



COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE CAMPO PARA EQUIPO PRIMARIO DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

CLAVE : SOM - 3531

DÍA	MES	AÑO
30	IV	2003

SUBDIRECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

SUBGERENCIA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

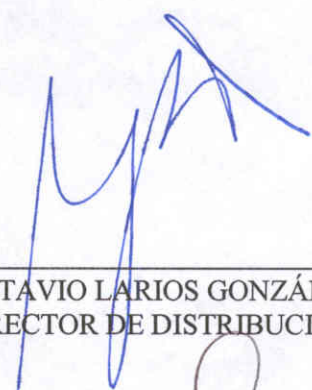
REVISADO, MODIFICADO Y
ACTUALIZADO POR PERSONAL
DE:

GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN
DIVISIÓN BAJA CALIFORNIA
DIVISIÓN NOROESTE
DIVISIÓN NORTE
DIVISIÓN GOLFO NORTE
DIVISIÓN GOLFO CENTRO
DIVISIÓN BAJIO
DIVISIÓN JALISCO
DIVISIÓN CENTRO OCCIDENTE
DIVISIÓN CENTRO SUR
DIVISIÓN CENTRO ORIENTE
DIVISIÓN ORIENTE
DIVISIÓN SURESTE
DIVISIÓN PENINSULAR
GERENCIA DE LAPEM

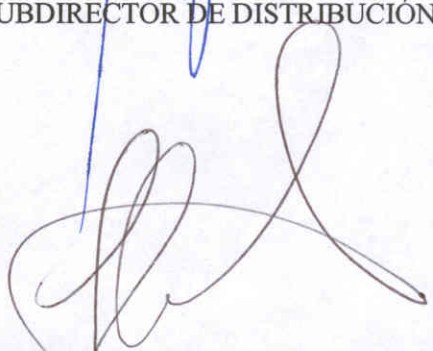
INTEGRANTES DEL GRUPO REVISOR
EN HOJA SIGUIENTE.

PRESENTACIÓN: 1 C.D.

FORMALIZACIÓN:



ING. OCTAVIO LARIOS GONZÁLEZ
SUBDIRECTOR DE DISTRIBUCIÓN



ING. EGON SHTULMANN HAUSHALTER
SUBGERENTE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

OBSERVACIONES:

REVISIÓN, MODIFICACIÓN Y NUEVA CONFORMACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE CAMPO PARA EQUIPO PRIMARIO DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN.



COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE CAMPO

PARA EQUIPO PRIMARIO

DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

CLAVE : SOM - 3531

SUBDIRECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

SUBGERENCIA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

DIA

MES

AÑO

30

IV

2003

Ing. Jorge M. Robles G.	Gcia. Distribución	Ing. Agustín Gómez de la T.	División Jalisco
Ing. José G. Ocampo L.	Gcia. Distribución	Ing. Jesús Madera P.	División Jalisco
Ing. Heriberto Flores R.	Gcia. Distribución	Sr. Manuel Tejada S.	División Jalisco
Ing. José A. Bautista V.	Gcia. Distribución	Ing. Marco A. Garduño P.	División Bajío
Ing. Rafael Pérez L.	Gcia. Distribución	Ing. José R. Gutiérrez M.	División Bajío
Ing. David Castañeda S.	División Baja California	Ing. Armando Guzmán C.	División Centro Occ.
Ing. J. Clemente Barraza A.	División Noroeste	Ing. Cesar C. Beristain M.	División Centro Oriente
Ing. Rafael López T.	División Noroeste	Ing. Rafael Carrion M.	División Oriente
Ing. Hugo Rojas V.	División Noroeste	Ing. Miguel A. Camargo Z.	División Oriente
Ing. Benito Aguilera A.	División Norte	Ing. Fernando Mendoza C.	División Centro Sur
Ing. Alejandro Vidal R.	División Golfo Norte	Ing. Javier Jimenez V.	División Sureste
Ing. Javier S. Eguía C.	División Golfo Norte	Ing. Edgardo Roman O.	División Sureste
Ing. Moisés Reyes A.	División Golfo Norte	Ing. Mario Vazquez P.	División Sureste
Ing. Daniel D. Pérez C.	División Golfo Centro	Ing. Rangel Santos L.	División Peninsular
		Ing. Jorge Ramirez P.	LAPEM
		Ing. José Ernesto López A.	LAPEM



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE CAMPO
PARA EQUIPO PRIMARIO
DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION.

CLAVE : SOM - 3531

DIA

MES

AÑO

26

IV

94

SUBDIRECCION DE DISTRIBUCION

GERENCIA DE DISTRIBUCION

SUBGERENCIA DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

REVIZADO, MODIFICADO
Y ACTUALIZADO POR:

ING. JOSE G. OCAMPO LOPEZ
GERENCIA DE DISTRIBUCION

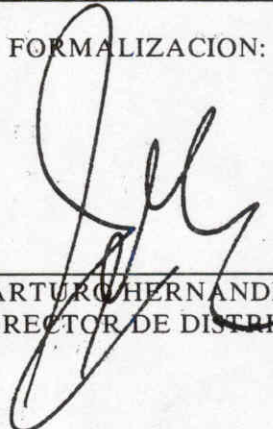
ING. JORGE M. ROBLES GAYTAN
GERENCIA DE DISTRIBUCION

ING. IGNACIO LOPEZ LOERA
DIVISION SURESTE

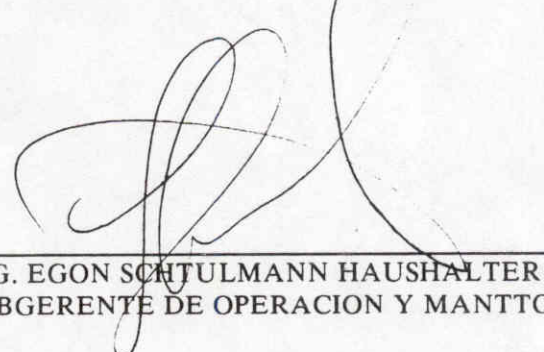
ING. HARRY SHTULMANN BENJAMIN
DIVISION JALISCO

ING. FRANCISCO LORENZO TAPIA
DIVISION CENTRO SUR

FORMALIZACION:


ING. ARTURO HERNANDEZ ALVAREZ
SUBDIRECTOR DE DISTRIBUCION


ING. JAIME PALOMARES TORRES
GERENTE DE DISTRIBUCION


ING. EGON SHTULMANN HAUSHALTER
SUBGERENTE DE OPERACION Y MANTTO.

PRESENTACION:

1 TOMO

OBSERVACIONES:

REVISION, MODIFICACION, ACTUALIZACION Y NUEVA CONFORMACION DEL PROCEDIMIENTO
DE PRUEBAS DE CAMPO PARA EQUIPO PRIMARIO DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION.



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN.

En los sistemas eléctricos de potencia, las subestaciones de distribución son las que distribuyen a través de sus circuitos la energía eléctrica a los centros de consumo.

El equipo primario de las Subestaciones debe mantenerse en las mejores condiciones operativas, para reducir las probabilidades de falla; mejorando así, la continuidad del servicio.

Analizando lo anterior, es necesario que los trabajos de preparación del equipo primario para su puesta en servicio y las actividades de mantenimiento sean de calidad, para evitar la salida prematura del equipo en operación.

El presente trabajo es de utilidad para el Ingeniero de campo, en especial para el Ingeniero de subestaciones y su personal técnico; tiene la finalidad de proporcionar los elementos fundamentales de información, como apoyo en la manera de efectuar pruebas al equipo eléctrico primario.

Los resultados obtenidos en las pruebas, deben cumplir con valores aceptables y que se mencionan en este procedimiento, siendo la base para decidir la puesta en servicio de un equipo o si este, se encuentra en operación y requiere de mantenimiento.

El procedimiento se ha elaborado aprovechando la experiencia del personal técnico, e información que posee la Comisión Federal de Electricidad en sus Divisiones de Distribución.

1.2 OBJETIVO.

Unificar criterios en la forma de realizar pruebas de campo al equipo primario de las subestaciones de distribución y con la información que se proporciona, interpretar y evaluar resultados de las mismas.

1.3 ANTECEDENTES.

El comité de distribución Sur-Sureste, en el año de 1981 formuló el "Procedimiento de Pruebas de campo para Mantenimiento Eléctrico en Subestaciones de Distribución", con la finalidad de que el personal de campo encargado del mantenimiento de subestaciones contara con un manual adecuado.



En el año de 1985 se revisó el procedimiento, agregándole más temas al capítulo de transformadores de potencia y se corrigieron algunas figuras para realizar las pruebas.

Durante 1991 se modificó la estructura del procedimiento, organizándolo en base a cada uno de los equipos primarios en lugar del anterior agrupamiento que consideraba el tipo de prueba. Al mismo tiempo se complementó y se le efectuaron diversas correcciones, limitándose además su contenido a únicamente los equipos primarios, debido a que dispositivos tales como tableros, protecciones, etc., se trataban en la anterior edición, solo de manera superficial; debiendo ser materia de otra especialidad, no obstante representar una de las partes fundamentales de una subestación eléctrica.

La revisión de 1993 se vio enriquecida con las aportaciones del comité de distribución Centro-Occidental, principalmente en aspectos teóricos y de análisis. Por otra parte se le dio una nueva conformación en base a capítulos independientes según la estructura dada en la revisión de 1991, mediante un sistema de hojas sustituibles que le dio un mayor dinamismo en los aspectos de aplicación, revisión y actualización.

Durante esa revisión, el documento fue boletinado con dicha estructura, a todas las Divisiones para comentarios finales, habiéndose recibido observaciones sobre ligeras correcciones al texto y algunas de las figuras; además de manera importante los capítulos relacionados con puntos calientes y reguladores se vieron complementados con las propuestas de las Divisiones Norte y Golfo Norte respectivamente.

La presente revisión toma en cuenta las facilidades que en la actualidad brindan las diversas herramientas informáticas disponibles, por lo que, su presentación final está en base a archivos de un procesador de texto, los cuales son considerados como “archivos maestros”, quedando a cargo de ellos, la Gerencia de Distribución para su resguardo y control. En lo que se refiere a la distribución a las divisiones son archivos tipo “pdf” para su consulta y difusión.

Esta revisión incluye, además de las correcciones y modificaciones de la última edición, la inclusión de nuevos capítulos o secciones correspondientes a la necesidad de integrar tanto equipos y sistemas que no se tenían contemplados, como algunas pruebas producto del desarrollo tecnológico alcanzado durante los últimos años.

Sobre esto último, cabe destacar lo relativo a: Subestaciones encapsuladas en SF₆, Tableros blindados o metal-clad, Ensayo de reactancia de dispersión para transformadores de potencia, Medición de respuesta a la frecuencia para transformadores de potencia, Prueba de media tensión con muy baja frecuencia (VLF) para cables de potencia y Medición de Impedancia, Conductancia o Resistencia interna de Bancos de Baterías (cuyo respectivo capítulo, fue completamente renovado).



A diferencia de las anteriores revisiones, en esta se tuvo la participación directa de representantes especialistas de todas y cada una de las divisiones, además de la colaboración de personal de la Gerencia de Lapem y del área de Redes Subterráneas. Es importante también señalar la participación de un dibujante y del personal de oficina, que intervinieron en la labor de edición y conformación final del documento.

1.4 POLÍTICAS.

Contar con un documento de consulta, para realizar pruebas de campo al equipo primario de las subestaciones de distribución, así como para analizar y evaluar sus resultados; con la finalidad de normalizar su ejecución e interpretación.

El presente documento es un procedimiento técnico general y controlado de aplicación nacional y debe de servir como base para la elaboración de cualquier otro documento o instructivo de trabajo relacionado con el mantenimiento a equipo primario de subestaciones de distribución.

En función de la normatividad interna vigente, este procedimiento debe revisarse como máximo cada dos años.

1.5 MARCO LEGAL.

Ley del servicio público de energía eléctrica.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE- VIGENTE. Instalaciones Eléctricas (Utilización)

1.6 DESARROLLO.

El presente documento, describe en su primera parte las generalidades del mantenimiento y los tipos de éste que se aplican al equipo eléctrico; se describen también en forma breve, algunas de las principales pruebas de fábrica que se realizan al equipo eléctrico primario para subestaciones.

El objeto principal, es exponer las Pruebas de Campo, describiendo: su teoría, aplicación, recomendaciones para su ejecución y las figuras de conexión de las mismas. Contiene también los formatos para registrar los resultados y proporciona la información correspondiente para su evaluación.

Así mismo, se mencionan las pruebas que se realizan a Bancos de Baterías y Red de Tierras, con las mismas consideraciones que para el equipo primario.



Las pruebas de campo son actividades dentro de los trabajos de mantenimiento y puesta en servicio, que el personal de Comisión Federal de Electricidad lleva a cabo en forma periódica, con la finalidad de mantener índices de confiabilidad y continuidad aceptables.

1.7 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO.

Con base en los resultados obtenidos de pruebas realizadas al equipo eléctrico, el personal responsable del mantenimiento, tiene los argumentos suficientes para tomar la decisión de mantener energizado o retirar de servicio un equipo en operación que requiera mantenimiento.

Para el mantenimiento del equipo, es conveniente considerar los aspectos siguientes:

- a) Archivo histórico y análisis de resultados obtenidos en inspecciones y pruebas. Es necesario además considerar las condiciones operativas de los equipos, así como las recomendaciones de los fabricantes.
- b) Establecer las necesidades de mantenimiento para cada equipo.
- c) Formular las actividades de los programas de mantenimiento.
- d) Determinar actividades con prioridad de mantenimiento para cada equipo en particular.
- e) Se debe contar con personal especializado y competente para realizar las actividades de mantenimiento al equipo y establecer métodos para su control.

Mejorando las técnicas de mantenimiento, se logra una productividad mayor y se reducen los costos del mismo. Los tipos de mantenimientos que se pueden aplicar al equipo en operación, son los siguientes:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

Para cada uno de ellos, se describen a continuación sus principales características y definiciones:

1.7.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

Es el concepto de mantenimiento más antiguo, puesto que permite operar el equipo hasta que la falla ocurra antes de su reparación o sustitución. Este tipo de mantenimiento requiere poca planeación y control, pero sus desventajas lo hacen inaceptable en grandes instalaciones, ya que el trabajo es realizado sobre una base de emergencia, la cuál resulta en un ineficiente empleo de la mano de obra y ocasiona interrupciones del servicio.

1.7.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Las actividades de mantenimiento preventivo tienen la finalidad de impedir o evitar que el equipo falle durante el período de su vida útil (ver figura 1.1) y la técnica de su aplicación, se apoya en experiencias de operación que determinan que el equipo después de pasar el período de puesta en servicio reduce sus posibilidades de falla.

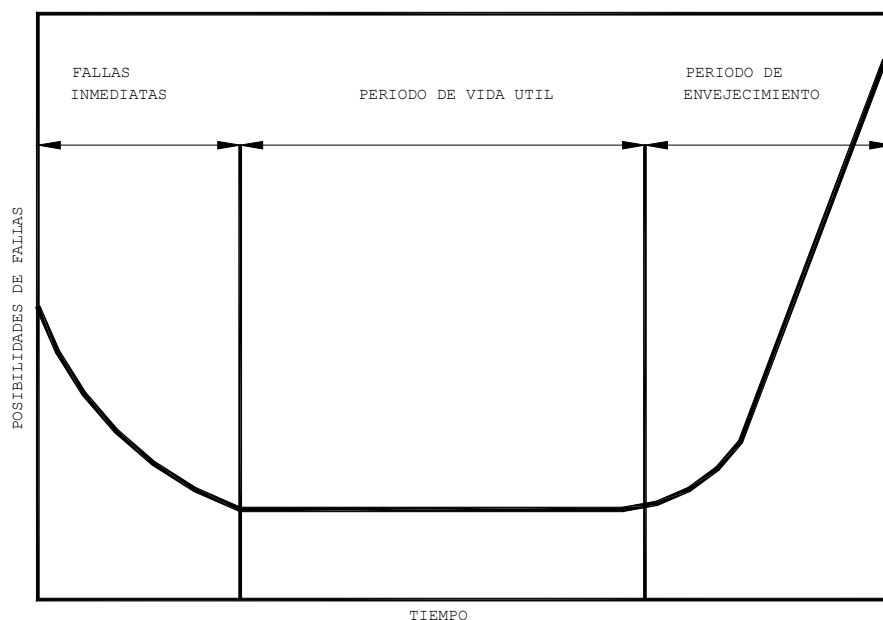


Fig. 1.1 CURVA DE VIDA ÚTIL



1.7.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

El tipo de mantenimiento predictivo tiene como finalidad combinar las ventajas de los dos tipos de mantenimiento anteriores; para lograr el máximo tiempo de operación del equipo, se aplican técnicas de revisión y pruebas más avanzadas, requiere de controles rigurosos para su planeación y ejecución. Además durante los últimos años se han venido desarrollando diversas técnicas de diagnóstico tanto en línea como por muestreo que no requiere desenergizar al equipo primario difiriendo los periodos de atención de aquellas pruebas tradicionales consideradas dentro del mantenimiento predictivo y que requieren necesariamente sacar de servicio el equipo.

El mantenimiento predictivo se basa en que el equipo, después de pasar su período de puesta en servicio, reduce sus posibilidades de falla y comienza o se encuentra dentro de su período de vida útil, posteriormente el equipo envejece y crecen sus posibilidades de falla.

El mantenimiento predictivo tiende a reducir la cantidad de trabajos a realizar durante el período de vida útil, con solamente aplicarlo cerca del final o durante ese período.

1.7.4 PERIODICIDAD EN EL MANTENIMIENTO.

El aspecto de periodicidad en la atención de los equipos y dispositivos que conforman una Subestación Eléctrica, es un concepto que ha venido variando significativamente con el tiempo; producto principalmente del continuo desarrollo tecnológico alcanzado tanto en el diseño y fabricación de tales componentes, como en la implementación de nuevas y mejores técnicas de prueba, verificación, supervisión, monitoreo y diagnóstico.

No obstante lo anterior, y con el único propósito de establecer una referencia o guía práctica, dirigida sobre a todo hacia aquel personal técnico que se inicia en esta actividad del mantenimiento a Subestaciones, se muestran en la tabla 1.1 algunas recomendaciones de periodicidades mínimas de mantenimiento a equipo primario, producto del consenso y experiencia de varios ingenieros de CFE.

TABLA 1.1 RECOMENDACIÓN DE PERIODICIDAD MÍNIMA DE MANTENIMIENTO EN EQUIPO PRIMARIO

EQUIPO	ACTIVIDAD	PERIODO	
		MESES	AÑOS
TRANSFORMADORES DE POTENCIA EN M.T y A.T.	PRUEBAS ELECTRICAS		2
	ANALISIS DE GASES	6	
	MANTENIMIENTO, SECADO Y CAMBIO DE ACEITE EN CAMBIADOR DE DERIVACIONES Y DEVANADOS		10
	REEMPLAZO DE ACEITE A CAMBIADOR DE DERIVACIONES		5
	MANTENIMIENTO A SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		1
	MANTENIMIENTO A EQUIPOS AUXILIARES		1
CUCHILLAS DESCONECTADORAS EN A.T.	LIMPIEZA, LUBRICACION Y ENGRACE DE RODAMIENTOS Y BARRAS DE ACCIONAMIENTOS		2
	PRUEBAS ELECTRICAS		3
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, POTENCIAL Y DISPOSITIVOS DE POTENCIAL EN A.T.	PRUEBAS ELECTRICAS		3
RED DE TIERRAS	PRUEBAS Y MANTENIMIENTO		3
BANCOS DE BATERIAS Y CARGADORES	MEDICION DE DENSIDADES, REPOSICION DE NIVELES Y VOLTAJES	1	
	LIMPIEZA DE CELDAS	1	
	REAPRIETE DE CONEXIONES Y LUBRICACION	1	
	REVISION Y LIMPIEZA DE CARGADORES	6	

Nota: Las tensiones para los equipos en subestaciones de distribución son en M.T. (desde 13.8 kV hasta 34.5 kV) y A.T.(desde 69 kV hasta 138 kV)

TABLA 1.1 RECOMENDACIÓN DE PERIODICIDAD MÍNIMA DE MANTENIMIENTO EN EQUIPO PRIMARIO (CONTINUACIÓN)

EQUIPO	ACTIVIDAD	PERIODO	
		MESES	AÑOS
INTERRUPTORES DE POTENCIA SF6 y PVA EN A.T.	PRUEBAS ELECTRICAS		3
	MANTENIMIENTO A CAMARAS Y MACANISMOS		4
	CAMBIO DE ACEITE A CAMARAS		2
	MEDICION DE HUMEDAD RESIDUAL SF6		3
INTERRUPTORES DE POTENCIA SF6, PVA y VACIO EN M.T.	PRUEBAS ELECTRICAS		3
	MANTENIMIENTO A CAMARAS Y MACANISMOS		4
	CAMBIO DE ACEITE A CAMARAS		1
	MEDICION DE HUMEDAD RESIDUAL SF6		3
INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE	PRUEBAS ELECTRICAS		2
	MANTENIMIENTO A CAMARAS Y MACANISMOS		4
	CAMBIO DE ACEITE		4
	MANTENIMIENTO A MOTOCOMPRESORES Y AUXILIARES	6	
	MANTENIMIENTO A MECANISMOS NEUMATICOS		2

Nota: Las tensiones para los equipos en subestaciones de distribución son en M.T. (desde 13.8 kV hasta 34.5 kV) y A.T.(desde 69 kV hasta 138 kV)



CAPITULO 2

PRUEBAS

2.1 INTRODUCCION.

Son la base 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 su operatividad.

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

2.2 PRUEBAS DE FABRICA.

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 DESCRIPCION DE ALGUNAS PRUEBAS DE FABRICA.

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.

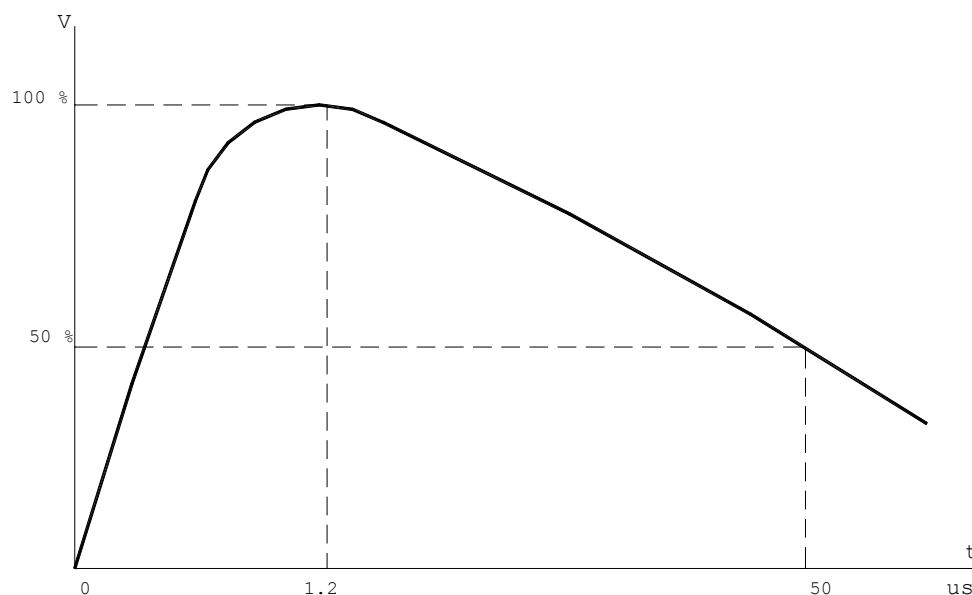


FIG. 2.1 ONDA COMPLETA, 1.2 X 50 MICROSEGUNDOS.

b) PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO. Consiste en aplicar al equipo un voltaje a la frecuencia de operación del sistema, cuyo valor varía de acuerdo a lo indicado en la norma correspondiente para cada nivel de voltaje (de 180% al 300% del voltaje 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 ELEVACION 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 el voltaje 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) RECEPCION Y/O VERIFICACION. 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.

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 ELECTRICAS AL EQUIPO PRIMARIO.

- a) Para equipos en operación, con base en los programas de mantenimiento, tramitar los registros y licencias correspondientes.
- b) Tener la seguridad de que el equipo a probar no este energizado. Verificando la apertura física de interruptores y/o cuchillas seccionadoras.
- c) El tanque o estructura del equipo a probar, debe estar aterrizado.
- d) Aterrizar el equipo a probar por 10 minutos aproximadamente para eliminar cargas capacitivas que puedan afectar a la prueba y por seguridad personal.
- e) Desconectar de la línea o barra, las terminales del equipo a probar.
- f) 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.
- g) Preparar los recursos de prueba indispensables como son: Instrumentos, Herramientas, Probetas, Mesas de prueba, etc.
- h) 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.
- i) Colocar él o los instrumentos de prueba sobre bases firmes y niveladas.
- j) Comprobar que las terminales de prueba están en buenas condiciones y que sean las apropiadas.
- k) No aplicar voltajes de prueba, superiores al voltaje nominal del equipo a probar.
- l) Durante las pruebas deben tomarse todas las medidas de seguridad personal y para el equipo.
- m) Anotar o capturar las lecturas de la prueba con todos aquellos datos que requiere el formato correspondiente (multiplicadores, condiciones climatológicas, etc.).
- n) Al terminar la prueba poner fuera de servicio el instrumento de prueba y aterrizsar nuevamente el equipo probado.

2.3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

2.3.2.1 TEORIA GENERAL

La resistencia de aislamiento se define como la oposici3n al paso de una corriente el3ctrica que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicaci3n del mismo y generalmente expresada en Megaohms, Gigaohms o Teraohms.

A la corriente resultante de la aplicaci3n de voltaje 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 Absorci3n Diel3ctrica.**
- iii) Corriente de conducci3n irreversible.**

i).- Corriente capacitiva.- Es una corriente de magnitud comparativamente alta y de corta duraci3n, que decrece r3pidamente a un valor despreciable (generalmente en un tiempo m3ximo 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, m3quinas generadoras y cables de potencia de grandes longitudes.

ii).- Corriente de absorci3n diel3ctrica.- Esta corriente decrece gradualmente con el tiempo, desde un valor relativamente alto a un valor cercano a cero, siguiendo una funci3n exponencial. Generalmente los valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos de una prueba, quedan en gran parte determinados por la Corriente de Absorci3n. 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 despu3s de 10 minutos.

iii).- Corriente de conducci3n irreversible.- Esta corriente fluye a trav3s del aislamiento y es pr3cticamente constante, predomina despu3s que la corriente de absorci3n se hace insignificante.

b) Corriente de Fuga.- Es la que fluye sobre la superficie del aislamiento. Esta corriente al igual que la Corriente de Conducci3n irreversible, permanece constante y ambas constituyen el factor primario para juzgar las condiciones del aislamiento.

2.3.2.1.1 ABSORCION DIELECTRICA

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

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 esta 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 este 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. Para otros equipos, como interruptores, apartarrayos, boquillas, pasamuros, etc., no existe temperatura base, ya que la variación de la resistencia con respecto a la temperatura 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 del voltaje 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 MEDICION.

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) METODO 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) METODO DE TIEMPO-RESISTENCIA O ABSORCION DIELECTRICA.- Consiste en aplicar el voltaje 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

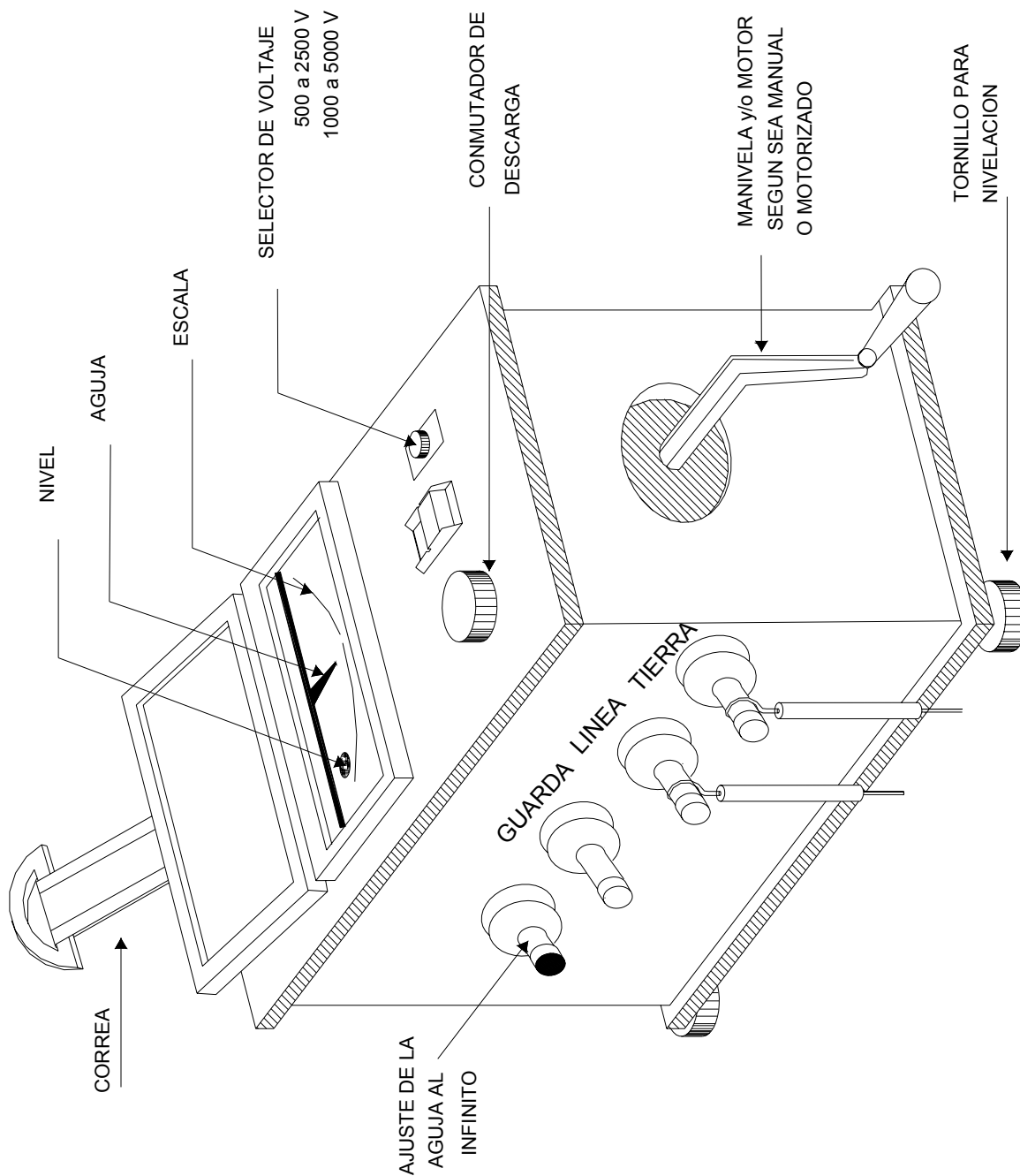


FIG. 2.2 MEGGER DE AISLAMIENTO

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.

Los voltajes 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 el voltaje 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 OPERACION 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 del voltaje aplicado 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 ampermetros 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 tiene un generador de corriente directa accionado manualmente o mediante un motor el cual proporciona el voltaje necesario 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 el voltaje afectan las dos bobinas en la misma proporción, la posición del sistema móvil es independiente del voltaje.

La función de la resistencia R' es la de limitar la corriente en la bobina A y evitar 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 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 pueda utilizarse como una fuente de voltaje 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 " R_{12} " 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).

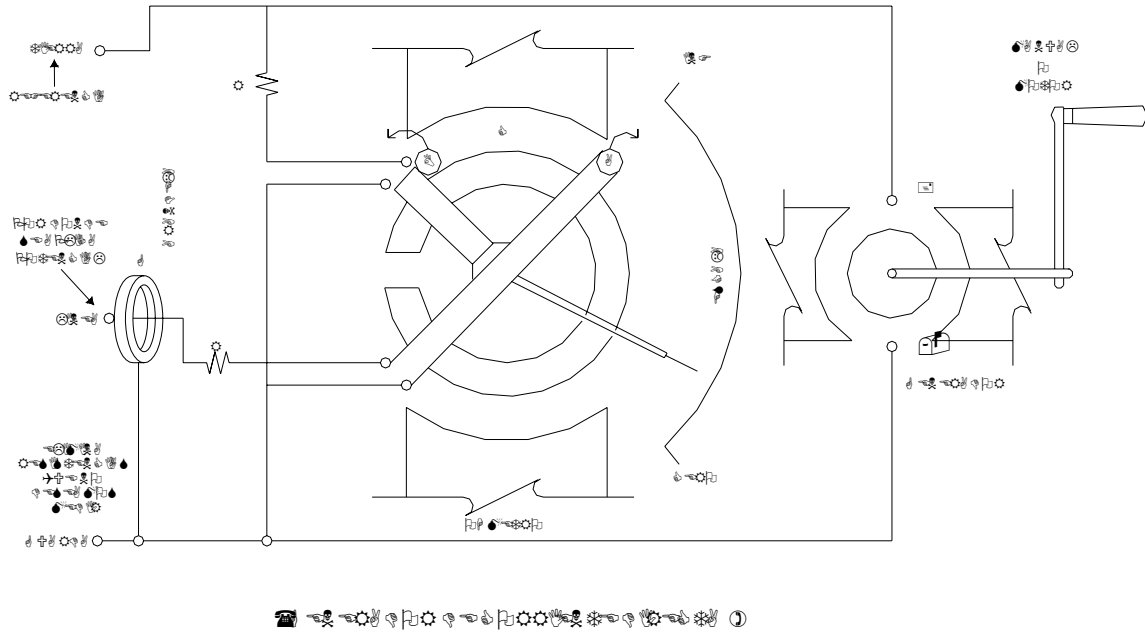


FIG. 2.3 DIAGRAMA ELEMENTAL DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO



FIG. 2.4 DIAGRAMA DE RESISTENCIAS LINEA - GUARDA -TIERRA

2.3.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS AISLAMIENTOS.

2.3.3.1 TEORIA GENERAL.

Una de las aplicaciones de esta prueba es la de conocer el estado de los aislamientos, se basa 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 un voltaje de prueba dado.

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

Debido a la situación de no ser aislantes perfectos, además de una corriente de carga puramente capacitiva, siempre los atravesara una corriente que está en fase con el voltaje aplicado (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.

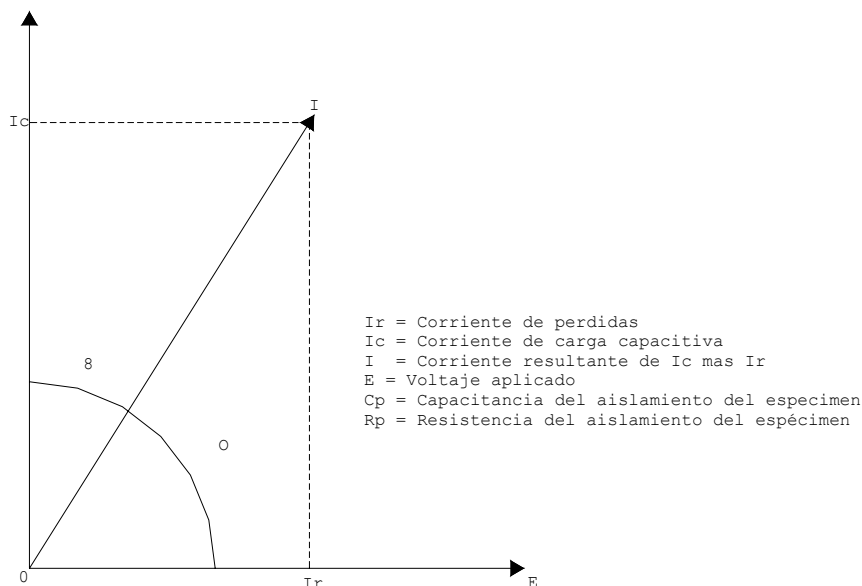
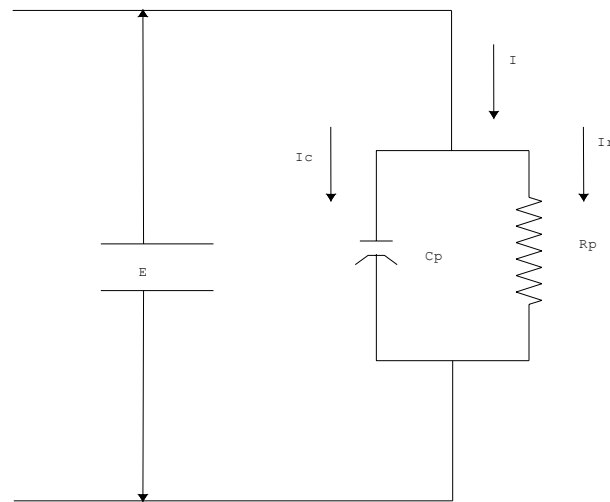


FIG. 2.5 DIAGRAMA VECTORIAL QUE MUESTRA EL COMPORTAMIENTO DE UN AISLAMIENTO AL APLICARLE UN VOLTAJE DADO



$$WATTS = E * I * \cos \theta$$

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

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:

$$FP = \cos \theta = \sin \sigma \quad \text{y prácticamente} \quad = \tan \sigma$$

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, el voltaje 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 de 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 voltajes 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 alto voltaje 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 el voltaje 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 ambos voltajes, el voltaje a través de la resistencia R_B y el voltaje V_R , ambos voltajes están en oposición y pueden ser balanceados por el ajuste de R.

