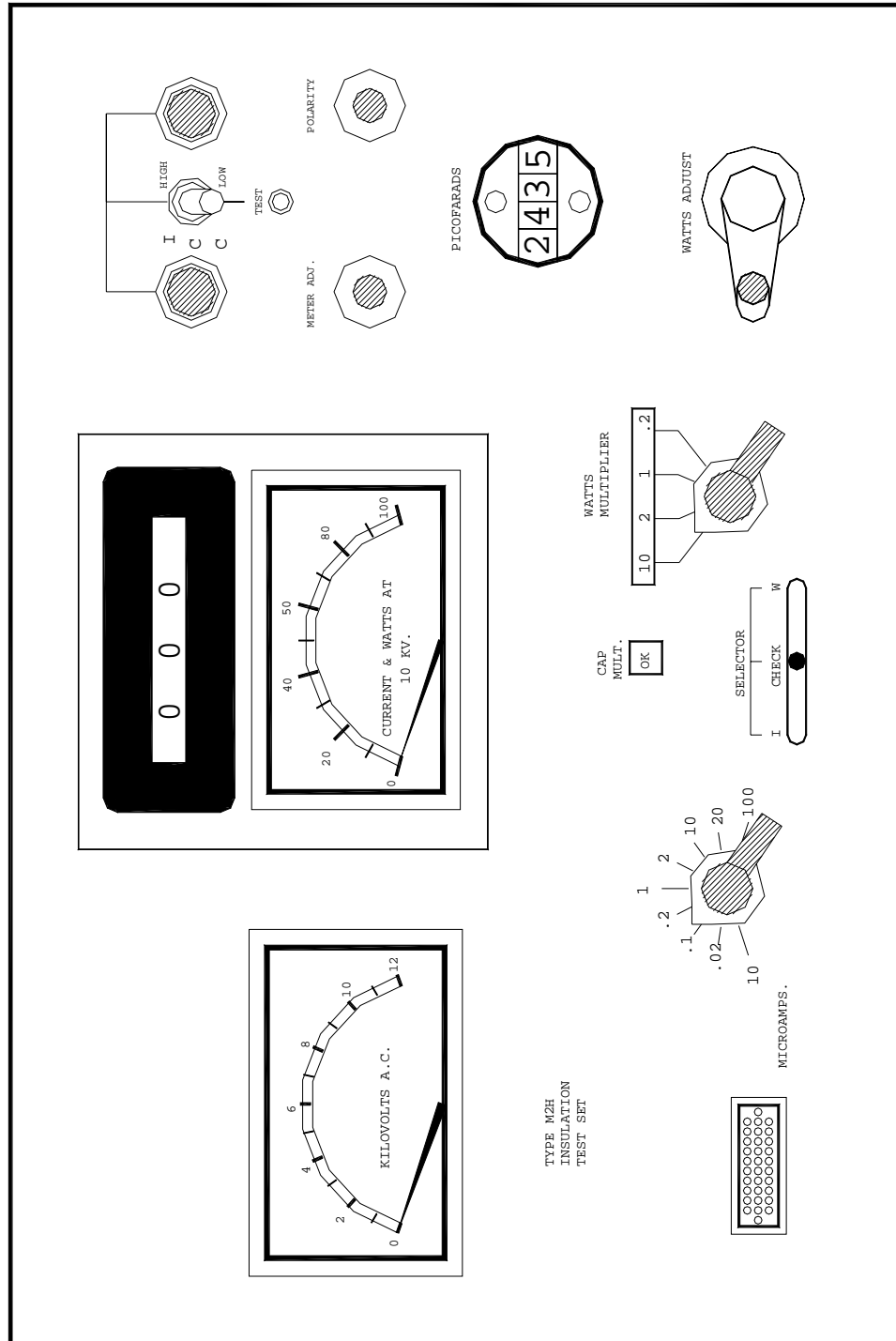


FIG. 2.10 PANEL DE LA UNIDAD DE MEDICION Y TRANSFORMACION DE UN MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV, TIPO M2H



INTERFERENCIA ELECTROSTÁTICA.- Al aplicar la prueba a equipos expuestos a Interferencia Electrostática por su cercanía a líneas de alta tensión, es necesario hacer dos lecturas de MVA, una para cada posición del interruptor inversor (REV. SWITCH) y calcular su promedio para obtener la lectura final, la cual se registra en la hoja de reporte. Ambas lecturas deben ser leídas en el mismo rango multiplicador para evitar errores de escala.

Para el registro de MW se deben tomar dos lecturas, una para cada posición de interruptor inversor (REV. SWITCH). Cuando se cambie a la segunda posición, reajustar la perilla (MW ADJ) para obtener la mínima deflexión del medidor, ambas lecturas deben ser leídas con el mismo rango multiplicador para evitar errores de escala.

Es posible que alguna de estas lecturas sea negativa por lo que se recomienda determinar su polaridad. Para ello, girar lentamente la perilla de polaridad (POLARITY) mientras el medidor esté indicando MW hasta que la aguja comience a moverse. Si la aguja se mueve hacia abajo de la escala la lectura es positiva, si lo hace hacia arriba la lectura es negativa. Solamente el movimiento inicial de la aguja tiene relación con el signo.

El promedio de MW de ambas lecturas debe ser registrado como lectura final en la hoja de reporte. Cuando ambas lecturas son del mismo signo, el promedio se obtiene sumando las lecturas y dividiendo entre dos el resultado. Si las lecturas son de signo diferente se restan y el resultado se divide entre dos.

CAPACITANCIA DE LA PRUEBA.- El medidor de factor de potencia de 2.5 kV está equipado con un indicador en la perilla de ajuste de miliwatts (MW ADJ) para leer la capacitancia del equipo bajo prueba (dicha lectura se obtiene en tres dígitos y no existen valores decimales) la lectura se da directamente en picofaradios (pf) cuando se multiplican por 1, 10 ó 100 dependiendo del rango: LOW, MED o HIGH, respectivamente. Esta lectura se obtiene cada vez que se miden los miliwatts. La capacitancia se debe considerar para analizar de otra manera el aislamiento.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA.- Cuando el espécimen bajo prueba tiene un factor de potencia menor a 15% se puede obtener una capacitancia aproximada utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Capacitancia (pf)} = (0.425) (\text{MVA}).$$

**CÁLCULO DE LA RESISTENCIA:**

$$R = \frac{E^2}{Watts}$$

$$R = \frac{6250}{miliwatts}$$

R = Resistencia en Megaohms.

E = Tensión en Volts E = 2 500 Volts

W = Pérdidas en miliwatts

CÁLCULO DE FACTOR DE POTENCIA:

$$F.P. = \frac{MW}{MVA}$$

$$\% \text{ de } F.P. = \frac{MW}{MVA} \times 100$$

PRUEBAS A TENSIONES MENORES DE 2.5 KV.- A veces se tienen que realizar pruebas a tensiones menores de 2.5 KV, puede ser por requerimiento del equipo bajo prueba o porque la capacitancia del aislamiento es muy alta.

Si se requiere probar con una tensión menor a 2500 Volts se deben dar los siguientes pasos:

- a) Energizar el espécimen con la tensión deseado.
- b) Ajustar la aguja indicadora de MVA y MW hasta máxima escala (100 DIVISIONES). Esto realizarlo en posición CHECK del indicador de posición MVA y MW.
- c) Realizar la prueba de forma tradicional como indica en los incisos anteriores.

CONVERSIÓN DE VALORES DE MILIVOLTAMPERES Y MILIWATTS OBTENIDOS A MENOR TENSIÓN, A SUS EQUIVALENTES A 2.5 KV

$$A = B \left(\frac{C}{2.5} \right)^2$$

A = Valor a calcular de MVA o MW equivalente a 2.5 KV.



B = Valor obtenido (MVA o MW) a una tensión diferente de 2.5 KV.

C = Tensión (KV) de prueba, diferente a 2.5 KV

Estos valores se aplican en la fórmula:

$$\% F.P. = \left(\frac{MW}{MVA} \right) \times 100$$

Conversión de milivoltamperes a miliamperes

$$MILIAMPERES = \frac{MILIVOLTAMPERES}{VOLTAJE DE PRUEBA EN VOLTS}$$

2.3.3.6.2 MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV.

En las figuras 2.11 y 2.12, se muestran las carátulas de este medidor, mismas que incluyen los controles que se mencionan en las siguientes recomendaciones de operación para dicho equipo:

- a) Colocar el medidor de Factor de Potencia sobre una base firme y nivelada, enseguida conectar al medidor sus cables: tierra, HV y LV (roja y azul), verificar que el control de tensión se encuentre en posición cero. Insertar el cable de alimentación de corriente alterna y los cables de seguridad manual.
- b) Conectar el cable de alta tensión (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.
- c) Conectar la terminal de baja tensión (LV). El selector (LV) se selecciona según la posición deseada (GROUND, GUARD o UST). Si la terminal de baja tensión (LV) no se va a usar, el selector (LV) se coloca en GROUND.

Es importante mencionar que este equipo cuenta con 2 cables de baja tensión (LV) rojo y azul, las posiciones con que se cuenta son las mostradas en la figura 2.13.

- d) Ajustar el control de tensión en cero y colocar el interruptor inversor (REVERSING) en cualquiera de sus posiciones izquierda o derecha. La posición central es apagado (OFF).
- e) Colocar el selector de Watts y MA en su posición central (CHECK).
- f) Seleccionar los multiplicadores máximos de MA y Watts.



g) Colocar el interruptor ICC (Circuito de Cancelación de Interferencia) en posición (OFF).

h) Accionar el interruptor principal a la posición (ON).

i) Energizar el medidor cerrando los interruptores, local del operador (la lámpara ámbar enciende) y el interruptor de seguridad del cable de extensión (la lámpara roja enciende).

Si esto no sucede, invertir la polaridad de la clavija del cable de la alimentación de 127 Volts, o bien, verificar el correcto aterrizamiento del equipo de prueba.

j) Observar el indicador de KV y girar lentamente el control de tensión hasta obtener 10 KV, éste es la tensión aplicado al equipo bajo prueba. Si durante la aplicación de tensión, el indicador del medidor tiende a sobrepasar su escala, ajustarlo girando hacia la izquierda la perilla METER ADJ de modo que la aguja se mantenga dentro del rango.

Si el interruptor se dispara antes de 2.0 KV, probablemente la capacitancia del equipo bajo prueba es mayor al rango del medidor.

Si el disparo ocurre entre 2.0 y 10.0 KV, la prueba debe hacerse a una tensión menor a 10.0 KV.

k) Con el SELECTOR en la posición CHECK ajustar a su máxima escala el medidor con la perilla METER ADJ.

l) Colocar el SELECTOR hacia el lado izquierdo para la medición de Miliamperes.

m) Seleccionar el multiplicador de corriente (CURRENT MULTIPLIER) que produzca la mayor deflexión del medidor y anotar la lectura.

n) Tomar la lectura para la otra posición del interruptor inversor con el mismo multiplicador. Registrar el promedio de las lecturas, el multiplicador y su producto, en la hoja de reporte.

NOTA: Ambos valores de corriente deben ser aproximados usando el mismo multiplicador. Si no es así, significa que existe excesiva interferencia electrostática. Para que no intervenga en la prueba seguir las instrucciones correspondientes en el instructivo del medidor.

o) Para la medición de Watts, debe mantenerse el mismo multiplicador que se usó



para la medición de Miliamperes.

- p) Colocar el SELECTOR en la posición de la derecha para la medición de Watts.
- q) Girar la perilla WATTS ADJUST, de tal manera que se mueva la aguja del medidor hacia la izquierda, hasta obtener la mínima deflexión de la aguja en la escala.
- r) Seleccionar el multiplicador de Watts que produzca la máxima deflexión medible en la escala. Cada vez que el multiplicador sea reducido, los Watts deben ser ajustados a la mínima deflexión de la aguja, con la perilla WATTS ADJUST.
- s) Girar lentamente hacia la derecha el control POLARITY, mientras se observa la aguja del medidor. Si la aguja tiende a desviarse hacia la derecha, indica Watts negativos. Si lo hace hacia la izquierda indica que son positivos.

En algunos equipos, no se cuenta con perilla de polaridad, el signo de la lectura se obtiene directamente de una carátula de burbuja.

t) Cambiar el interruptor inversor (REVERSING) a la posición opuesta y reajustar el control WATTS ADJUST para obtener la lectura mínima.

u) Determinar la polaridad según el inciso s).

v) Cuando el signo de las dos lecturas sea diferente, restarlas y el resultado dividirlo entre dos. Registrar el promedio, así como el multiplicador en la hoja de reporte correspondiente.

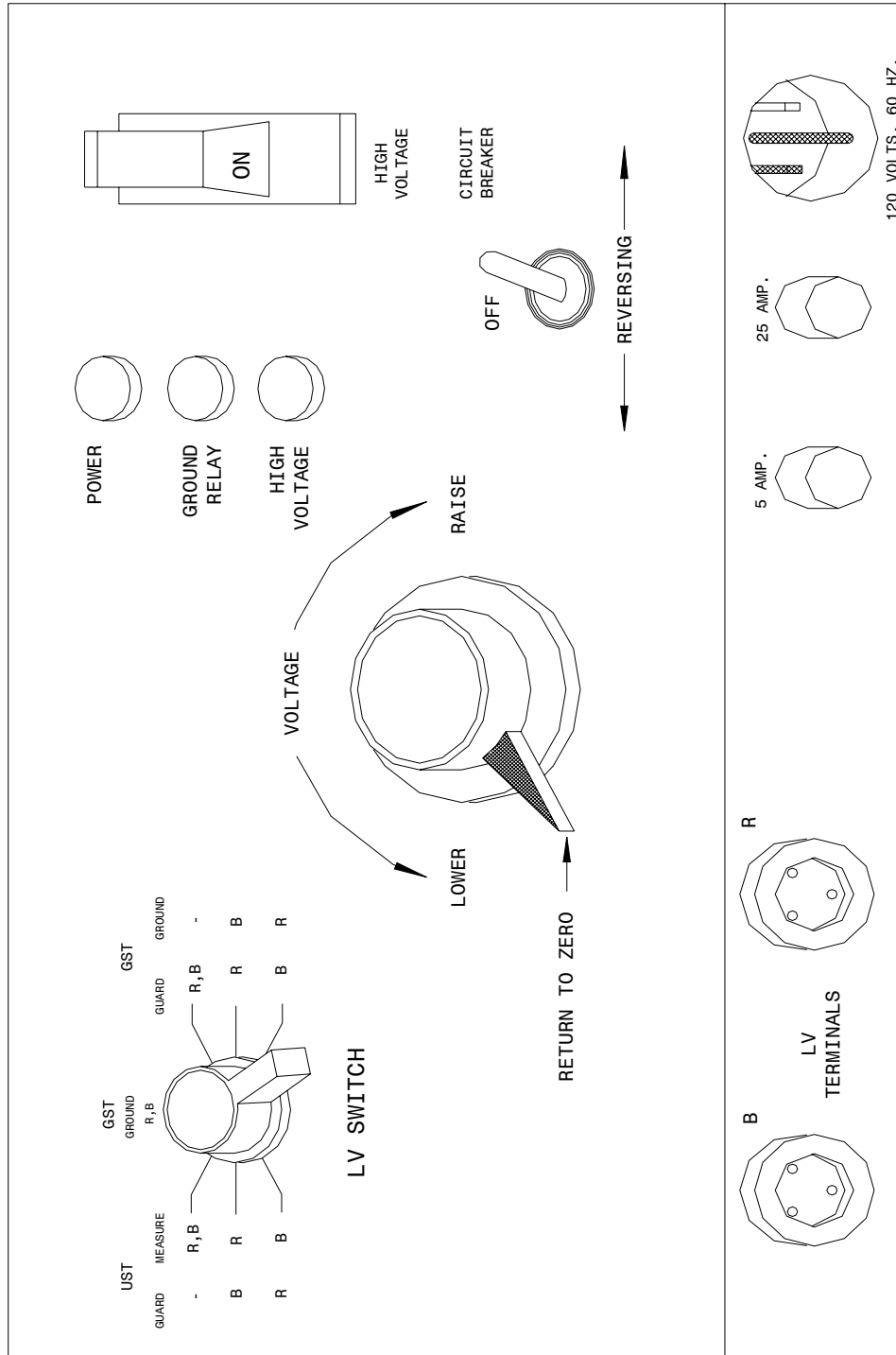
Cuando las dos lecturas sean del mismo signo deben sumarse y obtener el promedio.

NOTA: Las dos lecturas de Watts deben ser tomadas con el mismo multiplicador y su promedio algebraico normalmente es positivo. Si esto no se cumple, puede significar que existe excesiva interferencia electrostática.

w) Colocar el SELECTOR en CHECK y el control de tensión en cero.

x) Colocar los multiplicadores en su posición máxima. Si se va a probar algún equipo similar, dejar los multiplicadores como están.

y) Los interruptores del operador local y remoto con extensión deben desactivarse y el interruptor principal debe quedar abierto.