No es posible un balance completo, el voltaje 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 el voltaje 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 al voltaje 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.

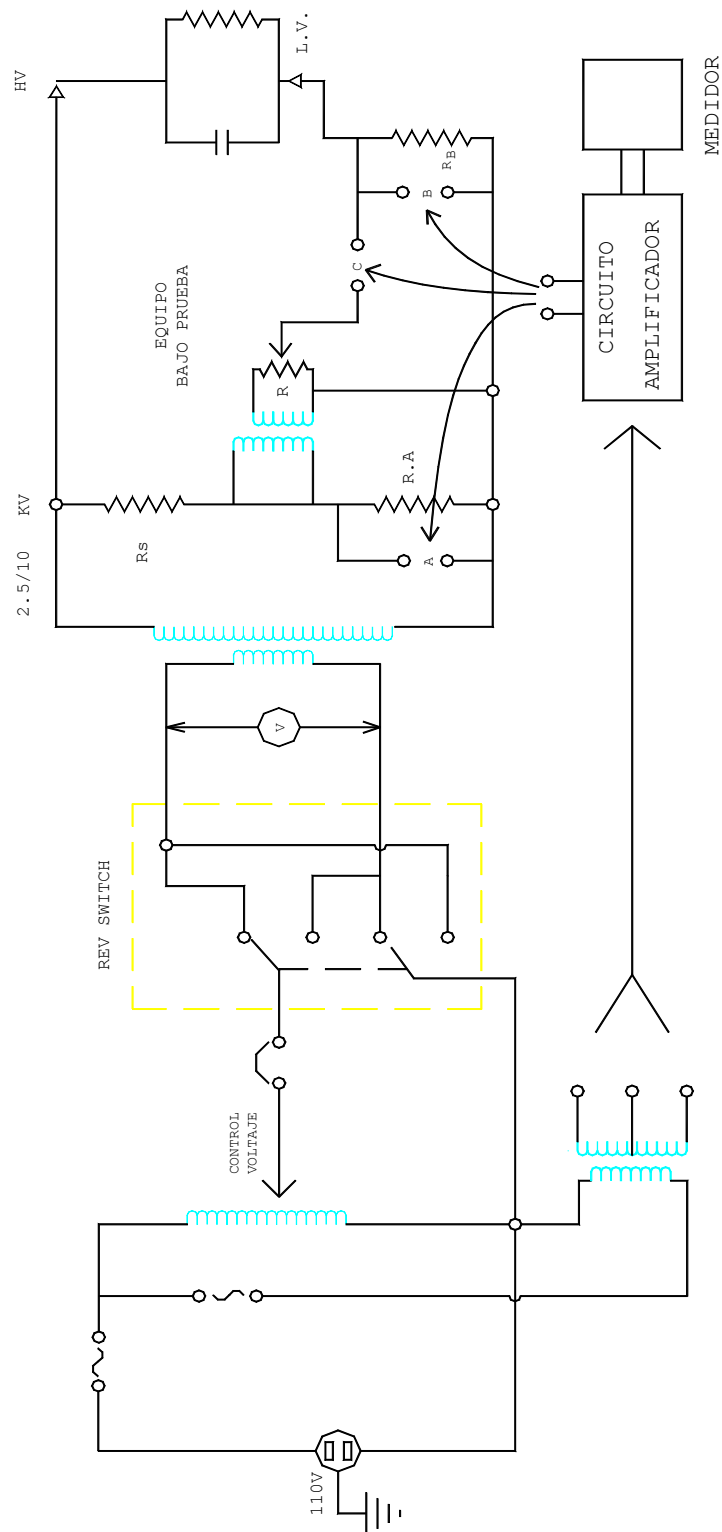


FIG. 2.7 CIRCUITO SIMPLIFICADO DE EQUIPO F.P.

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

a) ESPECIMEN ATERRIZADO.- Se prueba en GST (Ground Specimen Test- Especimen 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 bajo voltaje (LV) puede ser utilizado para aterrizar el espécimen bajo prueba. Es también posible aterrizar el espécimen, utilizando la terminal de tierra del cable de alto voltaje (HV), del cual se muestra un detalle en la figura 2.8. Otra forma es aterrizar directamente a tierra.

b) ESPECIMEN 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 alto voltaje 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 (miliwatts). La conexión a guarda también puede ser posible si se utiliza la terminal de guarda del cable HV.

c) ESPECIMEN 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.

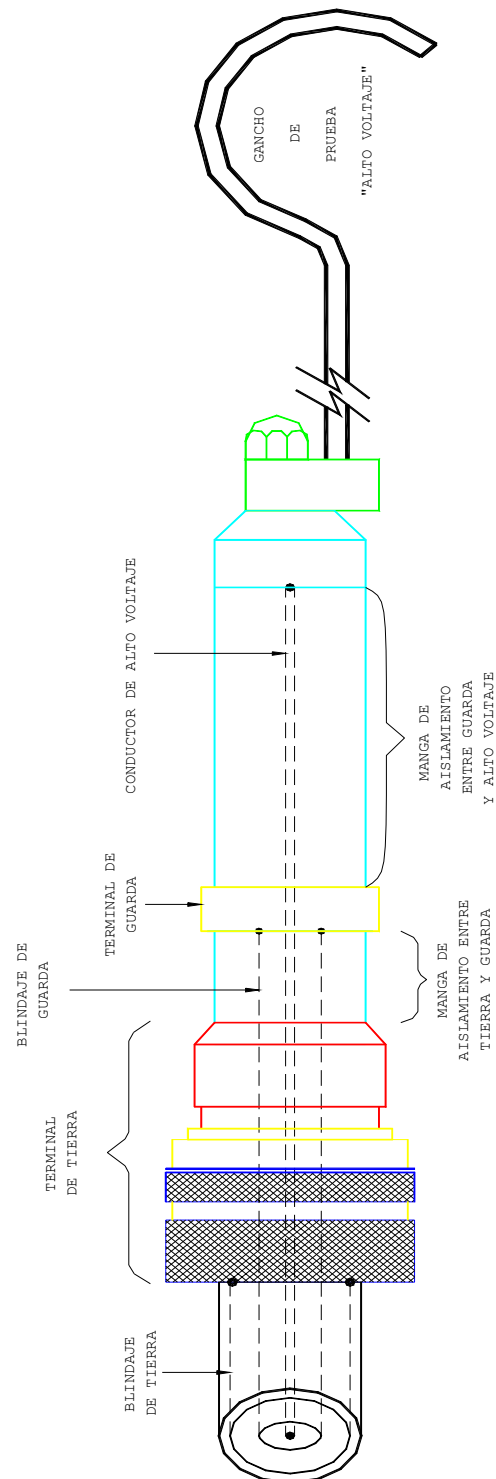


FIG. 2.8 TERMINAL DE ALTO VOLTAJE.

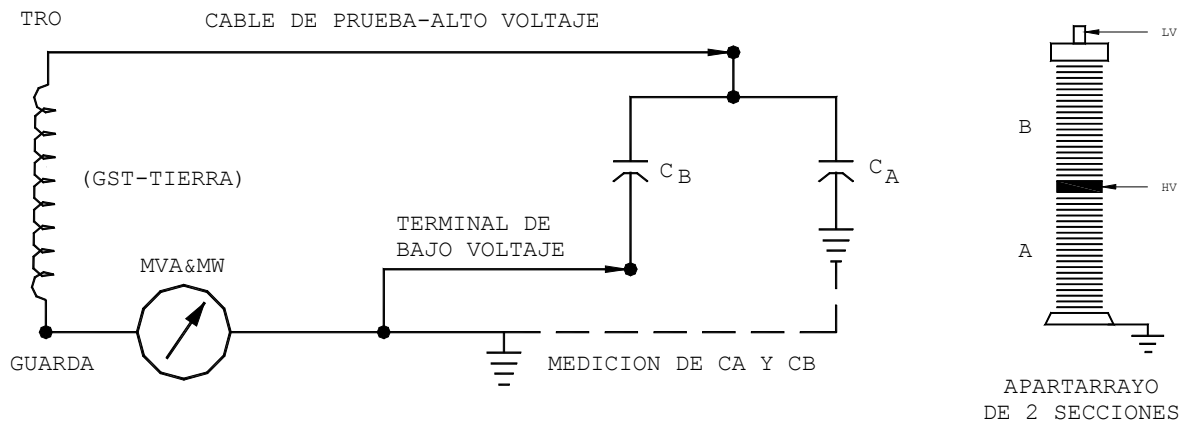


FIG. 2.9a POSICION DEL CABLE DE BAJO VOLTAJE-TIERRA

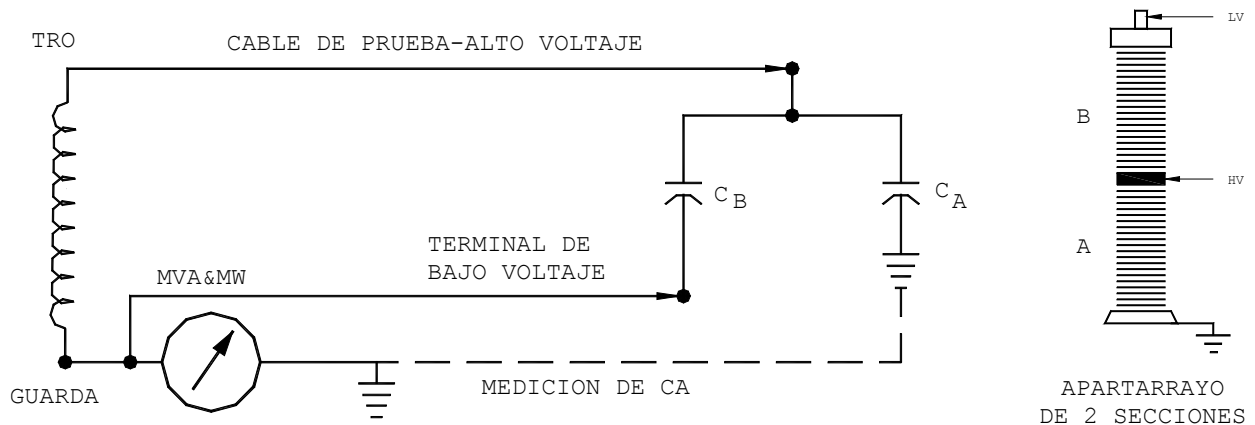


FIG. 2.9b POSICION DEL CABLE DE BAJO VOLTAJE-GUARDA

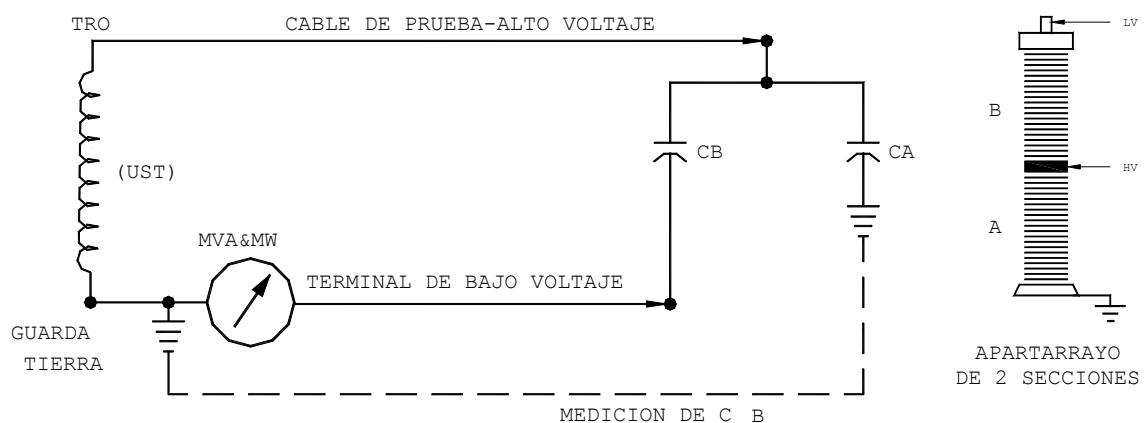


FIG. 2.9c POSICION DEL CABLE DE BAJO VOLTAJE-UST



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 METODO DE MEDICION.

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 @ 20°C	CONSTANTE DIELECTIRICA
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 @ 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 OPERACION 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:

- 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 voltaje se encuentre en posición cero. Insertar el cable de alimentación de corriente alterna y los cables de seguridad manual.
- Conectar el cable de alto voltaje (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.
- Conectar la terminal de bajo voltaje (LV), el selector (LV) se coloca en la posición deseada (GROUND, GUARD o UST). Si la terminal de bajo voltaje (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 el voltaje, girando hacia la derecha la perilla de control de voltaje hasta que el voltmetro indique 2.5 KV. Si durante el ajuste del voltaje, 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 el voltaje 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 voltaje 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.

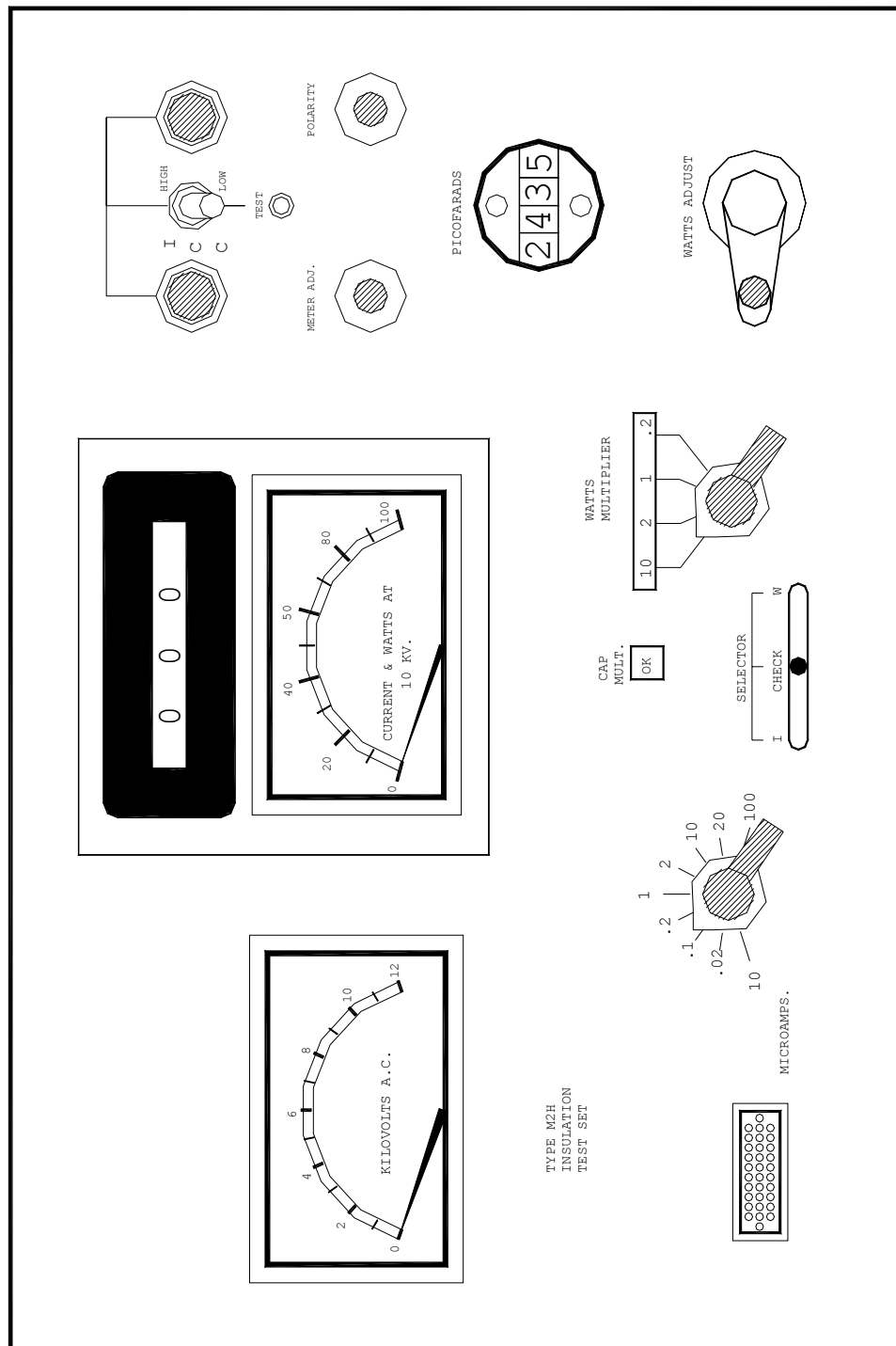


FIG. 2.10 PANEL DE LA UNIDAD DE MEDICION Y TRANSFORMACION DE UN MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DE 2.5 kV



INTERFERENCIA ELECTROSTATICA.- 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.

CALCULO 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:

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

CALCULO DE LA RESISTENCIA:

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

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



R = Resistencia en Megaohms.

E = Voltaje en Volts E = 2 500 Volts

W = Pérdidas en miliwatts

CALCULO DE FACTOR DE POTENCIA:

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

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

PRUEBAS A VOLTAJES MENORES DE 2.5 KV.- A veces se tienen que realizar pruebas a voltajes 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 un voltaje menor a 2500 Volts se deben dar los siguientes pasos:

- Energizar el espécimen con el voltaje deseado.
- 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.
- Realizar la prueba de forma tradicional como indica en los incisos anteriores.

CONVERSION DE VALORES DE MILIVOLTAMPERES Y MILIWATTS OBTENIDOS A MENOR VOLTAJE, 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 un voltaje diferente de 2.5 KV.

C = Voltaje (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 voltaje se encuentre en posición cero. Insertar el cable de alimentación de corriente alterna y los cables de seguridad manual.
- b) Conectar el cable de alto voltaje (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.
- c) Conectar la terminal de bajo voltaje (LV). El selector (LV) se selecciona según la posición deseada (GROUND, GUARD o UST). Si la terminal de bajo voltaje (LV) no se va a usar, el selector (LV) se coloca en GROUND.

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

- d) Ajustar el control de voltaje 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 voltaje hasta obtener 10



KV, éste es el voltaje aplicado al equipo bajo prueba. Si durante la aplicación de voltaje, 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 un voltaje 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 voltaje 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.

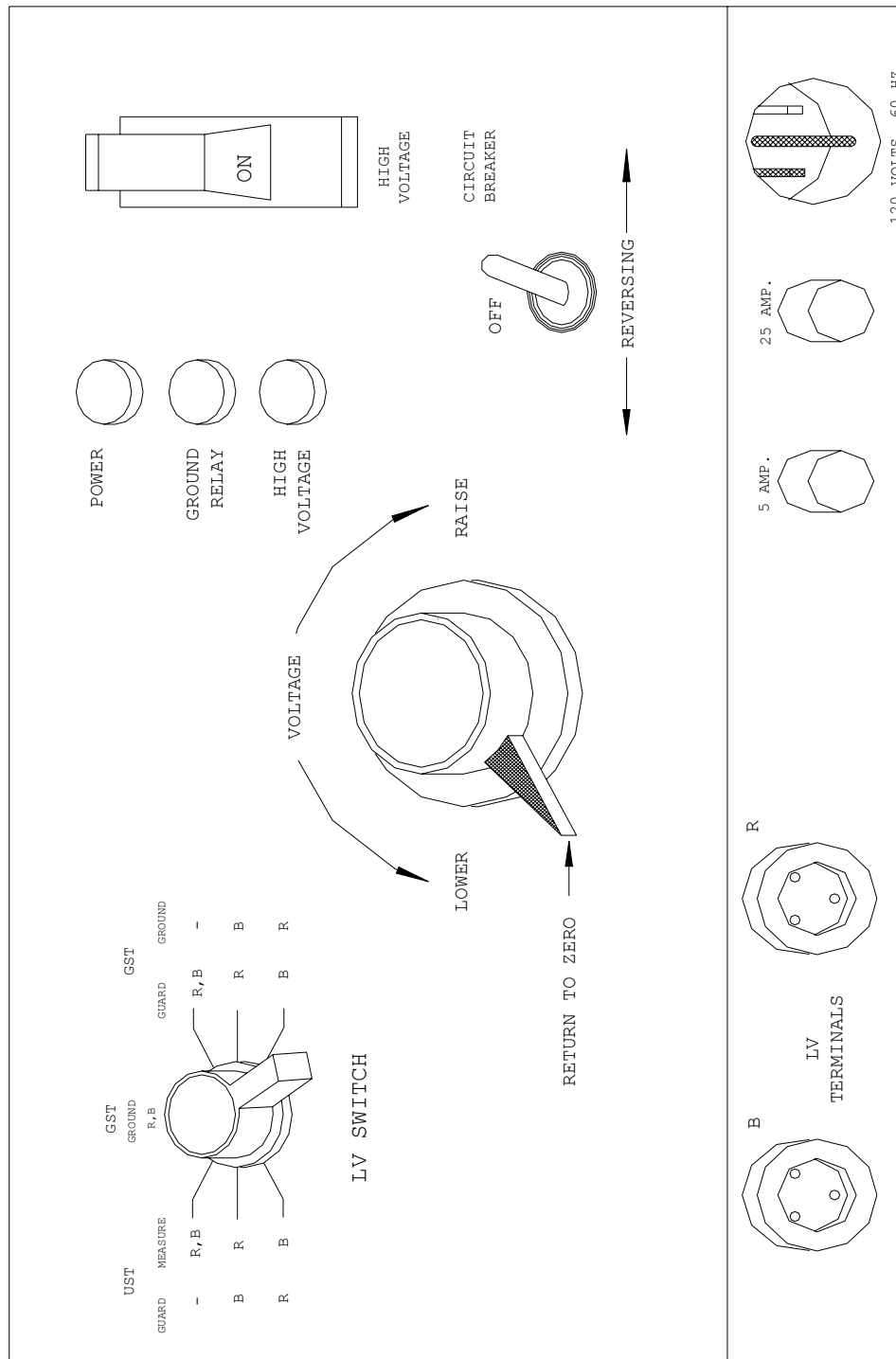


**FIG. 2.11 EQUIPO DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 kV
PANEL DE LA UNIDAD DEL TRANSFORMADOR**

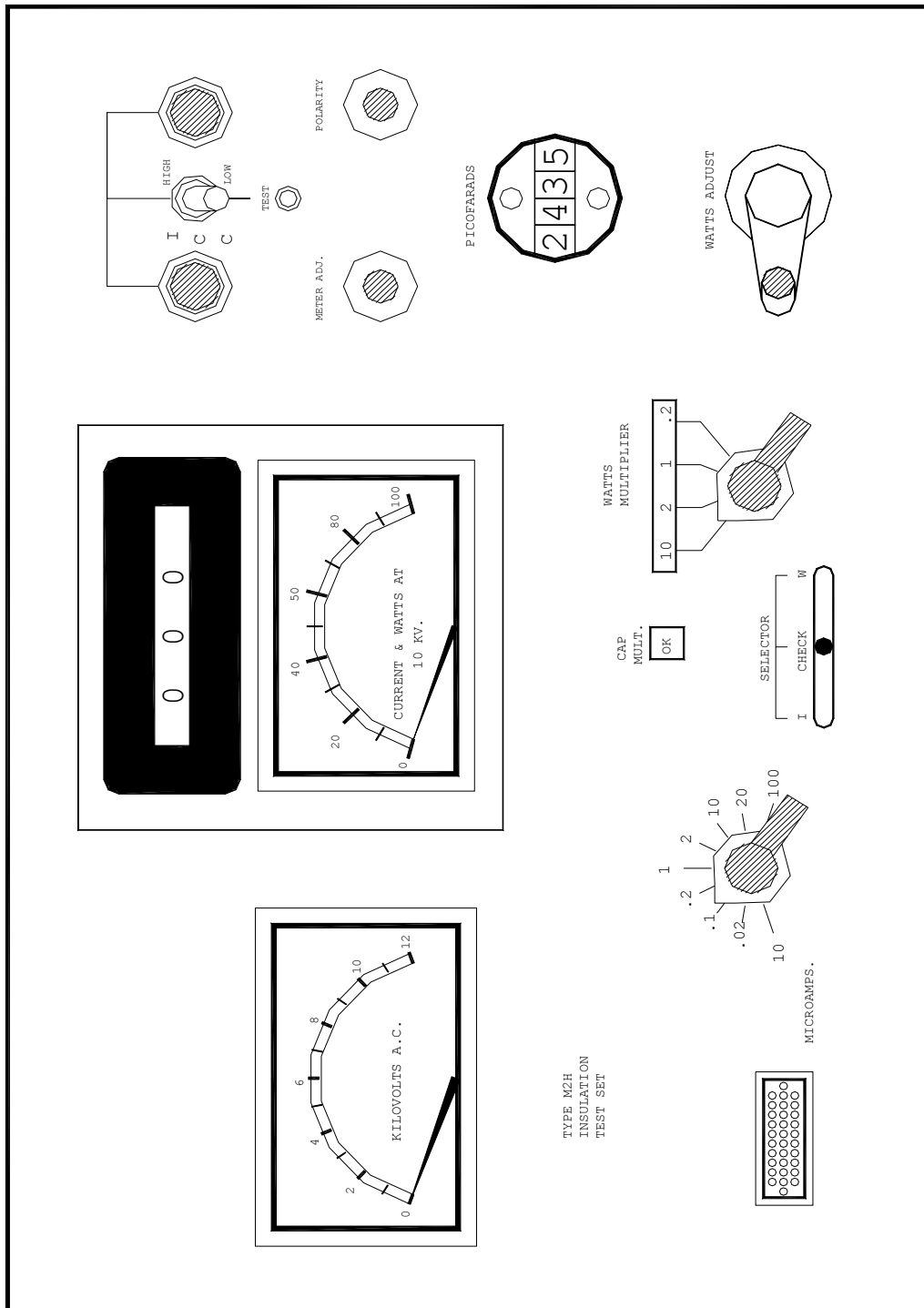
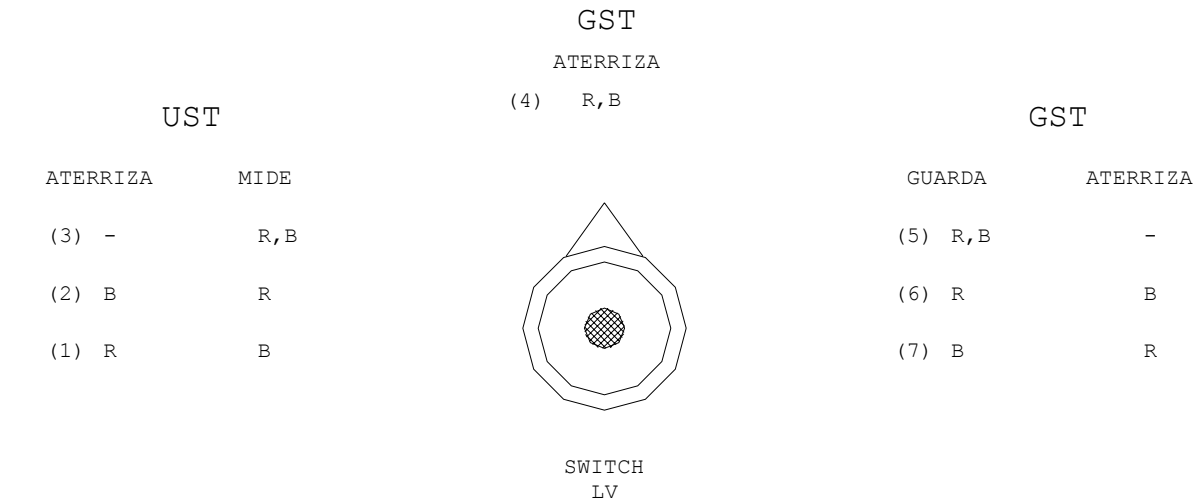


**FIG. 2.12 EQUIPO DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE 10 kV
PANEL DE LA UNIDAD DE MEDICION**



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 TENSION (LV) DEL EQUIPO DE FACTOR DE POTENCIA



INTERFERENCIA ELECTROSTATICA.- 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.

MEDICION 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.

CALCULO 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:

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

**CALCULO DE LA RESISTENCIA:**

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

Donde:

R = Resistencia en ohms

E = Voltaje en volts

W = Pérdidas en watts

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

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

CALCULO 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 el voltaje de prueba son 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 VOLTAJES MENORES DE 10 KV Y MAYORES DE 2 KV.- A veces se tienen que realizar pruebas a voltajes 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 un voltaje comprendido entre 2 y 10 KV, se tienen que aplicar los siguientes pasos:

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

PRUEBAS A VOLTAJES MENORES DE 2 KV.- Si se requiere probar con un voltaje 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:

- Energizar el espécimen a voltaje deseado.
- Ajustar la aguja indicadora de mA y watts hasta la mitad de la escala (50 divisiones). Esto realizarlo en posición neutral.
- 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:

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

**CONVERSION DE VALORES DE MILIAMPERES Y WATTS OBTENIDOS A MENOR VOLTAGE A SUS EQUIVALENTES A 10 KV.**

A = Valor de miliamperes equivalente a 10 kV.

B = Valor obtenido de miliamperes a un voltaje diferente a 10 kV.

C = Valor obtenido de watts a un voltaje diferente a 10 kV.

D = Valor de watts equivalente a 10 kV.

E = Voltaje (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:

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

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

COMPARACION 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 alto voltaje (HV) a la terminal del equipo bajo prueba.

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

Es importante mencionar que este equipo cuenta con 2 cables de bajo voltaje (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 voltaje)

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 el voltaje 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 del voltaje de prueba aplicado. 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 δ).

2.3.3.7 COMPROBACION 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 bajo voltaje debe ser inferior a 1 ohm.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.- La resistencia de aislamiento de los cables de prueba, medida con un ohmetro de bajo voltaje 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 (bajo voltaje) 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 alto voltaje), determine el mínimo voltaje 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 el voltaje de prueba hasta que el medidor MVA y MW indique la escala completa, ocurriendo esto a 500 volts o menos, si el voltaje mínimo 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 el voltaje de cátodo del condensador de by-pass (50 o 100 mfd y 6 volts).

VOLTAJES.- Los voltajes de alimentación del filamento y placa deben medirse en la siguiente forma:

- 1.- Retirar el bulbo 12 AU7 del chasis del amplificador.
- 2.- El voltaje medido entre las terminales 4 y 9 (contando en sentido de las manecillas del reloj) del portabulbo es el voltaje de filamento; el voltaje medido entre la terminal 1 y el chasis es el voltaje de alimentación de placa. Los voltajes 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 voltaje 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 el voltaje 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:

- Con el equipo armado (sin el cable de alto voltaje) y el switch selector en Check, ajustar el medidor MVA y MW a que indique la escala completa utilizando el control METER ADJ.
- 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.
- Variando la posición del control MW ADJ. ajustar el medidor MVA y MW a escala completa.
- Girar el switch multiplicador MW a la posición 1, la lectura del medidor MVA y MW debe bajar a 20.
- 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 ALTO VOLTAJE.- La continuidad de los devanados del Transformador de Alto Voltaje puede probarse utilizando un ohmetro de bajo voltaje. Las mediciones del devanado de alto voltaje pueden hacerse en las terminales de guarda y alto voltaje del cable de prueba. Las mediciones de bajo voltaje pueden efectuarse en sus terminales en la tablilla montada en la pared posterior de la caja del medidor. Las terminales del devanado de bajo voltaje 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 ALTO VOLTAJE OHMS	DEVANADO DE BAJO VOLTAJE 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 bajo voltaje.

CALIBRACION.- 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:



- a) Medir MVA y MW a 2.5 KV en una celda de aceite seca y limpia.
- b) Conectar una resistencia de 0.5 megaohms (1/2 watt o mayor) entre las terminales de alto voltaje de prueba y la celda de aceite. Mida MVA y MW a 2.5 KV.
- c) Llenar la celda con aceite en buenas condiciones, y mida MVA y MW a 2.5 KV.
- d) 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.
- e) 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.****VERIFICACION 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 el voltaje 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 el voltaje 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 INTERVENCION DE UNA CORRIENTE RESULTANTE DE UNA INTERFERENCIA ELECTROSTATICA ALTA.

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

MEDICION DE LA CORRIENTE POR INTERFERENCIA ELECTROSTATICA:

Las corrientes por interferencia causan voltajes 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 un voltaje dentro del amplificador de medición, esencialmente un voltaje mínimo 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 bajo voltaje en la posición que se requiera para llevar a cabo la medición.
- 3.- Elevar el voltaje 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 voltaje 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 CANCELACION 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 OPERACION DEL CIRCUITO DE CANCELACION 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 voltaje 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 EXCITACION.

2.3.4.1 TEORIA 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 un voltaje, 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.

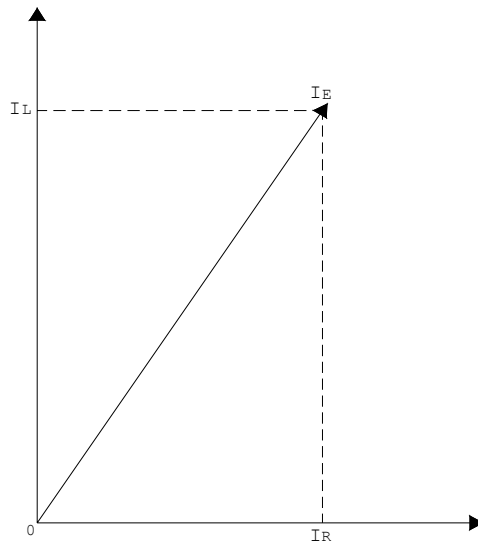


FIG. 2.14. DIAGRAMA VECTORIAL DE CORRIENTES.

donde:

I_e .- Corriente de Excitación del devanado del transformador.

I_L .- Corriente Magnetizante.

I_R .- Corriente de Pérdidas.

La magnitud de la Corriente de Excitación, depende en parte del voltaje aplicado, 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:

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

2.3.4.3 METODOS DE MEDICION.

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 voltaje 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.

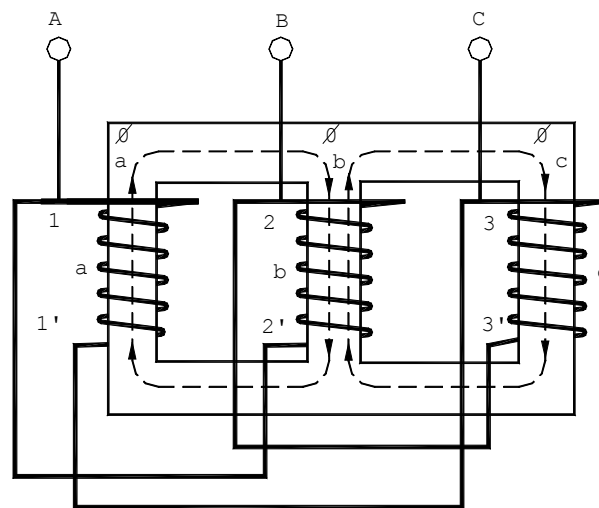


FIG. 2.15 TRANSFORMADOR DE COLUMNAS CON NÚCLEO, DEVANADO Y FLUJO

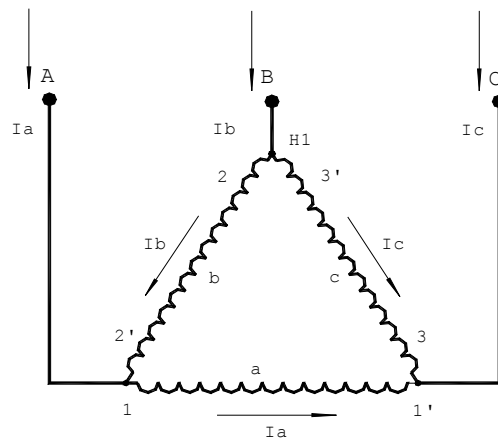


FIG. 2.16 CONEXIÓN DE DEVANADOS EN UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.

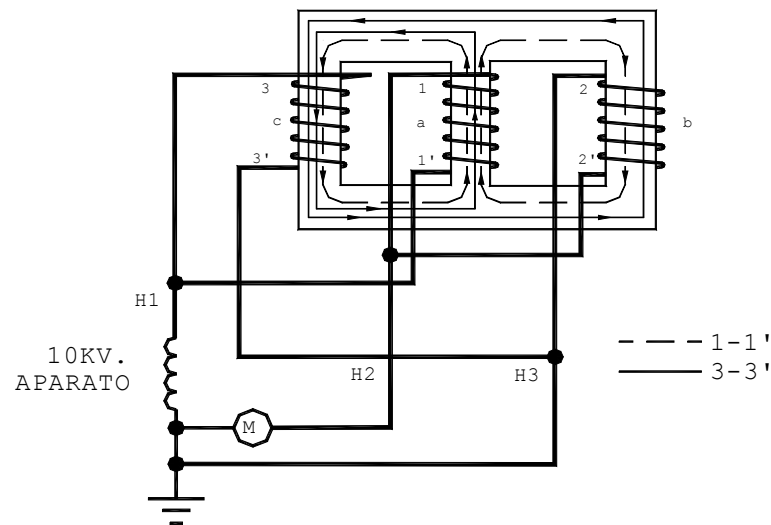


FIG. 2.17 NÚCLEO, DEVANADOS Y FLUJOS CORRESPONDIENTES A LA FIG. 2.18

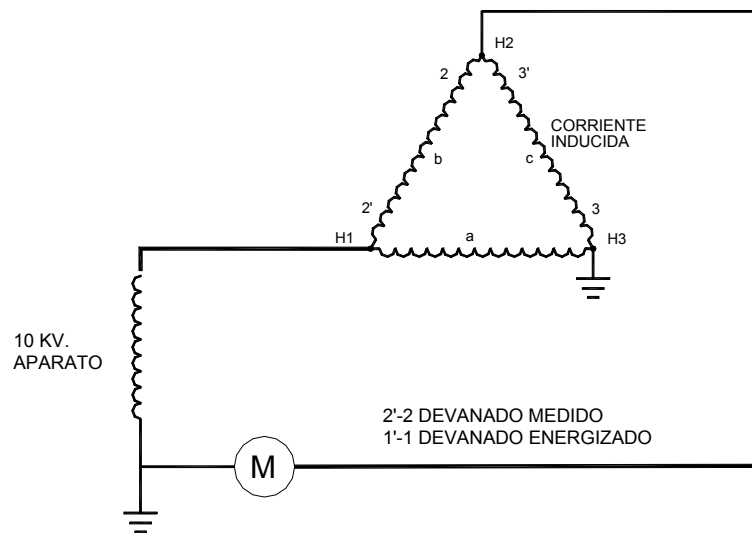


FIG. 2.18

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".

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

Suponiendo que los voltajes 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 el voltaje 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 los 3 voltajes también será cero.

- En las figuras 2.17 y 2.18, el voltaje de prueba es de 10 kV R.M.S.
- El voltaje en terminales es de valor máximo positivo en ese instante.
- 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 sacacorchos 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 el voltaje 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 el voltaje 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 voltajes de prueba de 2.5 o 10 KV. Los

mejores resultados se obtienen con el equipo de 10 KV.

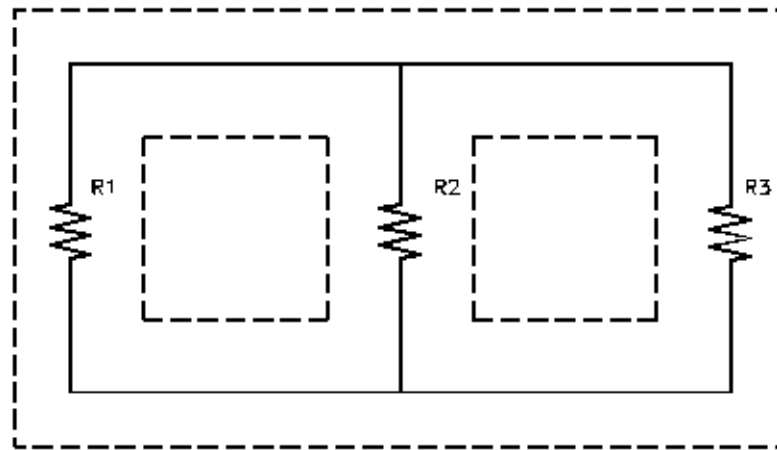


FIG. 2.19 CIRCUITO MAGNETICO DE UN NUCLEO TIPO COLUMNAS

2.3.5 PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD.

2.3.5.1 TEORIA GENERAL.

La relación de transformación se define como la relación de vueltas o de voltajes 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 METODO MONOFASICO MANUAL-ANALOGICO.

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 mas 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.

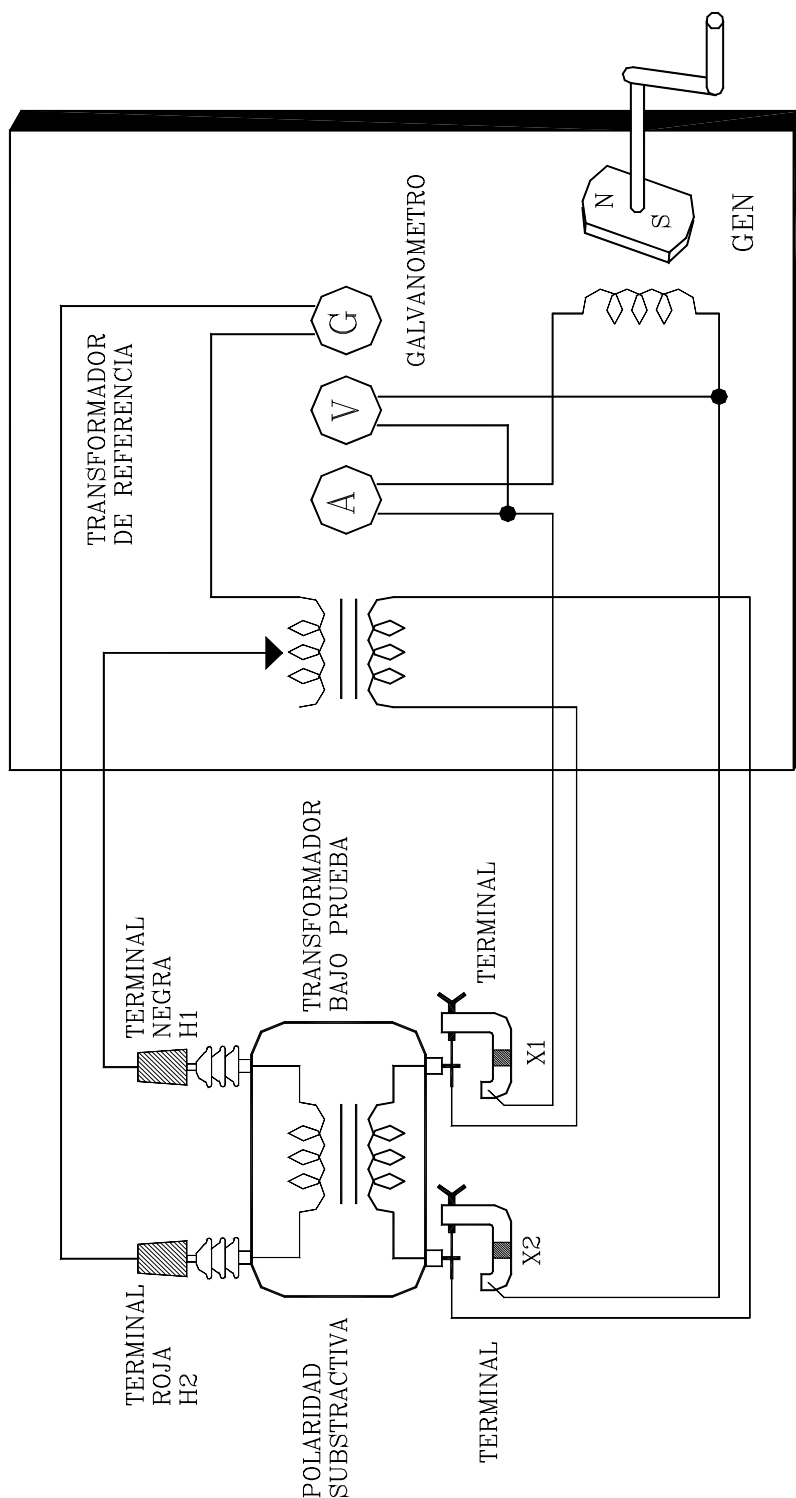


**FIG. 2.20 CIRCUITO ELECTRICO SIMPLIFICADO DE UN
PROBADOR DE RELACION (T.T.R.)**

2.3.5.3 METODO 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 METODO 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 voltajes hasta de 10 KV.

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

La medición de la relación de voltaje 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

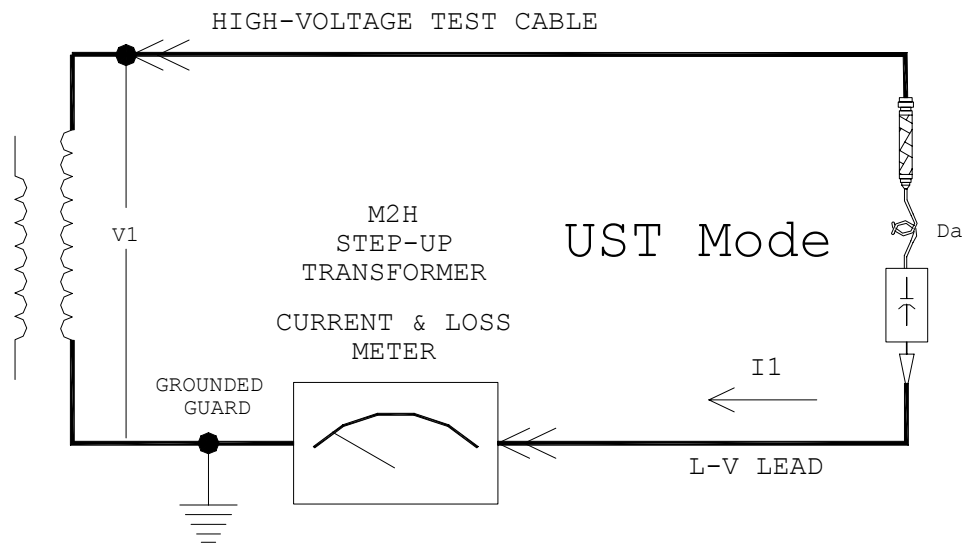


FIG. 2.21 MEDICION DEL CAPACITOR DE REFERENCIA

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

$$I1 = V1 * w * C1$$

$$I2 = V2 * w * C2$$

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

Remplazando 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 $N = I1 / I2$

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 COMPROBACION DEL MEDIDOR DE RELACION DE TRANSFORMACION.

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) COMPROBACION 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) COMPROBACION DE LA RELACION 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) COMPROBACION DE RELACION 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 COMPROBACION 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 TEORIA 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 cm^2 .

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 inapropiados, suciedad en terminales del equipo bajo prueba y los puntos de alta resistencia.

2.3.6.3 METODOS DE MEDICION.

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 un voltaje adecuado 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

fuelle 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 METODOS DE MEDICION.

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

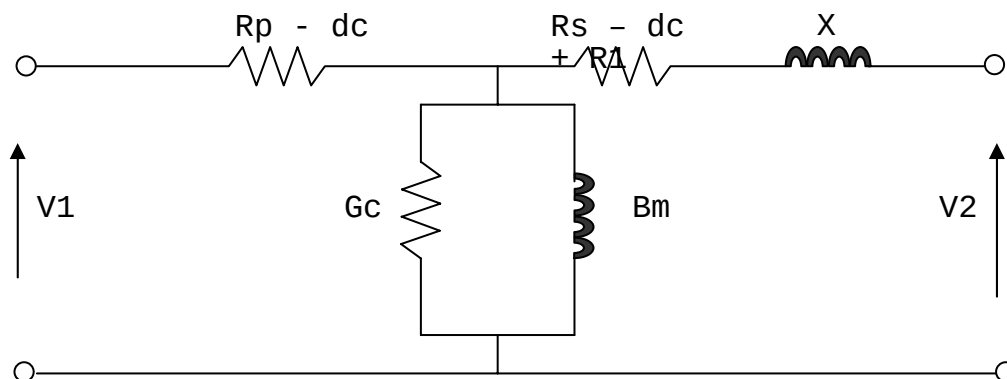


FIG. 2.22 CIRCUITO EQUIVALENTE PARA UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

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 voltaje 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 PERDIDAS POR REACTANCIA.

Es comun describir el fenómeno de pérdidas de flujo en transformadores separándolo en dos componentes: El debido a la corriente en el devanado primario que no induce al secundario, y 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 un mayor voltaje inducido en cada una de sus espiras bajo carga, que el secundario.

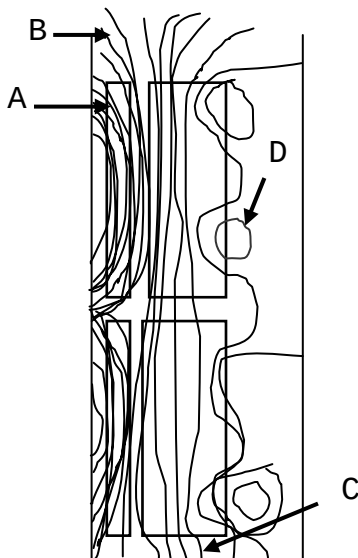


FIG. 2.23 DISTRIBUCION DEL FLUJO DE DISPERSION MAGNETICA

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 voltaje 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 voltaje 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 voltaje.

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 MEDICION

La medición de la Reactancia de Dispersión es una prueba complementaria para verificar el estado físico 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.

DESCRIPCION 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.

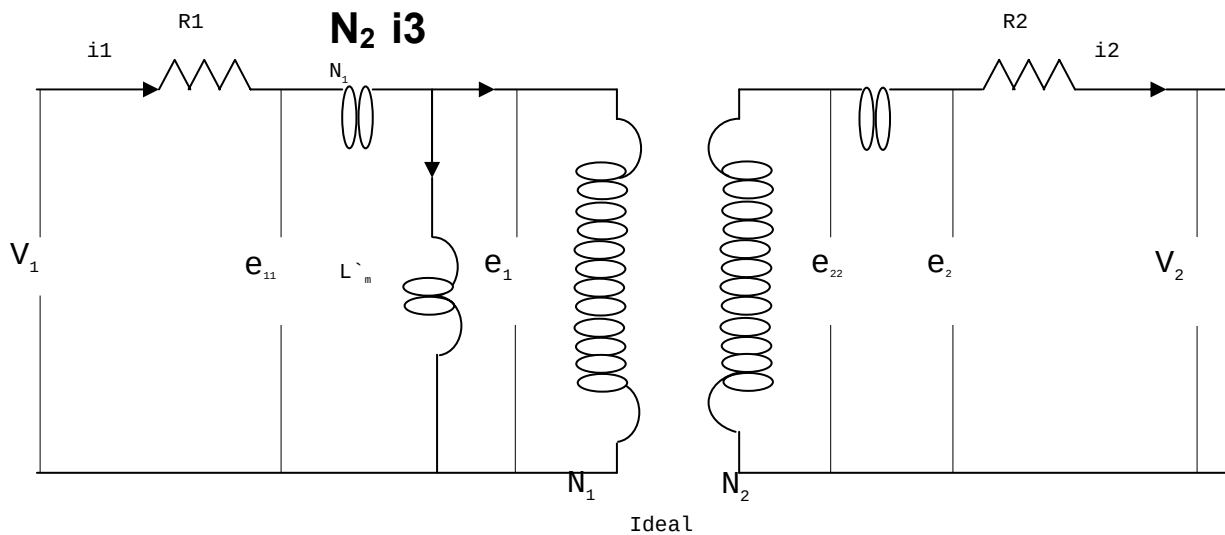


FIG. 2.24. CIRCUITO REPRESENTATIVO DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

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).

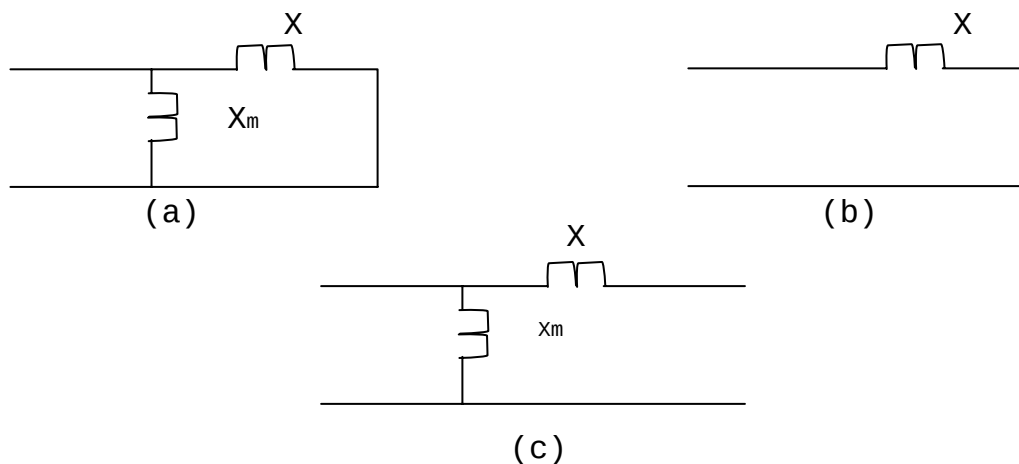


FIG. 2.25 CIRCUITOS SIMPLIFICADOS EQUIVALENTES PARA LA PRUEBA (a) PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, (b) SIMPLIFICADO DE PRUEBA DE CORTO CIRCUITO, (c) PRUEBA A CIRCUITO ABIERTO

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 MEDICION 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 pérdidas 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 TRIFASICO

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} = El voltaje 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 TRIFASICO

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} = El voltaje 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 MONOFASICO

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 = El voltaje 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 TEORIA 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 estan 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 FRA proporciona información interna de diagnostico 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 primario del 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 primario de 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 MEDICION.

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 sujeta a SFRA que 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.

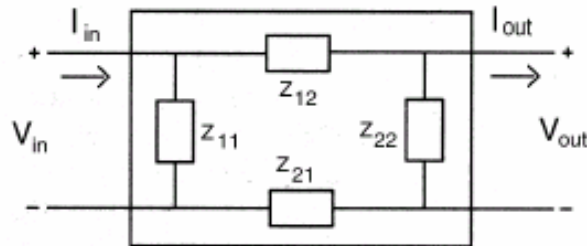


FIG. 2.26 RED DE DOS PUERTOS

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:

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

La meta de 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 del voltaje,

$H(j\omega)$ 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 el voltaje de la salida y entonces la ley de los ohmios puede ser observada. Sin embargo, SFRA utiliza la relación del cociente del voltaje para $H(j\omega)$. Puesto que el método de la prueba de 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 $H(j\omega)$:

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{50}{Z(j\omega) + 50}$$

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 grueso 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 replagar 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.

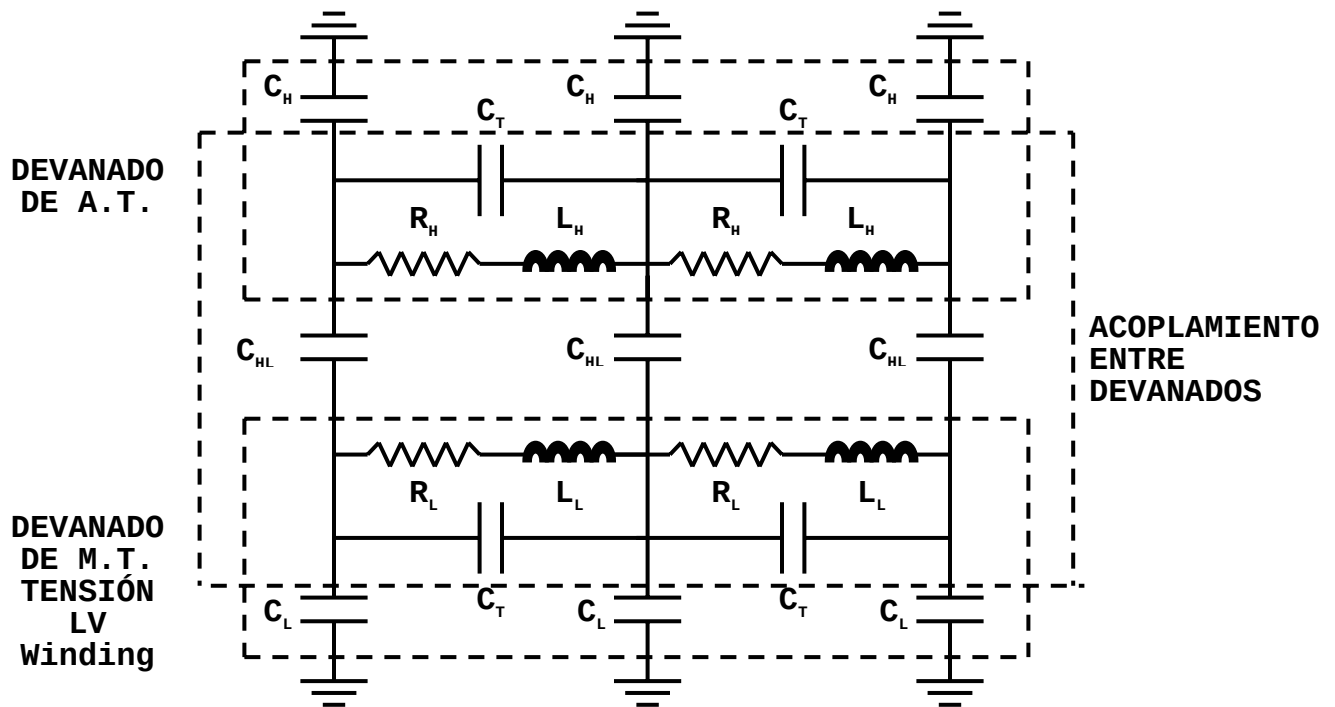


FIG. 2.27 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS RED DE DOS PUERTOS

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.

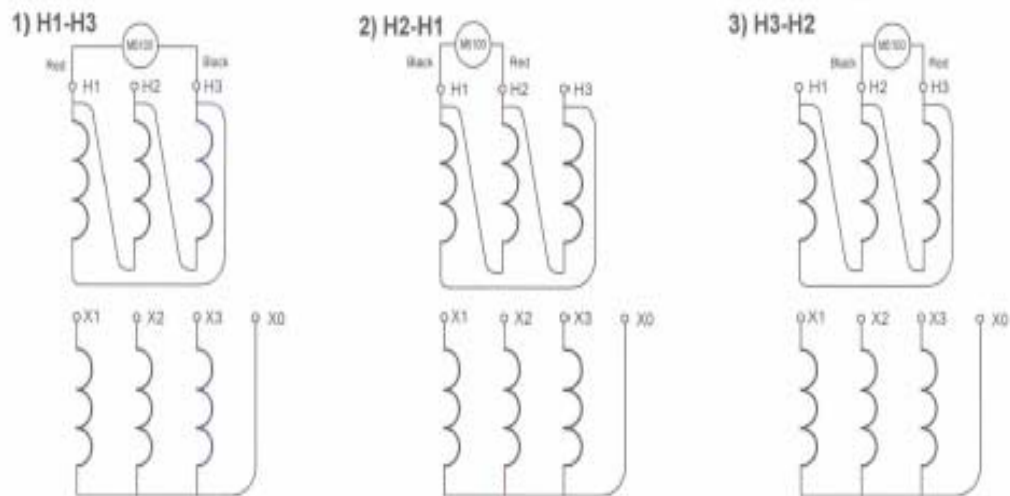
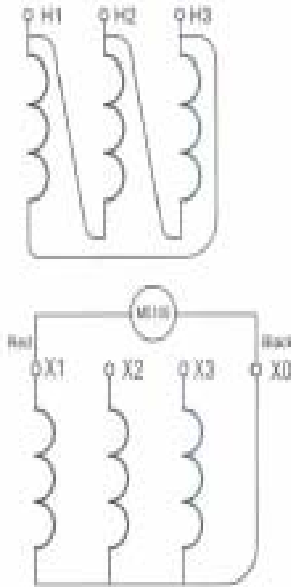
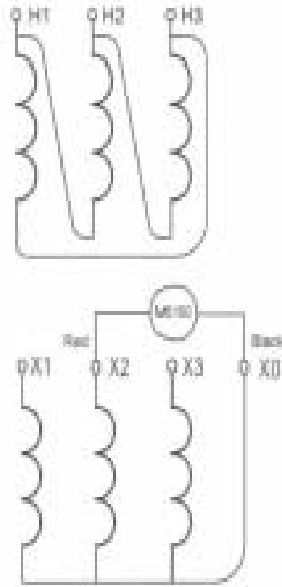


FIG. 2.28 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA POR FASE EN DEVANADO DE ALTA TENSION DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

4) X1-X0



5) X2-X0



6) X3-X0

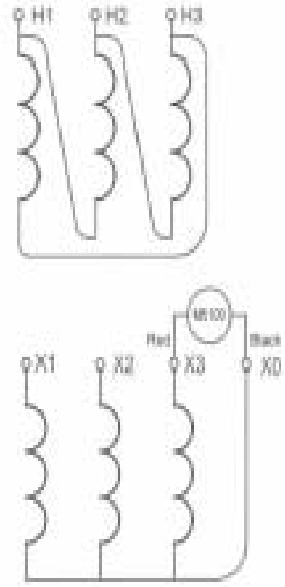
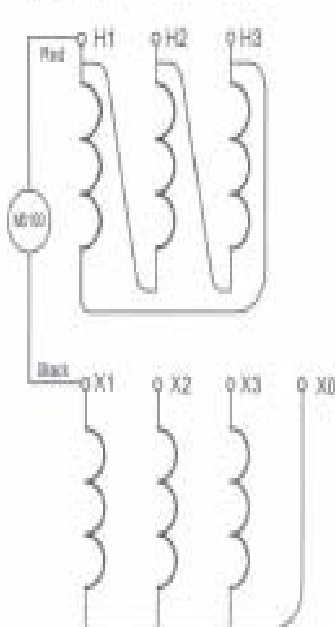
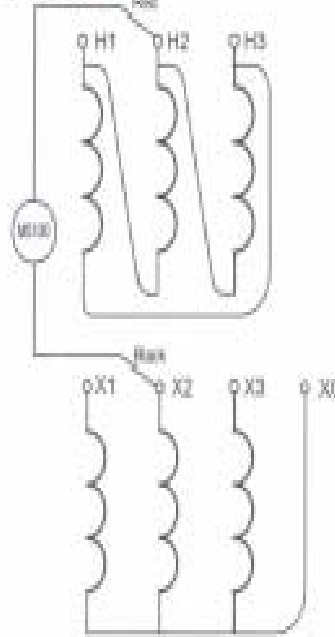


FIG. 2.29 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA POR FASE EN DEVANADO DE MEDIA TENSION DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

7) H1-X1



8) H2-X2



9) H3-X3

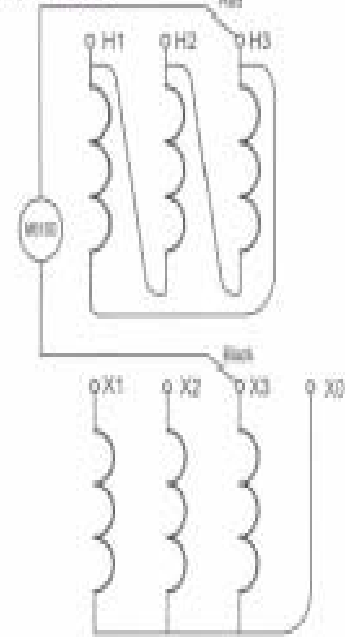


FIG. 2.30 DIAGRAMAS DE CONEXIONES PARA PRUEBAS DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA ENTRE DEVANADOS DE ALTA Y MEDIA TENSION DE UN TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

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 voltaje, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc.; ésta prueba nos detecta esos puntos.

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 OPERACION 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.

TABLA 2.1

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

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-1828	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
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	REACTANCIA DE DISPERSION	X	X		X
	RESPUESTA A LA FRECUENCIA			X	
	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

CAPITULO 3

TRANSFORMADORES, AUTOTRANSFORMADORES Y REACTORES DE POTENCIA.

3.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Esta prueba es de gran utilidad para dar una idea rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total del transformador bajo prueba.

La medición de esta resistencia independientemente de ser cuantitativa también es relativa, ya que el hecho de estar influenciada por aislamientos, tales como porcelana, papel, aceite, barnices, etc., la convierte en indicadora de la presencia de humedad y suciedad en esos materiales.

La prueba se efectúa con el medidor de resistencia de aislamiento a una tensión mínima de 1,000 volts, recomendándose realizarla a 2500 o 5000 volts y durante 10 minutos.

3.1.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas al equipo primario.
- b) Limpiar la porcelana de las boquillas quitando el polvo, suciedad, etc.
- c) Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- d) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado: primario, secundario y terciario, si éste es el caso.
- e) Nivelar el medidor centrando la burbuja con los tornillos de ajuste (en el caso del medidor de resistencia de aislamiento analogico).
- f) Conectar adecuadamente las terminales de prueba al transformador que se va a probar, girar el selector a la posición de prueba hasta el valor de voltaje preseleccionado y encender el equipo.

En todos los medidores de resistencia de aislamiento se debe usar cable de prueba blindado en la terminal de Línea y conectar este blindaje a la terminal de guarda, para no medir la corriente de fuga en las terminales o a través del aislamiento del cable.



- g) Para cada prueba anotar las lecturas de 15, 30, 45 y 60 segundos, así como a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos.
- h) Al terminar la prueba, poner fuera de servicio el medidor, regresar el selector a la posición de descarga manteniéndolo en esta condición por 10 minutos.
- i) Registrar el porciento de humedad relativa. Efectuar las pruebas cuando la humedad sea menor del 75%.
- j) Registrar la temperatura del aceite y del devanado.

3.1.2 COMPROBACION DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

a) Para verificar la posición de la aguja indicadora en la marca de infinito del medidor analógico, poner en operación el equipo y mover si es necesario el tornillo de ajuste hasta que la aguja se posicione en la marca de Infinito. Realizar este ajuste bajo condiciones ambientales controladas.

Para medidores microprocesados al encender el equipo, automáticamente este realiza su rutina de autoprueba.

b) Para verificar los cables de prueba conectar estos al medidor cuidando que no exista contacto entre ellos y seleccionar el voltaje de prueba, mismo que se recomienda sea de 2500 ó 5000 volts. Encender el equipo y comprobar la posición de la aguja indicadora en la marca de infinito. No ajustar la aguja al infinito por pequeñas desviaciones provocadas por las corrientes de fuga de los cables de prueba.

c) Para comprobar la posición cero, conectar entre si las terminales de los cables de prueba (Línea y Tierra), girar la manivela un cuarto de vuelta estando el selector de prueba en 500 o 1000 volts. La aguja debe moverse a la marca de cero.

3.1.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Al efectuar las pruebas de resistencia de aislamiento a los transformadores, hay diferentes criterios en cuanto al uso de la terminal de guarda del medidor. El propósito de la terminal de guarda es para efectuar mediciones en mallas con tres elementos, (devanado de A.T., devanado de B.T. y tanque).

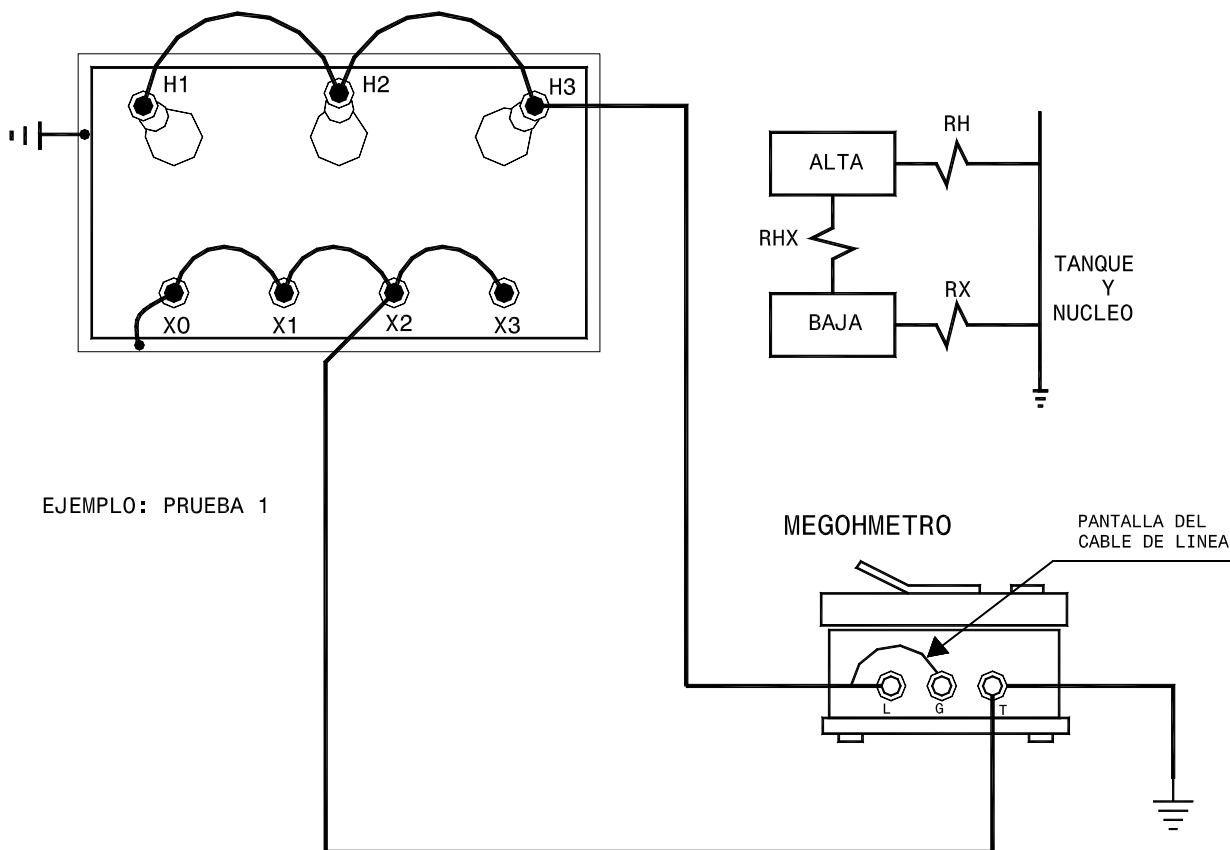
La corriente de fuga de un aislamiento, conectada a la terminal de guarda, no interviene en la medición.



Si no se desea utilizar la terminal de guarda del medidor, el tercer elemento se conecta a través del tanque a la terminal de tierra del medidor, la corriente de fuga solamente tiene la trayectoria del devanado en prueba a tierra.

Con el objeto de unificar la manera de probar los transformadores de potencia, y para fines prácticos, en éste procedimiento se considera la utilización de la terminal de guarda del medidor. Lo anterior permite el discriminar aquellos elementos y partes que se desea no intervengan en las mediciones, resultando estas más exactas, precisas y confiables.