**FIG. 2.11 EQUIPO DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV
PANEL DE LA UNIDAD DEL TRANSFORMADOR**

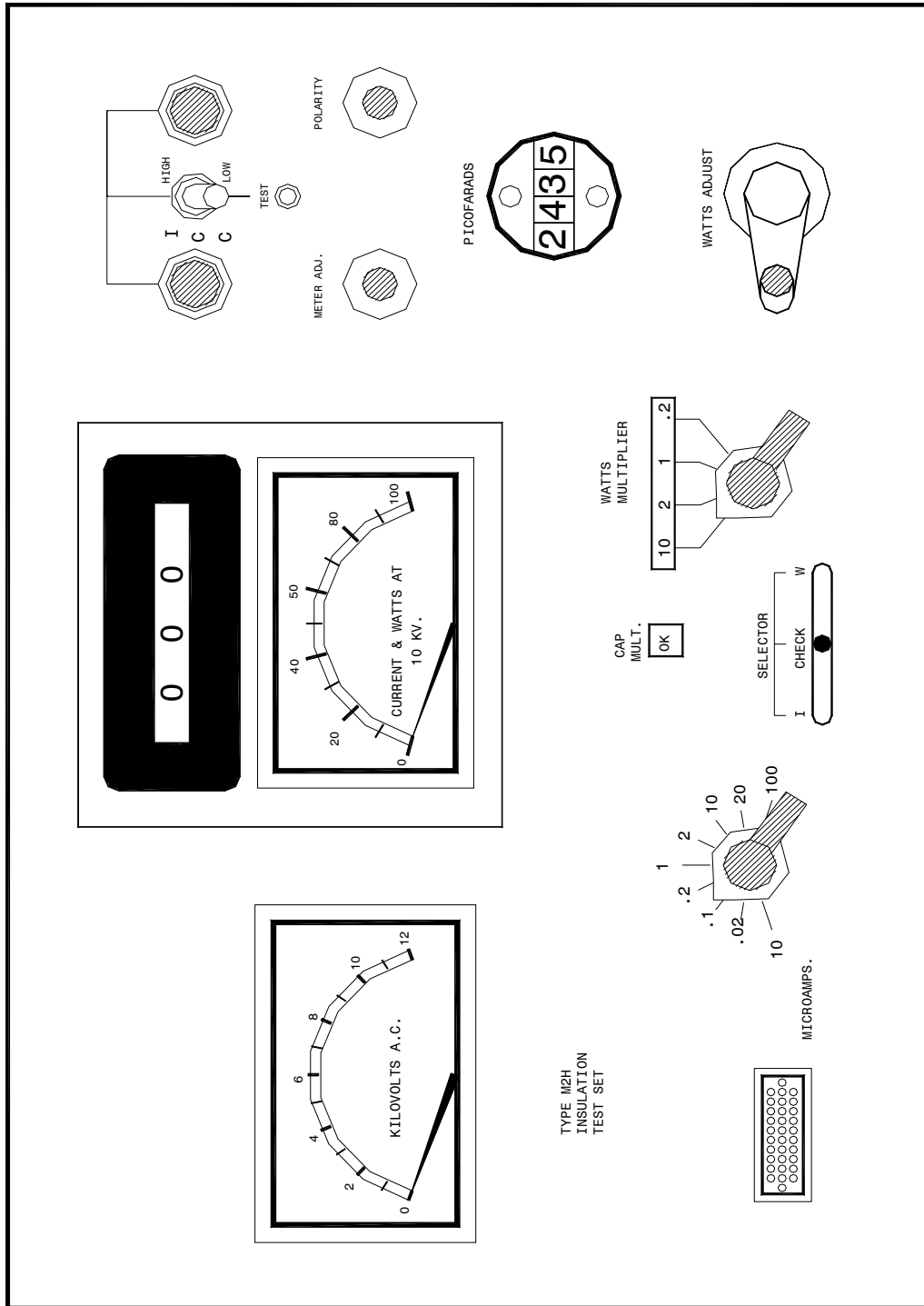
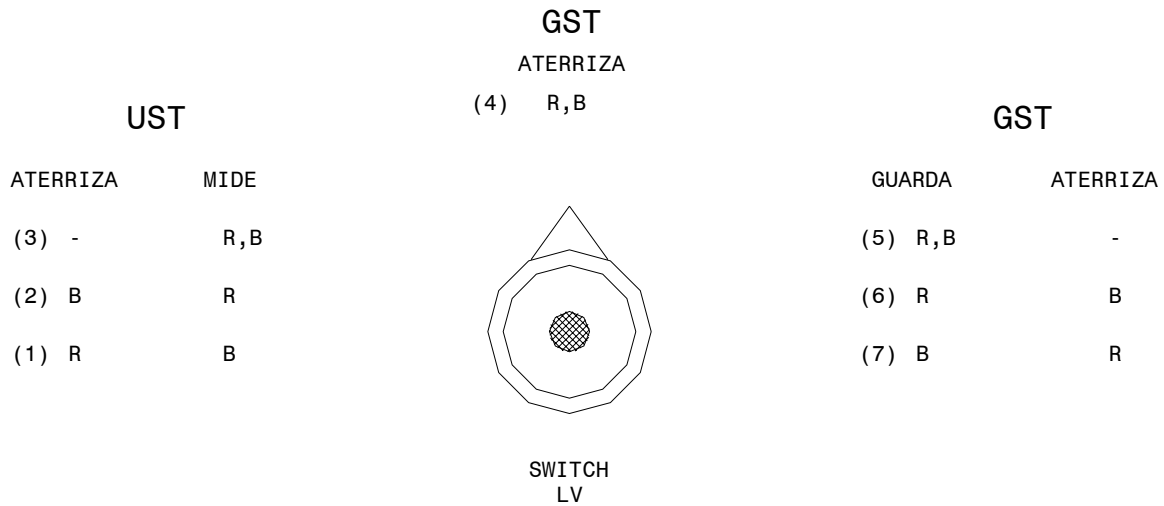


FIG. 2.12 EQUIPO DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV
PANEL DE LA UNIDAD DE MEDICIÓN



R - ROJO

B - AZUL

POSICION	LV _R CONECTA	LV _B CONECTA
1	ATERRIZA	UST
2	UST	ATERRIZA
3	UST	UST
4	ATERRIZA	ATERRIZA
5	GUARDA	GUARDA
6	GUARDA	ATERRIZA
7	ATERRIZA	GUARDA

FIG. 2.13 SELECTOR DE POSICIONES DE LOS CABLES DE BAJA TENSIÓN (LV) DEL EQUIPO DE FACTOR DE POTENCIA



INTERFERENCIA ELECTROSTÁTICA.- Al aplicar la prueba a equipos expuestos a interferencia electrostática por su cercanía a líneas de alta tensión, es necesario hacer dos lecturas de miliamperes (I), una para cada posición del interruptor inversor (REVERSING) y calcular su promedio para obtener la lectura final, la cual se registra en la hoja de reporte. Ambas lecturas deben ser leídas con el mismo rango multiplicador para evitar errores de escala.

Para el registro de miliamperes, también se deben tomar dos lecturas, una para cada posición del interruptor inversor (REVERSING). Cuando se cambie a la segunda posición, reajustar la perilla WATTS ADJUST para obtener la mínima deflexión del medidor, ambas lecturas deben ser leídas con el mismo rango multiplicador para evitar errores de escala.

Es posible que alguna de estas lecturas sean negativas por lo que se recomienda determinar su polaridad. Para ello basta con observar el signo en la carátula de burbuja.

El promedio de watts de ambas lecturas debe registrarse como lectura final en la hoja de reporte. Cuando ambas lecturas son del mismo signo, el promedio se obtiene sumando las lecturas y dividiendo entre dos el resultado. Si las lecturas son de signo diferente se restan y el resultado se divide entre dos.

Es importante señalar que este equipo cuenta, con un circuito de cancelación de interferencia electrostática (ICC); para su verificación y aplicación referirse al punto 2.3.3.9 inciso 3.

MEDICIÓN DE LA CAPACITANCIA.- El medidor de factor de potencia de 10 KV está equipado con un indicador calibrado para obtener la lectura de capacitancia. Dicha lectura se obtiene en cuatro dígitos (000.0). El indicador muestra directamente en picofaradios (pf) y ésta, se debe de afectar por el respectivo multiplicador de capacitancia (CAP MULT).

Cada vez que se tomen lecturas de watts se deben registrar lecturas de capacitancia. Para dos lecturas de diferente polaridad se debe obtener el promedio algebraico y este multiplicarlo por su rango.

CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA.- Cuando el espécimen bajo prueba tiene un factor de potencia menor a 15% se puede obtener una capacitancia aproximada utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Capacitancia (pf)} = (265) (\text{miliamperes})$$

**CÁLCULO DE LA RESISTENCIA:**

$$R = \frac{E^2}{W}$$

Donde:

R = Resistencia en ohms

E = Tensión en volts

W = Pérdidas en watts

Si la tensión de prueba son 10 kV, la resistencia se obtiene en megohms:

$$R \text{ (megohms)} = \frac{100}{\text{watts}}$$

CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{watts}}{\text{voltaje de prueba} \times \text{corriente total}}$$

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{watts}}{E \times It}$$

$$\% \text{ Factor de potencia} = \frac{\text{watts} \times 100}{E \times It}$$

Si la tensión de prueba es 10 KV, la corriente se obtiene en miliamperes.

$$\% F.P. = \frac{\text{watts} \times 100}{\frac{10,000 \times \text{miliamperes}}{1000}}$$

$$\% F.P. = \frac{\text{watts} \times 10}{\text{miliamperes}}$$

$$\% F.P. = \frac{\text{watts} \times 10}{\frac{\text{microamperes}}{1000}} = \frac{\text{watts} \times 10,000}{\text{microamperes}}$$



PRUEBAS A TENSIONES MENORES DE 10 KV Y MAYORES DE 2 KV.- A veces se tienen que realizar pruebas a tensiones menores a 10 KV, puede ser por requerimiento del equipo bajo prueba o porque la capacitancia del aislamiento es muy alta.

Si se requiere probar con una tensión comprendida entre 2 y 10 KV, se tienen que aplicar los siguientes pasos:

- a) Energizar el espécimen con la tensión deseada.
- b) Ajustar la aguja indicadora de Miliamperes y Watts hasta máxima escala (100 Divisiones). Esto realizarlo en posición neutral.
- c) Realizar la prueba y mediciones de forma tradicional.

PRUEBAS A TENSIONES MENORES DE 2 KV.- Si se requiere probar con una tensión menor a 2 kV, se tienen que seguir los siguientes pasos:

NOTA: Abajo de 2 kV, puede ser que no se logre llevar la aguja hasta las 100 divisiones por tanto:

- a) Energizar el espécimen a tensión deseada.
- b) Ajustar la aguja indicadora de mA y watts hasta la mitad de la escala (50 divisiones). Esto realizarlo en posición neutral.
- c) Realizar la prueba y mediciones en forma tradicional como se indica en los incisos anteriores.

Ejemplo: Medición a media escala (50 divisiones).

Lectura de mA = 42.5 Multiplicador = 0.1

mA = 4.25

Lectura de Watts = 12.5 Multiplicador = 0.02

Watts = 0.250

Corriente de carga:

$$\text{miliamperes} = 42.5 \left(\frac{100}{50} \right) 0.1 = 8.5 \text{ mA}$$



Pérdidas:

$$watts = 12.5 \left(\frac{100}{50} \right) 0.02 = 0.50 W$$

CONVERSIÓN DE VALORES DE MILIAMPERES Y WATTS OBTENIDOS A MENOR TENSIÓN A SUS EQUIVALENTES A 10 KV.

A = Valor de miliamperes equivalente a 10 kV.

B = Valor obtenido de miliamperes a una tensión diferente a 10 kV.

C = Valor obtenido de watts a una tensión diferente a 10 kV.

D = Valor de watts equivalente a 10 kV.

E = Tensión (kV) de prueba, diferente a 10 kV.

$$A = B \left(\frac{E}{10} \right) \quad D = C \left(\frac{E}{10} \right)^2$$

Los valores de mA y watts equivalentes a 10 kV obtenidos de las fórmulas anteriores, se tienen que aplicar a la ecuación original para obtener el factor de potencia:

$$\% F.P. = \frac{watts}{voltaje \text{ de prueba} \times corriente} \times 100$$

$$\% F.P. = \frac{watts \times 100}{voltaje \text{ de prueba} \times \frac{corriente (mA)}{1000}}$$

COMPARACIÓN DE LAS LECTURAS TOMADAS CON EL EQUIPO DE 2.5 KV CONTRA EL EQUIPO DE 10 KV:

Miliamperes a 10 kV = MVA a 2.5 kV / 625

MVA a 2.5 kV = 625 (miliamperes a 10 kV)

Watts a 10 kV = MW a 2.5 kV / 62.5

MW a 2.5 = 62.5(Watts a 10 kV).

NOTA: Cabe señalar que independientemente del equipo utilizado (sea de 2.5 KV o de 10 KV), el valor del factor de potencia debe permanecer constante.



2.3.3.6.3 MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA MICROPROCESADO HASTA 12 KV.

En la figura 2.14 se muestra las diferentes opciones de menú correspondientes a la pantalla del controlador (PC uso rudo) que forma parte del equipo medidor de factor de potencia, misma que se utiliza para operarlo y controlarlo a través de su propio software. En la figura 2.15 se muestra una vista completa del equipo, en la figura 2.16 se tiene una vista frontal de las diferentes conexiones del equipo de prueba y a continuación se mencionan las recomendaciones y particularidades de operación para cierto tipo de medidor:

a) Colocar el medidor de Factor de Potencia sobre una base firme y nivelada, enseguida conectar al medidor sus cables: tierra, HV y LV (roja y azul), cable de interfase para la comunicación con el controlador y los cables de accesorios (lámpara estroboscópica y sensor de temperatura y humedad). Insertar el cable de alimentación de corriente alterna y los cables de seguridad manual

NOTA: Para la correcta operación del equipo, es muy importante la adecuada polarización (fase, neutro y tierra física) de la fuente de alimentación.

b) Conectar el cable de alta tensión (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.

c) Conectar los cables de baja tensión (LV) a las terminales del equipo bajo prueba.

Es importante mencionar que este equipo cuenta con 2 cables de baja tensión (LV) rojo y azul, las posiciones con que se cuenta son las mostradas en la figura 2.13.

d) Encender el instrumento y el controlador (se recomienda alimentarlo por medio de un regulador de tensión)

e) Una vez encendido el controlador, automáticamente despliega la pantalla del programa de operación. Con el comando <ENTER> se inicia el uso del programa.

NOTA: En caso de que el programa no inicie automáticamente se debe acceder desde la barra de INICIO, seleccionando secuencialmente PROGRAMAS/DOBLE/DTAFW, iniciándose de esta forma el programa.

f) Dentro del programa aparecen en una ventana las opciones siguientes:

LIST ALL

CREATE NEW

EXIT

Para realizar pruebas a un equipo por primera vez, siempre se debe seleccionar la opción CREATE NEW (crear nuevo), apareciendo una lista de todos los equipos que



se pueden probar con este probador .

- g) Seleccionar el equipo a probar.
- h) Llenar el formato de acuerdo a los datos de placa requeridos, seleccionar la(s) prueba(s) a efectuar, registrar la tensión de prueba a aplicar.
- i) Presionar los interruptores de seguridad y oprimir <ENTER> para iniciar la(s) prueba(s).
- j) Una vez terminada la prueba soltar los interruptores de seguridad y presionar <F5> para aceptar resultados.

NOTA: Para ver la lista de los equipos que se han probado seleccionar LIST ALL, apareciendo todos los equipos que se han probado. Seleccionar el equipo por revisar y automáticamente se despliegan los datos del equipo probado. Para poder ver las siguientes pruebas oprimir <page dn> o <page up>

- k) Para salir del programa seleccionar file/exit.
- l) Para apagar el sistema seleccionar inicio/shut down y automáticamente aparece una leyenda de confirmación..

CONSIDERACIONES Y RESULTADOS.- Este probador no se ve afectado por la interferencia electrostática por aplicar tensiones de prueba con frecuencias diferentes a 60 Hz. Todos los resultados de prueba obtenidos son referidos automáticamente a 10 KV, independientemente de la tensión de prueba aplicada. El equipo es capaz de medir y registrar los siguientes parámetros de manera automática: Factor de potencia, Capacitancia, Corriente de carga (miliamperes), Pérdidas (watts) y Factor de disipación (tangente θ).

2.3.3.7 COMPROBACIÓN EN CAMPO DE MEDIDORES DE FACTOR DE POTENCIA.

1) MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 2.5 KV.

Muchas de las dificultades encontradas en los cables del medidor son de naturaleza mecánica, identificables fácilmente por inspección visual. Las mediciones de resistencia son útiles para localizar defectos internos que pueden causar variaciones o resultados anormales de las pruebas, por lo que se verifica lo siguiente.

CONTINUIDAD.- La resistencia de cada cable de prueba, medida con un ohmetro de baja tensión debe ser inferior a 1 ohm.



RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.- La resistencia de aislamiento de los cables de prueba, medida con un ohmetro de baja tensión entre el conductor central y su blindaje debe ser superior a 100 megaohms.

Si se observa una resistencia de aislamiento baja, revise las condiciones del aislamiento entre el blindaje y el conductor central en el extremo de la mordaza.

La Terminal LV (baja tensión) del medidor de 2.5 KV es un cable conductor rodeado por un blindaje, con una clavija en un extremo y mordaza en el otro.

NOTA: Para la prueba de resistencia de aislamiento de los cables, estos deben estar desconectados del medidor.

AMPLIFICADOR.- Una indicación de que el amplificador esta funcionando adecuadamente, la da el comportamiento del medidor MVA y MW cuando se conecta el cable de alimentación de 127 volts al medidor. La aguja debe saltar hacia el máximo de la escala y fluctuar antes de bajar a cero, hasta que varios capacitores se hayan cargado.

Las siguientes pruebas son útiles para confirmar que el amplificador esta funcionando correctamente.

GANANCIA.- Con el medidor listo para operar (sin el cable de alta tensión), determine la mínima tensión de prueba, al cual el medidor se puede verificar, esto es: con la perilla de METER ADJ. girada hasta el tope en sentido de las manecillas del reloj y el switch selector en Check, empiece en cero e incremente la tensión de prueba hasta que el medidor MVA y MW indique la escala completa, ocurriendo esto a 500 volts o menos, si la tensión mínima es apreciablemente superior a los 500 volts deben revisarse los bulbos del amplificador y cambiarse si es necesario.

Si los bulbos están en buenas condiciones, revise y mida la tensión de cátodo del condensador de by-pass (50 o 100 mfd y 6 volts).

TENSIONES.- Las tensiones de alimentación del filamento y placa deben medirse en la siguiente forma:

1.- Retirar el bulbo 12 AU7 del chasis del amplificador.

2.- la tensión medida entre las terminales 4 y 9 (contando en sentido de las manecillas del reloj) del portabulbo es la tensión de filamento; la tensión medida entre la terminal 1 y el chasis es la tensión de alimentación de placa. Las tensiones normales medidos usando un voltmetro de CD de 20,000 ohms/volt deben ser:



Filamento 30 a 40 Volts.
Placa 250 a 260 Volts.

NOTA: Las actividades de revisión de bulbos, medición de tensión de cátodo del condensador de bypass y los incisos 1 y 2 anteriores, son exclusivas para realizarse en laboratorio o talleres de servicio especializado.

RECTIFICADOR DEL MEDIDOR.- El aumento de la deflexión de la aguja del medidor MVA y MW es lineal con el incremento del potencial de prueba (en la posición Check). Esta linealidad puede ser afectada por un rectificador parcialmente deteriorado. Puede verificarse en la siguiente forma:

Con el switch selector en Check, ajustar el medidor MVA y MW para que marque la escala completa (100) a 2.5 KV, cuando reduzca la tensión a 2.0, 1.5, 1 y 0.5 KV las lecturas correspondientes del medidor MVA y MW deberán ser 80, 60, 40 y 20 respectivamente.

Cualquier diferencia apreciable (mayor que una división de la escala de estos valores), indica la posibilidad de un rectificador dañado.

RANGOS Y MULTIPLICADORES DE MVA y MW.- El medidor tiene tres rangos, si se obtienen lecturas dudosas en uno de ellos o usando en particular algún multiplicador, estos deben ser verificados utilizando alguno de los otros. Es conveniente en estos casos verificar las resistencias de rango o multiplicadoras de escala.

Las mediciones de las resistencias de rango pueden efectuarse entre la terminal LV y tierra, considerando la resistencia del cable LV.

Las resistencias medidas deben ser las siguientes:

LV SWITCH	RANGER OHMS	
GUARD ó UST	HIGH	2.5
GUARD ó UST	MED	25.0
GUARD ó UST	LOW	250.0

Si las resistencias medidas no corresponden a las posiciones de rango mostradas anteriormente, el problema puede ser debido a que se haya deslizado el disco de bronce ranurado en el eje del switch range.

Las resistencias del multiplicador de escala pueden revisarse por medición directa, un



método más sencillo es el siguiente:

- a) Con el equipo armado (sin el cable de alta tensión) y el switch selector en Check, ajustar el medidor MVA y MW a que indique la escala completa utilizando el control METER ADJ.
- b) Girar la perilla MW ADJ. hasta el tope en sentido contrario a las manecillas del reloj, colocar el switch range en la posición LOW, el switch selector en el lado MW y el switch multiplicador MW en 0.2.
- c) Variando la posición del control MW ADJ. ajustar el medidor MVA y MW a escala completa.
- d) Girar el switch multiplicador MW a la posición 1, la lectura del medidor MVA y MW debe bajar a 20.
- e) Si el procedimiento descrito en c) y d) se repite para múltiplos MW sucesivamente más altos, se deben registrar los siguientes resultados.

AJUSTE A ESCALA COMPLETA MULTIPLICADOR DE MW EN:	CAMBIA A:	LECTURA
0.2	1	20
1.0	2	50
2.0	10	20
10.0	20	50

Si las mediciones se efectúan cuidadosamente y no existe dificultad, las diferencias entre los valores listados y los valores registrados deben ser menores que una división de la escala (debido al error del medidor). Cualquier diferencia apreciable indicará una resistencia defectuosa. Una lectura baja, por ejemplo 18 o menor en lugar de 20 puede ser debida a un rectificador del medidor parcialmente dañado.

TRANSFORMADOR DE ALTA TENSIÓN.- La continuidad de los devanados del Transformador de Alta Tensión puede probarse utilizando un ohmetro de baja tensión. Las mediciones del devanado de alta tensión pueden hacerse en las terminales de guarda y alta tensión del cable de prueba. Las mediciones de baja tensión pueden efectuarse en sus terminales en la tablilla montada en la pared posterior de la caja del medidor. Las terminales del devanado de baja tensión son las dos últimas en el extremo derecho de la tablilla.



La resistencia medida depende del tipo de transformador utilizado en el medidor. Los valores normales para los tres tipos posibles son:

TRANSFORMADOR * TIPO No.	DEVANADO DE ALTA TENSIÓN OHMS	DEVANADO DE BAJA TENSIÓN OHMS
7798	2000	1.5
4065	3500	3.0
4065A	3500	3.0

(*) Este número se encuentra en la placa montada en el núcleo.

La resistencia de aislamiento entre devanados debe ser 100 megaohms o mayor cuando se mida con un medidor de baja tensión.

CALIBRACIÓN.- La calibración del medidor de 2.5 KV puede comprobarse en el campo de varias formas dependiendo de los medios disponibles. La experiencia ha mostrado que una revisión adecuada puede hacerse utilizando la celda de aceite suministrada con el medidor y una o dos resistencias suplementarias con valor del orden de 0.5 y 1.0 megaohms en la siguiente forma:

- Medir MVA y MW a 2.5 KV en una celda de aceite seca y limpia.
- Conectar una resistencia de 0.5 megaohms (1/2 watt o mayor) entre las terminales de alta tensión de prueba y la celda de aceite. Mida MVA y MW a 2.5 KV.
- Llenar la celda con aceite en buenas condiciones, y mida MVA y MW a 2.5 KV.
- Conectar una resistencia de 0.5 megaohms entre las terminales del cable de prueba (HV) y la celda llena de aceite. Medir MVA y MW a 2.5 KV.
- Los MVA medidos en los pasos B y D, después de la adición, de la resistencia de 0.5 megaohms no cambian apreciablemente de los medidos en a y c respectivamente.

Los MW, en cambio deben incrementarse en una cantidad aproximadamente igual a $(MVA)^2(R)/6250$, donde R es el valor en megaohms de la resistencia en serie, los valores normales para las mediciones descritas son las siguientes:

a) a 2.5 KV MVA = 285 MW = 0.5



b) a 2.5 KV MVA = 290 MW = 7.5

Incremento en MW = 7.0

$$(MVA)^2 R / 6250 = (290)^2 (0.555) / 6250 = 7.5 \text{ MW.}$$

c) a 2.5 KV MVA = 610 MW = 1.5

d) a 2.5 KV MVA = 612 MW = 36.0

Incremento en MW = 34.5

$$(MVA)^2 R / 6250 = (612)^2 (0.555) / 6250 = 33.2 \text{ MW.}$$

Las pruebas descritas dan puntos de referencia para la calibración a factores de potencia a 0, 2.5 y 5%.

Notar que los valores óhmicos de las resistencias utilizadas deben ser conocidas con algún grado de exactitud. Esto no sería necesario si estas mediciones se hicieran cuando el medidor se recibiera nuevo y pudiera suponerse calibrado, los resultados así registrados podrían ser archivados para tenerlos como comparación para verificaciones subsecuentes.



2) MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV.

VERIFICACIÓN DE LOS MULTIPLICADORES DE CORRIENTE Y WATTS.

- a) Con el equipo ensamblado, los cables HV y LV desconectados y el selector en posición Check, incrementar la tensión de prueba hasta 10 KV y ajustar el medidor (METER ADJ.) de corriente y watts hasta máxima escala (100 divisiones).
- b) Accionar la perilla de ajuste de la capacitancia en contra de las manecillas del reloj hasta que la lectura indique 000.0, colocar el multiplicador de corriente en 10 microamperes y el multiplicador de watts en 0.002 y la palanca selectora del lado de watts.
- c) Accionar el control de ajuste de Watts (WATTS ADJ.), desplazando la aguja indicadora a la máxima escala de corriente y watts (100 divisiones).
- d) Cambiar la perilla multiplicadora de rango de Watts a la posición de 0.01. Se tiene que leer 20 divisiones en la escala de lectura de corriente y watts.
- e) Si el proceso seguido en los pasos c) y d) es repetido sucesivamente para multiplicadores a watts más altos, se deben obtener las siguientes lecturas:

AJUSTE A ESCALA COMPLETA		
MULTIPLICADOR DE MW EN:	SWITCH MULT. WATTS A:	LECTURA OBTENIDA
0.002	0.01	20
0.01	0.02	50
0.02	0.10	20

Si las mediciones son hechas con cuidado y no existen dificultades, la diferencia entre los valores listados en la tercer columna de la tabla anterior, y aquellos obtenidos, no deben ser menores en dos divisiones.

NOTA: Esta prueba se puede realizar para los otros multiplicadores de corriente siguiendo los pasos anteriores.

Una vez ejecutada esta prueba realizar lo siguiente:

- 1) Volver a colocar la lectura de capacitancia en 000.0, los multiplicadores de corriente y watts en 10 microamperes y 0.002 watts respectivamente y accionar la palanca selectora hacia la posición de watts.



2) Accionar el control de ajuste de watts (WATTS ADJ), desplazando la aguja indicadora a la máxima escala de corriente y watts (100 Divisiones).

3) Girar el multiplicador de corriente hacia los siguientes múltiplos y observar las lecturas de acuerdo a la siguiente tabla:

MULTIPLICADOR DE CORRIENTE (mA)	MULTIPLICADOR DE WATTS	LECTURA
0.010	0.002	100
0.020	0.01	40
0.1	0.02	100
0.2	0.1	40
1.0	0.2	100
2.0	1.0	40
10.0	2.0	100
20.0	10.0	40
100.0	20.0	100

Comprobación de la correcta operación del control de capacitancia.

La lectura mostrada debe ser de 000.0 pF, cuando el potenciómetro de ajuste de watts se haya girado totalmente en contra de las manecillas del reloj.

RECTIFICADOR DEL MEDIDOR.- El aumento de la deflexión de la aguja del medidor MVA y MW es lineal con el incremento del potencial de prueba (en la posición Check). Esta linealidad puede ser afectada por un rectificador parcialmente deteriorado. Puede verificarse en la siguiente forma:

Con el switch selector en Check, ajustar el medidor mA y watts para que marque la escala completa (100) a 10 kV, cuando se reduce la tensión a 8.0, 6.0 y 2.0 kV las lecturas correspondientes del medidor mA y Watts deben ser 80, 60, 40 y 20 respectivamente.

Cualquier diferencia apreciable (mayor que una división de la escala de estos valores), indica la posibilidad de un rectificador dañado.

MEDICIONES EFECTUADAS BAJO LA INTERVENCIÓN DE UNA CORRIENTE RESULTANTE DE UNA INTERFERENCIA ELECTROSTÁTICA ALTA.

El equipo de 10 KV cuenta con un dispositivo capaz de cancelar esta interferencia, el ICC (Circuito de cancelación de interferencia).



MEDICIÓN DE LA CORRIENTE POR INTERFERENCIA ELECTROSTÁTICA:

Las corrientes por interferencia causan tensiones que se introducen en el circuito de medición del medidor y esto se produce en dos lugares, el más importante interviene en los resistores de rango que están asociados con el multiplicador de corriente. El segundo lugar es afuera del inductor mutuo asociado con el ajuste de watts. El ICC es capaz de inyectar una tensión dentro del amplificador de medición, esencialmente una tensión mínima de activación introducido en el circuito por donde circula la corriente por interferencia.

En algunas ocasiones cuando la interferencia electrostática es muy grande, nos puede interesar medir esta corriente resultante de la interferencia, la cual circula a través de los resistores de rango.

A continuación se dan los pasos a seguir para su medición:

- 1.- Conectar las puntas de prueba al equipo bajo prueba.
- 2.- Colocar el control del cable de baja tensión en la posición que se requiera para llevar a cabo la medición.
- 3.- Elevar la tensión hasta 10 kV y ajuste la escala a 100 divisiones utilizando el control de ajuste de escala, esto realizarlo en la posición neutral.
- 4.- Girar el control de tensión hasta el cero.
- 5.- Comprobar que el ICC este fuera y el control de reversa este dentro en cualquiera de las dos posiciones.
- 6.- No oprimir los controles de seguridad y remotos.
- 7.- Mover el control hacia la posición de corriente y girar el multiplicador de corriente, observándose una alta deflexión de aguja escala arriba en el medidor de corriente y watts. La magnitud de esta corriente es el número de divisiones por el multiplicador y esta es la que está circulando a través de los resistores de rango del medidor.

La corriente resultante de la interferencia electrostática que circula a través de los resistores de rango varía con la posición del control del LV. Por lo tanto hay que repetir la prueba para las otras posiciones del LV que se tengan que utilizar y también esta con otro tipo de conexión.



CUANDO SE DEBE USAR EL CIRCUITO DE CANCELACIÓN DE INTERFERENCIA

Cuando la corriente resultante de la interferencia electrostática pase a través del circuito de medición del equipo de prueba y esta resulta ser bastante alta en comparación con la corriente total del espécimen bajo prueba, de este modo puede ser deseable utilizar el ICC.

En general el ICC no debe ser usado para condiciones normales de prueba, a menos que se presente los siguientes casos:

1.- Cuando para una de las dos lecturas de los watts, el control de ajuste de watts, llegue al final de su ajuste antes de haber obtenido una mínima lectura.

2.- Cuando una o ambas lecturas de watts no puedan ser obtenidas con la mayor sensibilidad teniendo el más bajo multiplicador, se asume que las pérdidas del espécimen ya en si son relativamente bajas de modo que normalmente si pueden ser registradas con la mayor sensibilidad de multiplicador de watts, en ausencia de la interferencia electrostática.

3.- Cuando las dos lecturas de watts son registradas y una de ellas resulta positiva y la otra negativa y la diferencia absoluta de esas dos magnitudes resulta ser menor de cuatro divisiones.

Para el primero de los casos mencionados anteriormente el ICC se debe utilizar y para el segundo y tercero se debería utilizar cuando la interferencia electrostática es extremadamente alta.

Como beneficio adicional se pueden desenergizar todos los cables que se encuentran cercanos a las terminales del equipo bajo prueba y aterrizar todos los objetos cercanos no incluidos en la medición.

PASOS A SEGUIR PARA VERIFICAR LA CORRECTA OPERACIÓN DEL CIRCUITO DE CANCELACIÓN DE INTERFERENCIA:

1.- Con el ICC en posición OFF, energizar el equipo de prueba a 10 kV. Verificar que el cable de alta tensión se encuentre desconectado del equipo de prueba.

2.- Teniendo el control selector en posición neutral, ajustar la aguja indicadora de corriente y watts hasta las 100 divisiones.

3.- Girar el control de tensión hasta cero volts.

4.- Colocar el control del ICC en posición HIGH.



- 5.- Mover el control del selector hacia la posición de corriente y colocar su multiplicador en 0.2 miliamperes.
- 6.- Oprimir el botón blanco (botón de prueba de ICC) la aguja indicadora debe deflexionarse aproximadamente 50 divisiones (10 miliamperes).
- 7.- Dejar de oprimir el botón de prueba del ICC y colocar el control de este en posición LOW.
- 8.- Colocar el multiplicador de corriente en 0.1 miliamperes.
- 9.- Oprimir el botón de prueba del ICC, la aguja indicadora debe indicar aproximadamente 20 divisiones (2.0 miliamperes).
- 10.- Regresar el control ICC a posición OFF.

3) MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA MICROPROCESADO HASTA 12 KV.

El software del controlador incluye una opción de autodiagnóstico con la cual, el equipo puede efectuar un análisis de las condiciones del sistema operativo residente en el controlador. Posee también una segunda opción para verificar todas las condiciones operativas y físicas del equipo y sus componentes y accesorios, pudiendo determinar el daño en cualquiera de ellos, y por tanto la confiabilidad de cada prueba.

La calibración de este tipo de equipos es efectuada por el propio fabricante en su planta. Algunos equipos pueden disponer de hardware y software opcionales para verificar la calibración.

2.3.4 PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.

2.3.4.1 TEORÍA GENERAL.

La medición de la Corriente de Excitación en transformadores, determina la existencia de espiras en corto circuito, desplazamiento de devanados y núcleo, conexiones defectuosas, etc.

La Corriente de Excitación de un transformador, es aquella que se obtiene en el devanado primario al aplicar a éste una tensión, manteniendo el devanado secundario en circuito abierto.

La Corriente de Excitación consta de dos componentes: Una en cuadratura (I_L) y la

otra en fase (I_R). La componente en cuadratura corresponde a la corriente reactiva magnetizante del núcleo, mientras la componente en fase incluye pérdidas en el núcleo, cobre y aislamiento.

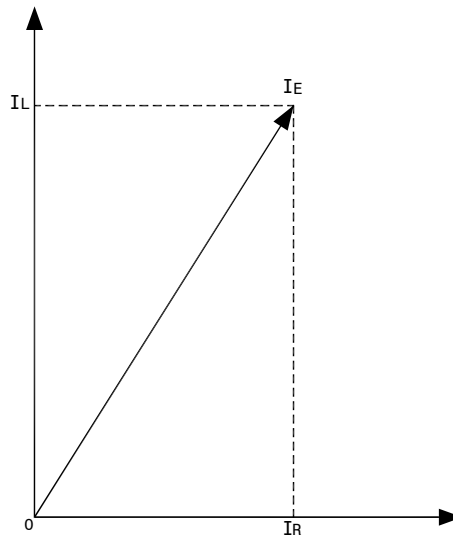


FIG. 2.14. DIAGRAMA VECTORIAL DE CORRIENTES.

donde:

- I_E - Corriente de Excitación del devanado del transformador.
- I_L - Corriente Reactiva Magnetizante.
- I_R - Corriente Resistiva de Pérdidas.

La magnitud de la Corriente de Excitación, depende en parte de la tensión aplicada, del número de vueltas en el devanado, de las dimensiones del devanado, de la reluctancia y de otras condiciones tanto geométricas como eléctricas que existen en el transformador.

2.3.4.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA.

De acuerdo con experiencias en las pruebas de Corriente de Excitación el factor que afecta las lecturas, en forma relevante, es el magnetismo remanente en el núcleo del transformador y la inducción electromagnética; el magnetismo es indeseable por dos razones:

- a) Al volver a conectar un transformador con magnetismo remanente, la corriente de magnetización o de "arranque" (**INRUSH**), que súbitamente demanda el transformador; aumenta considerablemente.
- b) Puede originar valores anormales de Corriente de Excitación durante las pruebas,



al analizar las condiciones de los devanados o alguno en especial.

De ser detectado este efecto de magnetismo remanente en el núcleo se pueden realizar las siguientes consideraciones como se indica a continuación:

El magnetismo normalmente es indeseable por dos razones:

- Al volverse a conectar un transformador con magnetismo remanente la corriente de Inrush aumenta considerablemente.
- Durante la realización de pruebas de corriente de excitación es común que se obtengan valores falsos que puedan ocasionar suposición de falla en alguno de los devanados.

2.3.4.2.1 NEUTRALIZACIÓN DE MAGNETISMO REMANENTE EN TRANSFORMADORES.

En un transformador trifásico es común que quede magnetizado debido al desplazamiento de 120° entre las corrientes de cada una de las fases y por lo tanto dos piernas del núcleo quedan con magnetismo, partiendo de la suposición siguiente; si una de las corrientes esta en 0° las otras dos quedaran en 120° o 240° respectivamente lo que ocasiona el magnetismo remanente.