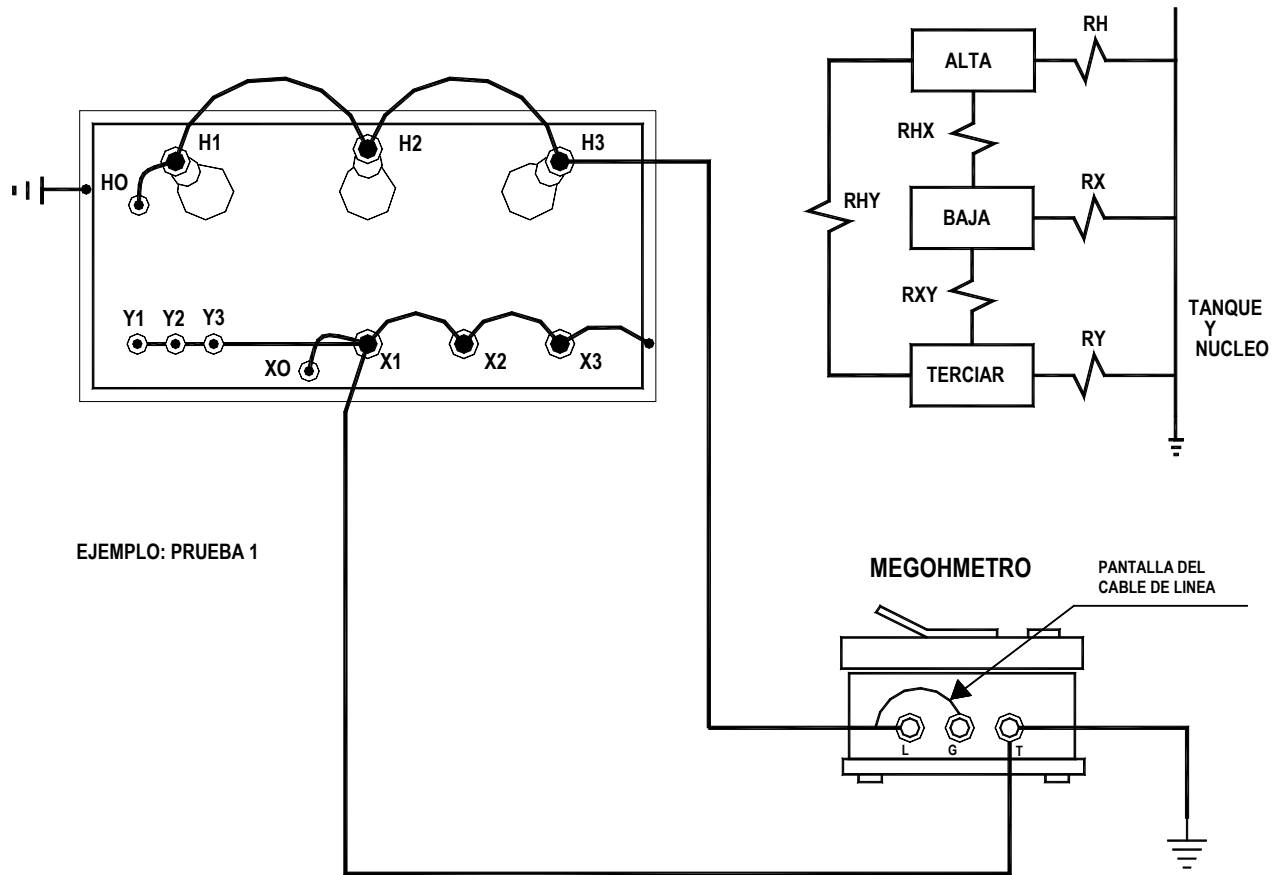
Las conexiones para transformadores de 2 o 3 devanados, autotransformadores, y reactores se muestran en las figuras No. 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 respectivamente.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	H	—	X+Tq	RH+RHX
2	H	Tq	X	RHX
3	X	—	H+Tq	RX+RHX

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO
Tq= TANQUE

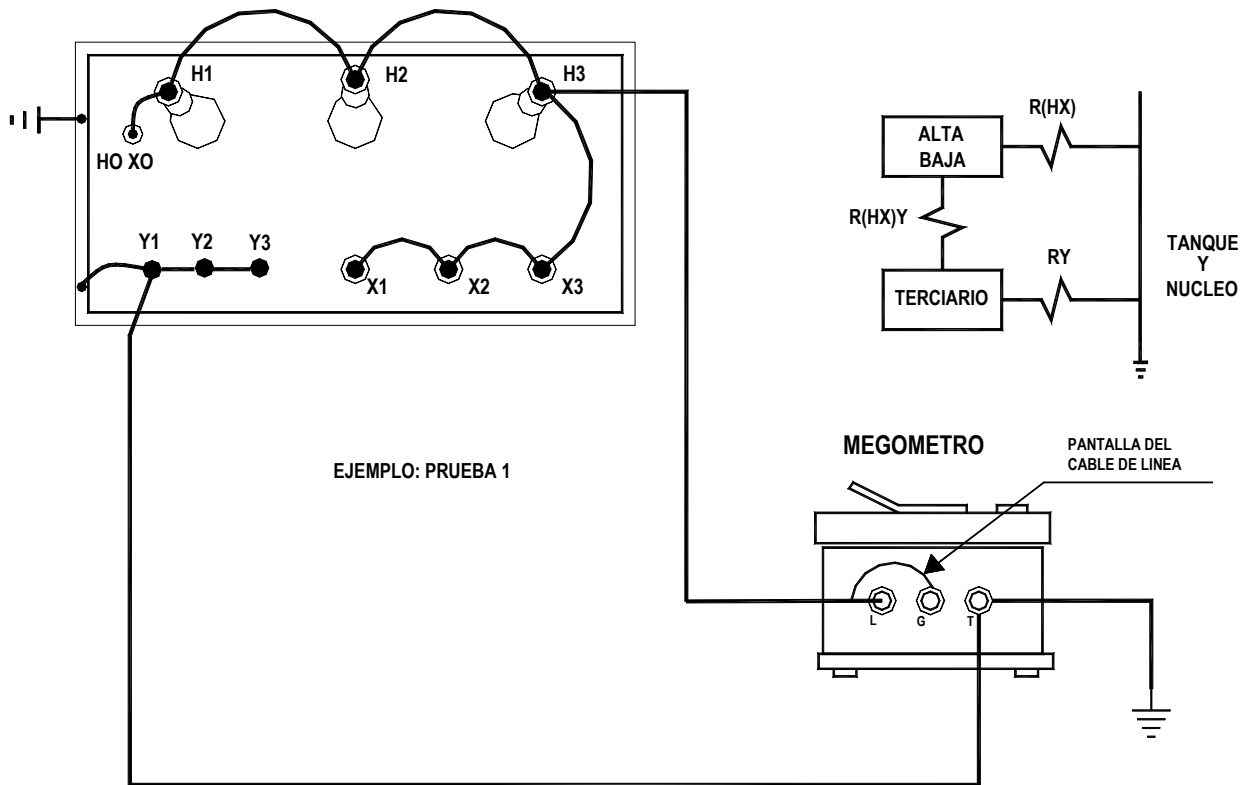
FIG. 3.1 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-01



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	H	—	X+Y+Tq	RH + RHX + RHY
2	H	Y, Tq	X	RHX
3	H	X, Tq	Y	RHY
4	X	—	H+Y+Tq	RX + RHX + RXY
5	X	H, Tx	Y	RXY
6	Y	—	H+X+Tq	RY + RHY + RXY

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO
Tq= TANQUE

FIG. 3.2 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-01

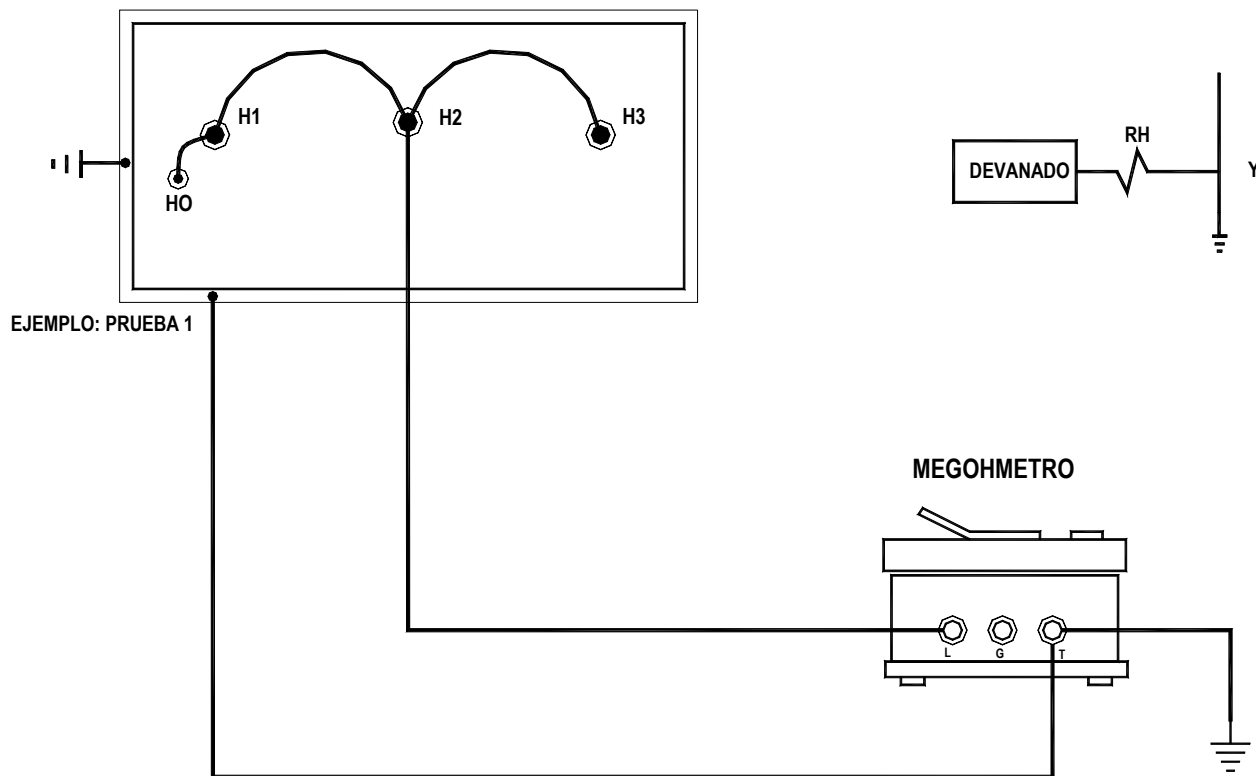


NOTA: CUANDO EL TRANSF. NO DISPONGA DE BOQUILLAS PARA EL DEVANADO TERCARIO, SOLAMENTE SE REALIZA LA PRUEBA N° 1 (RH) CONECTANDO LA TERMINAL "T" AL TANQUE

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	H X	—	Tq + Y	$R(HX) + (HX)Y$
2	H X	Tq	Y	$R(HX)Y$
3	Y	—	HX+Tq	$RY + R(HX)Y$

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO
Tq= TANQUE

FIG. 3.3 AUTOTRANSFORMADORES
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-01



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	H	—	Tq	RH

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO
Tq= TANQUE

FIG. 3.4 REACTORES
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-01



3.1.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE PRUEBA PARA LA EVALUACION DE LAS CONDICIONES DEL AISLAMIENTO.

A continuación se dan algunas recomendaciones para auxiliar al personal de campo en la evaluación de los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de aislamiento. De ninguna manera se pretende sustituir el criterio y experiencia del personal técnico que tiene bajo su responsabilidad el mantenimiento del equipo.

Para evaluar las condiciones del aislamiento de los transformadores de potencia, es conveniente analizar la tendencia de los valores que se obtengan en las pruebas periódicas. Para facilitar este análisis se recomienda graficar las lecturas, para obtener las curvas de absorción dieléctrica; las pendientes de las curvas indican las condiciones del aislamiento, una pendiente baja indica que el aislamiento está húmedo o sucio.

Para un mejor análisis de los aislamientos, las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas corregidas a una misma base (20°C) y en lo posible, efectuar las pruebas bajo las mismas condiciones ambientales.

En la evaluación de las condiciones de los aislamientos, deben calcularse los índices de absorción y polarización, ya que tienen relación con la curva de absorción. El índice de absorción se obtiene de la división del valor de la resistencia a 1 minuto entre el valor de $\frac{1}{2}$ minuto y el índice de polarización se obtiene dividiendo el valor de la resistencia a 10 minutos entre el valor de 1 minuto. Los valores mínimos de los índices deben ser de 1.2 para el índice de absorción y 1.5 para el índice de polarización, para considerar el transformador aceptable.

El envejecimiento de los aislamientos o el requerimiento de mantenimiento, provocan un aumento en la corriente de absorción que toma el aislamiento y se detecta con un decremento gradual de la resistencia de aislamiento.

Para obtener el valor de una sola resistencia (R_H , R_X , R_Y , etc.) es necesario guardar uno o más devanados, considerando esto como pruebas complementarias.

En la tabla No. 3.1, se proporcionan los valores mínimos de resistencia de aislamiento a 20°C de los transformadores según su voltaje de operación.

La tabla No. 3.2, proporciona los factores de corrección por temperatura.

Tabla No. 3.1
RESISTENCIA MINIMA DE AISLAMIENTO EN ACEITE A 20°C

<u>VOLTAJE ENTRE FASES KV.</u>	<u>MEGAOHMS</u>	<u>VOLTAJE ENTRE FASES KV.</u>	<u>MEGAOHMS</u>
1.2	32	92	2480
2.5	68	115	3100
5.0	135	138	3720
8.66	230	161	4350
15.0	410	196	5300
25.0	670	230	6200
34.5	930	287	7750
69.0	1860	400	

Tabla No. 3.2
CORRECCION POR TEMPERATURA PARA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

<u>*TEMP.°C DEL TRANSFORMADOR</u>	<u>FACTOR DE CORRECCION</u>	<u>*TEMP.°C DEL TRANSFORMADOR</u>	<u>FACTOR DE CORRECCION</u>
95	89	35	2.5
90	66	30	1.8
85	49	25	1.3
80	36.2	20	1.0
75	26.8	15	0.73
70	20	10	0.54
65	14.8	5	0.40
60	11	0	0.30
55	8.1	-5	0.22
50	6	-10	0.16
45	4.5	-15	0.12
40	3.3		

*** Temperatura del aceite.**

3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NUCLEO.

La prueba se realiza a transformadores que se preparan para su puesta en servicio, con el objeto de verificar la resistencia de aislamiento del núcleo y su correcto aterrizamiento en un solo punto, comprobando al mismo tiempo la adecuada geometría del núcleo, y asegurando que no haya existido desplazamiento del mismo durante las maniobras de transporte. La prueba es aplicable también a transformadores en operación que presenten sobrecalentamiento sin llegar a su capacidad nominal.

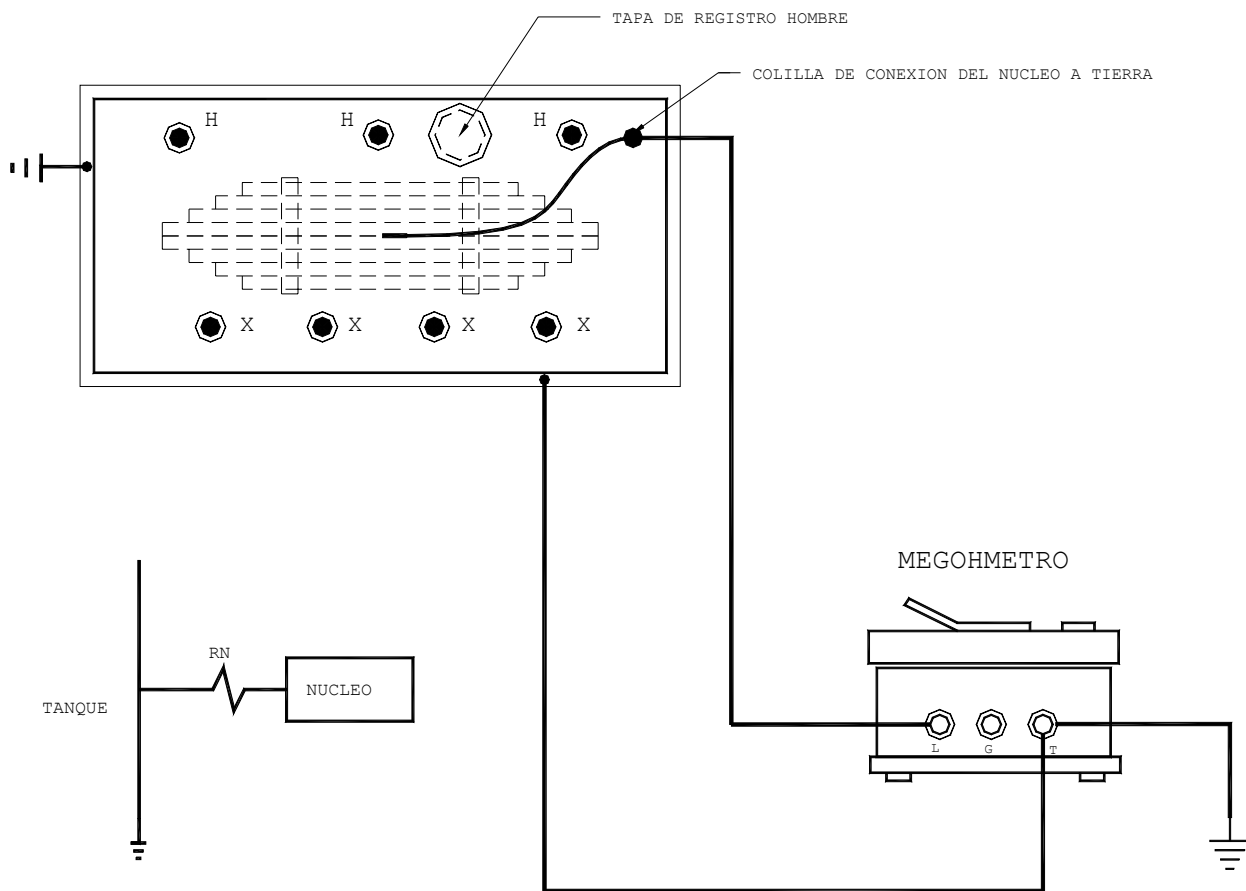
Para realizar la prueba, se utiliza un medidor de resistencia de aislamiento, aplicando un voltaje de 1000 volts durante un minuto.

3.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas al equipo primario.
- Para transformadores llenos de aceite, reducir el nivel a lo necesario para tener acceso a la conexión del núcleo y tanque; si el transformador tiene presión de nitrógeno, liberarlo por seguridad personal.
- Retirar la tapa de registro (entrada-hombre).
- Desconectar la conexión a tierra del núcleo (generalmente localizada en la parte superior del tanque).
- Preparar el equipo de prueba.

3.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- Conectar la terminal de línea del medidor de resistencia de aislamiento al núcleo.
- Conectar la terminal tierra del medidor de resistencia de aislamiento al tanque del transformador.
- Efectuar la prueba y registrar el valor de la resistencia.
- Las conexiones de prueba se muestran en la figura No. 3.5.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	NUCLEO *	—	Tq	RN

* PARA LA PRUEBA, LA COLILLA QUE ATERRIZA EL NUCLEO DEBE DE DESCONECTARSE DE LA TAPA DEL TRANSFORMADOR.

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

Tq= TANQUE

FIG. 3.5 TRANSFORMADORES DE POTENCIA
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NUCLEO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-01



3.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

El valor de la resistencia de aislamiento del núcleo, debe ser conforme a lo establecido en la especificación CFE K0000-06 TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE 10 MVA Y MAYORES (200 Megaohms a 1000 Volts de corriente directa), para considerarlo satisfactorio.

3.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

El Factor de Potencia del aislamiento es otra manera de evaluar y juzgar las condiciones del aislamiento de los devanados de transformadores, autotransformadores y reactores, es recomendado para detectar humedad y suciedad en los mismos.

Los equipos que se utilizan para realizar la prueba, pueden ser de varias marcas, entre las cuales pueden citarse: James G. Biddle, Nansen y Doble Engineering Co., de esta última, en sus modelos MEU-2.5 KV, M2H-10 KV y M4000-10KV; el ETP de SMC-10KV ó el Delta 2000 de AVO, entre otros.

Como el Factor de Potencia aumenta directamente con la temperatura del transformador, se deben referir los resultados a una temperatura base de 20 °C , para fines de comparación. En la tabla 3.3 se muestran los factores de corrección tanto para transformadores, como para líquidos aislantes y boquillas.





3.3.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre recomendaciones generales para las pruebas.
- b) Colocar el instrumento de prueba sobre una base firme y nivelada a una distancia tal del equipo a probar, que permita el buen manejo de los cables de prueba.
- c) Conectar el medidor a la fuente de alimentación y verificar su correcto aterrizamiento.
- d) El transformador a probar debe aislarse totalmente de los buses o barras, líneas y la superficie de las boquillas debe de estar limpia y seca.
- e) Desconectar y retirar los conductores de todas las terminales de boquillas.
- f) Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- g) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado: primario, secundario y terciario, si éste es el caso.
- h) Los transformadores equipados con cambiador de derivaciones para operar bajo carga deben colocarse en la posición nominal.
- i) Efectuar las pruebas cuando la humedad relativa sea menor del 75%.

3.3.2 VOLTAJES DE PRUEBA.

3.3.2.1 VOLTAJES RECOMENDADOS PARA LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA LLENOS CON ACEITE.

RANGO DE VOLTAJE DEL DEVANADO (KV)

VOLTAJE DE PRUEBA (KV)

12 ó MAS
4.04 A 8.72
2.4 a 4.8
abajo de 2.4

10
5
2
1

**3.3.2.2 VOLTAJES DE PRUEBA RECOMENDADOS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA SUMERGIDOS EN ACEITE, PERO QUE SE DESEAN PROBAR EN LA AUSENCIA DE ESTE.**

En general el voltaje aplicado debe estar entre los límites del 5% al 10% del voltaje nominal del aislamiento (ANSI/IEEE C57.12.00-1980).

**RANGO DE VOLTAJE DEL
DEVANADO EN DELTA (KV)****VOLTAJE DE PRUEBA
(KV)**

161 ó Más	10
115 a 138	5
34 a 69	2
12 a 25	1
abajo de 12	0.5

**RANGO DE VOLTAJE DEL
DEVANADO EN ESTRELLA (KV)****VOLTAJE DE PRUEBA
(KV)**

12 ó Más	1
abajo del 12	0.5

Se puede probar bajo presión atmosférica de aire o nitrógeno, pero nunca bajo vacío.

3.3.2.3 VOLTAJES RECOMENDADOS PARA PRUEBA DE TRANSFORMADORES DEL TIPO SECO.**RANGO DE VOLTAJE DEL
DEVANADO (KV)****VOLTAJE DE PRUEBA
(KV)****DEVANADOS EN DELTA Y ESTRELLA NO ATERRIZADA**

Arriba de 14.4	2 y 10
12 a 14.4	* 2 y 10
5.04 a 8.72	2 y 5
2.4 a 4.8	2
abajo de 2.4	1

* voltaje de operación de línea a tierra

DEVANADOS EN ESTRELLA ATERRIZADA

2.4 ó más	2
abajo de 2.4	1

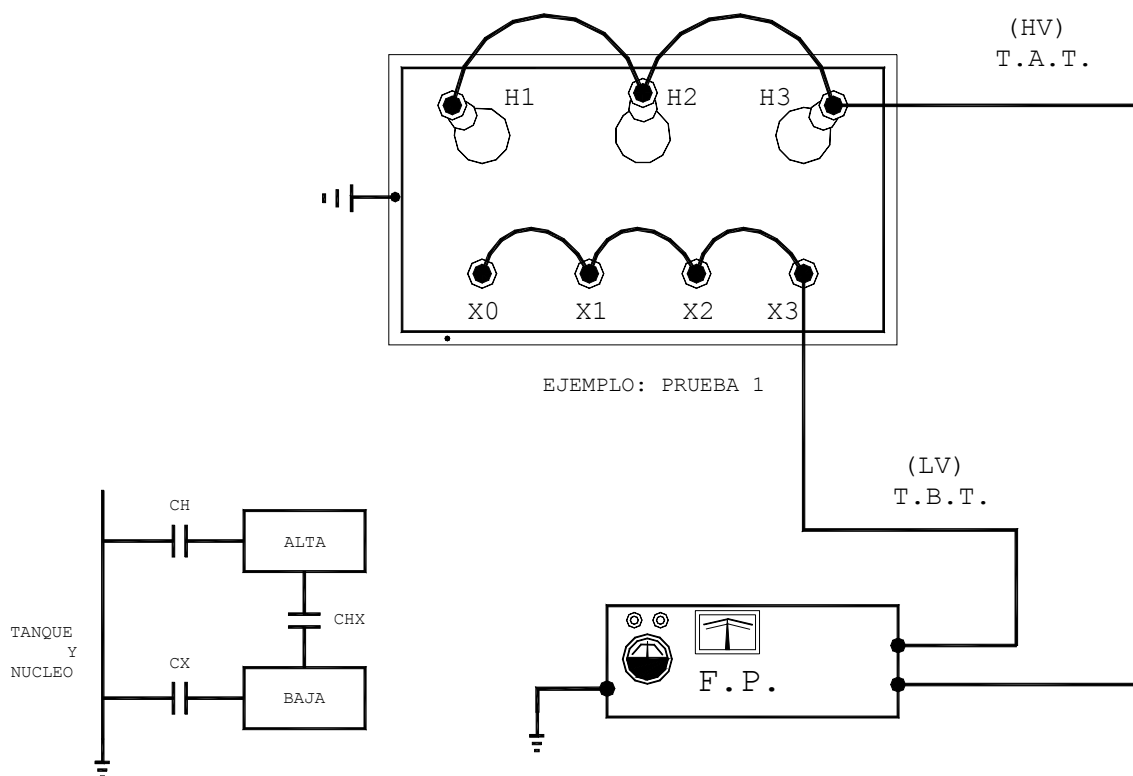


3.3.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Estando ya preparado el medidor, conectar las terminales de prueba del equipo al transformador. La terminal de alta tensión del medidor, conectarla al devanado por probar y la terminal de baja tensión a otro devanado.

Las instrucciones de operación de los medidores de Factor de Potencia pueden consultarse en los incisos 2.3.3.7, 2.3.3.8 y 2.3.3.9.

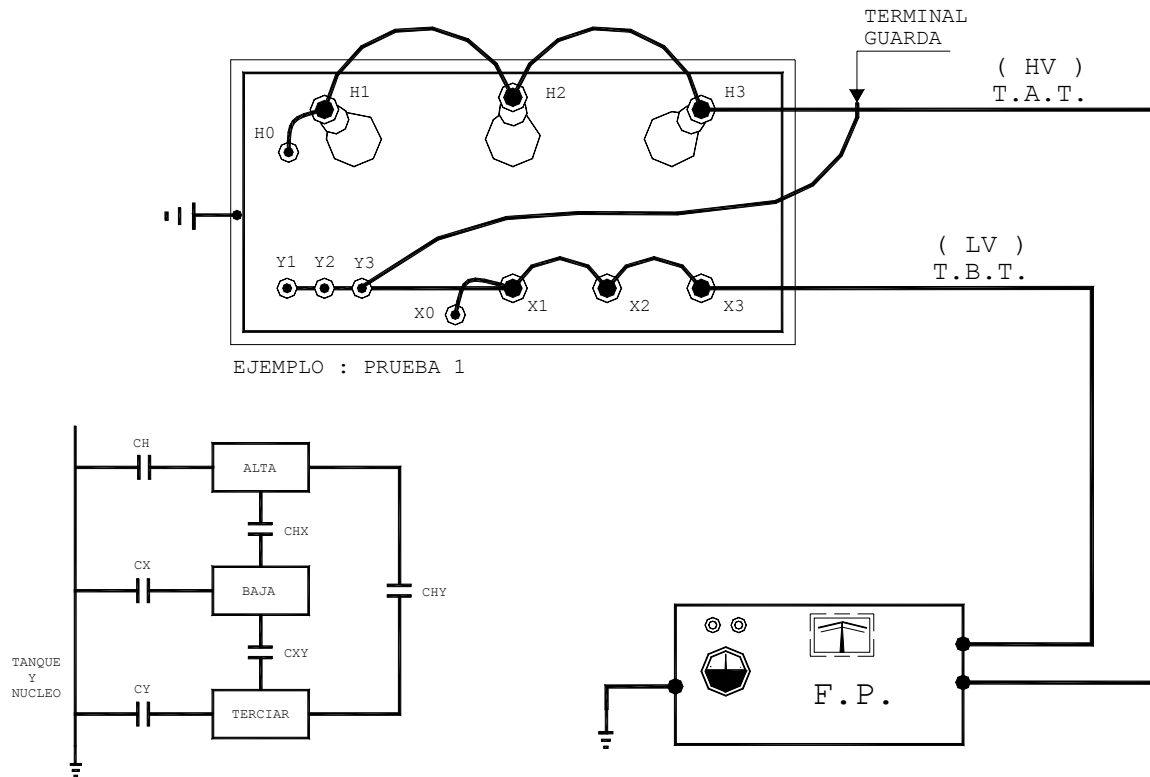
En las figuras 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 se indican las conexiones de los circuitos de prueba de Factor de Potencia para transformadores de dos y tres devanados, autotransformadores y reactores, respectivamente.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	H	X	GROUND	CH+CHX
2	H	X	GUARDA	CH
3	X	H	GROUND	CX+CHX
4	X	H	GUARDA	CX
5	H	X	UST	CHX

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

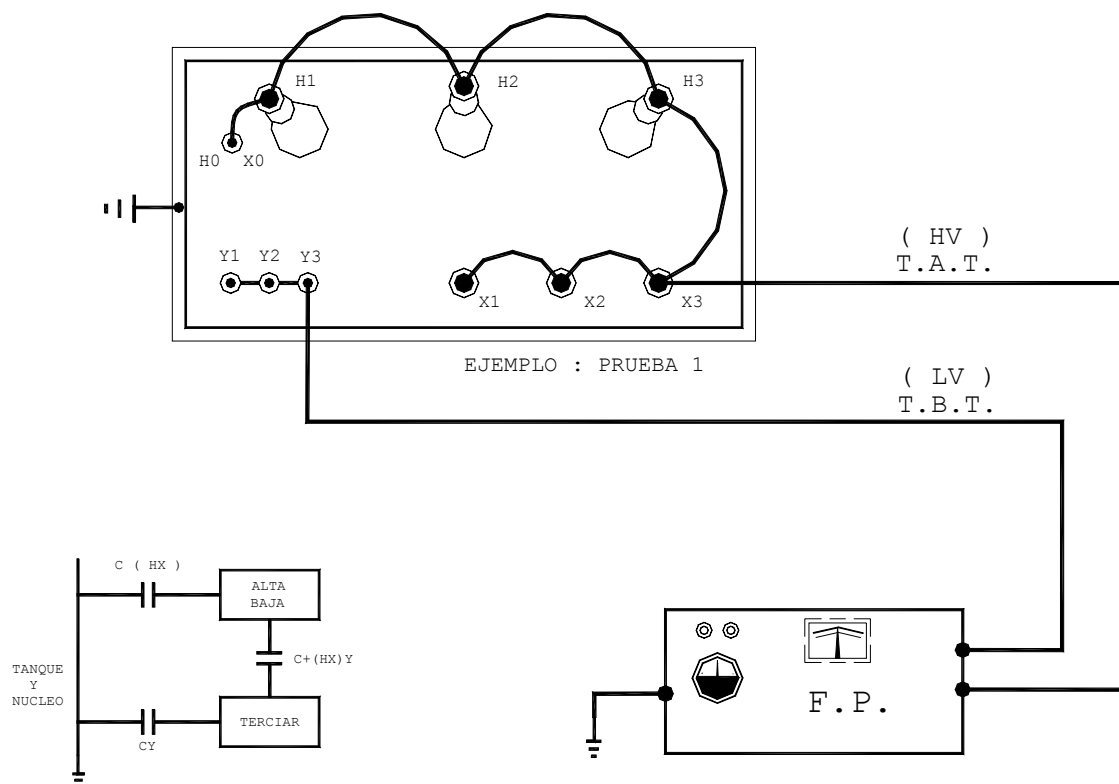
FIG. 3.6 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-02 PARA 2.5 KV ó FORMATO DE PRUEBA SE-03-03 PARA 10 KV.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	GUARDA	SELECTOR	
1	H	X	Y	GROUND	CH+CHX
2	H	X+Y	—	GUARDA	CH
3	X	Y	H	GROUND	CX+CX Y
4	X	H+Y	—	GUARDA	CX
5	Y	H	X	GROUND	CY+CHY
6	Y	H+X	—	GUARDA	CY
7	H	X	Y (TIERRA)	UST	CHX
8	X	Y	H (TIERRA)	UST	CXY
9	Y	H	X (TIERRA)	UST	CHY

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERORIZADO
Tq= TANQUE

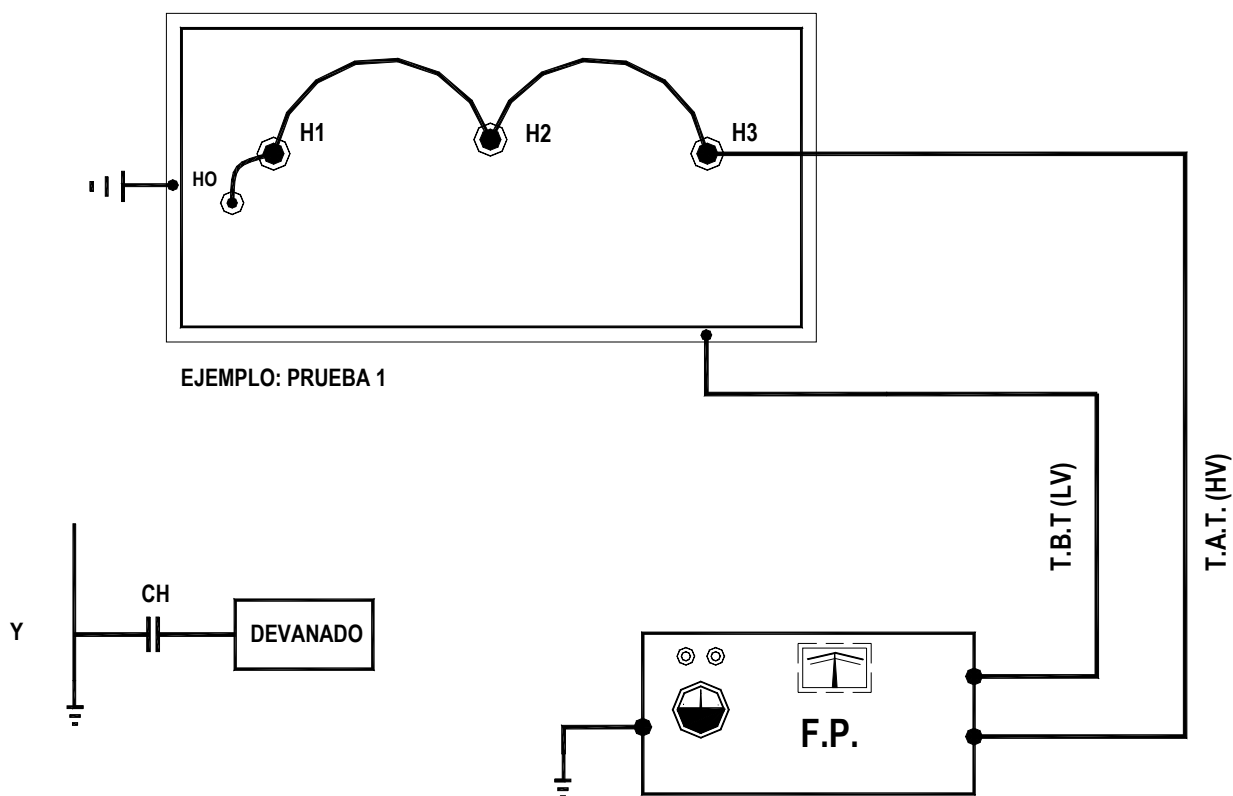
FIG. 3.7 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-04 PARA 2.5 KV ó
FORMATO DE PRUEBA SE-03-05 PARA 10 KV.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	H X	Y	GROUND	C (HX) + C (HX) Y
2	H X	Y	GUARDA	CHX
3	Y	HX	GROUND	CY+C (HX) Y
4	Y	HX	GUARDA	CY
5	HX	Y	UST	C (HX) Y

NOTA: CUANDO EL TRANSF. NO DISPONGA DE BOQUILLAS PARA EL DEVANADO TERCIARIO, SOLAMENTE SE REALIZA LA PRUEBA N° 1 (CH) CONECTANDO LA T.B.T. AL TANQUE. EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 3.8 AUTRANSFORMADORES
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-06 PARA 2.5 KV ó
FORMATO DE PRUEBA SE-03-07 PARA 10 KV.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	.T.B.T.	SECTOR	
1	H	Tq	GROUND	CH

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO
Tq= TANQUE

FIG. 3.9 REACTORES
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-06 PARA 2.5 KV ó
FORMATO DE PRUEBA SE-03-07 PARA 10 KV.

3.3.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS PARA LA EVALUACION DE LAS CONDICIONES DEL AISLAMIENTO.

En la figura 3.10 se muestra esquemáticamente en cada uno de sus incisos, la representación de los aislamientos que constituyen a los transformadores de potencia de dos y tres devanados, autotransformadores y reactores respectivamente, en donde las consideraciones para todos ellos (monofásicos o trifásicos) son las mismas.