Existen diferentes métodos para desmagnetizar núcleos de transformadores, ya sean de instrumentos, distribución o potencia.

En un transformador monofásico es difícil que ocurra el fenómeno mencionado y de existir su valor es inapreciable.

Este magnetismo remanente se origina principalmente cuando se desconecta un transformador de su fuente de alimentación. No existe un método simple para detectar o medir el magnetismo remanente, sin embargo indirectamente es posible hacerlo y detectarlo ya que cambia la corriente de Inrush, así como, los valores de corriente de excitación en los devanados. El valor y la polaridad del magnetismo remanente cambian dependiendo del punto de la curva de histéresis en la cual se interrumpe la corriente que magnetiza el transformador.

a) METODOS PARA DESMAGNETIZAR NUCLEOS DE TRANSFORMADORES

1.- Un método consiste en aplicar una tensión alta de corriente alterna a uno de los devanados y llevar la corriente de excitación a cero o muy próxima a esta, pero resulta peligroso debido a que los rangos de flujo son muy altos y dificulta el control de corrientes de altos valores a valores bajos.

2.- Otro método mas simple y más seguro consiste en aplicar una corriente directa al devanado e invertir su polaridad. Este método se fundamenta en la baja resistencia de los devanados del transformador a corriente directa, por lo que al inyectar una pequeña tensión de CD se obtienen corrientes altas, que bien pueden ser inyectadas al transformador por medio de un acumulador.

Se pueden aplicar tensiones de 6, 12 o 24 VCD, que se pueden obtener de acumuladores de vehículos de transporte, de ahí la ventaja y facilidad del uso de este método.

En complemento a lo anterior solo es necesario contar con un ampermetro, un reóstato y un interruptor de doble polo, doble tiro para realizar la desmagnetización del núcleo de un transformador.

Los métodos de uso que se describen a continuación serán aplicables al tipo de conexión que tenga el transformador ya sea en DELTA o bien en ESTRELLA de la conexión de alta tensión.

b) DESMAGNETIZACIÓN EN ESTRELLA

Ante la imposibilidad de desconectar cada uno de los devanados para lograr su desmagnetización, esta conexión facilita su ejecución. Esto no quiere decir que la desmagnetización en devanados conectados en estrella sea fácil en virtud que cada núcleo magnético queda sujeto a las mismas Amper-vueltas desmagnetizantes, para este caso observar figuras 1 y 2. Método que muestra las conexiones para inyectar corriente directa inversa y lograr una desmagnetización del núcleo.

Es importante señalar que el neutro de la estrella deberá desconectarse, la fuente se conecta entre H1 Y H0, conectando el positivo en H1 y el negativo en H0, tal y como se muestra en la figura No. 2.

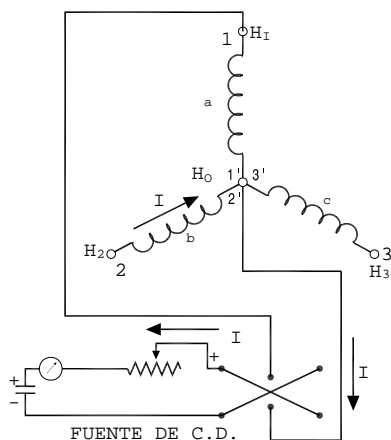


FIGURA 1
Desmagnetización aplicada al devanado (2'-1)

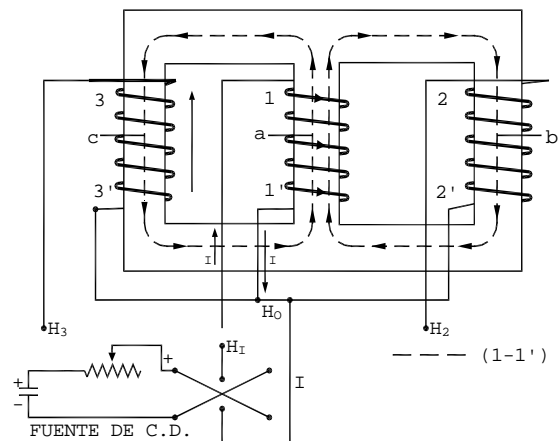


FIGURA 2
Núcleo devanados, corrientes y flujos de figura 1.

81 06 26	Revisiones:	85 01 12	91 09 20	93 12 24	03 04 30	07 01 30
----------	-------------	----------	----------	----------	----------	----------

En la que el flujo corresponde a la dirección de la corriente y aplicando la regla de la mano derecha (ley de OERSTED), o saca corcho los Amper- Vuelta producen un flujo hacia arriba en la pierna "A", retorna la mitad de dicho flujo a través de las piernas "B" y "C".

Con esto puede verse que las tres piernas se someten a una desmagnetización simultánea pero es más fuerte en la pierna "A" que en las otras.

En las figuras 3 y 4 pueden verse las conexiones para desmagnetizar la pierna "B", con el mismo efecto descrito anteriormente para las piernas "A" y "C".

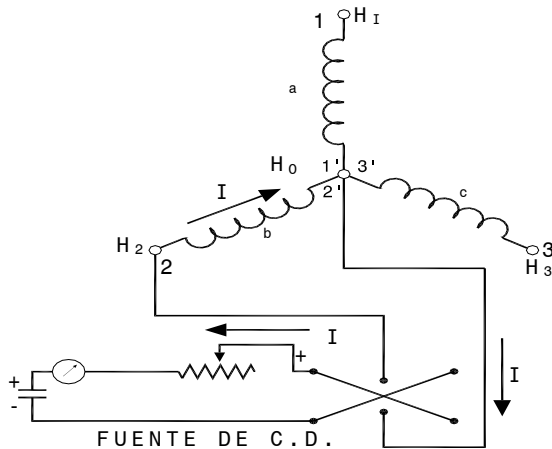


FIGURA 3
Desmagnetización aplicada al devanado (2'-1)

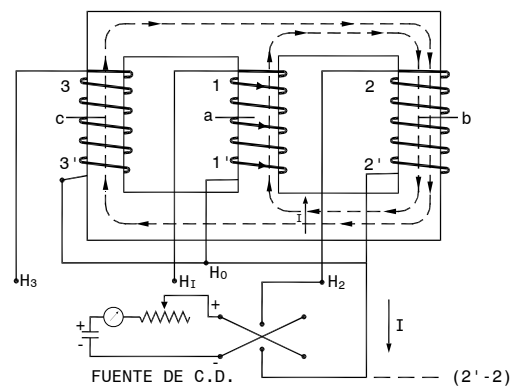


FIGURA 4
Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 3

c) DOS DEVANADOS EN SERIE EN UNA CONEXIÓN ESTRELLA

En las figuras 5 y 6 se muestran las conexiones para desmagnetizar dos piernas al mismo tiempo ("A" y "B"), debiendo conectar el positivo de la batería a la Terminal H1 y el negativo a la Terminal H2. El flujo que se produce en estas condiciones conforme se muestra en la figura 6 se direccionala hacia arriba, con lo que se obtendrá una suma de flujos al aplicar nuevamente la ley de OERSTED.

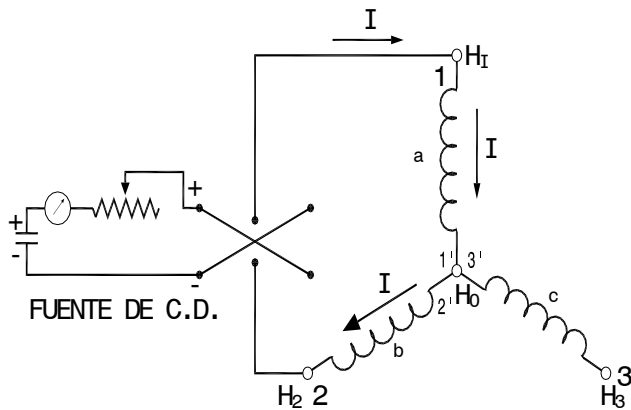


FIGURA 5

Desmagnetización aplicada a devanados 1'-1' y 2'-2 en serie.

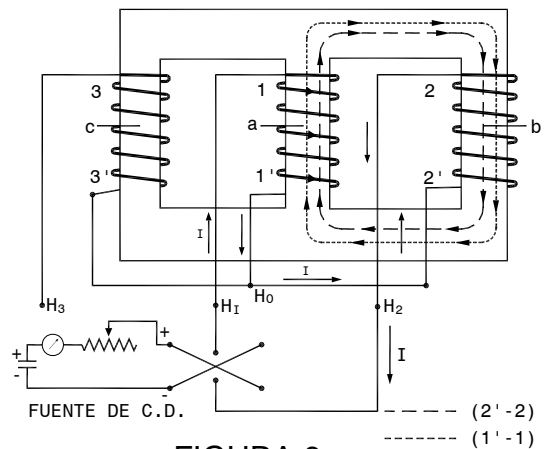


FIGURA 6

Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 5.

Es importante resaltar que en la pierna "C" no circula ningún flujo, por lo que tendrá que aplicarse uno. Desmagnetización a la pierna "B" en sentido contrario como se muestra en las figuras 7 y 8, donde se apreciara que ahora por la pierna "A" no circula ningún flujo desmagnetizante.

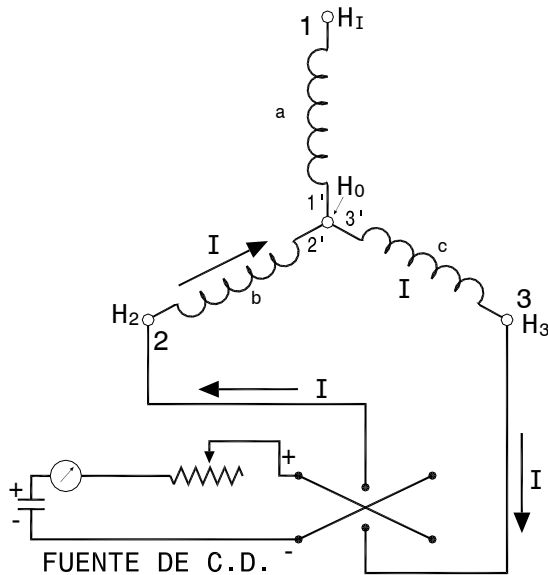


FIGURA 7

Desmagnetización aplicada a devanados 2-2' y 3-3' en serie.

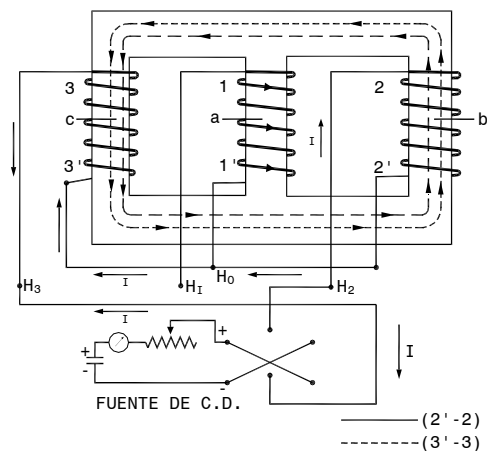


FIGURA 8

Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 7.

Conforme a la experiencia en pruebas realizadas y a fin de equilibrar los magnetismos residuales, deberán realizarse tres desmagnetizaciones, es decir entre H1 y H2, entre H2 y H3 y finalmente entre H3 y H1.

d) DESMAGNETIZACIÓN DEL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR UTILIZANDO UNA CONEXIÓN SERIE PARALELO EN DEVANADOS CONECTADOS EN ESTRELLA

Las figuras 9, 10, 11 y 12 muestran las conexiones para desmagnetizar un núcleo con una combinación de devanados conectados en serie paralelo, en la cual el flujo desmagnetizante circulará por la pierna "A" y la mitad de dicho flujo circulará por "B" y "C".

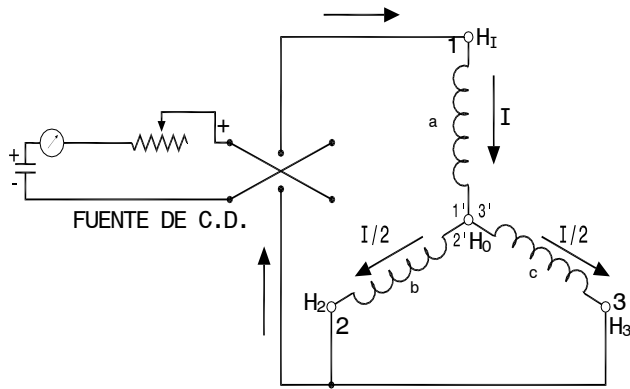


FIGURA 9
Desmagnetización aplicada en serie-paralelo

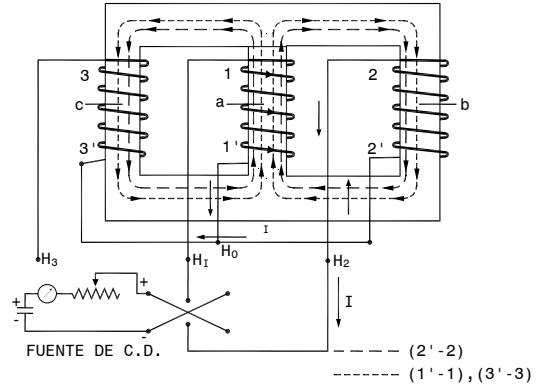


FIGURA 10
Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 9.

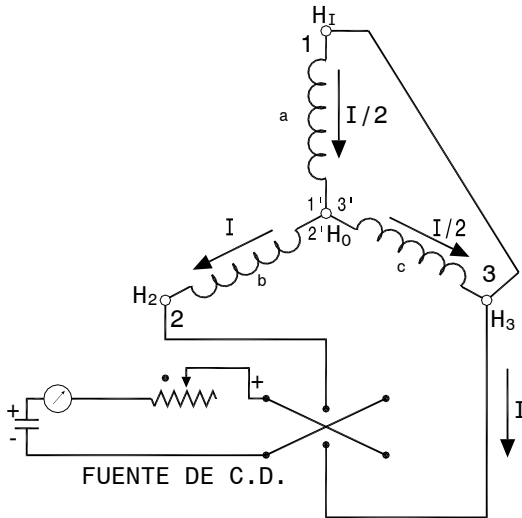


FIGURA 11
Desmagnetización aplicada en serie-paralelo

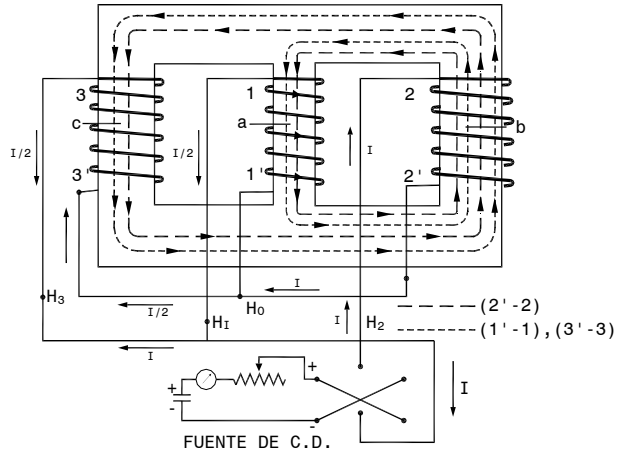


FIGURA 12
Núcleos devanados corrientes y flujos de figura 11

Es recomendable desmagnetizar las tres piernas de forma que un arreglo inicial seria conectar H2 y H3 siendo positivo H1 en la segunda prueba se deberá conectar H3 – H1 siendo positivo H2 y en la tercera H1 – H2 siendo positivo H3

e) DESMAGNETIZACIÓN DE NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR CONECTADO EN DELTA

Cuando un transformador tiene conectados sus devanados en delta, no es posible desmagnetizar cada uno de ellos, por lo que se debe de dividir la corriente entre dos devanados y la distribución del flujo en su núcleo depende de la conexión que aplique al conectar la tensión de corriente directa en sus terminales.

Las figuras 13 y 14 muestran las conexiones y distribución de flujos para la desmagnetización de su núcleo, en donde se interconectaron H2 con H3 con el polo negativo y H1 al polo positivo.

En estas condiciones la mitad de la corriente aplicada circula por la pierna "A" y la otra mitad por la pierna "C" pero en la pierna "B" no circula ninguna corriente.

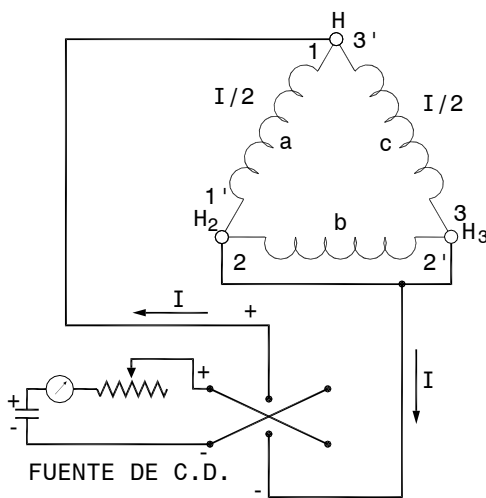


FIGURA 13

Desmagnetización aplicada a devanados conectados en paralelo

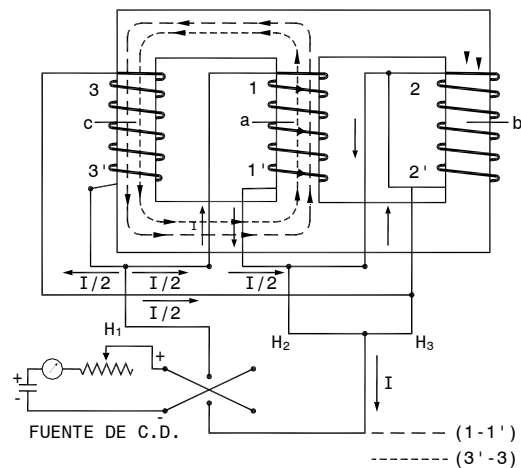


FIGURA 14

Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 13

En las figuras 15 y 16 se indican las condiciones para interconectar H1 y H2 con el polo negativo y H3 con el positivo, continuando posteriormente con la interconexión de H3 y H1 con el polo negativo y H2 al positivo, de forma que se logre desmagnetizar a si las tres piernas del núcleo

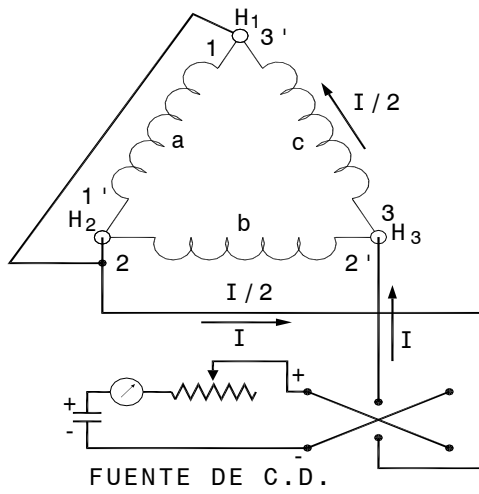


FIGURA 15
Desmagnetización aplicada a devanados conectados en paralelos

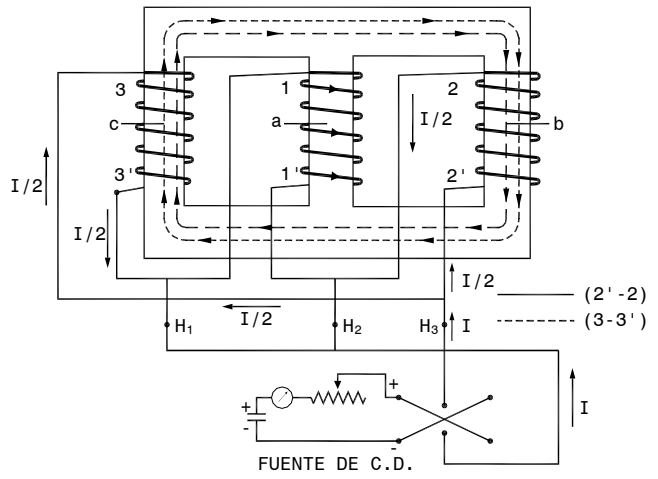


FIGURA 16
Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 15

f) DESMAGNETIZACIÓN DEL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR INTERCONECTADO, DEVANADOS EN PARALELO CON DOS EN SERIE EN UNA CONEXIÓN DELTA

En las figuras 17 y 18 se muestran las conexiones para desmagnetizar el núcleo de un transformador conectando un devanado en paralelo con dos en serie. Para este caso la corriente desmagnetizante circulara con sus dos terceras partes en el devanado en paralelo y una tercera parte por los devanados en serie, y con esto se estará desmagnetizando la pierna "A" donde circulara dos terceras partes de la corriente total y en las "B" Y "C" un tercio de dicha corriente, en resumen es necesario hacer tres desmagnetizaciones iniciando con el devanado comprendido entre H1 y H2, quedando en paralelo con una serie H1 - H3 con H3 - H2. Posteriormente el devanado en paralelo será H2 - H3 y quedara en serie H3 - H1 con el H1 - H2 y por ultimo el devanado H1 - H3 será el devanado en paralelo con la serie H1 - H2 y H2 - H3

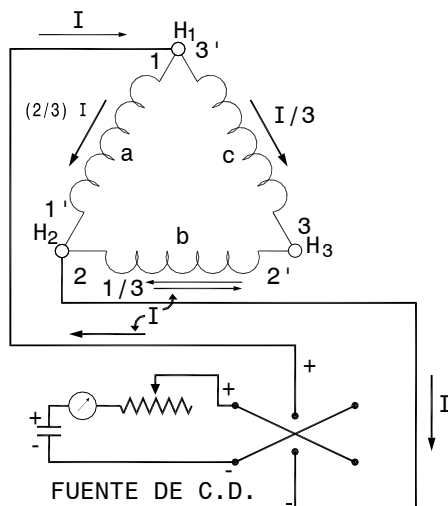


FIGURA 17

Desmagnetización aplicada en serie-paralelo

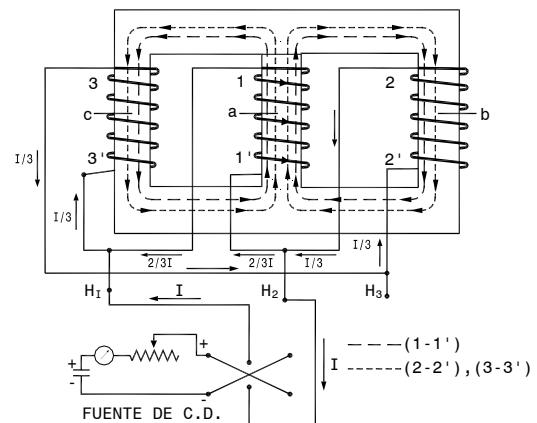


FIGURA 18

Núcleo, devanados, corrientes y flujos de figura 17

2.3.4.3 METODOS DE MEDICIÓN.

En el caso de un transformador monofásico, bastará conectar directamente un ampermetro en uno de los extremos del devanado energizado. En un transformador trifásico conectado en estrella, la Corriente de Excitación puede medirse aplicando tensión independientemente a cada una de las fases y conectando un ampermetro en serie entre el neutro y tierra, en este caso se puede observar que la corriente de la fase central es menor que las otras dos fases, debido a que la reluctancia del circuito magnético es menor.

Para devanados conectados en delta, se analiza e incluye una descripción de la distribución del flujo en el núcleo para cada una de las fases, así como sus efectos en la apreciación de la medición.

La figura 2.15 nos muestra el núcleo de un transformador trifásico con una bobina en cada fase. La bobina 1-1', está devanada en la fase "A" la bobina 2-2' en la fase "B", y la bobina 3-3' en la fase "C".

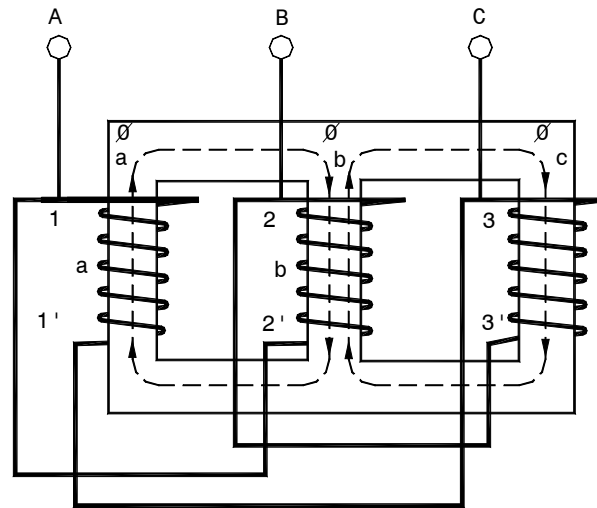


FIG. 2.15 TRANSFORMADOR DE COLUMNAS CON NÚCLEO, DEVANADO Y FLUJO

La figura 2.16 nos muestra el diagrama vectorial del mismo transformador conectado en delta.

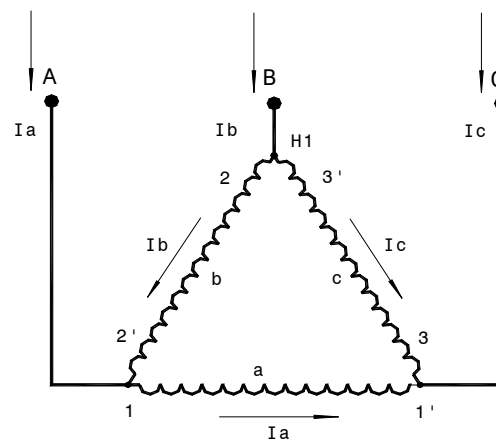


FIG. 2.16 CONEXIÓN DE DEVANADOS EN UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.

Suponiendo que las tensiones aplicables a las fases A, B y C están balanceados, la corriente en cada devanado será la Corriente de Excitación en cada fase, teniendo entre la tensión y la corriente aplicada, un ángulo muy próximo a los 90 grados. La suma de las corrientes instantáneas en cualquier instante será igual a cero; así mismo, la suma de las 3 tensiones también será cero.

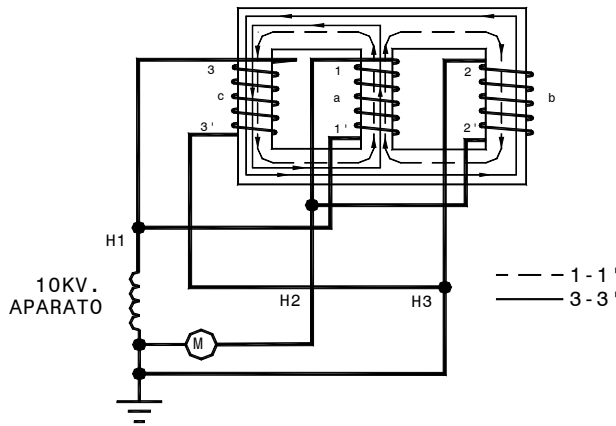


FIG. 2.17 NÚCLEO, DEVANADOS Y FLUJOS CORRESPONDIENTES A LA FIG. 2.18

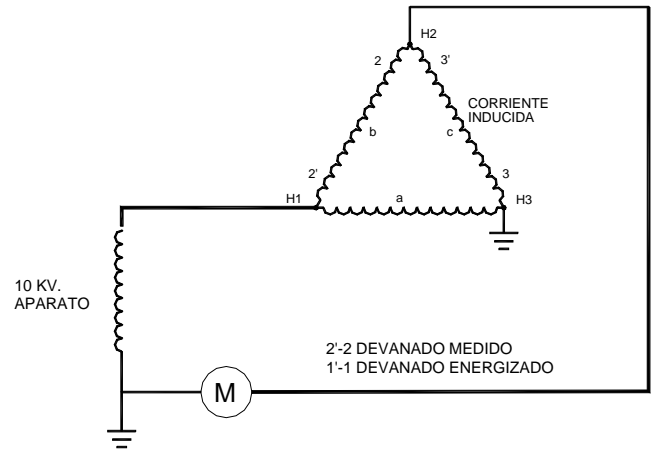


FIG. 2.18

En las figuras 2.17 y 2.18,

- a) la tensión de prueba es de 10 kV_{rms}.
- b) La tensión en terminales es de valor máximo positivo en ese instante.
- c) Por lo tanto, la magnitud y dirección de los flujos en el núcleo, se basan en las dos condiciones anteriores.

La figura 2.17, muestra al flujo producido en el núcleo por la corriente en los dos devanados, la dirección puede determinarse fácilmente aplicando la regla del sacacorcho o de la mano derecha.

El devanado 2-2' produce un flujo hacia abajo en la fase central "b", dividido por igual en las otras dos fases. La corriente en el devanado 1-1' produce un flujo hacia arriba en la fase "a", que regresa a través de las fases "b" y "c". Una gran parte de este flujo va a través de la fase "b", en virtud de que su trayectoria es más corta que para la fase "c", nótese que ambos flujos son del mismo sentido y se suman en las



fases "b" y "a", siendo el coeficiente de acoplamiento de un alto valor; en la fase "c" los dos flujos se encuentran en oposición por lo que el flujo resultante inducido en el devanado 3-3' en la fase "c" es menor.

Refiriendonos a la figura 2.18. El devanado de la fase "c", el medidor y la tierra, constituyen una malla o circuito cerrado, y circula una corriente inducida de un valor desconocido por la fuente del aparato pasando por el medidor.

Bajo estas condiciones de prueba es común caer en el error de considerar que la corriente medida sea la corriente de excitación. Para la medición de la corriente de excitación, podemos decir como conclusión, que la interrelación de flujos en los tres devanados, juegan un papel de mucha importancia.

Asimismo no debe olvidarse, que se producirán los siguientes fenómenos:

a) En devanados trifásicos al aplicar la tensión en el devanado bajo prueba, se produce un flujo que a su vez inducirá otro en los devanados adyacentes. La resultante de estos últimos será prácticamente igual al flujo original o de prueba y casi igual al otro devanado que no esta en prueba, pero que esta aterrizado en un extremo y energizado en el otro.

b) El total de ampervueltas para el devanado medido, producirá el flujo que se requiera para la condición anterior.

c) La suma de flujos en las tres fases deberá ser cero.

Otro método para analizar los resultados de prueba de la corriente de excitación en transformadores trifásicos emplea la teoría magnética simplificada. En este método se considera que el núcleo se compone de secciones de fase, cada una identificada por su valor de reluctancia. De manera que para el núcleo de tipo columna común las secciones son R1, R2 y R3, como se muestra en la figura 2.19.

Por construcción se puede decir que R1 debe ser muy similar a R3 y R2 es casi un 50% de R1 o R3.

Las magnitudes de la reluctancia y de la corriente de excitación se relacionan directamente. La corriente de excitación debe suministrar la fuerza magnetomotriz que permite al flujo generado por la tensión de prueba. Superar la reluctancia del núcleo. Una falla aumenta la reluctancia del núcleo y se requiere un incremento de la corriente de excitación para mantener el flujo en un valor apropiado.

La prueba de Corriente de Excitación se realiza en el campo de manera práctica con

equipos medidores de Factor de Potencia, con tensiones de prueba de 2.5 o 10 KV. Los mejores resultados se obtienen con el equipo de 10 KV.

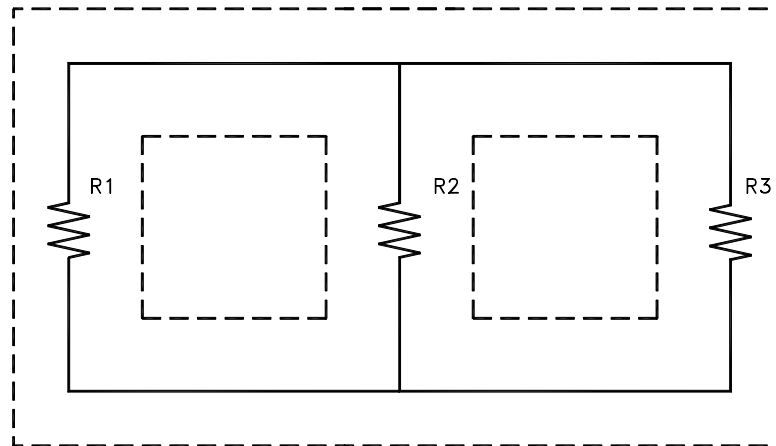


FIG. 2.19 CIRCUITO MAGNETICO DE UN NUCLEO TIPO COLUMNAS

2.3.5 PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN Y POLARIDAD.

2.3.5.1 TEORÍA GENERAL.

La relación de transformación se define como la relación de vueltas o de tensiones del primario al secundario, o la relación de corrientes del secundario al primario en los transformadores y se obtiene por la relación:

$$RT = \frac{Np}{Ns} = \frac{Vp}{Vs} = \frac{Is}{Ip}$$

Mediante la aplicación de esta prueba es posible detectar corto circuito entre espiras, falsos contactos, circuitos abiertos, etc.

Respecto a la polaridad, es importante conocerla, porque permite verificar el diagrama de conexión de los transformadores monofásicos y trifásicos, más aun, cuando se tengan transformadores cuya placa se ha extraviado.

2.3.5.2 MÉTODO MONOFÁSICO MANUAL-ANALÓGICO.

El método mas utilizado para llevar a cabo estas pruebas es con el medidor de



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

El equipo para medición de relación de transformación (ver figura 2.20), está formado básicamente; por un transformador de referencia con relación ajustable desde "0" hasta "130", una fuente de excitación de corriente alterna, un galvanómetro detector de cero corriente, un voltmetro, un ampermetro y un juego de terminales de prueba, contenidos en una caja metálica o de fibra de plástico. Para relaciones de transformación mayores de 130, a este equipo se le acoplan transformadores auxiliares.

2.3.5.3 MÉTODO DIGITAL.

En la actualidad existen medidores de relación de transformación diseñados a base de microprocesadores que nos permiten realizar la prueba de relación de transformación a transformadores trifásicos o monofásicos en menor tiempo, por su característica digital. Además cuenta con un sistema programado para su autoverificación; con este equipo se pueden hacer mediciones de relación de 0.08 a 2700.

2.3.5.4 MÉTODO POR COMPARACIÓN DE CAPACITANCIAS.

Un método para determinar la relación de transformación, es usando un probador de factor de potencia. Este método permite que la relación pueda ser medida con tensiones hasta de 10 KV.

El método también puede ser usado con otros equipos pero reduce la precisión.

La medición de la relación de tensión de un transformador usando un probador de factor de potencia de 10 KV requiere de un capacitor auxiliar de rango y estabilidad adecuado. La capacitancia actual del capacitor auxiliar no es crítica, sin embargo, esta podría ser del orden de los 10 nanofaradios. Es muy importante que el valor de la capacitancia no varíe con los cambios de temperatura entre la prueba inicial y la final. Por esta razón, cuando la relación de transformación se determina mediante la medición de capacitancias usando este método, todas las pruebas deben ser realizadas en el menor tiempo posible.

El método consiste en la medición y registro de la capacitancia actual (C1) del capacitor auxiliar (alrededor de 10,000 picofaradios) antes de conectarlo al transformador. El valor de la capacitancia del capacitor auxiliar podría no cambiar significativamente sobre el rango de temperatura encontrado durante el periodo de la prueba normal. Si la capacitancia medida en el capacitor auxiliar difiere de la de placa en un 0.1%, no se debe realizar la prueba con este método.