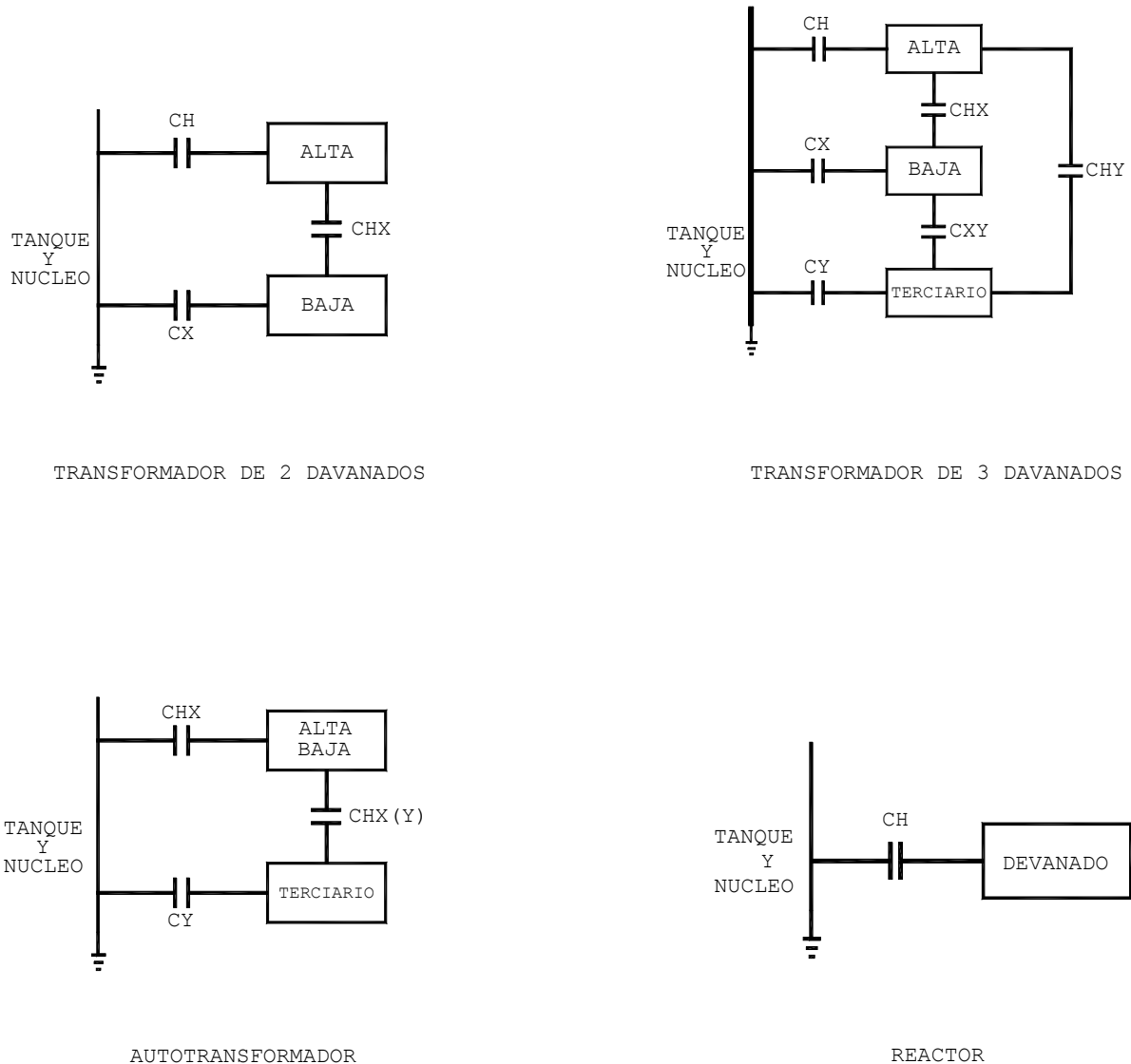


FIG. 3.10 REPRESENTACION ESQUEMATICA PARA AISLAMIENTOS DE TRANSFORMADORES, AUTOTRANSFORMADORES Y REACTORES



Los aislamientos representados como CH, CX y CY, son respectivamente los aislamientos entre el devanado de alta tensión y tierra, el devanado de baja tensión y tierra, y el devanado terciario y tierra. Los aislamientos representados como CHX, CXY y CHY, son los aislamientos entre devanados.

CH- Se refiere al aislamiento entre los conductores de alto voltaje y las partes aterrizadas (tanque y núcleo), incluyendo boquillas, aislamiento del devanado, aislamiento de elementos de soporte y aceite.

CX- Se refiere al aislamiento entre los conductores de bajo voltaje y las partes aterrizadas (tanque y núcleo), incluyendo boquillas, aislamiento del devanado, aislamiento de elementos de soporte y aceite.

CY- Se refiere al aislamiento entre los conductores del terciario y las partes aterrizadas (tanque y núcleo) incluyendo boquillas, aislamiento de devanado, aislamiento de elementos de soporte y aceite.

CHX, CHY y CXY- Se refieren al aislamiento de los dos devanados correspondientes, barreras y aceite entre los devanados.

El criterio a utilizar para considerar un valor de Factor de Potencia aceptable, es que para un transformador con aislamiento clase "A" y sumergido en aceite, el valor debe ser de 0.5 a 1.0 %, a una temperatura de 20 °C.

Para valores mayores al 1.0 % de Factor de Potencia, se recomienda investigar la causa que lo origina, que puede ser provocada por degradación del aceite aislante, humedad y/o suciedad en los aislamientos o por posible deficiencia de alguna de las boquillas. Revisar la estadística de valores obtenidos en pruebas anteriores, con el objeto de analizar la tendencia en el comportamiento de dichos valores. Si se detecta que éstos se han ido incrementando, debe programarse un mantenimiento general.



3.4 PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION.

La prueba de Corriente de Excitación, en los transformadores de potencia, permite detectar daños o cambios en la geometría de núcleo y devanados; así como espiras en cortocircuito y juntas o terminales con mala calidad desde su construcción.

Las pruebas de corriente de excitación se realizan con el medidor de factor de potencia que se disponga.

3.4.1 RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION.

- a) Tomar en cuenta lo establecido en el punto 2.3.1, sobre recomendaciones generales de prueba.
- b) Retirar los conductores de la llegada a las boquillas.
- c) Todas las pruebas de Corriente de Excitación deben efectuarse en el devanado de mayor tensión.
- d) Cada devanado debe medirse en dos direcciones, es decir, primero se energiza una terminal, se registran sus lecturas y enseguida se energiza la otra terminal registrando también sus lecturas; esto con la finalidad de verificar el devanado en sus extremos y corroborar la consistencia de la prueba.
- e) En conexión estrella desconectar el neutro del devanado que se encuentra bajo prueba debiendo permanecer aterrizado el neutro del devanado de menor tensión (caso estrella-estrella).
- f) Asegurar que los devanados no energizados en la prueba, están libres de toda proximidad de personal, cables, etc. en virtud de que al energizar el devanado bajo prueba, se induce un potencial en el resto de los devanados.
- g) El voltaje de prueba en los devanados conectados en Estrella no debe exceder el voltaje nominal de línea a neutro del transformador.
- h) El voltaje de prueba en los devanados conectados en Delta no debe exceder el voltaje nominal de línea a línea del transformador.
- i) Antes de efectuar cualquier medición, al ajustar el voltaje de prueba con el selector en posición Check, verificar que se estabilice la aguja del medidor (en medidores analógicos).

j) Si al efectuar las mediciones se presentan problemas para obtener los valores esperados en la prueba, puede existir magnetismo remanente en el núcleo, recomendándose desmagnetizar este de acuerdo con el tipo de conexión que se tenga en el devanado primario. Otra causa de inestabilidad de la aguja puede deberse a interferencia electromagnética.

k) Se recomienda que para equipo nuevo o reparado que se prepara para puesta en servicio, debe efectuarse la prueba en todas las posiciones (tap's) del cambiador de derivaciones. Para transformadores en operación que son librados para efectuar pruebas eléctricas, se recomienda efectuar la prueba de corriente de excitación únicamente en la posición de operación del cambiador. La razón de esto es que en caso de un desajuste en el cambiador originado por el accionamiento del mismo, el transformador no podría volver a energizarse.

l) Debido al comportamiento no lineal de la Corriente de Excitación a bajos voltajes, es importante que las pruebas se realicen a valores lo más exactos posibles en cuanto a voltaje y lectura de corriente se refiere, para poder comparar los resultados con pruebas anteriores.

3.4.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA PRUEBA.

En la prueba de Corriente de Excitación un factor que afecta las lecturas, en forma relevante, es el magnetismo remanente en el núcleo del transformador bajo prueba. Este magnetismo es indeseable por dos razones:

1.- Al volver a conectar un transformador con magnetismo remanente, la corriente INRUSH aumenta considerablemente.

2.- Puede originar valores anormales de Corriente de Excitación durante las pruebas, al analizar las condiciones de los devanados o alguno de ellos en especial.

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

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

La ventaja de éste método, es que se pueden aplicar voltajes de 6, 12 o 24 volts que normalmente se utilizan en acumuladores de automóvil o equipos de tracción, por lo que estas fuentes de alimentación pueden conseguirse fácilmente.

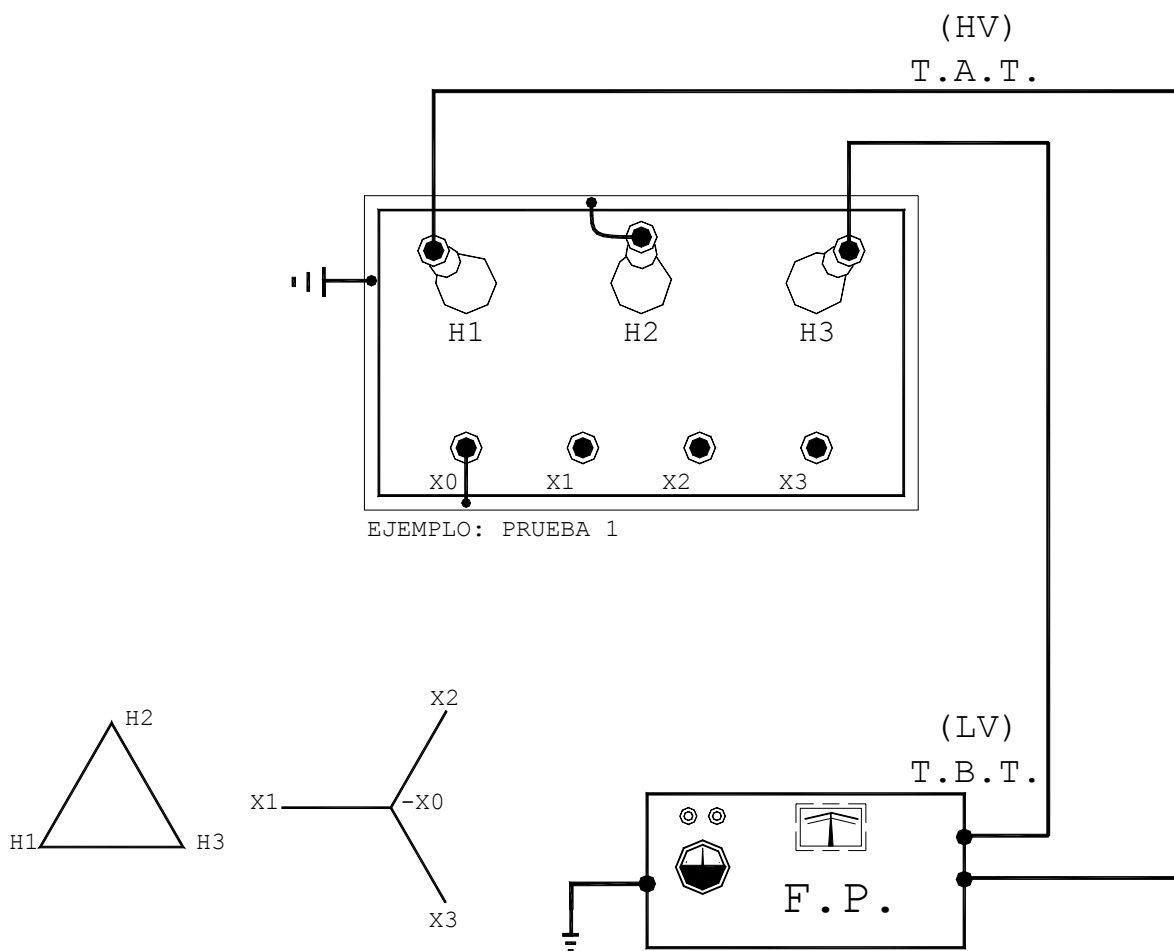
Para llevar a cabo la desmagnetización de un núcleo es necesario contar con un interruptor doble polo-doble tiro, un reóstato, un acumulador, un ampermetro y conductores de calibre apropiado. La corriente aplicada a los devanados no debe ser mayor del 15% de la corriente nominal del transformador que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

Después de haber realizado lo anterior, volver a efectuar la prueba de corriente de excitación, con la finalidad de verificar si el magnetismo remanente se eliminó; si esto fue así, la prueba de corriente de excitación debe ser satisfactoria, de lo contrario existe otro tipo de problema en el transformador o el magnetismo remanente continúa, por lo cuál se debe de investigar el problema con mayor detalle.

3.4.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras, de la 3.11 a la 3.16, se muestran las conexiones de prueba de corriente de excitación para los transformadores de dos y tres devanados, autotransformadores y reactores.

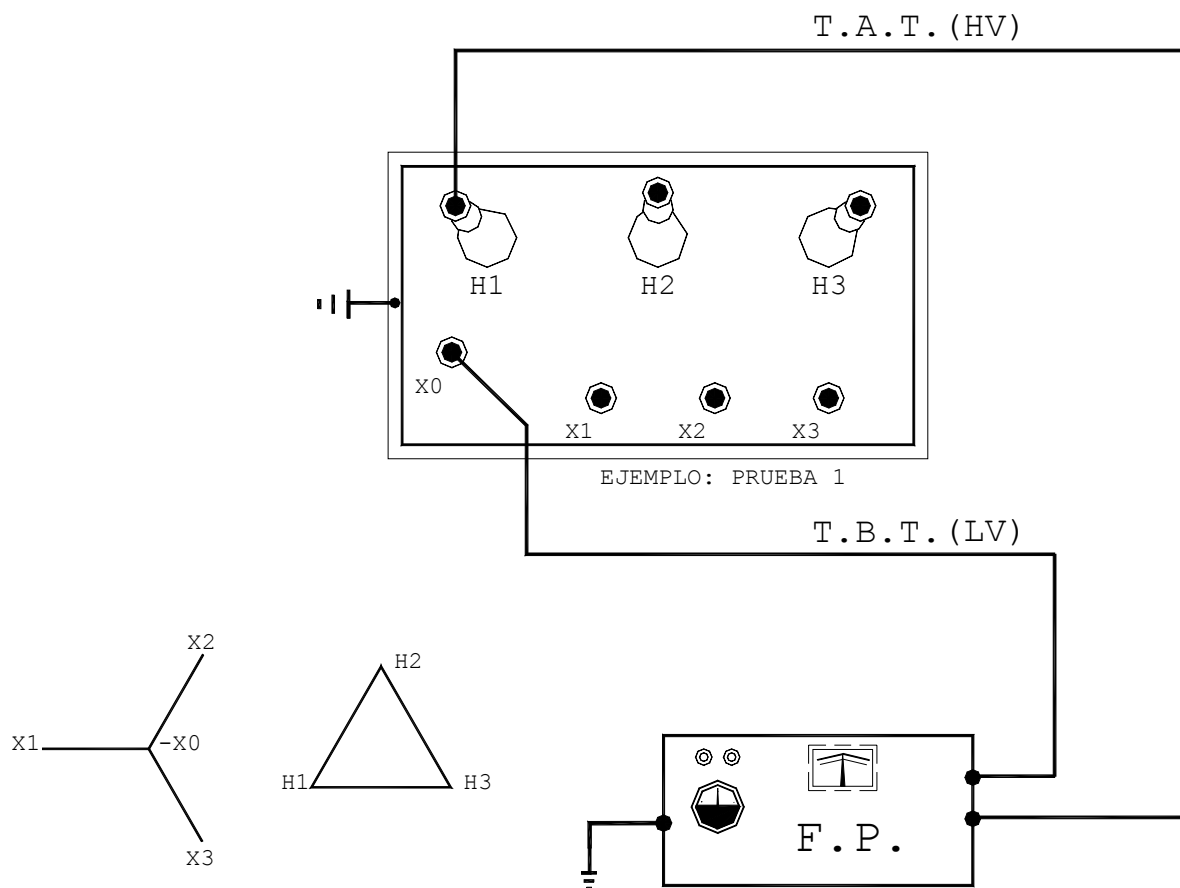
Las pruebas se realizan con el selector (LV) en la posición de UST. El medidor de 2.5 kV da el resultado en mVA que al dividirlo entre el voltaje de prueba de 2500 volts, se obtiene la corriente de excitación. Los medidores de 10 kV y 12 kV dan la lectura en mA directamente.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	ATERRIZAR	SELECTOR	
1	H1	H3	H2, Xo	UST	I A-C
2	H2	H1	H3, Xo	UST	I B-A
3	H3	H2	H1, Xo	UST	I C-B

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

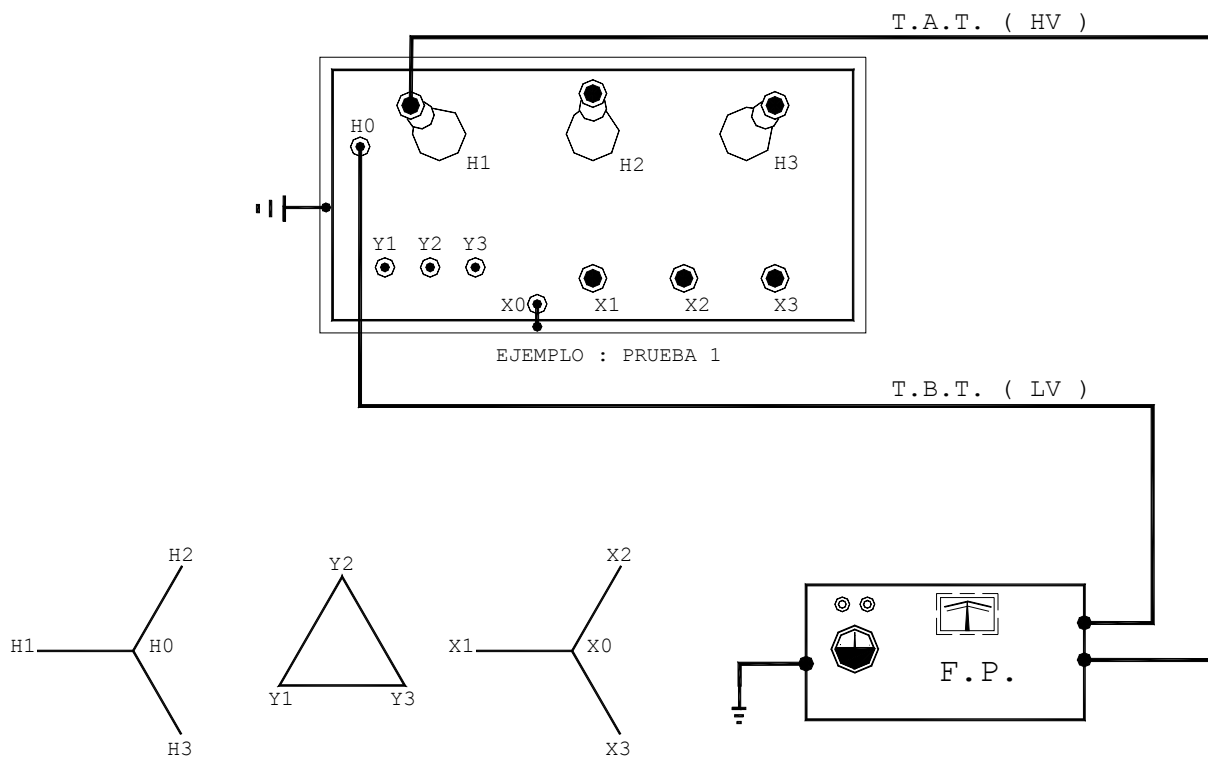
FIG. 3.11 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
TRANSFORMADOR CON DEVANADO DE A.T. EN DELTA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-08



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	H1	H0	UST	IA
2	H2	H0	UST	IB
3	H3	H0	UST	IC

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERORIZADO

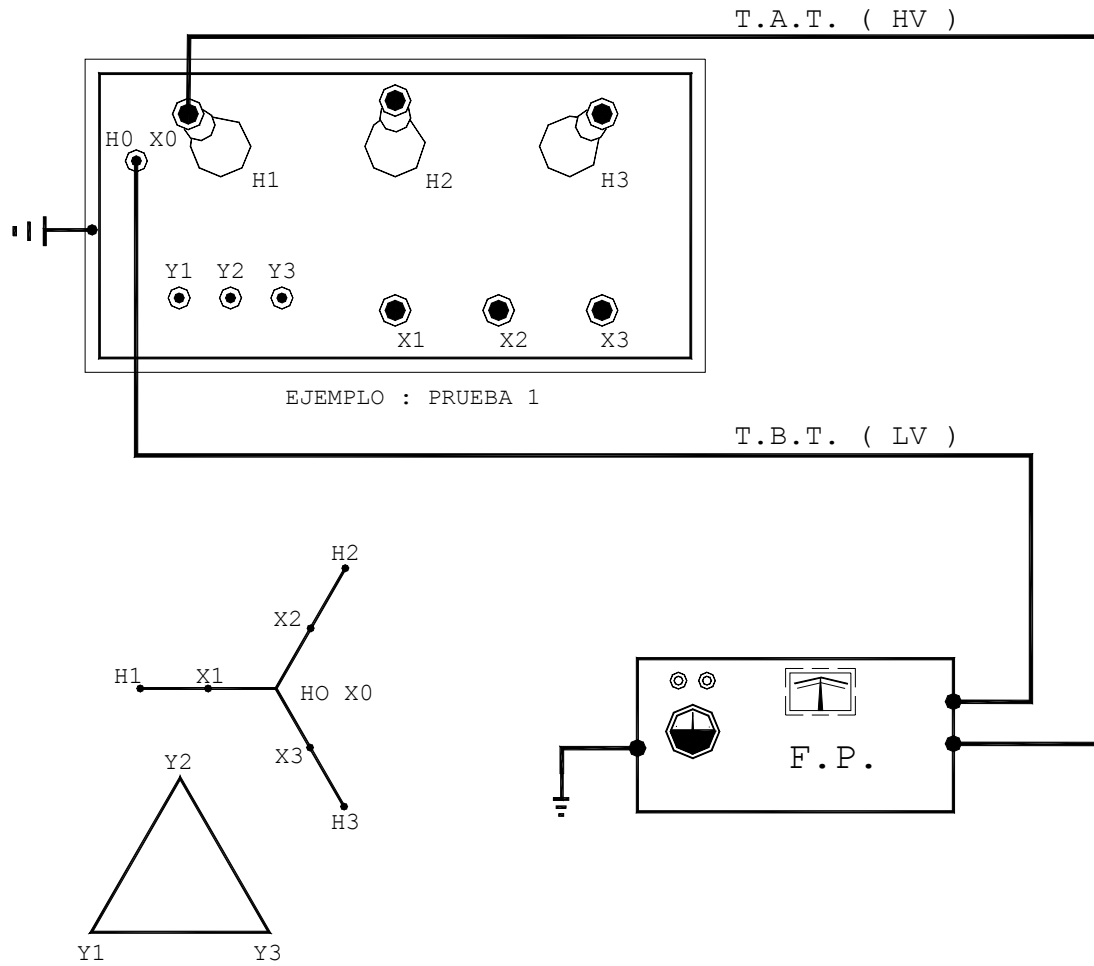
FIG. 3.12 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
TRANSFORMADOR CON DEVANADO DE A.T. EN ESTRELLA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-09



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	ATERRIZAR	SELECTOR	
1	H1	H0	X0	UST	I A
2	H2	H0	X0	UST	I B
3	H3	H0	X0	UST	I C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

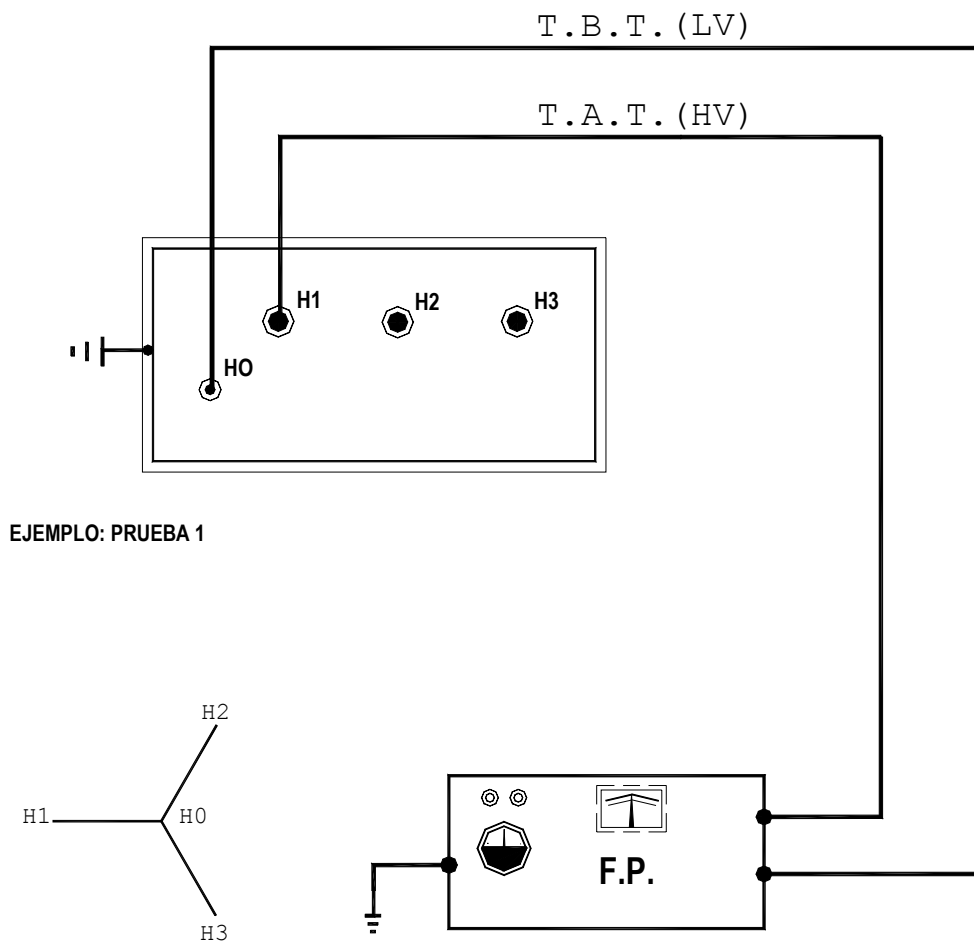
FIG. 3.13 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-09



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	H1	H0 X0	UST	I A
2	H2	H0 X0	UST	I B
3	H3	H0 X0	UST	I C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

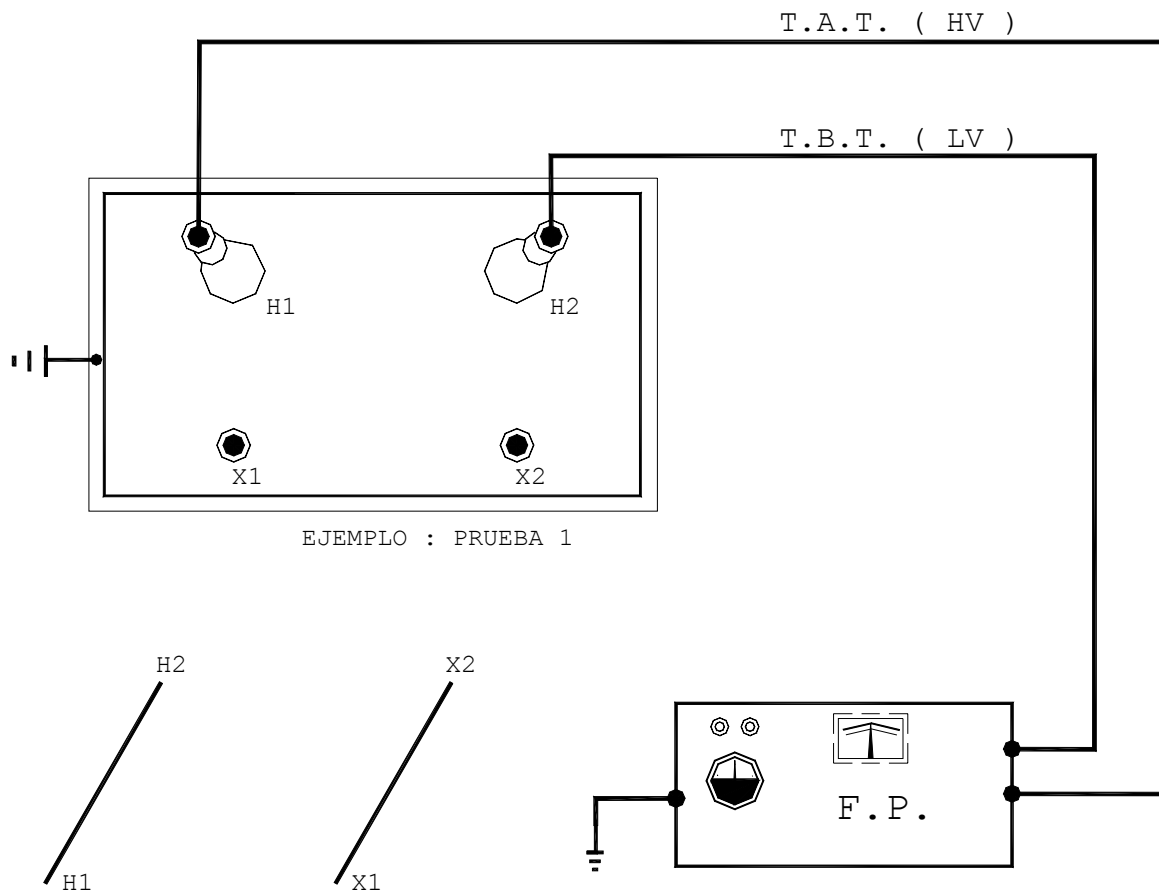
FIG. 3.14 AUTOTRANSFORMADORES
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-09



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	H1	H0	UST	I A
2	H2	H0	UST	I B
3	H3	H0	UST	I C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERORIZADO

FIG. 3.15 REACTORES
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-09



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	ATERRIZAR	SELECTOR	
1	H1	H2	Tq	UST	I A-B
2	H2	H1	Tq	UST	I B-A

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

Fig. 3.16 TRANSFORMADORES MONOFASICOS
PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-10

3.4.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Una corriente excesiva puede deberse a un corto circuito entre dos o varias espiras del devanado cuyo valor se adiciona a la corriente normal de excitación. También el exceso de corriente puede deberse a defectos dentro del circuito magnético como pueden ser fallas en el aislamiento de los tornillos de sujeción del núcleo o aislamiento entre laminaciones.

Se recomienda que los resultados se comparen entre unidades similares cuando se carezca de datos anteriores o de alguna estadística sobre el equipo bajo prueba, que permita efectuar dicha comparación.

Otra manera para evaluar los resultados de las pruebas en transformadores con conexión delta en alta tensión, es que el valor de corriente obtenido en la medición de la fase central (H2-H1) debe ser aproximadamente la mitad del valor de las fases adyacentes (H1-H3), (H3-H2).

Para transformadores con conexión estrella, el valor de la corriente en la fase central (H2-H0), debe ser ligeramente menor al valor de las corrientes en las fases adyacentes (H1-H0), (H3-H0).

En transformadores de potencia que cuentan con cambiador de derivaciones bajo carga, pueden existir algunas excepciones al realizar esta prueba, ya que algunas veces es posible excitar a 10 kV cuando el autotransformador de prevención asociado con cada fase del cambiador de derivaciones no esta incluido en la medición, de otra manera será posible excitar el devanado con un relativo bajo voltaje (por ejemplo 2 kV) cuando la posición del cambiador es tal que el autotransformador preventivo esta incluido en el circuito del devanado. Por consiguiente, esta es una de las situaciones en donde se realizan pruebas de corriente de excitación a voltajes de 10 kV en posiciones en las cuales no esta incluido el autotransformador preventivo y en algunas pruebas se debe utilizar un menor voltaje cuando el autotransformador preventivo esta incluido en el circuito del devanado bajo prueba.

3.4.5 VALORES CARACTERISTICOS PARA LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.

Es importante considerar los criterios de valoración para la prueba de corriente de excitación, mas que contar con una base de datos de valores típicos de la corriente de excitación en transformadores de potencia.

La prueba, como se ha mencionado con anterioridad, consiste en determinar la corriente (en miliamperes) que circula en una fase o fases del devanado de alta tensión de un transformador bajo prueba, con el devanado de media tensión flotando, pero con la

conexión de la terminal X0 conectada a tierra (por la conexión estrella del devanado secundario)

La prueba siempre debe realizarse en el devanado de mayor tensión, independientemente del tipo de transformador que se trate, ya sea elevador o reductor.

Siempre de debe realizar la prueba de corriente de excitación aplicando el mismo voltaje de prueba para todas las fases, además de aplicarlo en un extremo del devanado y posteriormente aplicarlo en sentido inverso, para descartar con esto un problema en los extremos del devanado bajo prueba y efectuar la medición en los dos sentidos de flujo magnético.

El análisis de los resultados de la prueba de corriente de excitación define que para un transformador monofásico, la lectura de corriente en un sentido debe ser igual al valor de corriente en sentido inverso.

Para la transformadores trifásicos conectados en delta del lado de alta tensión, el modelo en las lecturas de corriente esperados debe ser similar en las fases A y C; la fase B debe tener una lectura mas baja, estadísticamente con un valor casi de la mitad comparativamente al de las dos primeras. Ello por la ubicación física y eléctrica de esta bobina con respecto a las otras dos.

En transformadores de potencia con cambiador de derivaciones para operar sin carga, en el devanado de alta tensión, es necesario realizar la prueba de corriente de excitación en cada una de sus derivaciones, para las pruebas de puesta en servicio, con el objeto de contar con los valores de referencia del transformador. Para transformadores en servicio debe efectuarse únicamente en el tap de operación en forma rutinaria.

Una evaluación rápida de estas lecturas toma el criterio de que a mayor voltaje de operación del devanado de alta tensión se debe esperar menos corriente en la medición; es decir, al iniciar la prueba en el tap número 1 se deben obtener valores cada vez mayores hasta llegar al tap número 5, estos valores medidos de la corriente de excitación deben compararse con valores obtenidos en pruebas efectuadas con anterioridad o de puesta en servicio.

La prueba de corriente de excitación también se realiza a transformadores que cuentan con cambiadores de derivaciones para operar con carga.

Cuando se tiene un cambiador de derivaciones para operar bajo carga en el devanado de media tensión, las lecturas pueden diferir para las varias derivaciones, esperándose que la relación entre ellas permanezca inalterada para cada derivación.

Las lecturas para las pruebas en las posiciones impares deben tender a ser iguales. Las lecturas para las pruebas en las posiciones pares deben tender a ser iguales.



En este tipo de transformadores es necesario realizar la prueba de corriente de excitación en sus posiciones pares, los valores de lectura deben de ser muy similares considerando el modelo que se tiene para transformadores trifásicos.

Un valor de lectura diferente no siempre es indicio de que exista un problema en el devanado, puede ser que exista magnetismo remanente en el núcleo del transformador bajo prueba, por lo que se sugiere investigar la causa y complementarla con otras pruebas.

Algunas veces en las posiciones impares no es posible obtener lectura de corriente de excitación, lo cual no significa que exista un problema en el devanado, si no que en esta posición intervienen elementos tales como el reactor, el transformador serie, etc., los cuales demandan una mayor corriente (mas de 300 miliamperes) que la mayoría de los equipos de prueba no pueden registrar. En caso de que esto suceda, debe verificarse la correcta operación de estas derivaciones, con la prueba de relación de transformación.

Las tablas 3.4 que se presentan a continuación, muestran algunos valores típicos de corriente de excitación obtenidos de transformadores que se encuentran en operación, mismos que no pretenden establecer una regla en cuanto al comportamiento de los mismos, sino más bien una guía auxiliar con valores de referencia obtenidos en campo.