En la siguiente figura se muestra la conexión del capacitor auxiliar a las terminales del equipo de factor de potencia para medir la capacitancia real o identificada como C1

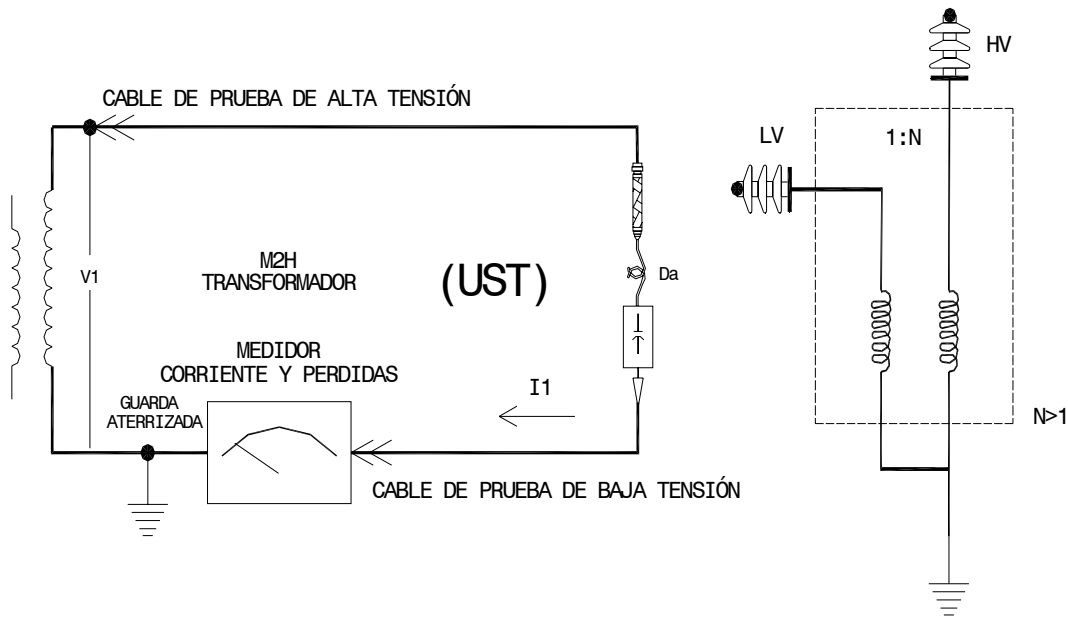


FIG. 2.21 MEDICIÓN DEL CAPACITOR DE REFERENCIA

La manera de calcular la relacion de transformacion es la siguiente:

$$I1 = V1 * w * C1$$

$$I2 = V2 * w * C2$$

$$I1 * N1 = I2 * N2 \quad \frac{I1}{I2} = \frac{N2}{N1} = N$$

Reemplazando ecuaciones:

$$N = \frac{V1 * W * C1}{V2 * W * C2} = \frac{V1}{V2}$$

$$I1 = V1 * w * c1$$

$$I2 = V2 * W * C2$$

$$I1 * N1 = I2 * N2 \quad I1 / I2 = N2 / N1 = N$$



Relación de transformación $N = I_1 / I_2$



Reemplazando ecuaciones

$$N = V_1 * W * C_1 / V_2 * W * C_1 = V_1 / V_2$$

$$V_2 = V_1 / N$$

$$I_2 = (V_1 / N) * W * C_1 = V_1 * C_1 / N * W$$

$$C_1 / N = C_2$$

$$I_2 = V_1 * C_2 * W ; I_1 = V_1 * C_1 * W ;$$

$$N = I_1 / I_2 = C_1 / C_2$$

$$N = C_1 / C_2$$

2.3.5.5 COMPROBACIÓN DEL MEDIDOR DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

En este procedimiento se describe la comprobación del medidor con capacidad de relación hasta 130.

Hay tres formas para la comprobación del correcto funcionamiento del medidor, con esas, se detecta en forma rápida, cualquier alteración en las partes más vulnerables como son: las terminales y sus conectores, el circuito detector, y los medidores, etc.

El medidor cuenta con cuatro terminales para realizar las pruebas; dos de ellas denominadas de excitación (X1,X2), se identifican, porque el conductor es de sección grande y en sus extremos tiene un conector tipo "C" con tornillo para su sujeción y conducción; las otras dos terminales, se identifican porque el conductor es de sección pequeña y se denominan secundarias (H1,H2) y en sus extremos tienen conectores tipo mordaza.

a) COMPROBACIÓN DE BALANCE.- Colocar los selectores en cero. Conectar entre sí H1 y H2. Asegúrese que los tornillos de los conectores "C" (X1, X2) no hagan contacto con el tope ni se toquen entre sí. Gire la manivela del generador hasta obtener 8 volts de excitación. Observe el galvanómetro detector, la aguja deberá permanecer al centro de la escala sobre la marca del cero. Si es necesario, ajuste a cero la aguja con un destornillador manteniendo los 8 volts de excitación, suelte la manivela y observe el galvanómetro detector. La aguja puede quedar ligeramente desviada de la marca cero; si ésta es mayor que 1/16", consultar el manual del



medidor en la sección de mantenimiento.

b) COMPROBACIÓN DE LA RELACIÓN CERO.- En las terminales de excitación (X1, X2), apriete los tornillos hasta el tope, hasta que hagan buen contacto con la cara opuesta, si es necesario coloque una arandela de cobre. Mantenga separadas las terminales X1 y X2 y deje las terminales H1 y H2 conectadas entre sí y los selectores en cero. Gire la manivela hasta obtener 8 volts; mientras gira observe el galvanómetro, ajuste el cuarto selector hasta lograrlo, manteniendo los 8 volts de excitación. El cuarto selector deberá indicar una desviación no mayor de 1/2 división. Esta comprobación puede hacerse aún cuando las terminales de excitación se tengan conectadas a un transformador bajo prueba.

c) COMPROBACIÓN DE RELACIÓN UNITARIA.- Efectué el mismo proceso para las terminales de excitación del punto anterior. Conecte la terminal secundaria negra H1 a la terminal negra de excitación X1 y la terminal secundaria roja H2 a la terminal roja de excitación X2. Coloque los selectores en la lectura 1.000. Gire la manivela hasta obtener 8 volts de excitación y simultáneamente observe el galvanómetro, si la lectura no es uno exactamente ajustarla con el cuarto selector sin dejar de girar la manivela. Si el cuarto selector indica lectura menor de cero, cambie los selectores hasta obtener una lectura de 0.9999; otra vez ajuste el cuarto selector hasta que la aguja marque cero. El equipo deberá leer 1,000 con casi la mitad de una división en el cuarto selector.

2.3.5.6 COMPROBACIÓN DE POLARIDAD.

Conectado el medidor al transformador, coloque las carátulas del medidor en ceros y gire la manivela un cuarto de vuelta. Si la aguja del galvanómetro se desvía a la izquierda, la polaridad es substractiva, si desvía a la derecha, la polaridad es aditiva; en caso de polaridad aditiva, deberán intercambiarse las terminales H1 y H2, para adecuar el medidor a un transformador de esa polaridad.

2.3.6 PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.

2.3.6.1 TEORÍA GENERAL.

La resistencia, es una propiedad (de los conductores) de un circuito eléctrico, que determina la proporción en que la energía eléctrica es convertida en calor y tiene un valor tal que, multiplicado por el cuadrado de la corriente, da el coeficiente de

conversión de energía. La relación física por la que puede ser calculada la resistencia de un material de sección uniforme es:

$$R = (\rho L)/A$$

Donde:

R = resistencia en ohms.

ρ = resistividad específica del material en Ohm-cm.

L = longitud en centímetros

A = área de la sección transversal en cm².

Esta prueba es aplicable a transformadores de potencia, de instrumento, autotransformadores, reguladores, reactores. Y nos sirve también para calcular las pérdidas en el cobre (I^2R).

2.3.6.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA.

Los factores que afectan la prueba son: cables de pruebas en mal estado, suciedad en terminales del equipo bajo prueba y los puntos de alta resistencia.

2.3.6.3 METODOS DE MEDICIÓN.

Puesto que la Resistencia de un circuito es la relación entre la diferencia de potencial aplicado entre sus extremos y la intensidad de la corriente resultante. El método más inmediato para medir la resistencia de un circuito, es conectarlo a una fuente de corriente directa tal como una batería y medir la intensidad de corriente por medio de un ampermetro.

Cuando se emplee este método, es importante seleccionar una tensión adecuada para el equipo de que se trate, ya que valores grandes de corriente pueden causar calentamiento y cambia el valor de la resistencia.

El segundo método para la medición de Resistencia Ohmica es utilizando un medidor de indicación directa llamado ohmetro, su principio de operación es el mismo del voltmetro y ampermetro con una fuente de corriente directa, integrada en el medidor.



Para las mediciones de Resistencia Ohmica, existen equipos de prueba específicamente diseñados para ello, como son los puentes de Wheatstone y Kelvin; su aplicación no presenta mayor problema ya que en sí, son ohmetros prácticamente comunes en cuanto a la forma de conexión.

Los principios de operación para ambos equipos, se basan en la medición de una corriente resultante del desequilibrio entre las tensiones presentadas en un circuito formado por resistencias de valor conocido, y por una resistencia de valor por determinar (que corresponde a la del devanado por medir). Lo anterior se efectúa mediante una fuente incorporada al equipo, circulando por tanto una corriente a través del circuito, cuyo valor es registrado por el galvanómetro.

2.3.7 PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSIÓN.

2.3.7.1 TEORIA GENERAL.

Los procesos de transferencia de energía en un transformador implican pérdidas, que ocurren debido a los siguientes factores presentes en este tipo de equipos:

Resistencia de los devanados

Pérdida de flujo magnético.

Corriente para producir flujo magnético.

Pérdidas por histéresis y por corrientes de Eddy en el núcleo.

Pérdidas en el circuito dieléctrico.

Para el análisis de transformadores de dos devanados se utiliza un circuito equivalente, como el mostrado en la figura 2.22 , donde para propósitos prácticos se supone una relación de 1:1

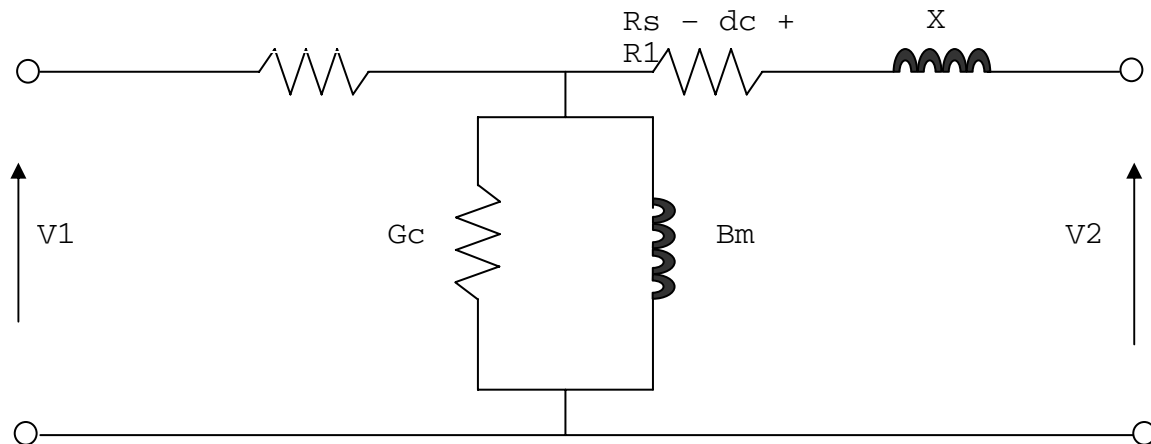


FIG. 2.22 CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

Donde:

R_{P-dc} y R_{S-dc} : Resistencia en CD para los devanados primario y secundario.

R_L : Pérdidas por corrientes de Eddy, causadas por el flujo disperso en ambos devanados y partes estructurales (tanque, herrajes y núcleo).

X : Caída de tensión debido a pérdidas de flujo.

g_c : Componente de la corriente de excitación en fase (se refiere a las corrientes por pérdidas de histéresis y de Eddy en el núcleo).

b_m : Componente inductiva de la corriente de excitación (corresponde a la corriente que magnetiza al núcleo).

Es conveniente mostrar R_L y X en el secundario, ya que las pérdidas de flujo se presentan solamente cuando el transformador está con carga.

Para efectos de análisis de pérdidas dieléctricas el aislamiento es representado usualmente por la combinación de una resistencia y capacitancia, donde la resistencia representa la habilidad del aislamiento para disipar la energía eléctrica, y el capacitor la capacidad para almacenarla. A la frecuencia nominal del sistema esas pérdidas son usualmente ignoradas, por lo que no se muestran en el circuito equivalente, sin embargo son muy útiles para el diagnostico de fallas en un transformador.

SIGNIFICADO DE LAS PÉRDIDAS POR REACTANCIA.

Es comun describir el fenómeno de pérdidas de flujo en transformadores separándolo en dos componentes: La primera debido a la corriente en el devanado primario que no induce al secundario, y la segunda el flujo en el secundario que no induce al primario, aunque en realidad el fenómeno es mas complejo.

Sin aplicar carga, la corriente de excitación en el devanado energizado crea un flujo de magnetización, el cual esta casi enteramente confinado al núcleo. Con la carga presente la corriente primaria se incrementa y la corriente en el secundario crea un flujo neto en el núcleo (el cual tiende a oponerse al flujo magnetizante) lo suficientemente grande para balancear la tensión aplicada al primario . Al mismo tiempo la acción combinada de ambas corrientes presenta un flujo en el espacio de permeabilidad (aire/aceite) que incluye los espacios entre los devanados, dentro de los devanados y entre los devanados y el tanque (o pantalla del tanque). El flujo que no es confinado al núcleo para toda la longitud de su camino, puede ser definido como flujo disperso y se considera como una pérdida.

Como se muestra en la figura 2.23 algunas de las perdidas de flujo magnético forman círculos en algunas de las espiras del devanado primario (línea A), mientras que otra porción une todo el devanado primario (línea B). Así mismo para el secundario (líneas C y D). Puede observarse también que el devanado primario esta unido así en su totalidad por el flujo magnetizante, mientras que el devanado secundario muestra pocas pérdidas por el flujo. Esto es debido a que el devanado primario tiene una mayor tensión inducida en cada una de sus espiras bajo carga, que el secundario.

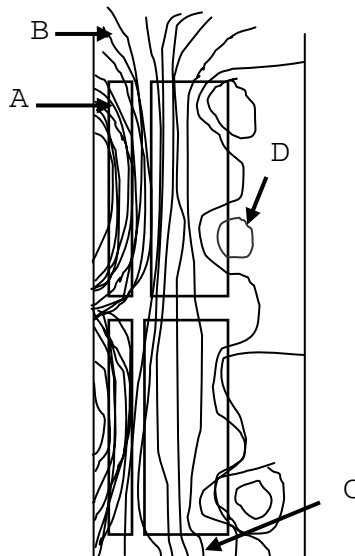


FIG. 2.23 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO DE DISPERSIÓN MAGNÉTICA

El flujo magnetizante en un transformador con núcleo de hierro, es confinado al núcleo. Debido al magnetismo no lineal del hierro, este flujo no es directamente proporcional a la corriente que lo produce. El flujo parásito, ocurre en el medio aislante (aceite o aire) en una parte considerable de su camino, ya que la reluctancia del hierro es menor que la del medio aislante. Por lo anterior se tiene que la reluctancia que el flujo parásito encuentra, esta determinada en su mayor parte por la porción de aislante que existe en su trayectoria. El flujo parásito es proporcional a la corriente que lo produce.

Debido a la relación lineal entre los flujos parásitos y la corriente, la relación Δ_L / I es independiente del valor de la corriente. Δ_L es la diferencia de pérdida de flujo (o Flujo parásito) entre dos devanados. Como la formula es igual a la de la autoinductancia, es conveniente introducir los parámetros de inductancia para el calculo de caída de tensión debido al flujo parásito.

$$L = \Delta_L / I$$

La correspondiente pérdida de Reactancia X es obtenida multiplicando L por $2\pi f$.

En resumen, el flujo parásito para todos los propósitos prácticos es proporcional a la corriente que lo produce y la caída de tensión debida a estas pérdidas de flujo, puede ser calculado introduciendo una Reactancia serie en el circuito equivalente del transformador.

Las pérdidas por Reactancias para la mayoría de los transformadores son constantes y pueden ser medidas sin la presencia del flujo, debido a la carga total admisible, permitiéndolo llevar a cabo la medición mediante la aplicación de valores bajos de corriente y tensión.

Las trayectorias del flujo parásito incluyen a la región ocupada por los devanados. Estos flujos son sensibles a variaciones por deformaciones en el devanado.

2.3.7.2 METODOS DE MEDICIÓN

La medición de la Reactancia de Dispersión es una prueba complementaria para verificar la geometria del conjunto nucleo-bobinas del transformador, mediante la



variación de la Reactancia en el canal de dispersión. Esta variación esta especialmente ligada al flujo magnético y puede generarse por cambios físicos o modificaciones en el circuito magnético. A través de la variación de su magnitud es posible detectar problemas asociados con cortos circuitos entre espiras, espiras abiertas, problemas en núcleo, etc., sin embargo es especialmente sensible a cambios físicos en la geometría del transformador, que son comúnmente derivados de:

- a) Deformaciones en Devanados o desplazamientos de los mismos.
- b) Perdida de apriete en la sujeción mecánica del conjunto nucleo-bobinas.

La prueba para medición de la Reactancia de dispersión se lleva a cabo energizando a tensión reducida, el devanado de alta tensión del transformador y manteniendo en corto circuito el devanado de media tensión, con ello se mide la impedancia (Resistencia y Reactancia) que resultan del flujo magnético que circula en trayectorias de fuga o dispersión.

La Reactancia de fuga es sensible a cambios geométricos en la trayectoria del flujo de Dispersión el cual incluye predominantemente el espacio entre los devanados y el espacio entre los devanados y el tanque, no es sensible a la temperatura, y no es influenciada por la presencia de contaminación en los aislamientos.

DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA.

El canal de Dispersión es el espacio confinado entre la superficie interna del devanado interior, la superficie externa del devanado exterior y los yugos superior e inferior. Cuando ocurre una distorsión de los devanados cambia la reluctancia de la trayectoria del flujo magnético, resultando en un cambio en la Reactancia de Dispersión Medida.

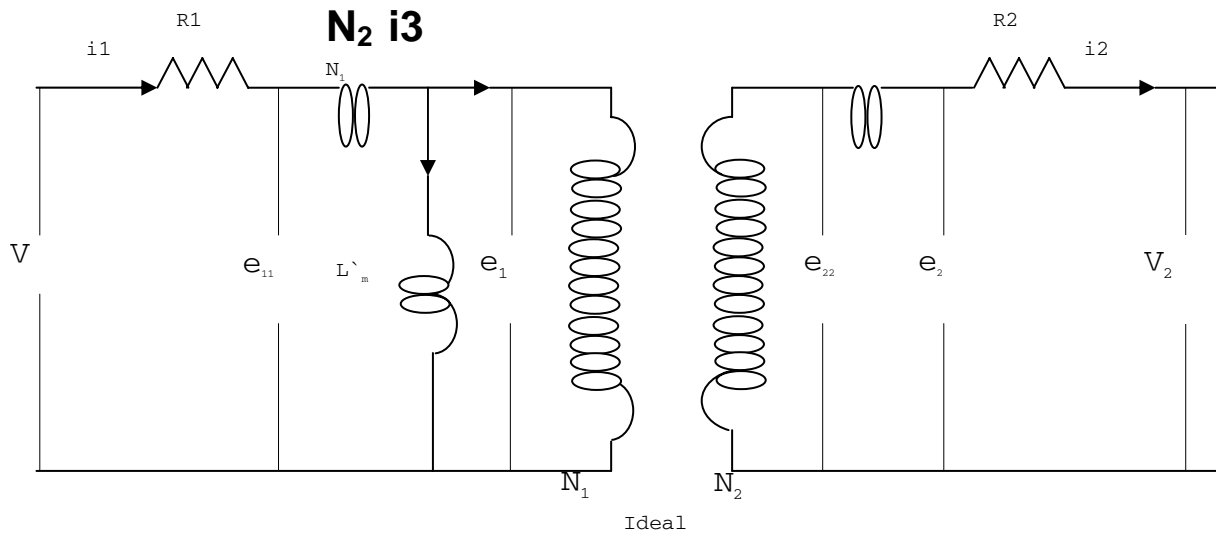


FIG. 2.24. CIRCUITO REPRESENTATIVO DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

Para simplificar aun mas la interpretación del circuito de la figura 2.24, en la figura 2.25 se muestra un circuito equivalente simplificado del transformador, en donde X_m y X son las Reactancias magnetizante y de fuga respectivamente (la resistencia del devanado es insignificante y se puede despreciar).

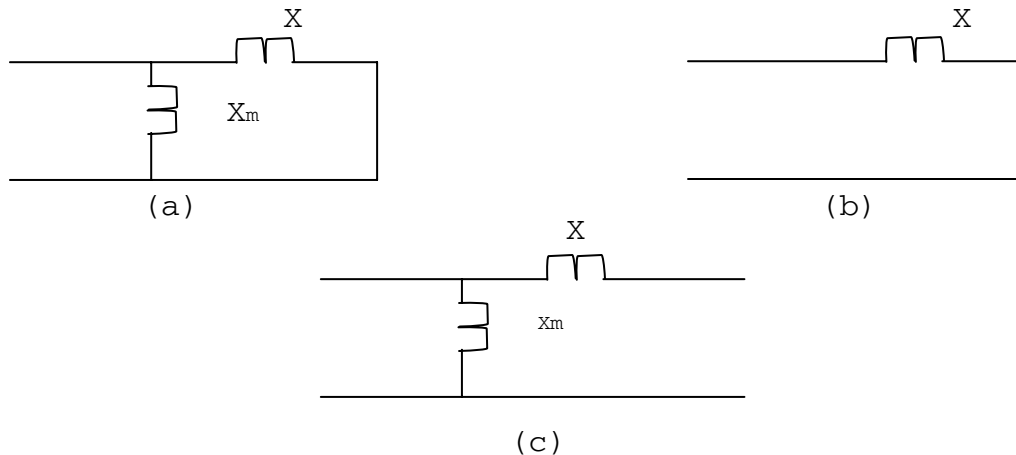


FIG. 2.25 CIRCUITOS SIMPLIFICADOS EQUIVALENTES PARA LA PRUEBA (a) PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, (b) SIMPLIFICADO DE PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, (c) PRUEBA A CIRCUITO ABIERTO

Un método conveniente para medir la Reactancia de corto circuito de un transformador es el método voltmetro - ampermetro. Este método es aplicable para probar transformadores monofásicos y trifásicos. Una fuente de poder se utiliza para

inyectar corriente a través de la impedancia. La corriente y la tensión en la impedancia se miden simultáneamente. La impedancia es entonces dada por el cociente entre la tensión medida y la corriente.

En un transformador de dos devanados, generalmente se cortocircuita el devanado de media tensión, aplicando tensión a la frecuencia nominal al devanado de alta. La tensión aplicada se ajusta para que circule una corriente del orden de 0.5 a 1.0% de la corriente nominal del devanado o de 2 a 10 Amperes, dependiendo de la capacidad del transformador bajo prueba y de la fuente a utilizar, cuidando siempre que la forma de onda sea lo más pura posible, sin contenido de armónicas.

Para mediciones precisas, el voltmetro debe estar conectado directamente a las terminales del transformador para evitar la caída de tensión en los cables. La corriente y la tensión deben de leerse simultáneamente.

La impedancia en por ciento (%Z) de un transformador monofásico se puede calcular usando la siguiente formula:

$$\%Z_{1\phi} = E_m (kVA_n) / 10 I_m (kV_n)^2$$

Donde:

E_m es la tensión medida

I_m es la corriente medida

KVA_n es la capacidad nominal del transformador en kilovoltamperes

KV_n es la tensión nominal del devanado en kilovolts.

2.3.7.3 RECOMENDACIONES PARA LA MEDICIÓN DE LA REACTANCIA.

Los conductores para cortocircuitar los devanados del transformador deben ser de baja impedancia de un calibre 8 AWG como mínimo. Estos deben ser tan cortos como sea posible y mantenerse alejados de campos magnéticos. Los contactos deben estar limpios y apretados. Estas precauciones son de importancia para evitar medir impedancias extrañas y perdidas que puedan afectar las mediciones.

Debe de tenerse cuidado en limitar la corriente de prueba de manera tal que no cause que la forma de onda de la tensión se distorsione debido a sobrecarga. Se puede usar un osciloscopio para observar la forma de onda durante la prueba.

2.3.7.4 OPCIONES DE PRUEBA.

Existen dos opciones: la prueba de equivalente trifásico y la prueba por fase.

2.3.7.4.1 PRUEBA DE EQUIVALENTE TRIFASICO. PARA UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

La Reactancia de dispersión resultante en % es calculada de la manera siguiente:

$$\%X_M = [(1/60)\Sigma X_M][S_{3\phi} / V_{L-L}^2] \dots\dots(1)$$

Donde:

ΣX_M = Suma de las Reactancias por cada fase, medida en ohms.

$S_{3\phi}$ = La potencia trifásica base en KVA, obtenida de los datos de placa.

V_{L-L} = La tensión de línea – línea base en kV, de los devanados donde la medición es realizada, obtenida de los datos de placa.

2.3.7.4.2 PRUEBA POR FASE PARA UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

La Reactancia de dispersión resultante en % es calculada de la manera siguiente:

- Para la prueba realizada en un devanado con conexión en delta:

$$\%X_M = [(1/30) X_M][S_{3\phi} / V_{L-L}^2] \dots\dots(2)$$

- Para la prueba realizada en un devanado con conexión en estrella:

$$\%X_M = [(1/10) X_M][S_{3\phi} / V_{L-L}^2] \dots\dots(3)$$

Donde:

X_M = Reactancia medida en ohms.

$S_{3\phi}$ = La potencia trifasica base en kVA, obtenida de los datos de placa.

V_{L-L} = La tensión de línea – línea base en kV, de los devanados donde la medición es



realizada, obtenido de los datos de placa.



2.3.7.4.3 PRUEBA PARA UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

La Reactancia de dispersión resultante en % es calculada de la manera siguiente:

$$\%X_M = [(1/10) X_M][S / V^2] \dots\dots(4)$$

Donde:

X_M = Reactancia medida en ohms

S = La potencia base en kVA, obtenida de los datos de placa

V = La tensión de línea –tierra base en kV, del devanado donde la medición es realizada, obtenido de los datos de placa .

2.3.8 PRUEBA DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA.

2.3.8.1 TEORÍA GENERAL.

La prueba del análisis de Respuesta a la Frecuencia (FRA) se ha convertido en una herramienta poderosa para verificar la integridad geométrica de los equipos eléctricos, especialmente en transformadores.

Los transformadores de potencia no se especifican para soportar las fuerzas mecánicas que se presentan durante el transporte y las fallas a que se ven sometidos subsecuentemente cuando están en servicio. Los daños debidos al transporte pueden ocurrir si las condiciones del mismo son inadecuadas; estos daños pueden conducir al movimiento de la base y de las bobinas. Los esfuerzos en servicio más severos se presentan de fallas del sistema, y son axiales y radiales en naturaleza. Si las fuerzas son excesivas, la parte radial que abrocha o deformación axial puede ocurrir. Con un diseño de forma de la base las fuerzas principales se dirigen radialmente, mientras que en una unidad de la forma de la carcasa se dirigen axialmente, y esta diferencia es probable influenciar los tipos de daño encontrados.

La técnica del análisis de Respuesta a la Frecuencia FRA proporciona información interna de diagnóstico y es una medición que ofrece exactitud y repetibilidad.

Existe una relación directa entre la configuración geométrica y la distribución de los elementos eléctricos, conocida como red RLC, del ensamble de los devanados y el núcleo.

La red RLC puede ser identificada mediante su función de transferencia dependiente de la frecuencia.

El análisis de Respuesta a la Frecuencia puede realizarse con la prueba. Se detectan cambios en la configuración geométrica altera la red RLC, y en consecuencia altera la función de transferencia, y estos cambios en la función de transferencia pueden revelar un amplio rango de tipo de falla.

El objetivo principal del análisis de Respuesta a la Frecuencia FRA es determinar como se comporta la impedancia de un equipo bajo prueba bajo un rango específico de frecuencias.

El cambio de la impedancia versus frecuencia en muchos de los casos puede ser dramático.

El objetivo principal del "método de la frecuencia de barrido (SFRA)" es determinar la impedancia de prueba de un equipo, de cómo se comporta al excedente de una gama especificada de frecuencias. La impedancia es una red de distribución de componentes eléctricos reales y reactivos. Los componentes son pasivos en naturaleza, y se pueden modelar por los resistores, los inductores, y los capacitores. Las características reactivas de un equipo dado de la prueba son dependientes sobre los sensibles cambios en la frecuencia. El cambio en impedancia contra frecuencia puede ser dramático en muchos casos. Este comportamiento llega a ser evidente cuando modelamos la impedancia en función de frecuencia. El resultado es una representación de la función de la transferencia de la red de RLC en el dominio de la frecuencia.

2.3.8.2 METODOS DE MEDICIÓN.

Hay una relación directa entre la configuración geométrica y los elementos eléctricos distribuidos, conocida como redes de RLC, de una bobina y de una asamblea de la base. Esta red de RLC se puede identificar por su función dependiente de la frecuencia de la transferencia. La prueba del análisis de la respuesta de frecuencia se puede lograr por el "método de la frecuencia de barrido (SFRA)". Los cambios en la configuración geométrica alteran la red de la impedancia, y alternadamente alteran la función de la transferencia. Los cambios en la función de la transferencia revelarán una amplia gama de los tipos de falla.

Cuando un transformador se somete al "método de la frecuencia de barrido (SFRA)" en esta prueba, se configuran los plomos de manera que se utilicen cuatro



terminales. Estos cuatro terminales se pueden dividir en dos pares únicos, un par por cada uno para la entrada y la salida. Estos terminales se pueden modelar en un par del dos - terminal o una configuración de red dos puertos. La figura 2.26 ilustra una red dos puertos.

81 06 26	Revisiones:	85 01 12	91 09 20	93 12 24	03 04 30	07 01 30
----------	-------------	----------	----------	----------	----------	----------

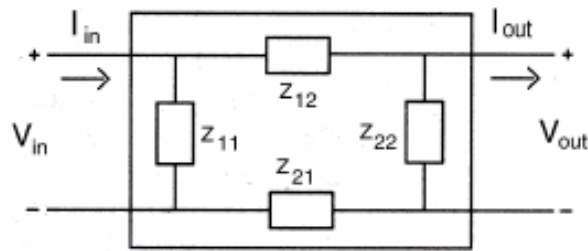


FIG. 2.26 RED DE DOS PUERTOS

Las impedancias, Z_{11} , Z_{22} , Z_{12} , y Z_{21} , son formadas solucionando la impedancia del circuito abierto para cada uno lumped del elemento. Debe ser observado que las terminales negativas se cortocircuitan cuando el transformador es probado.

La función de transferencia de una red de RLC es el cociente de las respuestas de frecuencia de la salida y de la entrada cuando las condiciones iniciales de la red son cero. La magnitud y las relaciones de la fase se pueden extraer de la función de transferencia. La función de transferencia nos ayuda mejor a entender la relación de la entrada - salida de una red lineal. La función de transferencia también representa las características fundamentales de una red, y es una herramienta útil en modelar tal sistema. La función de transferencia se representa en el dominio de la frecuencia y es denotada por la variable de Fourier $H(j\omega)$, donde (j.) denota la presencia de una función dependiente de la frecuencia, y $\omega = 2\pi f$. La relación de Fourier para la función de la transferencia de la entrada - salida se obtiene:

$$H(j\omega) = \frac{V_{output}(j\omega)}{V_{input}(j\omega)}$$

El objetivo principal del “método de la frecuencia de barrido (SFRA)” es medir el modelo de la impedancia del equipo sujeto a la prueba. Cuando medimos la función de transferencia $H(j\omega)$, no aísla la verdadera impedancia $Z(j\omega)$. La impedancia del equipo verdadera $Z(j\omega)$ es la red de RLC, que se coloca entre los conectores del instrumento, y no incluye ninguna impedancia provista por el instrumento de la prueba. Debe ser observado que cuando usa la relación de tensión, $H(j\omega)$ siempre no se relaciona directamente con $Z(j\omega)$. Para $Z(j\omega)$ sea relacionado directamente con $H(j\omega)$, una corriente se debe substituir por la tensión de la salida y entonces la ley de los ohmios puede ser observada. Sin embargo, el “método de la frecuencia de barrido (SFRA)” utiliza la relación del cociente de la tensión para $H(j\omega)$. Puesto que la prueba

del “método de la frecuencia de barrido (SFRA)” utiliza un sistema que mide la impedancia de 50 ohmios, la impedancia de 50 ohmios se debe incorporar en $H(j\omega)$. La ecuación siguiente demuestra la relación de $Z(j\omega)$ y $H(j\omega)$:

$$H(j\omega) = \frac{V_{output}}{V_{input}} = \frac{50}{Z(j\omega) + 50}$$

CONSIDERACIONES DE LA PRUEBA:

El tanque del transformador es común para las terminales negativas o de baja tensión. El tanque del transformador y el cable de guarda se deben conectar juntos para alcanzar una medida común. Esto asegura que no se mide ninguna impedancia externa. La aplicación de la conexión de este modo ayuda a reducir los efectos del ruido. Es muy importante obtener una impedancia cero entre los terminales de baja o negativas para asegurar una medida repetible.

De la interpretación de los datos, el circuito equivalente del transformador de energía es una red muy complicada de elementos resistivos, capacitivos e inductivos distribuidos (ver figura 2.27).

Éstos incluyen:

Capacitancia entre las vueltas vecinas de la misma bobina.

Capacitancia entre las vueltas de diversas bobinas.

Capacitancia entre las vueltas y la tierra.

Da vuelta a autoinductancia.

Da vuelta a inductancia mutua.

Resistencia de C.C. del conductor.

Resistencia que considera pérdidas dieléctricas en aislamiento.

Resistencia que considera en pérdidas de Eddy del conductor y los componentes magnéticos.

Dependiendo de la conexión de los bornes de prueba, el circuito equivalente



implicado en la medida representa una fase individual de la bobina, del espacio entre las fases en una bobina dada o del espacio entre las bobinas. El tamaño de los conductores, de los diámetros de las bobinas, de la distancia entre las bobinas, del número de vueltas, del tipo de la base, de la configuración que enrolla, del tipo y del grosor del aislamiento, de la geometría y del tamaño del material de soporte está entre los factores que definen los elementos del circuito equivalente. Además, cada elemento es específico al diseño del transformador e incluso influenciado por la capacidad de la tienda de la fabricación de replegar las unidades igual diseño. Por lo tanto, hay una relación directa entre la geometría de la configuración de núcleo - bobina y de la red de elementos resistentes, capacitivos e inductivos distribuidos.

Puesto que la Reactancia de elementos capacitivos e inductivos es dependiente de la frecuencia, la contribución de cada elemento a la impedancia total de la red varía con la frecuencia que hace el circuito equivalente único en cada frecuencia. Por lo tanto, la firma que representa la serie continua que cambia de la impedancia de la red con frecuencia describe únicamente la geometría de la configuración del núcleo - bobina para una unidad dada y lleva una abundancia de la información de diagnóstico. La impedancia de la red, que es el cociente de las señales de la salida y de entrada, se refiere a menudo como la función de la transferencia. El análisis de la respuesta de frecuencia (SFRA) utiliza el excedente del comportamiento de la función de la transferencia la gama especificada de frecuencias como la firma del diagnóstico del transformador. Siendo una variable compleja por la función de la transferencia es descrita la magnitud y el ángulo de la fase.

RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de respuesta de la frecuencia en todas las posiciones del TAP, para contar con la "Huella Digital" del equipo.
- Iniciar un programa de seguimiento para contar con el historial de pruebas y verificar el comportamiento de los resultados.