**TABLA 3.4 PRUEBA CORRIENTE DE EXCITACION (VALORES DE REFERENCIA)****PRUEBAS DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN A TRANSFORMADORES (mA)**

MARCA	RELACION	MVA	CONEXIÓN	TAP	H1-H0 H1-H3	H2-H0 H2-H1	H3-H0 H3-H2
IEM	69.3-23.8	24/32/40	D-Y	1	44.20	17.27	44.80
	66.0-23.8			3	48.65	19.95	49.15
	62.5-23.8			5	53.35	22.10	54.10
IESA	69.3-23.8	12/16/20	D-Y	1	19.00	11.00	19.25
	66.0-23.8			3	20.50	11.10	20.10
	62.7-23.8			5	22.25	12.10	22.00
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	33.05	15.35	34.10
	69.0-23.8			2	34.45	15.95	35.70
	63.8-23.8			5	39.45	18.05	40.70
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	33.82	15.12	34.72
	69.0-23.8			2	34.83	16.00	35.70
	63.8-23.8			5	39.45	17.95	39.80
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	37.90	16.50	34.60
	69.0-23.8			2	39.50	17.10	35.90
	63.8-23.8			5	45.70	19.20	41.55
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	39.00	16.05	39.65
	69.0-23.8			2	39.50	16.10	39.20
	63.8-23.8			5	45.55	18.55	45.50
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	38.00	16.80	39.60
	69.0-23.8			2	39.40	17.30	40.50
	63.8-23.8			5	44.60	19.50	46.50
PICMSA	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	35.00	15.45	36.25
	69.0-23.8			2	36.60	16.17	38.00
	63.8-23.8			5	41.60	18.35	42.90
PROLEC	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	29.30	11.75	29.40
	69.0-23.8			2	30.55	12.27	30.65
	63.8-23.8			5	42.40	13.90	34.85
PROLEC	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	29.88	12.40	29.68
	69.0-23.8			2	31.13	12.91	30.90
	63.8-23.8			5	35.23	14.53	35.01
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	35.35	15.70	34.7
	69.0-23.8			2	36.80	16.40	36.15
	63.8-23.8			5	42.80	18.95	41.90



TABLA 3.4 PRUEBACORRIENTE DE EXCITACION (VALORES DE REFERENCIA)

PRUEBAS DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN A TRANSFORMADORES (mA)							
MARCA	RELACION	MVA	CONEXIÓN	TAP	H1-H0 H1-H3	H2-H0 H2-H1	H3-H0 H3-H2
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	42.35	19.92	40.90
	69.0-23.8			2	44.55	20.95	43.20
	63.8-23.8			5	50.55	23.80	49.20
IEM	70.7-23.8	24/32/40	D-Y	1	38.75	17.05	39.60
	69.0-23.8			2	40.17	17.60	40.65
	63.8-23.8			5	45.50	19.70	46.22
IEM	70.7-22.9	20/25	D-Y	1	36.17	14.90	34.47
	69.0-22.9			2	37.50	15.40	35.75
	63.8-22.9			5	42.40	17.27	40.55
OSAKA	70.7-23.9	20/25	D-Y	1	44.00	19.02	43.10
	69.0-22.9			2	45.50	19.95	44.70
	63.8-22.9			5	51.27	22.67	50.40
IEM	70.7-23.8	12/16/20	D-Y	1	20.50	10.17	20.10
PROLEC	70.72-23.8	12/16/20	D-Y	1	20.30	9.55	18.97
	69.0-23.8			2	21.78	10.35	20.19
	63.82-23.8			5	24.23	11.30	22.63
IEM	70.72-23.8	12/16/20	D-Y	1	23.41	9.14	23.32
	69.0-23.8			2	24.38	9.53	24.30
	63.82-23.8			5	27.88	10.78	27.75
PROLEC	70.72-23.8	24/32/40	D-Y	1	28.15	11.30	28.05
	69.0-23.8			2	29.30	11.90	29.05
	63.82-23.8			5	33.70	13.70	33.40
PICMSA	72.6-23.8	24/32/40	D-Y	1	30.50	12.60	31.45
	66.0-23.8			17	36.10	14.75	36.15
	59.4-23.8			33	44.20	17.50	43.60
IEM	115.5-23.8	12/16/20	D-Y	1	6.92	2.96	6.63
	110.0-23.8			3	7.39	3.13	7.11
	104.5-23.8			5	7.94	3.35	7.67
IEM	115.0-23.8	12/16/20	D-Y	1	8.11	3.05	6.64
	110.0-23.8			3	8.71	3.14	7.08
	104.5-23.8			5	9.00	3.24	7.66
ACEC	117.8-13.8	10/12.5	D-Y	1	10.29	4.69	10.65
	115.0-13.8			2	10.75	4.90	10.92
	106.2-13.8			5	12.20	5.50	12.38



TABLA 3.4 PRUEBA CORRIENTE DE EXCITACION (VALORES DE REFERENCIA)

PRUEBAS DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN A TRANSFORMADORES (mA)

MARCA	RELACION	MVA	CONEXIÓN	TAP	H1-H0 H1-H3	H2-H0 H2-H1	H3-H0 H3-H2
IEM	117.8-23.8	18/24/30	D-Y	1	12.25	5.30	10.10
	115.0-23.8			2	12.55	5.40	10.50
	105.5-23.8			5	14.10	6.10	14.10
VOLTRAN	115.5-23.8	12/16/20	D-Y	3	7.75	3.04	7.63
IEM	115.5-23.8	12/16/20	D-Y	3	7.04	2.39	6.58
PROLEC	117.8-13.8	12/16/20	D-Y	1	6.37	3.13	6.63
	115.0-13.8			2	6.65	3.27	6.89
	106.3-13.8			5	7.61	3.71	7.90
PROLEC	117.8-23.0	18/24/30	D-Y	1	7.81	3.72	7.72
	115.0-23.0			2	8.15	3.87	8.06
	106.3-23.0			5	9.31	4.41	9.19
PROLEC	117.8-23.0	18/24/30	D-Y	1	9.97	4.02	10.67
	115.0-23.0			2	10.41	4.19	11.16
	106.3-23.0			5	11.86	4.77	12.68
VOLTRAN	24.15-13.8	5.0/6.25	Y-Y	1	78.17	52.52	75.54
	23.00-13.8			3	86.27	57.80	83.41
	21.85-13.8			5	95.92	64.10	92.74
IESA	21.85-13.8	3.5	Y-Y	4	115.20	74.03	112.70

3.4.6 METODO ALTERNO PARA LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION.

Al realizar esta prueba a transformadores conectados en delta en el devanado de alta tensión, es posible realizarla de diferentes formas y el resultado tiene que ser el mismo. A continuación se describen a detalle estos tres métodos con base en el diagrama vectorial de la siguiente figura:

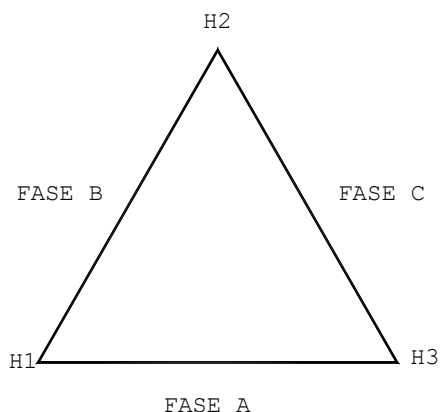


FIG. 3.17 DIAGRAMA VECTORIAL PARA UN DEVANADO CONEXIÓN DELTA

PRIMER METODO

FASE	CABLE HV	CABLE LV	TIERRA	DIRECCION
A	H3	H1	H2,Xo	H3-H1
B	H1	H2	H3,Xo	H1-H2
C	H2	H3	H1,Xo	H2-H3

* POSICION DEL CABLE LV EN UST.

SEGUNDO METODO

FASE	CABLE HV	CABLE LV	TIERRA	DIRECCION
A	H1	H3	H2,Xo	H1-H3
B	H2	H1	H3,Xo	H2-H1
C	H3	H2	H1,Xo	H3-H2

• POSICION DEL CABLE LV EN UST.

TERCER METODO

CABLE HV	CABLE LV	TIERRA	DIRECCION
H1	H2,H3	Xo	(H1-H2) + (H1-H3)
H2	H3,H1	Xo	(H2-H3) + (H2-H1)
H3	H1,H2	Xo	(H3-H1) + (H3-H2)

* POSICION DEL CABLE LV EN UST.

Si se sustituyen las direcciones por las fases medidas, se tiene lo siguiente:

PRUEBA	CABLE HV	CABLE LV	TIERRA	FASES MEDIDAS
1	H1	H2,H3	Xo	B+A
2	H2	H3,H1	Xo	C+B
3	H3	H1,H2	Xo	A+C

• POSICION DEL CABLE LV EN UST.

Para obtener la corriente de la fase B: Sumar pruebas 1 y 2, restar prueba 3 y dividir entre 2.

$$\begin{array}{rcl}
 (1) & B + A & (R) \quad 2B + C + A \\
 & + & - \\
 (2) & \underline{C + B} & (3) \quad \underline{(A + C)} \\
 (R) & 2B + C + A & 2B
 \end{array}$$

$$2B / 2 = B$$

Para obtener la corriente de la fase C: Sumar pruebas 2 y 3, restar prueba 1 y dividir entre 2.

$$\begin{array}{rcl}
 (2) & C + B (2) & (R) \quad 2C + B + A \\
 & + & - \\
 (3) & \underline{A + C (3)} & (1) \quad \underline{(B + A)} \\
 (R) & 2C + B + A & 2C
 \end{array}$$

$$2C / 2 = C$$



Para obtener la corriente de la fase A: Sumar pruebas 3 y 1, restar prueba 2 y dividir entre 2.

$$\begin{array}{r} (3) \quad A + C \\ + \\ (1) \quad B + A \\ \hline (R) \quad 2A + C + B \end{array}$$

$$\begin{array}{r} (R) \quad 2A + C + B \\ - \\ (2) \quad (C + B) \\ \hline 2A \end{array}$$

$$2A / 2 = A$$

3.5 PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION.

Se debe realizar la prueba de relacion de transformaci3n en todas las posiciones del cambiador de derivaciones antes de la puesta en servicio del transformador. Para transformadores en servicio, efectuar la prueba en la posicion de operaci3n o cuando se lleva a cabo un cambio de derivaci3n.

Tambien se realiza cada vez que las conexiones internas son removidas debido a la reparaci3n de los devanados, reemplazo de bushings, mantenimiento al cambiador de derivaciones, etc.

La prueba determina:

- Las condiciones del transformador despu3s de la operaci3n de protecciones primarias tales como: diferencial, buchholz, fusibles de potencia, etc.
- Identificaci3n de espiras en corto circuito.
- Investigaci3n de problemas relacionados con corrientes circulantes y distribuci3n de carga en transformadores en paralelo.
- Cantidad de espiras en bobinas de transformadores.
- Circuito abierto (espiras, cambiador, conexiones hacia boquillas, etc.)

3.5.1 PRUEBA APLICANDO 10 KV Y UTILIZANDO UN CAPACITOR AUXILIAR

Existe un m3todo alternativo para determinar la relaci3n de vueltas en un transformador aplicando un voltaje de 10 kv, este m3todo utiliza un capacitor auxiliar de 10 kV.

La prueba consiste en efectuar la medici3n de la capacitancia de este dispositivo auxiliar en forma independiente (C1), y su capacitancia aparente (C2) cuando es conectado en el lado del devanado de menor tensi3n.

3.5.1.1 PRINCIPIO DE LA PRUEBA

El principio del m3todo para la medici3n de la relaci3n de transformaci3n se muestra en las figuras 3.18 y 3.19. donde se puede observar que el capacitor auxiliar (Ca), es fundamental para la medici3n.

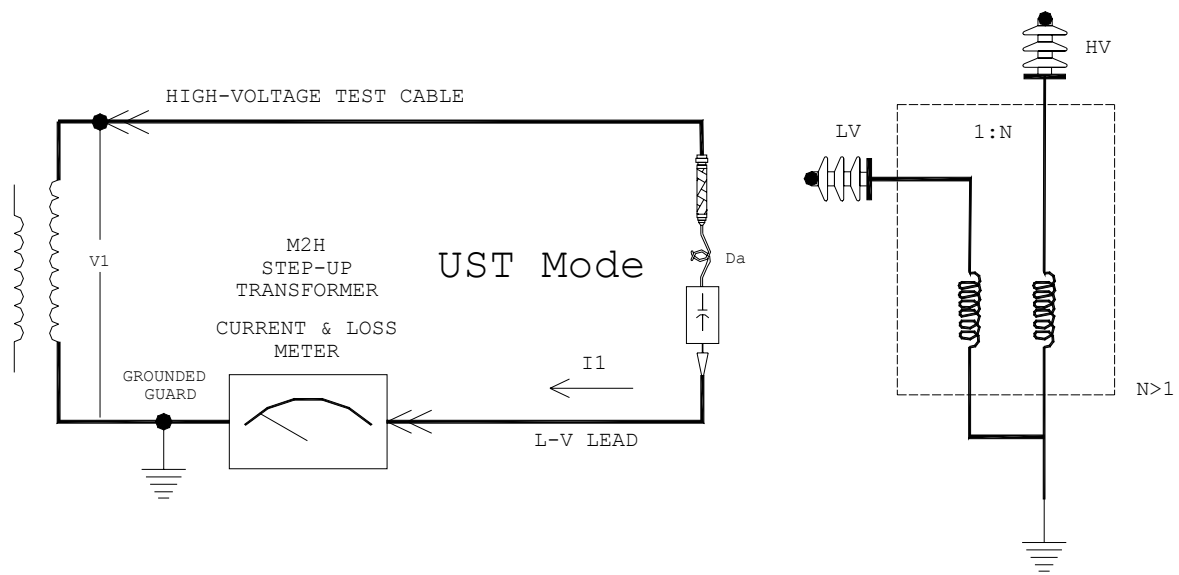


FIG. 3.18 MEDICION DE C1

De la figura anterior: $I1 = V1 \square (Ca)$

La capacitancia medida Ca es identificada como $C1$. Para la medición de la capacitancia (Ca) del capacitor auxiliar, con el equipo de prueba y el capacitor conectado como se muestra en la figura 3.18, se mide el valor de la capacitancia $C1$.

Cuando el capacitor auxiliar se prueba de manera independiente, se encuentra bajo el voltaje total de prueba $V1$, y una corriente de carga $I1$ de acuerdo con la ecuación anterior. Esta corriente es esencialmente capacitiva debido a que el capacitor tiene un diseño estable.

Cuando el capacitor esta conectado a las boquillas del lado del devanado de menor tensión tal como se muestra en la figura 3.19, se tiene una nueva medición de capacitancia $C2$. En otras palabras, cuando se conecta en uno de los extremos del devanado de menor tension del transformador y no directamente al voltaje de prueba $V1$, se tiene un valor en el capacitor inferior al valor de capacitancia de $C1$. La capacitancia $C2$ es obtenida como se muestra en la figura 3.19.

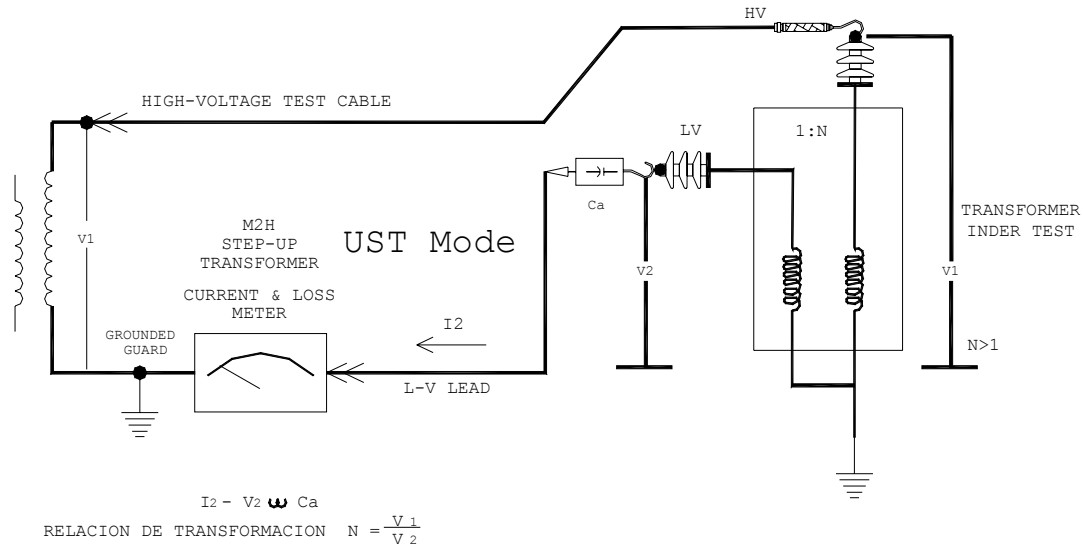


FIG. 3.19 MEDICION DE C2

Por otra parte es importante señalar que el voltaje de prueba no debe exceder la tensión de operación de los devanados del transformador. Para devanados con conexión estrella, el voltaje de prueba no debe de exceder la tensión de línea a neutro. Todas las mediciones de relación de transformación se realizan en el devanado de alta tensión y el capacitor auxiliar se conecta al devanado de menor tensión. En el caso que se requiera realizar la prueba a un transformador de tres devanados, se realizan tres series de pruebas. Comenzando entre el devanado primario y el devanado secundario, después entre el devanado primario y el devanado terciario y por ultimo entre el devanado secundario y el devanado terciario.

3.5.1.2 CORRECCION POR TEMPERATURA

La variacion de la capacitancia del capacitor auxiliar esta en funcion de la temperatura cuando ha sido medida sobre el rango de -20°C a $+50^{\circ}\text{C}$. Los resultados se muestran en la gráfica de la figura 3. 20.

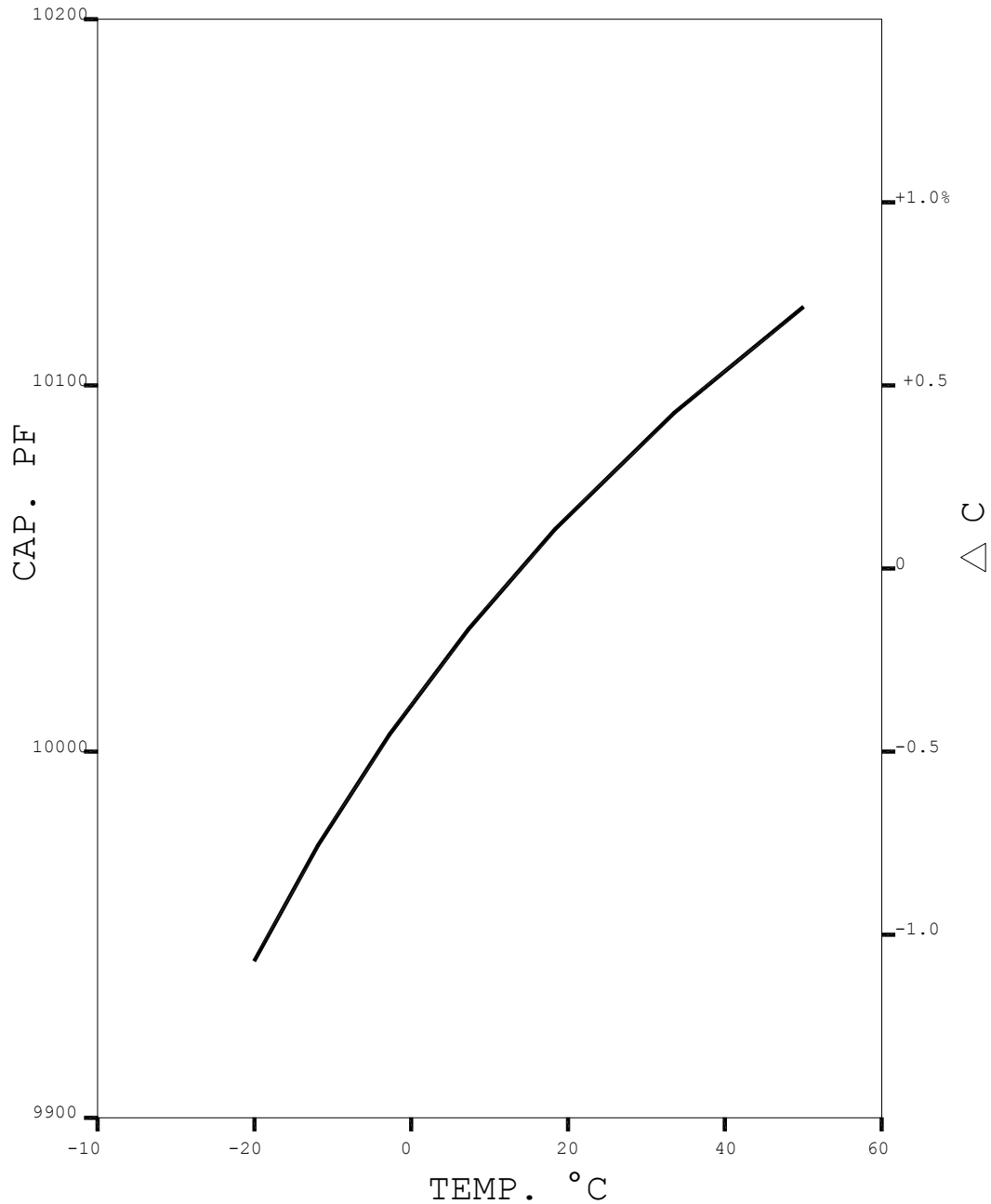


FIG. 3.20 VARIACION DE LA CAPACITANCIA CON LA TEMPERATURA

De la gráfica anterior se puede observar que la capacitancia se incrementa aproximadamente 0.25% por cada 10 °C. Por esta razón cuando el capacitor sea expuesto directamente al sol es recomendable realizar la prueba en el menor tiempo posible.

3.5.2 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD.

- a) Tomar en cuenta lo establecido en el punto 2.3.1, sobre recomendaciones generales de prueba.
- b) Colocar el medidor sobre una superficie firme y nivelada, tal que la manivela pueda ser operada sin interrupciones y aterrizar el equipo.
- c) Anotar los datos de placa y diagrama vectorial del equipo a probar. El diagrama vectorial es la referencia para conectar el medidor adecuadamente.
- d) Calcular la relación teórica, tomando en cuenta que la relación a medir es por fase correspondiente de alta y baja tensión de los transformadores trifásicos.
- e) Para probadores monofasicos manuales-analogicos:
 - Conectar las terminales de excitación del TTR, GN y GR al devanado de baja tensión del transformador bajo prueba, y las terminales secundarias CN y CR se deben conectar al devanado de alta tensión.
 - Los valores de relación teóricos calculados sirven de base para seleccionar el valor esperado en el medidor.
 - Accionar la manivela manteniendo 8 volts de excitación y operar los selectores de menor rango hasta lograr la deflexión nula en el galvanómetro. (Solo para probadores monofasicos manuales-analogicos).
 - En caso de no contar con datos de placa del transformador actuar de la siguiente manera: Girar el primer selector un paso en el sentido de las manecillas del reloj, accionar la manivela del generador 1/4 de vuelta y observar el galvanómetro; si aun se deflexiona hacia la izquierda, continuar girando el selector en el sentido de las manecillas del reloj hasta que finalmente en uno de los pasos, la aguja del galvanómetro se deflexione hacia la derecha, mientras tanto, continuar girando la manivela. Regresar un paso el selector, la aguja del galvanómetro se deflexiona hacia la izquierda. Repetir el procedimiento para el segundo y tercer selector. Accionar lentamente el cuarto selector (potenciómetro) en el sentido de las manecillas del reloj hasta que la deflexión de la aguja del galvanómetro sea mínima y continuar girando lentamente la manivela del generador. Incrementar su velocidad hasta obtener una lectura de 8 volts, en ese momento ajustar el cuarto selector hasta que la aguja del galvanómetro no se deflexione fuera de la marca central de balance.
- f) Para el metodo de capacitancias:
 - Retirar los conductores de llegada a las boquillas, sin desconectar el bajante de la terminal X0 o H0-X0 según el transformador bajo prueba.

- Realizar la prueba del capacitor auxiliar en forma independiente y anotar su valor en caso de utilizar un factor de potencia que no sea automático.
- Analizar el diagrama vectorial para realizar la prueba correctamente.
- Antes de conectar el capacitor auxiliar al transformador, conectar la terminal de bajo voltaje del equipo de factor de potencia (LV) a la terminal de bajo voltaje del capacitor auxiliar.
- Conectar la terminal de alto voltaje del capacitor auxiliar a la terminal de bajo voltaje del transformador a probar.
- El equipo de factor de potencia debe posicionarse en el modo UST
- Con el capacitor auxiliar conectado apropiadamente al transformador y el cambiador de derivaciones en la posición que se desea medir, se aplica un voltaje de 10 KV, si no se puede aplicar este voltaje entonces seleccionar uno mas bajo.
- Se obtiene el valor de C2.
- El voltaje mayor de prueba no debe exceder el rango de voltaje de los devanados.
- Registrar el valor de la capacitancia en cada una de las pruebas.
- La relación de transformación se calcula de la siguiente manera: se divide el valor de capacitancia obtenido en la prueba independiente del capacitor entre el valor de la capacitancia obtenido en la medición del capacitor conectado en el lado de menor tensión de los devanados del transformador.

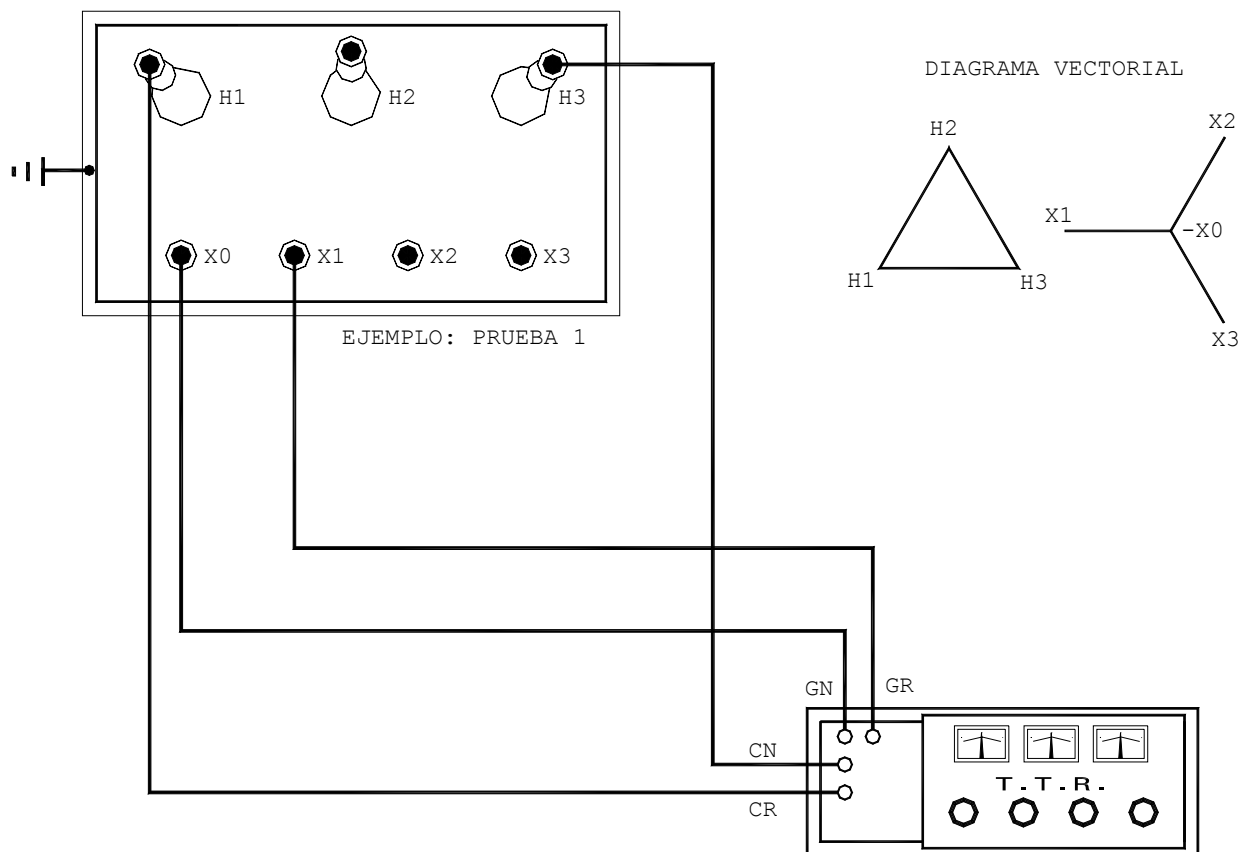
g) Efectuar las mediciones y registrar las lecturas en el formato correspondiente.

h) Al terminar la prueba, poner fuera de servicio el medidor.

3.5.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras de la 3.21 a la 3.24 se presentan los diagramas de conexión de circuitos de prueba de transformadores utilizando medidores manuales-analogicos o digitales.

Por otra parte en las figuras de la 3.25 y 3.29 se muestran los diagramas de conexión para los circuitos de prueba de transformadores utilizando el método de capacitancias.

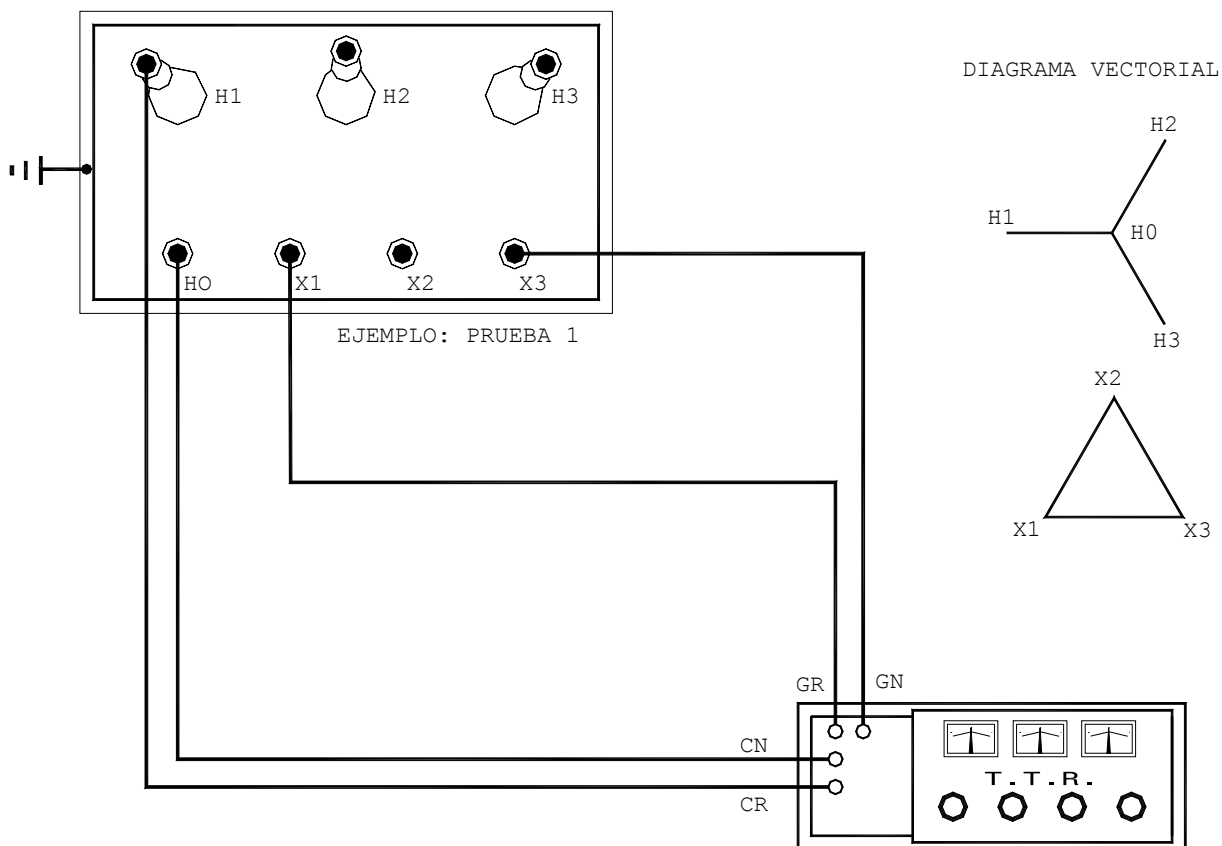


GN , GR = TERMINALES DE EXCITACION NEGRA Y ROJA
 CN , CR = TERMINALES SECUNDARIAS NEGRA Y ROJA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	SELECTOR	
1	H1	H3	X1	XO	$\emptyset$ A
2	H2	H1	X2	XO	$\emptyset$ B
3	H3	H2	X3	XO	$\emptyset$ C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 3.21 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
 PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
 TRANSFORMADOR EN DELTA-ESTRELLA
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11

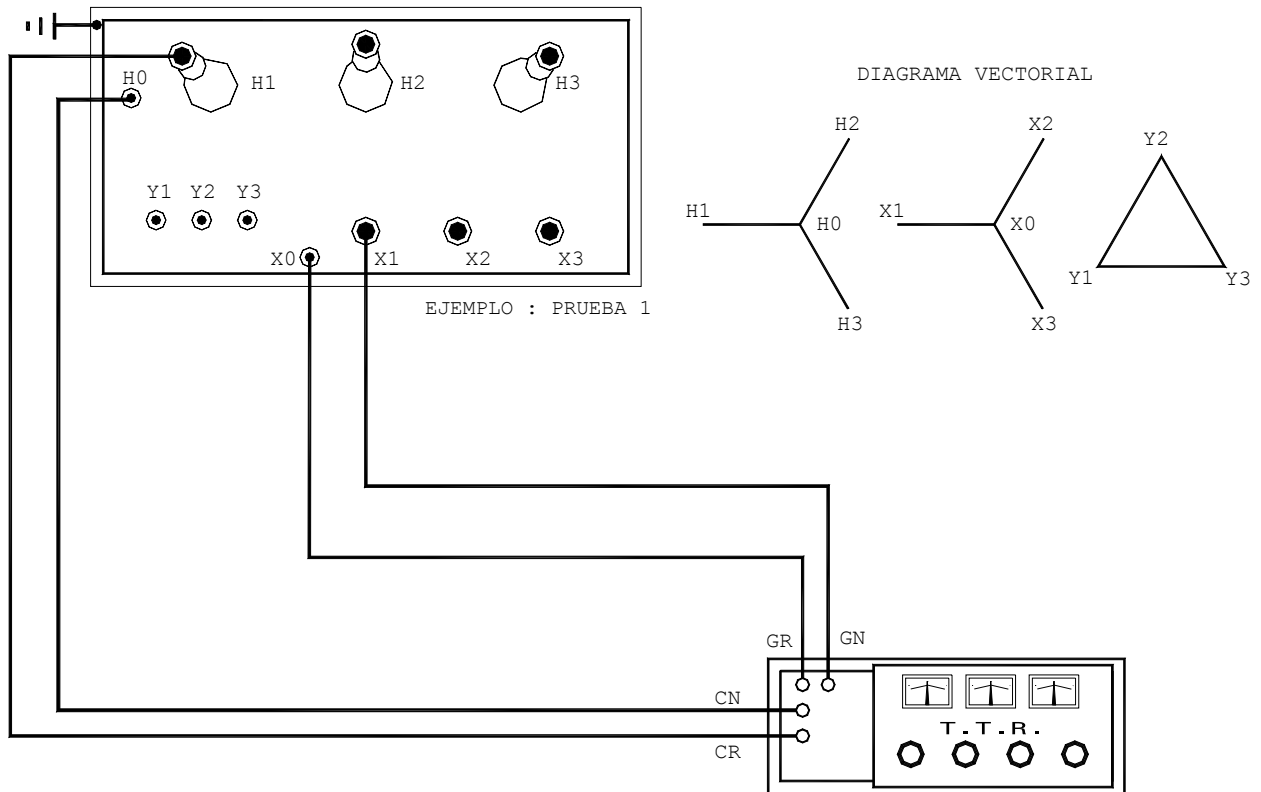


GN , GR = TERMINALES DE EXCITACION NEGRA Y ROJA
 CN , CR = TERMINALES SECUNDARIAS NEGRA Y ROJA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	H1	H0	X1	X3	$\emptyset$ A
2	H2	H0	X2	X1	$\emptyset$ B
3	H3	H0	X3	X2	$\emptyset$ C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 3.22 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
 PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
 TRANSFORMADOR EN ESTRELLA-DELTA
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11

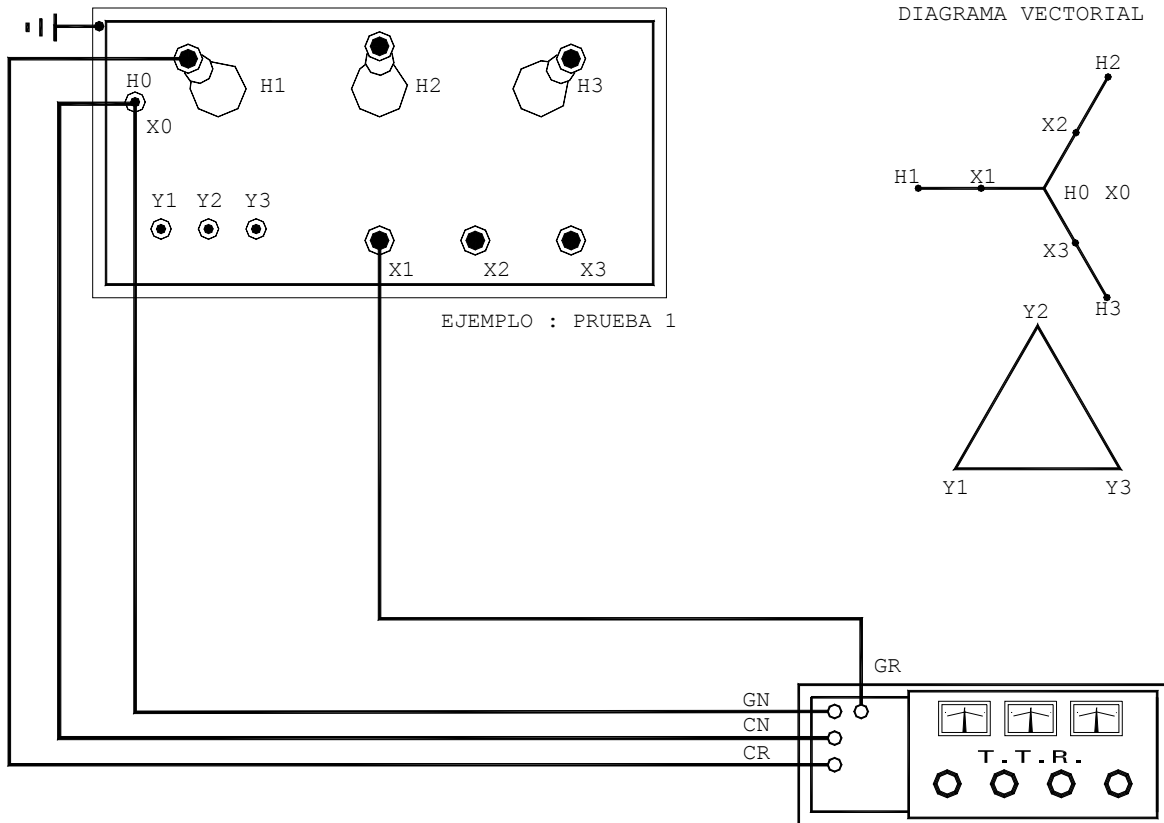


GN , GR = TERMINALES DE EXCITACION NEGRA Y ROJA
CN , CR = TERMINALES SECUNDARIAS NEGRA Y ROJA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	H1	H0	X1	X0	H-X ∅ A
2	H2	H0	X2	X0	H-X ∅ B
3	H3	H0	X3	X0	H-X ∅ C
4	H1	H0	Y1	Y3	H-Y ∅ A
5	H2	H0	Y2	Y1	H-Y ∅ B
6	H3	H0	Y3	Y2	H-Y ∅ C
7	X1	X0	Y1	Y3	X-Y ∅ A
8	X2	X0	Y2	Y1	X-Y ∅ B
9	X3	X0	Y3	Y2	X-Y ∅ C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

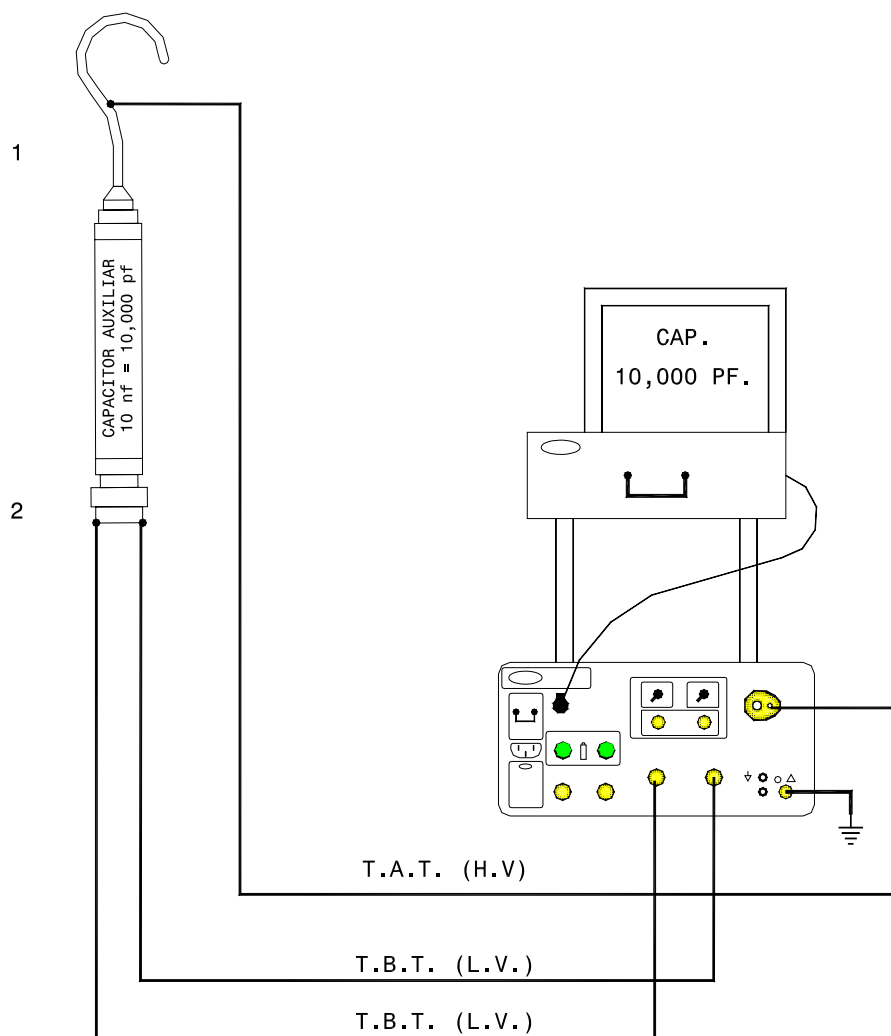
FIG. 3.23 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11



GN , GR = TERMINALES DE EXCITACION NEGRA Y ROJA
CN , CR = TERMINALES SECUNDARIAS NEGRA Y ROJA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	H1	H0-X0	X1	H0-X0	H-X $\emptyset$ A
2	H2	H0-X0	X2	H0-X0	H-X $\emptyset$ B
3	H3	H0-X0	X3	H0-X0	H-X $\emptyset$ C
4	H1	H0-X0	Y1	Y3	H-Y $\emptyset$ A
5	H2	H0-X0	Y2	Y1	H-Y $\emptyset$ B
6	H3	H0-X0	Y3	Y2	H-Y $\emptyset$ C
7	X1	H0-X0	Y1	Y3	X-Y $\emptyset$ A
8	X2	H0-X0	Y2	Y1	X-Y $\emptyset$ B
9	X3	H0-X0	Y3	Y2	X-Y $\emptyset$ C

FIG. 3.24 AUTOTRANSFORMADORES
PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11



FACTOR DE POTENCIA
M 4000 10 KV.

MIDE	H.V.	LV ROJO	LV AZUL	MODOS UST
CAPACITOR	1	2	2	MIDE AZUL Y ROJO

FIG. 3.25 PRUEBA DEL CAPACITOR AUXILIAR

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZANDO CAPACITOR AUXILIAR
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11

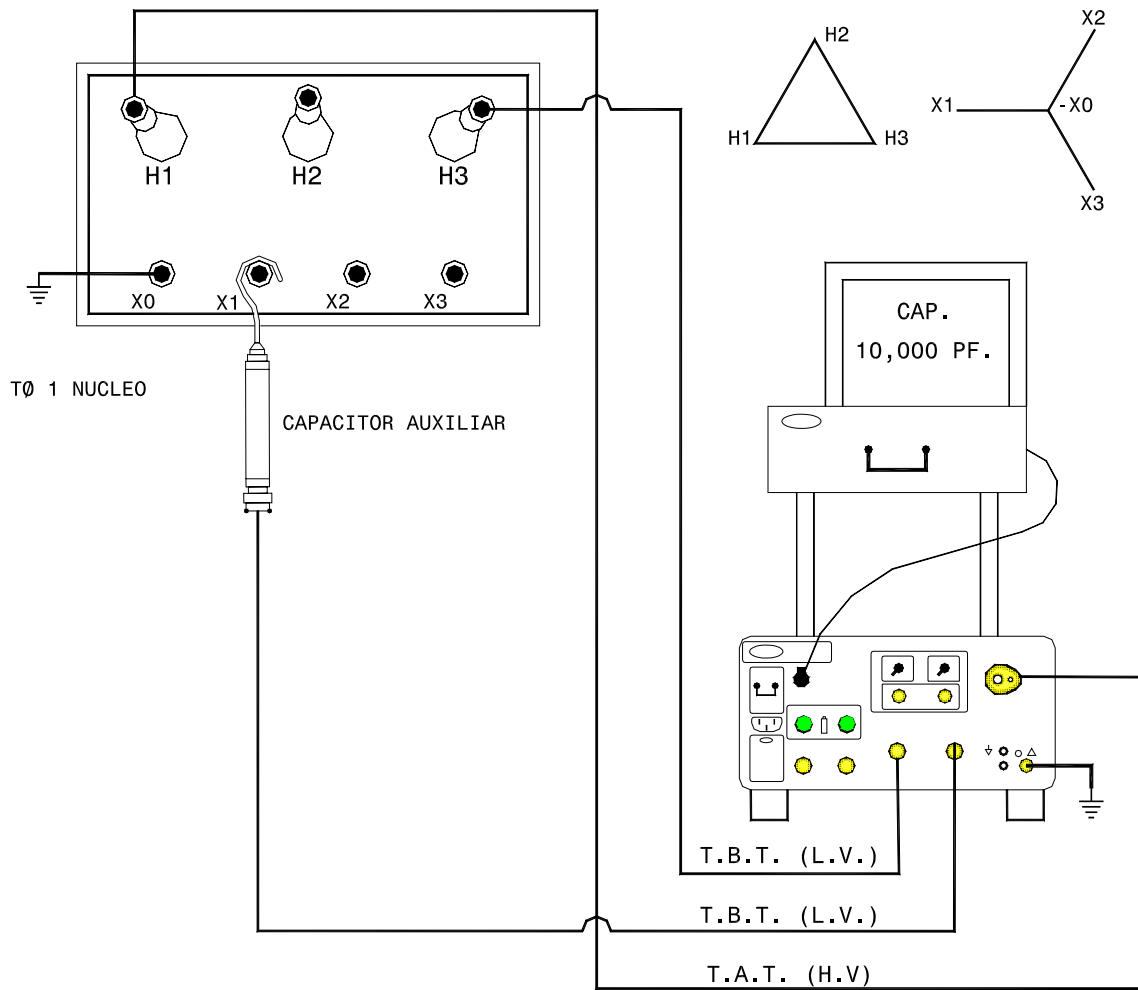


TABLA DE CONEXIONES

FACTOR DE POTENCIA
M 4000 10 KV.

MIDE	H.V.	L.V. ROJO	L.V. AZUL	MODO UST
H-X FASE A	H1	H3	X1+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA
H-X FASE B	H2	H1	X2+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA
H-X FASE C	H3	H2	X3+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA

NOTA 1: NO DESCONECTAR EL BAJANTE DE TIERRA DEL X0

NOTA 2: LA PRUEBA SE PUEDE REALIZAR CON UN FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV. M2H.

Fig. 3.26 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZANDO CAPACITOR AUXILIAR
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11

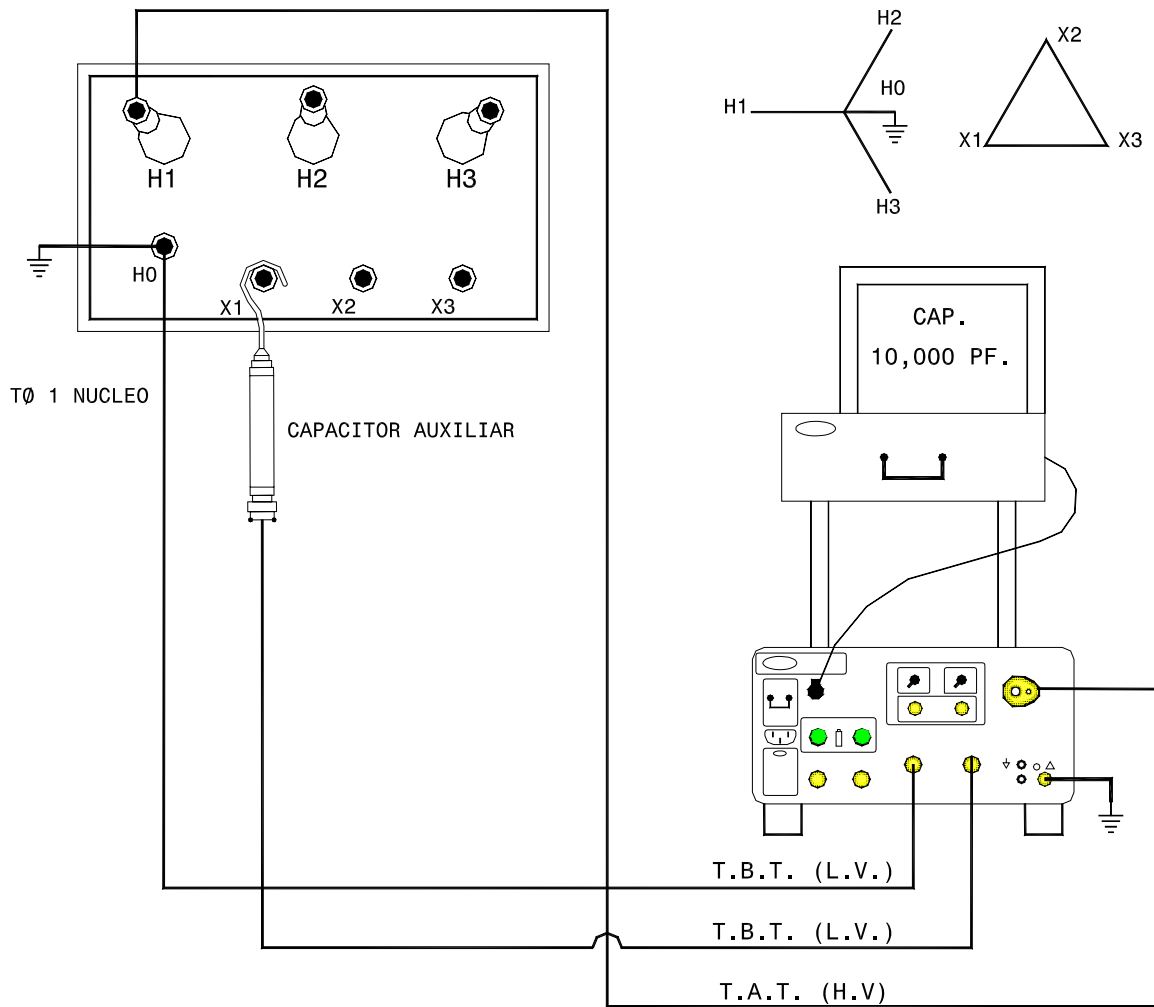


TABLA DE CONEXIONES

FACTOR DE POTENCIA
M 4000 10 KV.

MIDE	H.V.	L.V. ROJO	L.V. AZUL	MODOS UST	ATERRIZAR
H-X FASE A	H1	H0	X1+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA	X3
H-X FASE B	H2	H0	X2+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA	X1
H-X FASE C	H3	H0	X3+CAP AUXILIAR	MIDE AZUL ATERRIZA ROJA	X2

NOTA 1: NO DESCONECTAR EL BAJANTE DE TIERRA DEL X0

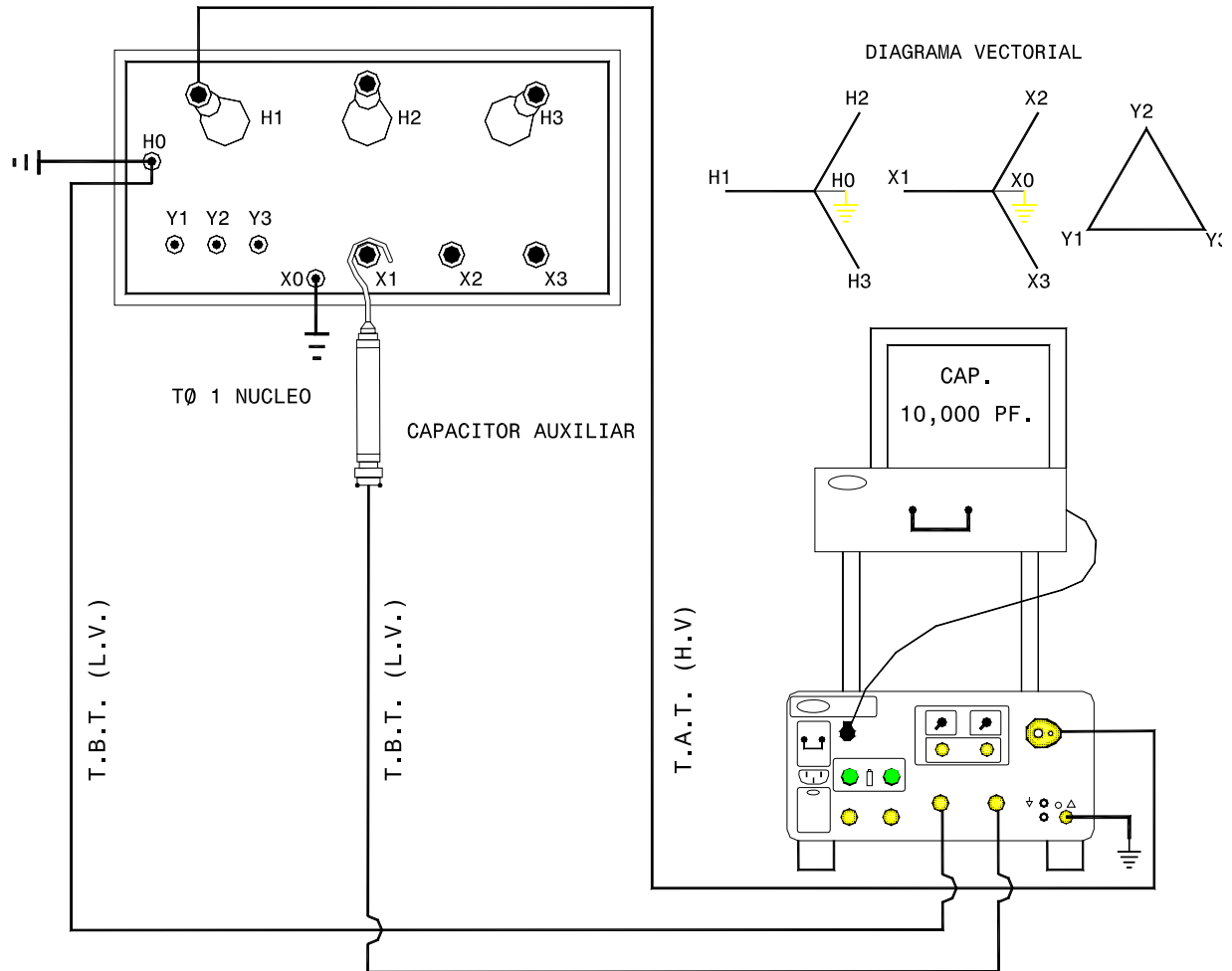
NOTA 2: LA PRUEBA SE PUEDE REALIZAR CON UN FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV. M2H.

FIG. 3.27 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

UTILIZANDO CAPACITOR AUXILIAR

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11



FACTOR DE POTENCIA
M 4000 10 KV.

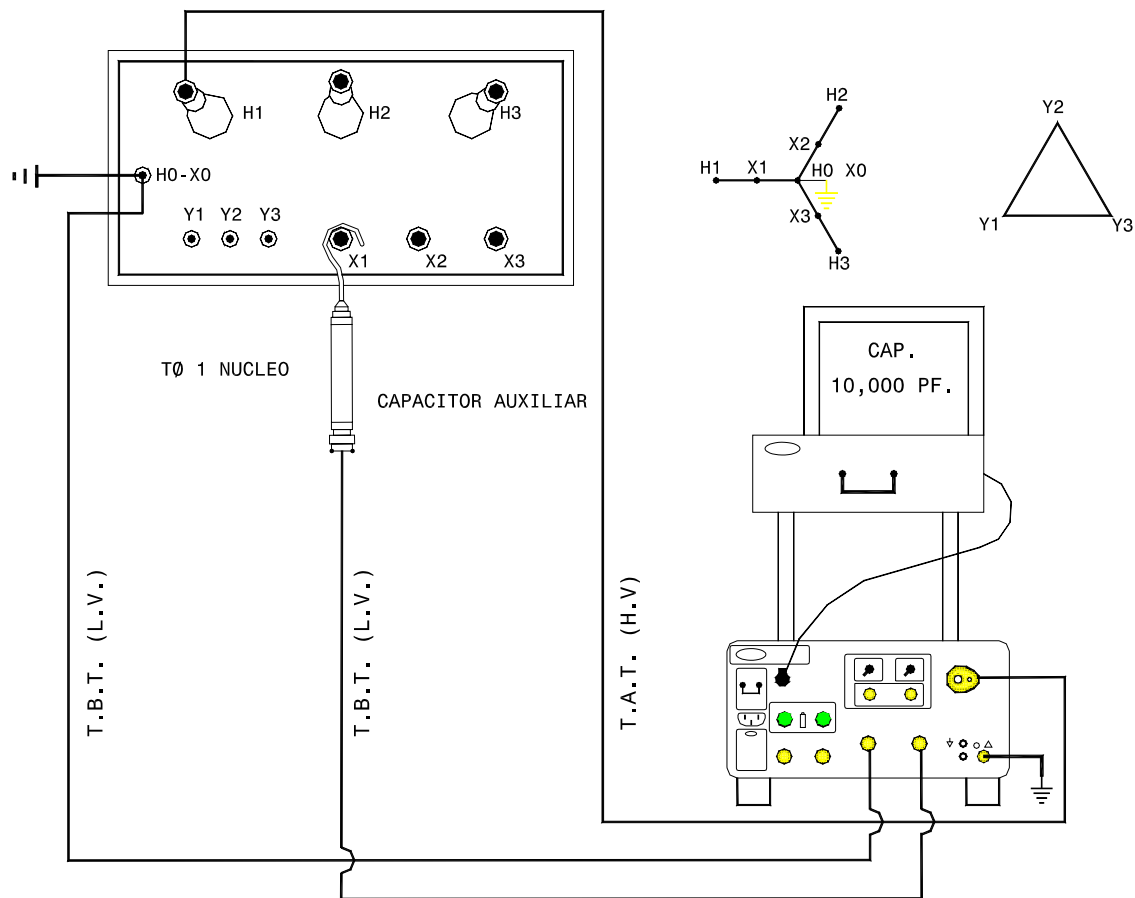
MIDE	H.V.	LV ROJO	LV AZUL	MODOS UST	ATERRIZAR
H-X FASE A	H1	H0	X1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE B	H2	H0	X2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE C	H3	H0	X3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE A	H1	H0	Y1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y3
H-X FASE B	H2	H0	Y2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y1
H-X FASE C	H3	H0	Y3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y2
H-X FASE A	X1	X0	Y1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y3
H-X FASE B	X2	X0	Y2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y1
H-X FASE C	X3	X0	Y3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y2

NOTA 1: NO DESCONECTAR EL BAJANTE DE TIERRA DEL X0

NOTA 2: LA PRUEBA SE PUEDE REALIZAR CON UN FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV. M2H.

FIG. 3.28 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZANDO CAPACITOR AUXILIAR
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11



FACTOR DE POTENCIA
M 4000 10 KV.

MIDE	H.V.	LV ROJO	LV AZUL	MODOS UST	ATERRIZAR
H-X FASE A	H1	H0-X0	X1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE B	H2	H0-X0	X2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE C	H3	H0-X0	X3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	—
H-X FASE A	H1	H0-X0	Y1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y3
H-X FASE B	H2	H0-X0	Y2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y1
H-X FASE C	H3	H0-X0	Y3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y2
H-X FASE A	X1	H0-X0	Y1+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y3
H-X FASE B	X2	H0-X0	Y2+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y1
H-X FASE C	X3	H0-X0	Y3+CAP AUX	MIDE AZUL ATERRIZA ROJO	Y2

NOTA 1: NO DESCONECTAR EL BAJANTE DE TIERRA DEL X0

NOTA 2: LA PRUEBA SE PUEDE REALIZAR CON UN FACTOR DE POTENCIA DE 10 KV. M2H.

FIG. 3.29 AUTOTRANSFORMADORES

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
UTILIZANDO CAPACITOR AUXILIAR
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-11

3.5.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Para medidores manuales-analogicos, si la aguja del ampermetro se deflexiona a plena escala y para la aguja del voltmetro no se aprecia deflexión, es indicación que el transformador bajo prueba esta tomando demasiada corriente de excitación; en este momento la manivela resulta difícil de girar y hay razón para sospechar de un corto circuito entre espiras.

Si en el transformador bajo prueba, no se logra obtener el balance, el problema puede considerarse como un corto circuito o un circuito abierto en los devanados; una corriente excesiva de excitación y un voltaje pequeño, son indicativos de un corto circuito en uno de los devanados.

Cuando se tienen corriente y voltaje de excitación normales, pero sin deflexión en la aguja del galvanómetro, es indicio de que se tiene un circuito abierto. Es posible determinar cual de los dos devanados se encuentra abierto desconectando las dos terminales secundarias CN y CR, abriendo una de las mordazas de excitación GN ó GR e insertando una pieza de fibra aislante entre la terminal del transformador y la pieza que es tope del tornillo, la cual va conectada al cable grueso que conecta el transformador de referencia del TTR. Apretar el tornillo nuevamente contra el conector de la boquilla y girar la manivela del generador.

Si el devanado secundario esta abierto, no se tiene indicación de corriente en el ampermetro. Si el ampermetro indica una corriente de excitación normal, se puede concluir que el devanado primario está abierto.

Para el método basado en la medición de la capacitancia de un capacitor auxiliar, la incertidumbre de la medición es de $\pm 0.5\%$ con un nivel de seguridad de 99.7%. Cuando existe magnetismo remanente en el núcleo la relación de transformación en esta prueba se incrementa aproximadamente en un 0.14%. La prueba de medición de relación por este método aplica solo para transformadores de potencia y no puede proporcionar la misma exactitud para transformadores de potencial del tipo inductivo o capacitivos.

Independientemente del metodo de prueba utilizado, para calcular la diferencia entre la relación teórica y la relación medida, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Diferencia} = (\text{Rel. Teórica} - \text{Rel. Medida}) \times 100 / \text{Rel. Teórica}$$

La diferencia maxima permitida por el area de Distribucion de la Comisión Federal de Electricidad es del 0.4%. Sin embargo en la normativa internacional se aceptan diferencias hasta del 0.5%.

3.6 VERIFICACION DE IMPEDANCIA.

La prueba es importante para determinar en campo la impedancia de transformadores de potencia.

En transformadores reparados, se puede comprobar si el valor de impedancia es el mismo que el original y en transformadores nuevos, se puede verificar el valor de placa. La prueba es utilizada también para calcular la impedancia de aquellos equipos sin placa de datos. Por este método es posible obtener únicamente la impedancia del transformador en la capacidad (OA).

La prueba consiste en aplicar bajo voltaje en uno de los devanados del transformador (generalmente el de menor tensión nominal), mientras el otro devanado se mantiene cortocircuitado; de ninguna manera se debe aplicar el voltaje nominal del devanado.

Para determinar el valor del llamado voltaje de impedancia requerido para la prueba, es posible utilizar la siguiente ecuación.

$$V_z = (V \text{ nom. del devanado} \times Z)/100$$

Al aplicar el voltaje calculado, debe circular la corriente nominal del devanado, lo que se debe comprobar midiendo la corriente de cada fase.

Si la corriente medida durante la prueba, es igual a la nominal, es indicio que la impedancia en placa del transformador es correcta. Por el contrario, si la corriente medida, es diferente a la nominal, el valor de la impedancia marcado en la placa es incorrecto.

Dado que en el campo no es factible disponer de una fuente regulada que proporcione exactamente el valor del voltaje de impedancia, la práctica común es aplicar la tensión disponible en los servicios propios de la subestación; por lo que el voltaje del que se dispone es por lo general de 220 volts trrfásico.

EJEMPLO:

Se requiere comprobar la impedancia de un transformador de potencia con las siguientes características:

Capacidad:	7.5/9.375 MVA
Relación de voltaje:	110 - 23.8 kV
Tipo de enfriamiento:	OA/FA1
Impedancia:	7.88/9.44 %

PRIMER CASO.- Si se cortocircuitan las terminales del devanado de baja tensión y se aplica el voltaje de prueba al devanado de alta tensión, el valor del voltaje de impedancia es:

$$V_Z = (V \text{ devanado} \times Z)/100$$

$$V_Z = (110\,000 \times 7.88)/100 = 8\,668 \text{ volts}$$

Como resultado de la aplicación de este valor, debe circular la corriente nominal equivalente por el devanado primario para la capacidad de 7 500 KVA y que debe ser:

$$I \text{ nominal} = 7\,500 / (\sqrt{3} \times 110) = 39.364 \text{ Amperes}$$

Dado que el voltaje disponible en campo es de 220 volts, es necesario determinar la corriente de manera proporcional a la tensión aplicada, por lo que se tiene:

$$\begin{array}{rcl} 8\,668 \text{ Volts} & \text{-----} & 39.364 \text{ Amperes} \\ 220 \text{ Volts} & \text{-----} & X \end{array}$$

de donde:

$$X = (220 \times 39\,364 / 8\,668) = 0.999 \text{ Amperes.}$$

Al aplicar el voltaje de 220 volts, se debe obtener aproximadamente la corriente anterior si la impedancia del transformador es la indicada en su placa.

SEGUNDO CASO.- Como variante del caso anterior si se cortocircuitan las terminales de devanado de alta tensión y se aplica el voltaje de prueba al devanado de baja tensión, el valor del voltaje de impedancia es:

$$V_Z = (V \text{ devanado} \times Z)/100$$

$$V_Z = (23\,800 \times 7.88)/100 = 1\,875.44 \text{ volts}$$

Como resultado de la aplicación de este valor, debe circular la corriente nominal equivalente por el devanado secundario para la capacidad de 7 500 KVA y que debe ser:

$$I \text{ nominal} = 7\,500 / (\sqrt{3} \times 23.8) = 181.93 \text{ Amperes}$$

Con el voltaje disponible de 220 volts, es necesario determinar la corriente de manera proporcional a la tensión aplicada, por lo que se tiene:

$$\begin{array}{rcl} 1\,875.44 \text{ Volts} & \text{-----} & 181.93 \text{ Amperes} \\ 220 \text{ Volts} & \text{-----} & X \end{array}$$

de donde:

$$X = (220 \times 181.93) / 1875.44 = 21.34 \text{ Amperes}$$

Valor aproximado de la corriente que se debe obtener, si la impedancia marcada en la placa de datos es la correcta.

Analizando los dos casos anteriores se puede concluir que es mejor utilizar el segundo, en virtud de que la corriente calculada es significativamente mayor y por tanto es posible tener una mejor medición y una mas fácil lectura de la misma.

Por otra parte si la corriente medida fuese diferente a la calculada, por ejemplo de 19 amperes, ello es indicativo que el valor de la impedancia del transformador no es el marcado en placa. Si es así, entonces es posible determinar su valor real de la siguiente manera:

$$\begin{array}{lll} 220 \text{ Volts} & \text{-----} & 19 \text{ Amperes} \\ X & \text{-----} & 181.93 \text{ Amperes} \end{array}$$

de donde:

$$X = (220 \times 181.93) / 19 = 2106.55 \text{ Volts}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación que define al voltaje de impedancia:

$$V_Z = (V \text{ devanado} \times Z) / 100$$

Se tiene:

$$Z = 100 (V_Z / V \text{ devanado})$$

$$Z = 100 (2106.55 / 23800) = 8.85$$

Por lo que el valor real de la impedancia del transformador es:

$$Z = 8.85 \%$$

De la misma manera puede determinarse el valor de la impedancia para transformadores que no disponen del mismo en su placa de datos.

3.6.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.

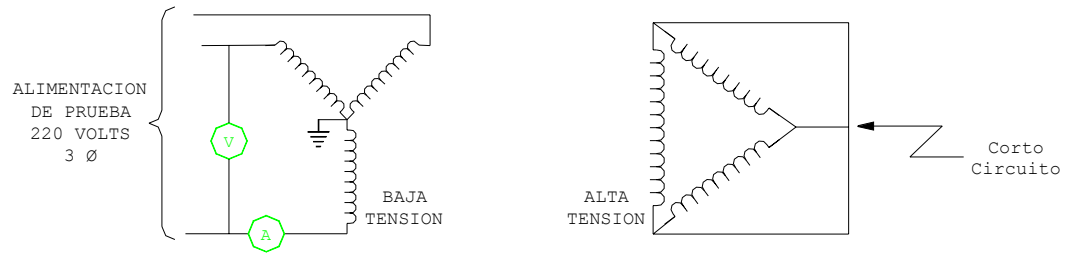


- b) La fuente de alimentación debe tener capacidad suficiente para realizar la prueba.
- c) Debe protegerse el circuito de prueba con un interruptor termomagnético trifásico seleccionado con base en los cálculos previos.
- d) Los cables de prueba, deben ser de un calibre adecuado a la corriente por circular.

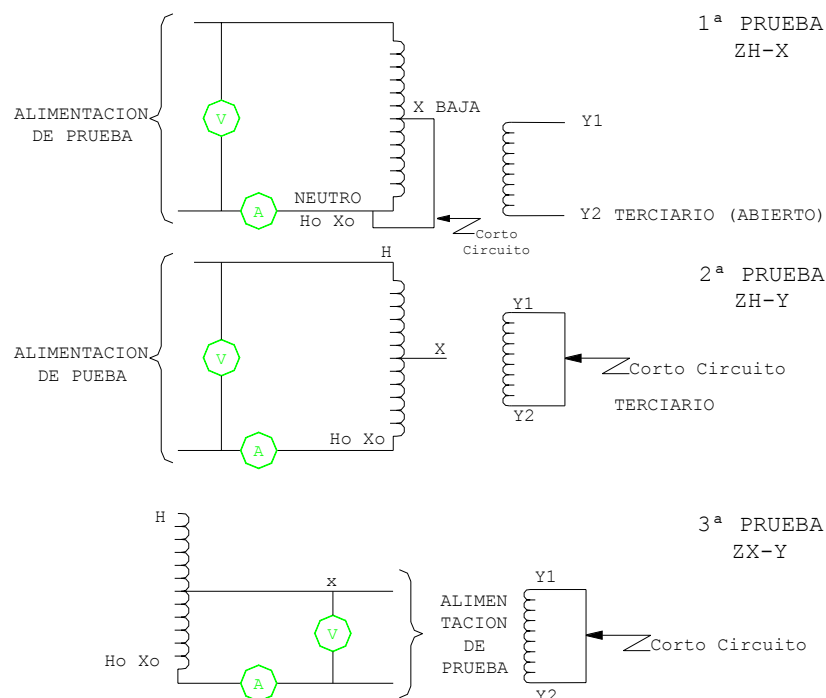
3.6.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 3.30 se ilustra la forma de hacer las conexiones para realizar la prueba.

TRANSFORMADOR TRIFASICO



AUTOTRANSFORMADOR MONOFASICO



TRANSFORMADORES MONOFASICOS Y POTENCIALES

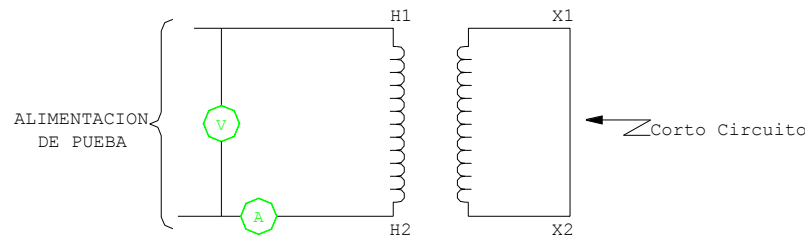


FIG. 3.30 COMPROBACION DE IMPEDANCIA A TARNSTRANSFORMADORES DE POTENCIA Y TP's
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-12

3.6.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Si la corriente obtenida durante la prueba difiere del valor previamente calculado, significa que la impedancia del transformador es diferente a la indicada en la placa, si el resultado es mayor al especificado en las normas o referencias, puede ser indicativo de deficiencias en devanados y núcleo.

3.7 PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA A DEVANADOS.

Esta prueba es utilizada para conocer el valor de la resistencia ohmica de los devanados de un transformador. Es auxiliar para conocer el valor de pérdidas en el cobre (I^2R) y detectar falsos contactos en conexiones de boquillas, cambiadores de derivaciones, soldaduras deficientes y hasta alguna falla incipiente en los devanados.

La corriente empleada en la medición no debe exceder el 15% del valor nominal del devanado, ya que con valores mayores pueden obtenerse resultados inexactos causados por variación en la resistencia debido a calentamiento del devanado.