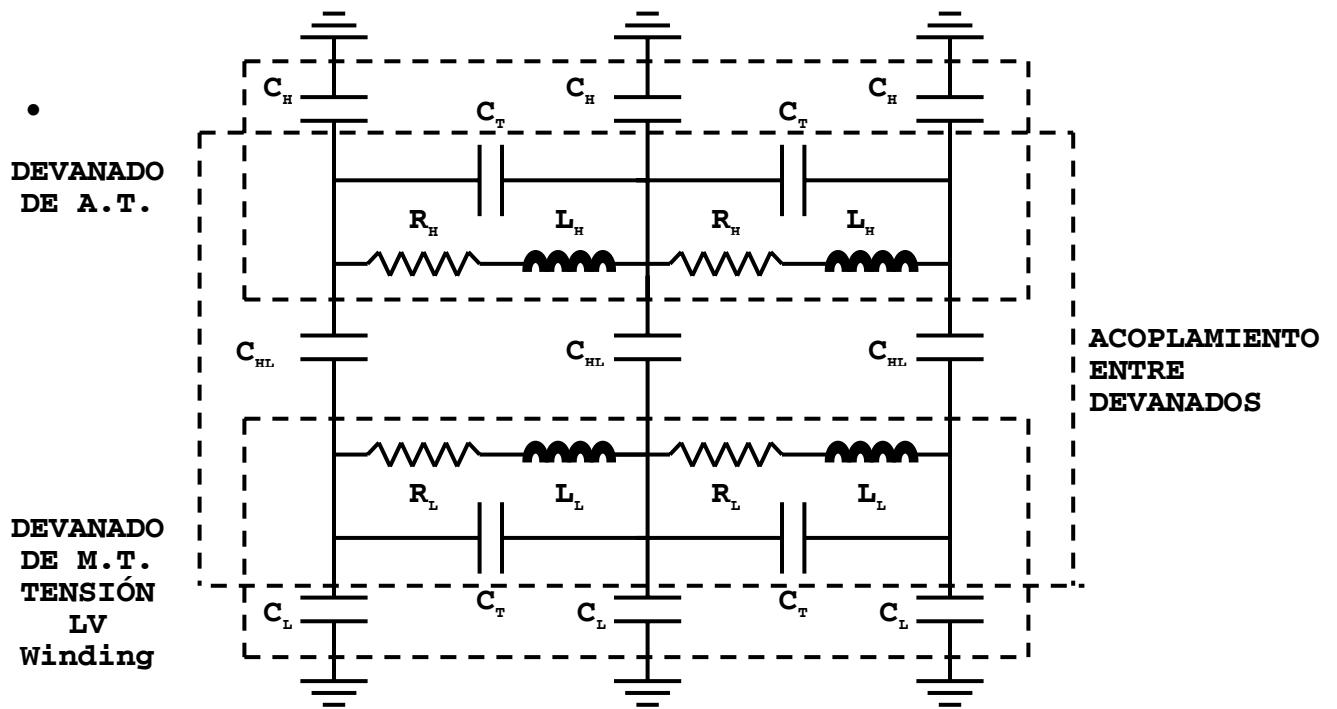


FIG. 2.27 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS RED DE DOS PUERTOS

Finalmente en las figuras 2.28, 2.29 y 2.30 se ilustran los diagramas de conexiones para las diferentes pruebas de respuesta a la frecuencia en un transformador trifásico conexión delta-estrella.

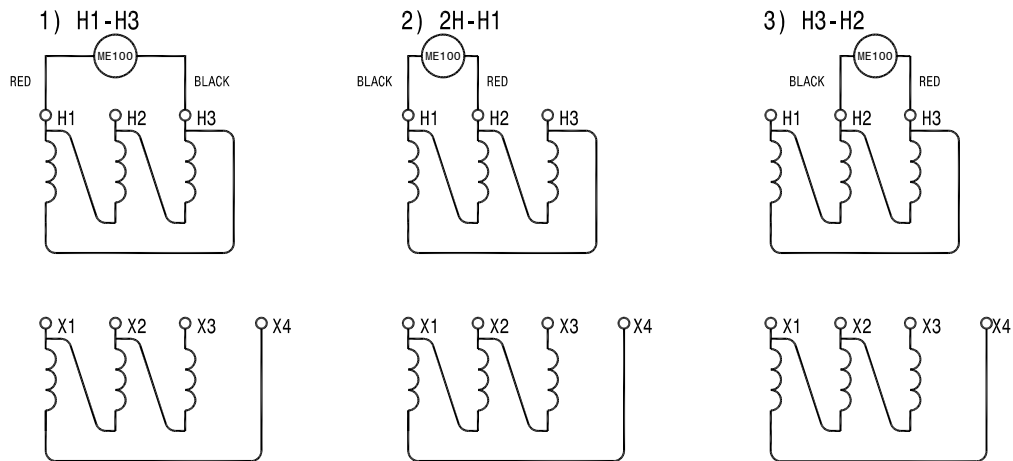


FIG. 2.28 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA POR FASE EN DEVANADO DE ALTA TENSIÓN DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

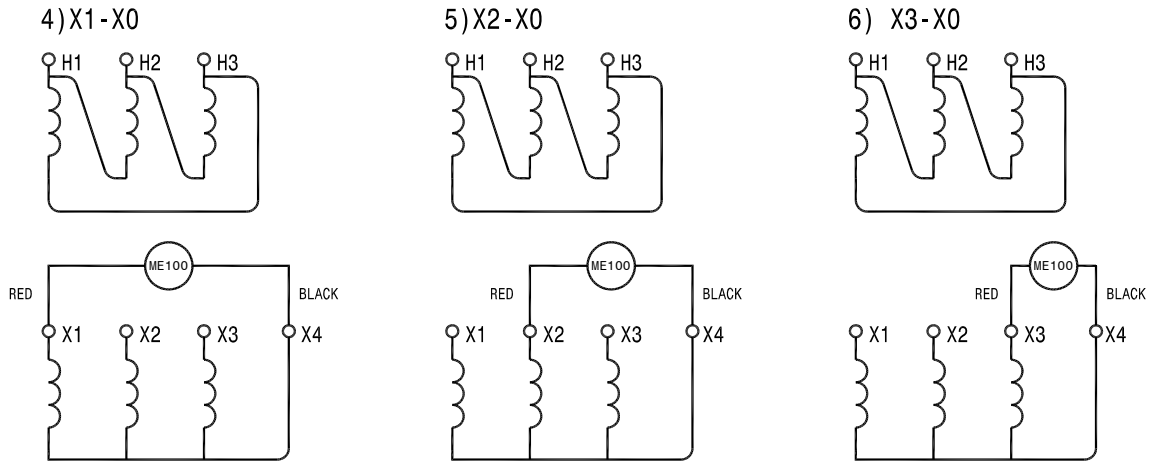


FIG. 2.29 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA POR FASE EN DEVANADO DE MEDIA TENSIÓN DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

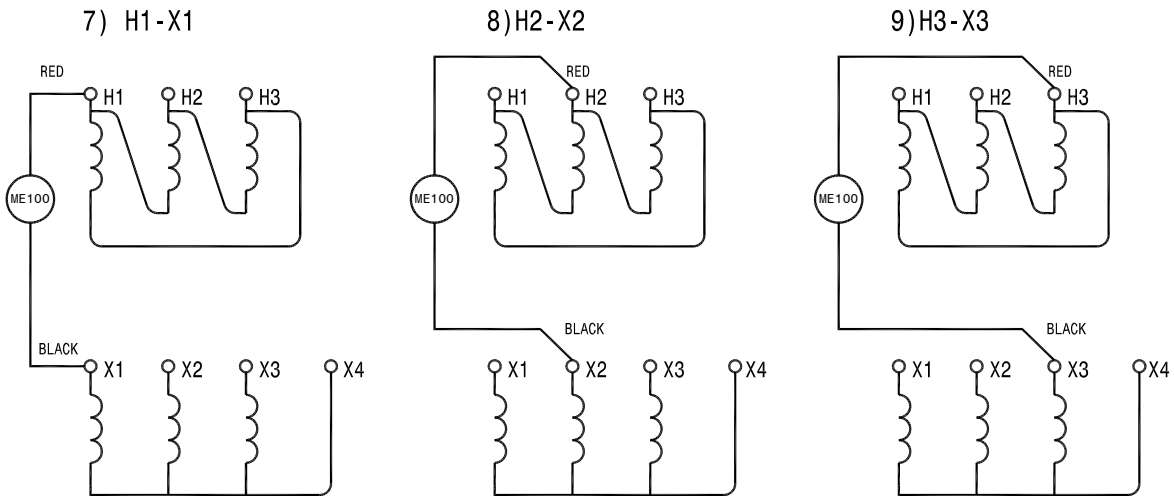


FIG. 2.30 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA ENTRE DEVANADOS DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA



2.3.9 PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS.

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, son fuente de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de tensión, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc.; ésta prueba nos detecta esos puntos de alta resistencia que pueden dar origen a un punto caliente que pudiera ocasionar daños al equipo.

En general, ésta se utiliza en todo circuito eléctrico en el que existen puntos de contacto a presión deslizables, tales circuitos se encuentran en interruptores, restauradores, dedos de contacto de reguladores, o de cambiadores de derivaciones y cuchillas seccionadoras.

2.3.10 PRUEBAS DE TIEMPO DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD DE CIERRE Y APERTURA EN INTERRUPTORES.

El objetivo de esta prueba es la determinación de los tiempos de operación de interruptores de potencia, es sus diferentes formas de maniobra, así como la verificación del sincronismo de sus polos o fases.

Lo anterior permite comprobar si estas características se mantienen durante su operación dentro de los límites permitidos o garantizados por el fabricante o bien lo establecido por las normas correspondientes, de no ser así, será posible entonces programar para efectuar ajustes al interruptor para recuperar sus valores o límites originales.

Estas comprobaciones deberán efectuarse en forma periódica a todos los interruptores de potencia, de acuerdo a lo establecido por manuales y guías de mantenimiento.

El principio de esta prueba es en base a una referencia trazada sobre el papel de equipo de prueba, se obtienen los trazos de los instantes en que los diferentes contactos de un interruptor se tocan o separan, a partir de las señales de apertura y cierre de los dispositivos de mando del interruptor, estas señales de mando también son registradas sobre la gráfica, la señal de referencia permite entonces medir en tiempo y secuencia los eventos anteriores.

Para tener una referencia sobre las diferentes velocidades de graficado disponibles en los equipos de prueba comúnmente empleados para esta verificación, en la siguiente página se incluye la Tabla 2.1 donde se muestran las principales características para dichos equipos.



PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS COMUNMENTE EMPLEADOS PARA LA PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD EN INTERRUPTORES DE POTENCIA

TABLA 2.1

EQUIPO	VELOCIDAD DE GRAFICADO	No. DE CANALES DE REGISTRO	CONTROL DE OPERACIONES CIERRE Y APERTURA	ESCALA DE TIEMPO	CALIDAD DE GRAFICADO	OBSERVACIONES
FAVAG MODELO 17.5120 009	300 mm/Seg	4	NO	ms (1ms = 0.3 mm)	BUENA	USO LIMITADO POR SU BAJA VELOCIDAD Y REDUCIDO NUMERO DE CANALES. NO TIENE CONTROL PARA LAS OPERACIONES DEL INTERRUPTOR.
FAVAG MODELO 17.5120 001	1000 mm/Seg	4	NO	ms (1ms = 1 mm)	BUENA	REDUCIDO NUMERO DE CANALES. NO TIENE CONTROL PARA LAS OPERACIONES DEL INTERRUPTOR.
AEG	1000 mm/Seg	5	SI	ms (1ms = 1 mm)	BUENA	REDUCIDO NUMERO DE CANALES DE REGISTRO.
MILLIGRAPH 4V 6C	VARIABLE	10 (4 BOBINAS) (6 CONTACTOS)	SI	ms (VARIABLE)	BUENA	VELOCIDAD VARIABLE DEBIDO A QUE EL MOVIMIENTO DEL PAPEL ES MANUAL, POR LO TANTO, LO ES TAMBIEN LA ESCALA DE TIEMPO.
MILLIGRAPH 2V 12C	VARIABLE	14 (2 BOBINAS) (12 CONTACTOS)	SI	ms (VARIABLE)	BUENA	MAYOR NUMERO DE CANALES. VELOCIDAD VARIABLE DEBIDO A QUE EL MOVIMIENTO DEL PAPEL ES MANUAL.
DOBLE TR 2 PR-2	25.4 mm/Seg HASTA 3225.6 mm/Seg.	21 (18 CONTACTOS) (3 EVENTOS)	SI	ms (1 ms = 3.22 mm) VARIABLE	BUENA (SENSIBLE A LA LUZ)	ALTA VELOCIDAD Y EXCELENTE PRECISION. NUMERO SUFICIENTE DE CANALES PARA INTERRUPTORES MULTICAMARA EN TENSIONES ALTAS. CUENTA CON ADITAMENTO Y ACCESORIOS PARA FUNCIONES ADICIONALES COMO EL ANALISIS DE CARRERA. COSTO ELEVADO CON RELACION A OTROS EQUIPOS.
TR-3000	8 a 16000 ms	7 (3 CONTACTOS) (4 EVENTOS) EXPANDIBLES	SI	VARIABLE	BUENA	ALTA VELOCIDAD Y EXCELENTE PRECISION. NUMERO SUFICIENTE DE CANALES PARA INTERRUPTORES MULTICAMARA EN TENSIONES ALTAS. CUENTA CON ADITAMENTOS Y ACCESORIOS PARA FUNCIONES ADICIONALES COMO ES EL ANALISIS DE CARRERA.
HONEYWELL ACB-1-828	25.4 mm/Seg. HASTA 3048 mm/Seg	28 (24 CONTACTOS) (4 EVENTOS)	SI	ms (1 ms = 3.05 mm) AJUSTABLE	BUENA (SENSIBLE A LA LUZ)	ALTA VELOCIDAD Y EXCELENTE PRECISION. NUMERO SUFICIENTE DE CANALES PARA INTERRUPTORES MULTICAMARA EN TENSIONES ALTAS. COSTO ELEVADO CON RELACION A OTROS EQUIPOS. EQUIPO DELICADO, NO ADECUADO PARA USO EN CAMPO.

TABLA 2.2 PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO

PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO ELECTRICO					
EQUIPO PRIMARIO	NOMBRE DE LA PRUEBA	PRUEBAS DE PROTOTIPO	PRUEBAS DE RUTINA	PRUEBAS OPCIONALES	PRUEBAS DE CAMPO
TRANSFORMADORES DE POTENCIA	CARACTERISTICAS FISICAS	X	X		
	IMPULSO	X			
	POTENCIAL APLICADO	X	X		
	POTENCIAL INDUCIDO	X	X		
	RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS	X	X		X
	PERDIDAS EN EL COBRE	X	X		
	PERDIDAS EN EL NUCLEO	X	X		
	IMPEDANCIA	X	X		
	CORRIENTE DE EXCITACION	X	X		
	CORTO CIRCUITO	X			
	DESPLAZAMIENTO ANGULAR	X	X		
	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE DEVANADOS	X	X		X
	FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD	X	X		X
	DESCARGAS PARCIALES	X	X		
	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NUCLEO	X	X		X
	HUMEDAD RESIDUAL		X		
	PRUEBAS AL ACEITE AISLANTE	X	X		X
	PRUEBAS A BOQUILLAS	X	X		
	ALAMBRADO DE CONTROL Y PROTECCION	X	X		X
HERMETICIDAD	X	X		X	
REACTANCIA DE DISPERSION	X	X		X	
RESPUESTA A LA FRECUENCIA				X	
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	CARACTERISTICAS FISICAS	X	X		
	IMPULSO	X			
	POTENCIAL APLICADO A DEVANADO PRIMARIO	X	X		
	POTENCIAL APLICADO A DEVANADO SECUNDARIO	X	X		
	PRUEBAS DE RELACION	X	X		X
	PRUEBAS DE SATURACION	X	X		
	VERIFICACION DE LAS MARCAS DE POLARIDAD	X	X		X
	BURDEN	X	X		X
	DESCARGAS PARCIALES	X	X		
	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X



TABLA 2.2 PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO (CONTINUACIÓN)

PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO ELECTRICO					
EQUIPO PRIMARIO	NOMBRE DE LA PRUEBA	PRUEBAS DE PROTOTIPO	PRUEBAS DE RUTINA	PRUEBAS OPCIONALES	PRUEBAS DE CAMPO
INTERRUPTORES DE POTENCIA	IMPULSO	X			
	POTENCIAL APLICADO A 60 Hz EN SECO Y HUMEDO	X	X		
	VERIFICACION DE LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA DE CORTO CIRCUITO	X			
	FALLA EN LINEA CORTA Y CIERRE EN CONDICIONES DE FALLA	X	X		
	VERIFICACION DE LA CORRIENTE SOSTENIDA DE CORTA DURACION	X	X		
	VERIFICACION DE CORRIENTE DE INTERRUPCION DE LINEA EN VACIO	X	X		
	VERIFICACION DE CORRIENTE DE INTERRUPCION DE CABLE EN VACIO	X	X		
	VERIF. DE LA CORRIENTE DE SWITCHEO DE BANCO DE CAPACITORES	X	X		
	VERIF. DE LA "I" DE INTERRUPCION DE PEQUEÑAS CORR. INDUCTIVAS	X	X		
	VERIFICACION DE LAS CORRIENTES INTERRUPTIVAS DE DEFASAMIENTO	X	X		
	POTENCIAL APLICADO A CIRCUITOS AUXILIARES	X	X		
	MEDICION DE RESISTENCIA DE CONTACTOS	X	X		X
	DIELECTRICAS (FACTOR DE POTENCIA Y RESISTENCIA DE AISLAMIENTO)	X	X		X
	VERIFICACION DE TIEMPOS DE APERTURA Y CIERRE	X	X		X
	ELEVACION DE TEMPERATURA	X	X		
	DESCARGAS PARCIALES		X		
PRUEBAS A BOQUILLAS	X	X		X	
OPERACION MECANICA	X	X		X	
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL	IMPULSO	X			
	POTENCIAL INDUCIDO	X	X		
	POTENCIAL APLICADO A 60 Hz A DEVANADO PRIMARIO	X	X		
	POTENCIAL APLICADO A 60 Hz A DEVANADO SECUNDARIO	X	X		
	PRUEBA DE RELACION	X	X		X
	PRUEBA DE SATURACION	X	X		X
	VERIFICACION DE LAS MARCAS DE POLARIDAD	X	X		X
	BURDEN	X	X		X
	DESCARGAS PARCIALES	X	X		
	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X

TABLA 2.2 PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO (CONTINUACIÓN)

PRUEBAS APLICABLES AL EQUIPO ELECTRICO					
EQUIPO PRIMARIO	NOMBRE DE LA PRUEBA	PRUEBAS DE PROTOTIPO	PRUEBAS DE RUTINA	PRUEBAS OPCIONALES	PRUEBAS DE CAMPO
APARTA RAYOS	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	PERDIDAS DIELECTRICAS	X	X		X
	CORRIENTE DE DESCARGA	X	X		
	TIEMPO DE RECUPERACION	X	X		
REGULADORES DE VOLTAJE	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	RELACION DE TRANSFORMACION	X	X		X
	PRUEBAS AL ACEITE	X	X		X
	RESISTENCIA DE CONTACTOS	X	X		X
	RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS	X	X		X
	IMPULSO	X			
	POTENCIAL APLICADO	X	X		
	VERIFICACION DE OPERACION	X	X		X
	ELEVACION DE TEMPERATURA	X	X		
RESTAURADORES	IMPULSO	X			
	POTENCIAL APLICADO	X	X		
	ELEVACION DE TEMPERATURA	X			
	VERIFICACION DE OPERACION	X	X		X
	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO	X	X		X
	PRUEBAS AL ACEITE	X	X		X
	VERIFICACION DE CAPACIDAD INTERRUPTIVA	X			
	PRUEBAS A BOQUILLAS	X	X		X