Un puente de Wheastone puede medir valores de orden de 1 miliohm a 11.110 megaohms; el puente de Kelvin es susceptible de medir resistencia del orden de 0.1 microohms a 111 ohms. Para la operación de estos equipos es muy conveniente tomar en consideración el estado de sus baterías, para poder realizar mediciones lo más consistentes posibles.

3.7.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- Retirar los conductores de llegada a las boquillas.
- Desconectar los neutros del sistema de tierra en una conexión estrella.
- Limpiar las terminales perfectamente, a fin de que cuando se efectúe la conexión al medidor se asegure un buen contacto.
- Como no se conoce la resistencia óhmica del transformador bajo prueba, el multiplicador y las perillas de medición (décadas) deben colocarse en su valor más alto.
- Al circular la corriente directa por el devanado bajo prueba, se origina un flujo magnético que de acuerdo a la Ley de Lenz induce un potencial el cual produce flujos opuestos. Lo anterior se refleja en el galvanómetro por la impedancia que tiene el

devanado. Pasado un cierto tiempo la aguja del galvanómetro se mueve hacia la izquierda, esto es debido a que comienza a estabilizarse la corriente en la medición de la resistencia. A continuacion es necesario accionar primero el multiplicador del medidor y obtener la lectura de la resistencia por medio de las perillas de medición hasta lograr que la aguja del galvanómetro quede al centro de su carátula.

g) Medir la Resistencia de cada devanado y en cada posición del cambiador de derivaciones, registrando las lecturas en el formato de prueba.

Para equipos en operación que sean librados para efectuarles pruebas eléctricas, se recomienda realizar la prueba de resistencia óhmica a los devanados, únicamente en la posición de operación del cambiador. La razón de esto es para evitar que en caso de un posible desajuste en el cambiador originado por el accionamiento del mismo, el transformador no pudiese volver a energizarse.

3.7.2 INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA OHMICA PUENTE DE WHEASTONE.

Entre los equipos comúnmente utilizados para la medición de resistencia óhmica se tienen el puente de Kelvin y el puente de Wheastone. A continuación, se realcionan algunas recomendaciones para el uso de este último.

- a) Asegurar que los bordes de conexión EXT GA estén cortocircuitados.
- b) Verificar el galvanómetro presionando el botón BA, la aguja debe posicionarse en cero; si esto no sucede, con un destornillador debe ajustarse en la posición cero; para lo cual el botón GA debe estar fuera.
- c) Comprobar que las baterías estén en buen estado, ya que si se encuentran con baja capacidad, la prueba tiene una duración mayor a lo normal.
- d) Conectar la resistencia de los devanados a medir en las terminales RX, colocar la perilla multiplicadora en el rango más alto y las perillas de las décadas en 9 (nueve). Presionar el botón BA y enseguida el botón GA.
- e) Con lo anterior, la aguja del galvanómetro se mueve a la derecha (+), y pasado un tiempo esta se mueve lentamente a la izquierda (-). Posteriormente debe disminuirse el rango de la perilla multiplicadora hasta observar que la aguja oscile cerca del cero.
- f) Para obtener la medición, accionar las perillas de las décadas, iniciando con la de mayor valor, hasta lograr que la aguja se posicione en cero. El valor de la resistencia se obtiene de las perillas mencionadas.



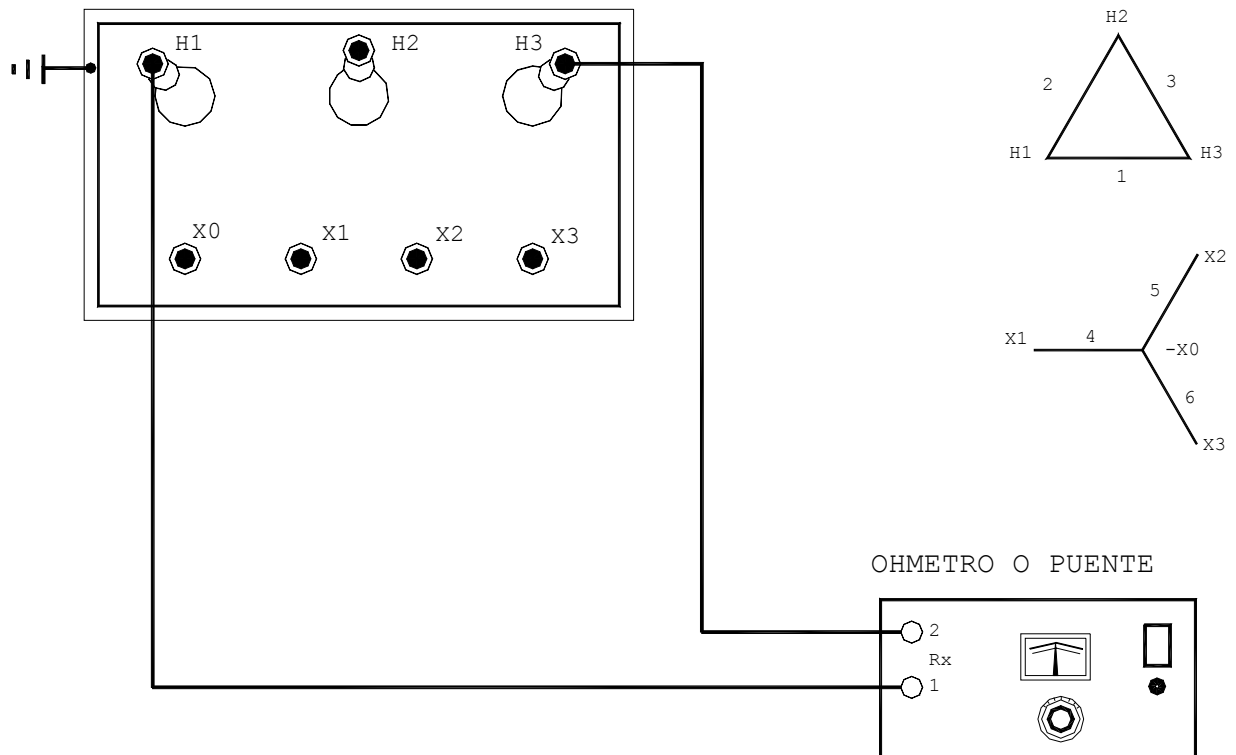
g) Registrar en el formato de prueba el valor de la resistencia y el rango del multiplicador utilizado.

h) Liberar los botones BA y GA.

Se recomienda utilizar cables de pruebas calibre No. 6 AWG para evitar al máximo la caída de tensión en los mismos. Medir la resistencia de los cables de prueba y anotarla en el formato para fines analíticos de los valores de resistencia medidos.

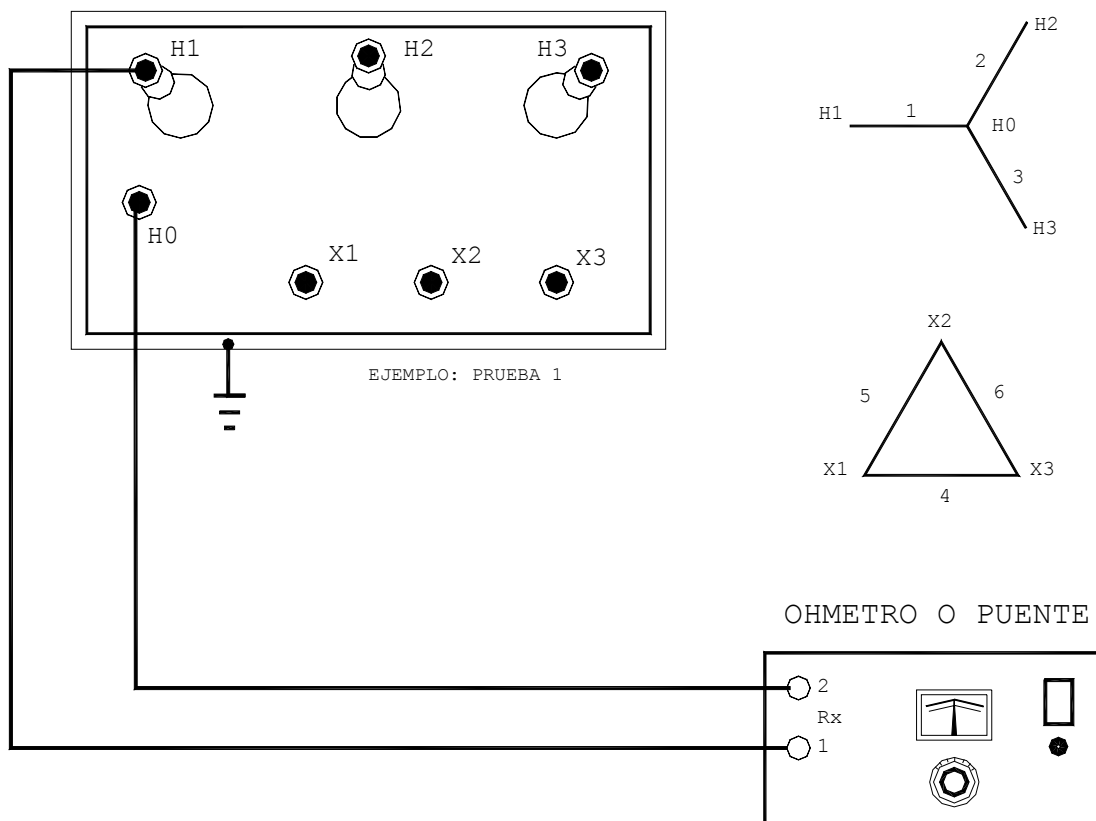
3.7.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras de la 3.31 a la 3.35 se ilustran las conexiones de circuitos de prueba de resistencia óhmica de devanados para transformadores de dos y tres devanados, autotransformadores y reactores respectivamente.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE
	RX (1)	RX (2)	
1	H1	H3	1, 2+3
2	H2	H1	2, 3+1
3	H3	H2	3, 1+2
4	X1	X0	4
5	X2	X0	5
6	X3	X0	6

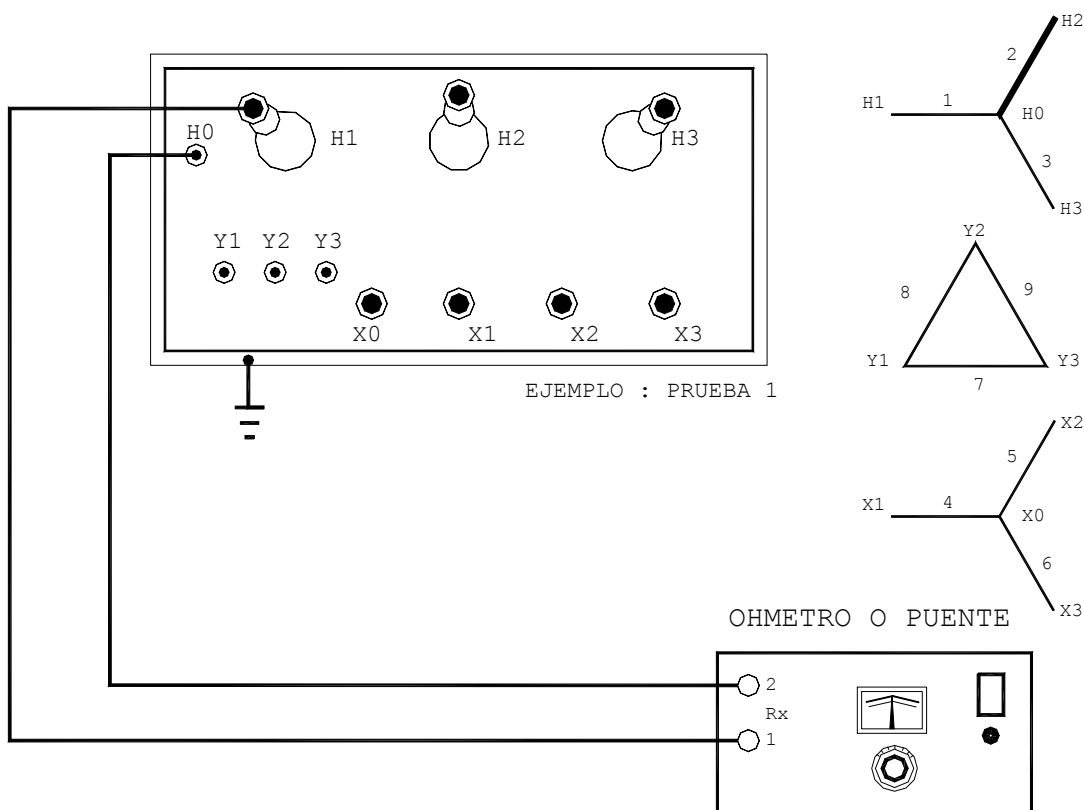
FIG. 3.31 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS
CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-13



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE (r)
	RX (1)	RX (2)	
1	H1	H0	1
2	H2	H0	2
3	H3	H0	3
4	X1	X3	4, 5+6
5	X2	X1	5, 6+4
6	X3	X2	6, 4+5

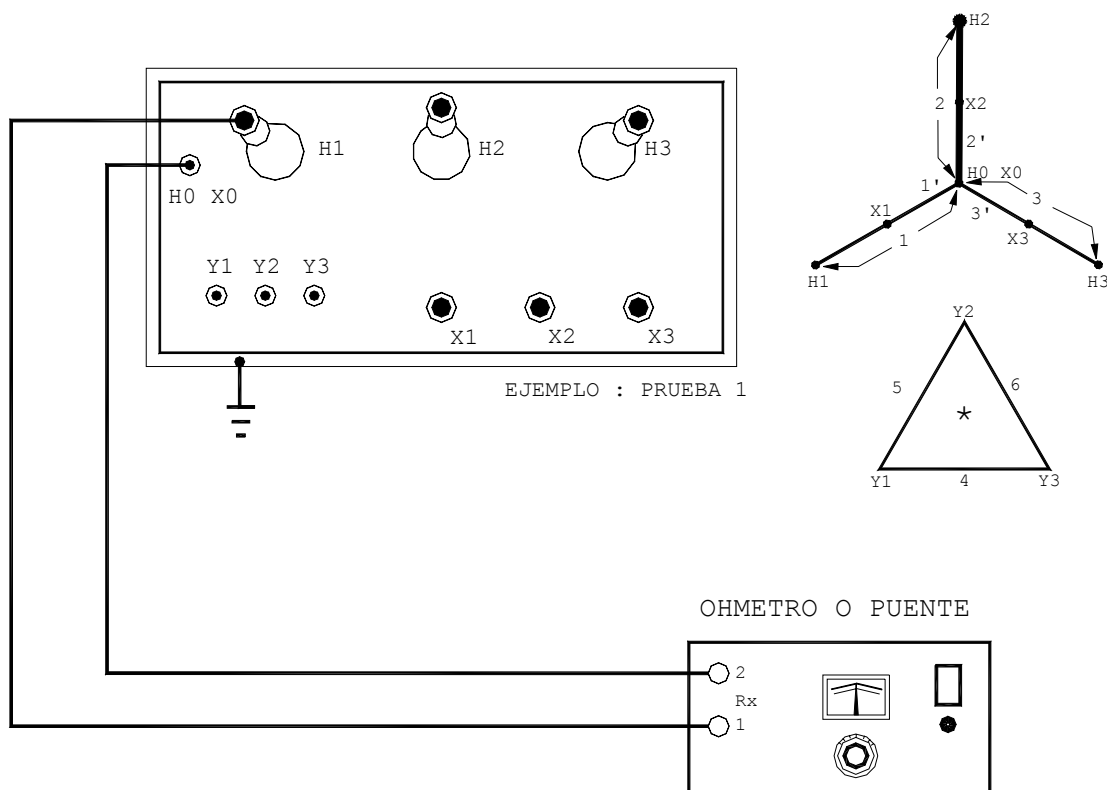
NOTA: EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 3.32 TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS
PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS
CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-14



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		(r) MIDE
	RX (1)	RX (2)	
1	H1	H0	1
2	H2	H0	2
3	H3	H0	3
4	X1	X0	4
5	X2	X0	5
6	X3	X0	6
7	Y1	Y3	7, 8+9
8	Y2	Y1	8, 9+7
9	Y3	Y2	9, 7+8

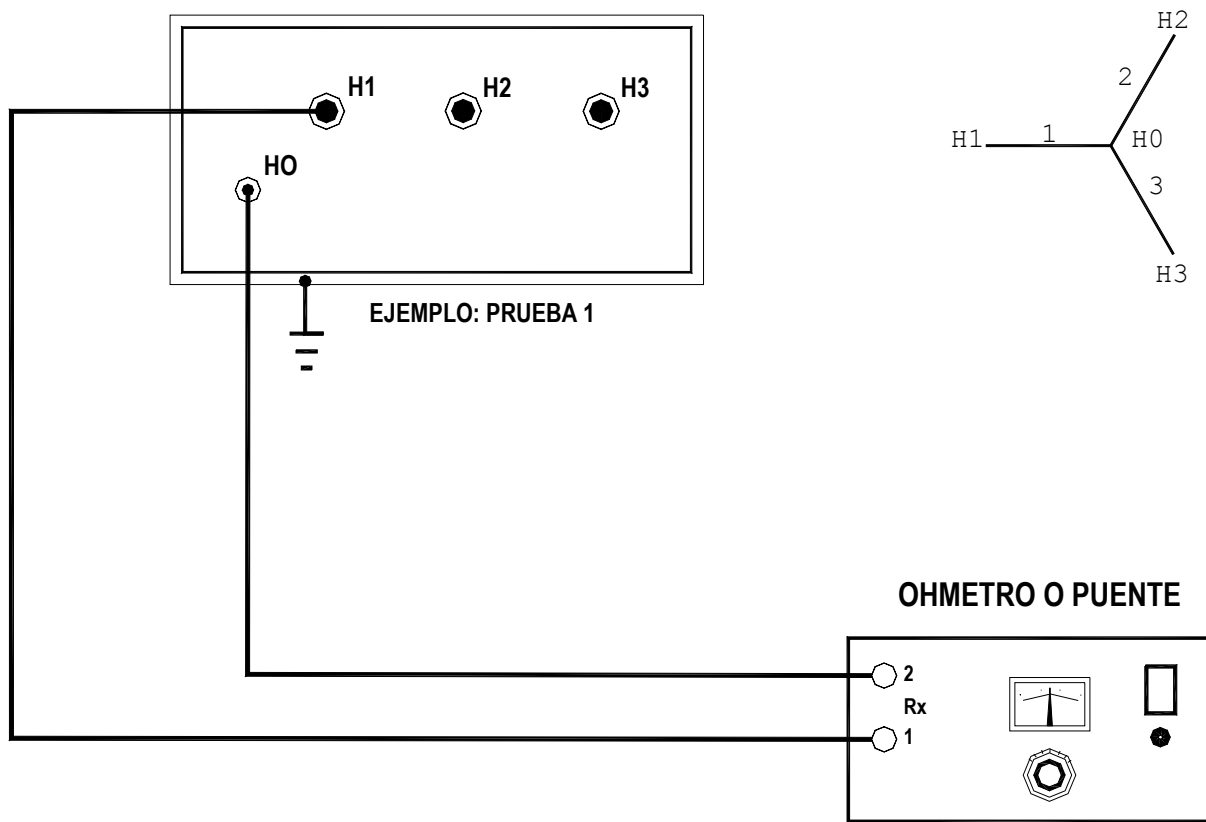
FIG. 3.33 TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS
PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-14



* NOTA: CUANDO SE DISPONGA DE BOQUILLAS PARA EL DEVANADO TERCIARIO (AMORTIGUADOR) EFECTUAR TAMBIEN LA PRUEBA.

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE (r)
	RX (1)	RX (2)	
1	H1	H0 (X0)	1
2	H2	H0 (X0)	2
3	H3	H0 (X0)	3
4	X1	H0 (X0)	1'
5	X2	H0 (X0)	2'
6	X3	H0 (X0)	3'
7	Y1	Y3	4, 5+6
8	Y2	Y1	5, 6+4
9	Y3	Y2	6, 4+5

FIG. 3.34 AUTOTRANSFORMADORES
PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-14



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE (r)
	RX (1)	RX (2)	
1	H1	H0	1
2	H2	H0	2
3	H3	H0	3

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 3.35 REACTORES
PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DEL DEVANADO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-14

3.7.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

En conexión delta de transformadores, el valor de la resistencia implica la medición de una fase en paralelo con la resistencia en serie de las otras dos fases.

Por lo anterior al realizar la medición, en las tres fases se obtienen valores similares. En caso de que se tenga un devanado fallado, dos fases dan valores similares.

Para transformadores en conexión estrella el valor es similar en las tres fases, por lo que se puede determinar con precisión cual es la fase fallada. En transformadores monofásicos, se comprueba fácilmente el daño del devanado fallado.

Es recomendable que los valores de puesta en servicio se tengan como referencia para comparaciones con pruebas posteriores.

3.8 DETERMINACION DE LA HUMEDAD RESIDUAL EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

Esta sección describe los procedimientos de campo recomendados para la determinación de la humedad residual, en aislamientos sólidos de Transformadores de Potencia y Reactores; y su objetivo es proporcionar los elementos necesarios para unificar criterios en la determinación de la humedad residual que guardan los aislamientos de equipos nuevos y al efectuar el mantenimiento completo de equipos en operación. En forma general se describe cómo afecta el agua contenida en los aislamientos, en detrimento de sus propiedades ante elementos como el calor y los esfuerzos eléctricos.

3.8.1 TEORIA GENERAL.

Los aislamientos sólidos de los transformadores de potencia están compuestos principalmente por papel, cartón y madera; generalmente un 95% de estos aislamientos son papel Kraft y cartón (Press Board), los cuales tienen como principal componente la celulosa, la que desde el punto de vista químico está considerada como una cadena de glucosa.

Los tipos de papel utilizados en transformadores son el Kraft y Crepé con sus variantes, dependiendo del fabricante, el cual los somete a diferentes tratamientos a fin de reforzar determinadas características; entre ellas están la resistencia dieléctrica, resistencia al desgarre, temperatura de utilización, envejecimiento, etc.

El papel crepé dada su forma, facilita enormemente el encintado de formas irregulares, teniendo también excelentes características mecánicas y una relativa permeabilidad al aire.



Actualmente algunos fabricantes están utilizando dos tipos de papel especialmente tratados para los encintados de las bobinas; el papel de las capas interiores tiene buenas propiedades dieléctricas y el de las capas exteriores es de magníficas características mecánicas.

La función principal de los aislamientos sólidos en transformadores es formar una barrera dieléctrica, capaz de soportar la diferencia de potencial a que están sujetas las diferentes partes del equipo, así como mantener el flujo de corriente principal por una trayectoria predeterminada, con el objeto de evitar flujos de corrientes no deseadas (Corto Circuito).

Con los voltajes de transmisión cada vez más elevados, el secado adecuado de los transformadores ha tomado una importancia vital para la instalación y operación de los mismos. La finalidad del proceso de secado en transformadores, es eliminar el agua residual hasta valores permisibles en los aislamientos.

El método de secado en fábrica varía según el constructor, estando entre los más comunes: aire caliente y vacío; vapores calientes y vacío; así como aceite caliente y vacío.

Todos los métodos deben tender a reducir la humedad a 0.3 % por peso de los aislamientos secos conforme a lo establecido en la especificación CFE-K0000-13 TRANSFORMADORES DE POTENCIA PARA SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION; en fábrica la temperatura del transformador se mantiene entre 85 y 95 °C no excediendo los 100 °C y se aplica un alto vacío de fracciones de mm. de Hg., hasta que la humedad que se extrae diariamente (colectada en una trampa de hielo seco) es insignificante.

La presencia de agua afecta considerablemente la rigidez dieléctrica, tanto del papel como del aceite, pudiendo disminuir hasta límites peligrosos dentro de los esfuerzos a que están sometidos estos materiales.

Los efectos sobre las características dieléctricas del papel y del aceite se muestran en las gráficas de las figuras 3.36 y 3.37. En la figura 3.37 se observa la afectación del Factor de Potencia del papel Kraft de acuerdo a su contenido de humedad y variación de la temperatura. En la figura 3.36 se muestra como varía la rigidez dieléctrica del aceite según el contenido de agua.

El calor provoca degradación tanto en el papel como en el aceite y es originada por cambios químicos (pirolisis) que afectan la estabilidad de sus propiedades mecánicas y eléctricas. Esta degradación depende de muchos factores: la habilidad del papel para resistir la degradación térmica es disminuida por la presencia de contaminantes orgánicos, la retención de productos originados por su propia degradación, por la naturaleza del medio y por la presencia de humedad.

Los efectos de la degradación, conocida como envejecimiento, sobre las propiedades mecánicas del papel según su contenido de humedad, se pueden ver claramente en las figuras 3.38 y 3.39.

Para conocer el estado de los aislamientos, normalmente se efectúan pruebas eléctricas, como resistencia de aislamiento y Factor de Potencia; conforme a los resultados y a las tensiones de operación del equipo, se determina si están en buenas condiciones; estas pruebas dan cierta seguridad a los aislamientos ante esfuerzos eléctricos, no siendo así en lo que se refiere a la degradación térmica de los mismos, ya que éste es dependiente de la humedad contenida en ellos.

En virtud de lo anterior, es necesario disminuir al mínimo el contenido de agua de los aislamientos, así como el desarrollo de métodos para la determinación exacta de la humedad residual, tanto en sólidos como en el aceite.

3.8.2 METODOS PARA LA DETERMINACION DE HUMEDAD RESIDUAL.

Se entiende por Humedad Residual a la cantidad de agua expresada en por ciento del peso total de los aislamientos sólidos, que permanece en ellos al final de un proceso de secado; actualmente para su determinación se usan dos métodos: el que la determina a partir de la presión de vapor producida por la humedad en un medio al vacío (el propio tanque del transformador) y el que utiliza la medición del punto de rocío de un gas en contacto con los aislamientos. Los métodos anteriores se describen con detalle a continuación.

3.8.2.1 METODO DEL ABATIMIENTO DE VACIO.

La presión absoluta dentro de un transformador es originada por el movimiento molecular de un gas, en éste caso el vapor de agua desprendido por los aislamientos. Con la medición de esta presión y de la temperatura de los devanados, se puede determinar el por ciento de humedad residual contenido en los aislamientos.

Al terminarse el armado del transformador, así como su sellado y comunicados con el tanque conservador y radiadores, sin aceite, se aplica nitrógeno a una presión de 8 lbs/pgda² durante 24 horas, si no existen fugas, continuar de acuerdo a lo paso siguiente.

Conectar el equipo de vacío y el vacuómetro de mercurio (ver figura No. 3.42) y proceder a efectuar vacío, registrándose las lecturas en intervalos de tiempo preestablecidos, hasta alcanzar un valor estable, durante 4 horas o más.

Con esta condición, se toma una última lectura de vacío, se procede a cerrar la válvula entre el tanque del transformador y el equipo de vacío, y se toman lecturas de vacío cada cinco minutos por un lapso de una hora como mínimo.

Cuando tres lecturas sucesivas tienen el mismo valor, ésta es la presión de vapor producida por la humedad residual, a la temperatura en que se encuentran los devanados del transformador.

En el caso de que las lecturas de vacío no se estabilicen y se salgan del rango del vacuómetro, se tiene el transformador húmedo o en su defecto con fugas.

Se determina la temperatura de los devanados, preferentemente por el método de medición de resistencia óhmica.

Con los valores de presión de vapor y temperatura, se determina la Humedad Residual de los aislamientos sólidos del transformador, utilizando la gráfica de la figura No. 3.40.

3.8.2.2 RECOMENDACIONES.

Es necesario probar a brida ciega el equipo de vacío a fin de conocer el vacío que puede alcanzar y con el objeto de saber si a la temperatura a que están los devanados, es capaz de obtener el vacío correspondiente para la humedad recomendada (0.3 %). Esta prueba se realiza a la temperatura ambiente (10 a 40 °C) y el equipo debe ser capaz de obtener un vacío entre 5 y 75 micrones (ver figura No. 3.42).

Para la medición de la resistencia óhmica se debe utilizar un óhmetro para bajas resistencias, recomendándose el uso del doble puente de Kelvin.

3.8.2.3 METODO DEL PUNTO DE ROCIO DEL GAS (NITROGENO O AIRE).

El Punto de Rocío de un gas es, por definición, la temperatura a la cual la humedad presente (vapor de agua contenido en el gas) comienza a condensarse sobre la superficie en contacto con el gas. Con base en este valor se puede determinar sobre un volumen conocido, la cantidad total de agua contenida en él, así como su Humedad Relativa. La cantidad de agua en el papel se determina como una función de la Humedad Relativa del gas con el cual está en contacto cuando está expuesto, hasta alcanzar condiciones de equilibrio entre sus respectivas humedades.

En la actualidad existe la suficiente experiencia como para decir que la técnica de determinación de humedad por este método es adecuada y con suficiente precisión. El procedimiento general consiste en llenar el transformador con un gas seco (aire o nitrógeno), de tal manera que al cabo de un cierto tiempo, en el cual se alcance el estado de equilibrio en humedad, se mide el Punto de Rocío del gas y con este valor poder determinar la Humedad Residual en los aislamientos. A continuación se detallan los pasos necesarios para efectuar la determinación de la Humedad Residual.

a) Al terminar con el armado del transformador, comunicados tanque conservador y radiadores, extraer todo el aceite y con el transformador debidamente sellado, se procede a efectuar vacío hasta alcanzar un valor de 100 micrones o menos, manteniéndose en estas condiciones por cuatro horas.

1 mm de Hg = 1000 micrones.

b) Al término fijado en el punto anterior romper el vacío con aire o nitrógeno seco, con un Punto de Rocío de -45°C o menor. Presurizar el transformador a 5 lbs/pgda² y mantener en estas condiciones por 24 horas, tiempo suficiente para alcanzar el punto de equilibrio.

c) Transcurrido dicho tiempo, efectuar la medición del Punto de Rocío del gas.

d) Determinar la temperatura de los devanados, preferentemente por el método de medición de resistencia óhmica.

e) Con el valor de Punto de Rocío obtenido y la presión del gas dentro del transformador, determinar la presión de vapor (ver gráfica de la Figura No. 3.41).

f) Con la presión de vapor y la temperatura de devanados determinar la Humedad Residual con la gráfica de la Figura No. 3.40.

Para la determinación del Punto de Rocío, se puede usar cualquier higrómetro de los que existen en el mercado; los más utilizados son el de Hielo Seco y los de Alnor y Panametrics entre otras marcas. A continuación se describe la metodología empleada para esos equipos.

3.8.2.3.1 HIGROMETRO DE HIELO SECO.

1) Teniendo el transformador presurizado, se desconecta la manguera del tanque de Nitrógeno y se conecta a la entrada del Higrómetro, verificando que estén cerradas sus válvulas de entrada y salida del medidor (ver Figura No. 3.44).

2) Determinar la temperatura de los devanados como se indica en el inciso (d) del punto 3.8.2.2.

3) Desarmar el Higrómetro y limpiar perfectamente la superficie exterior cromada del vaso.

4) Registrar la presión del tanque del transformador y abrir las válvulas del Higrómetro y del tanque del transformador, con lo que se produce un flujo de gas a través del Higrómetro hacia la atmósfera.

5) Dentro del vaso del higrómetro colocar un termómetro de laboratorio con escala de -50°C a 100°C , el bulbo del termómetro se coloca a la altura donde el flujo de gas choca con la superficie exterior del vaso; se vierte acetona pura hasta la mitad del vaso aproximadamente y se van agregando trozos pequeños de hielo seco (CO_2), teniendo cuidado de no poner muchos trozos a la vez, debido a que se produce efervescencia en la acetona y se puede derramar.

6) Al inicio de la prueba, el vaso del higrómetro se nota completamente brillante; esto se puede comprobar mirando a través del cristal transparente (ver Figura No. 3.43).

7) Agregar continuamente hielo seco, observando la temperatura de la acetona, ya que llega un momento en el cual el vaso del higrómetro se torna opaco. Tomar la lectura de temperatura en ese instante y ésta es la temperatura del Punto de Rocío del gas, a la presión del tanque del transformador.

Para determinar la Humedad Residual, referirse a los incisos (e) y (f) del punto 3.8.2.2.

3.8.2.3.2 HIGROMETRO ALNOR.

El higrómetro de la marca Alnor se usa para determinar el Punto de Rocío de algunos gases. El más adecuado para la aplicación en transformadores de potencia es el tipo No. 7000 U de 115 VCA 50/60 Hz. y 7.5 VCD para las pruebas en campo.

1) Seguir los pasos 1 y 2 del procedimiento del higrómetro de hielo seco.

2) Conectar el medidor a una fuente de 115 VCA o bien usar la batería.

3) Antes de la prueba el medidor debe ser ajustado como sigue:

- Colocar la válvula de operación en posición fuera.
- Abrir la válvula de purga para asegurar que no existe presión en el medidor.
- Oprimir la válvula del medidor y girar el tornillo de ajuste hasta que el menisco de la columna de aceite, coincida con el 1 de la escala.
- Liberar la válvula del medidor.
- Cerrar la válvula de purga y bombear hasta que el medidor alcance una lectura de 0.5, abrir la válvula de purga y el menisco debe regresar en unos cuantos segundos a el 1 de la escala, en caso de que no regrese, repetir los pasos anteriores.

- 4) Se recomienda que la conexión entre el tanque del transformador y el medidor, sea de cobre flexible y lo más corta posible. Verificar la limpieza de ésta, sus conexiones deben estar bien apretadas, con un filtro externo entre el medidor y el tanque del transformador.
- 5) Nunca oprimir la válvula del medidor a menos que la válvula de operación esté fuera, la válvula de purga abierta y la válvula de corte cerrada.
- 6) Abrir la válvula de purga, colocar la válvula de operación en posición fuera y abrir la válvula del transformador, dejar fluir el gas a través del medidor, operando la bomba de émbolo repetidas veces, con objeto de efectuar un barrido que desaloje el aire que contiene el medidor.
- 7) Cerrar la válvula de purga y bombear la muestra del gas en el medidor hasta obtener un valor de 0.5 en la escala. Observar dentro de la ventana de la cámara de niebla y presionar hacia abajo la válvula de operación sin dejar de ver por la ventana; si se forma niebla en el cono de luz, es necesario probar a un valor más alto en la escala. Repetir la prueba hasta encontrar dos valores en la escala contiguos, con una diferencia no mayor de 0.01, donde se presente y no la niebla en la cámara. El valor intermedio entre estos dos, es el valor correcto de la relación de presión.
- 8) Con este valor de Relación de Presión y la temperatura del gas (leída en el termómetro del medidor), entrar al calculador de Punto de Rocío (suministrado junto con el medidor) y obtener el valor de temperatura de Punto de Rocío. Es necesario ubicar en el calculador, el valor de la constante "Q" del gas utilizado (nitrógeno).

3.8.2.3.2.1 RECOMENDACIONES AL APLICAR EL METODO DESCRITO.

- a) La instalación de la conexión del higrómetro debe hacerse sobre el tanque principal del transformador, de tal manera que quede completamente expuesta al gas.
- b) Para transformadores nuevos o reparados, se debe determinar el Punto de Rocío del nitrógeno que contiene el transformador desde fábrica y que debe mantenerse durante su transporte. Esta medición se hace antes de cualquier maniobra de inspección interna y del armado. El valor de humedad determinado es de utilidad para una apreciación preliminar del tiempo necesario para la puesta en servicio del transformador.
- c) No se debe tomar como temperatura de los devanados la temperatura de los termómetros propios del transformador, ya que éste se encuentra sin aceite y sus instrumentos dan valores erróneos.



3.8.2.3.3 HIGROMETRO PANAMETRICS - 2000.

Con base en la experiencia de campo de los ingenieros de mantenimiento del área de Distribución de CFE, se ha llegado a la conclusión de que éste equipo no es adecuado para utilizarse en el campo, debido a que sus celdas sensoras pierden calibración con el uso en campo y no existen en el país los medios para su calibración. Así entonces, el uso de este equipo queda limitado para transformadores ubicados en fábricas, laboratorios y talleres de reparación o servicio.

3.8.3 VALORES ACEPTABLES DE HUMEDAD RESIDUAL EN AISLAMIENTOS SOLIDOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

Los fabricantes de transformadores y reactores de potencia recomiendan que el secado de estos equipos sea menor de 0.5% de Humedad Residual.

Un contenido de humedad de entre 0.2 y 0.4 % es un buen valor de trabajo. Humedades Residuales por debajo de 0.1 %, además de ser difíciles de obtener, no se recomiendan por la posible pérdida de vida del aislamiento. Se ha demostrado por varios investigadores, que el contenido de agua en un aislamiento fibroso se equilibra a un nivel gobernado por la presión de vapor y la temperatura del medio aislante; la gráfica o carta de equilibrio de la figura No. 3.40 muestra esta relación.

Como conclusión general, se recomienda que un valor aceptable de Humedad Residual en aislamientos solidos para transformadores y reactores de potencia, debe ser del 0.3 %.

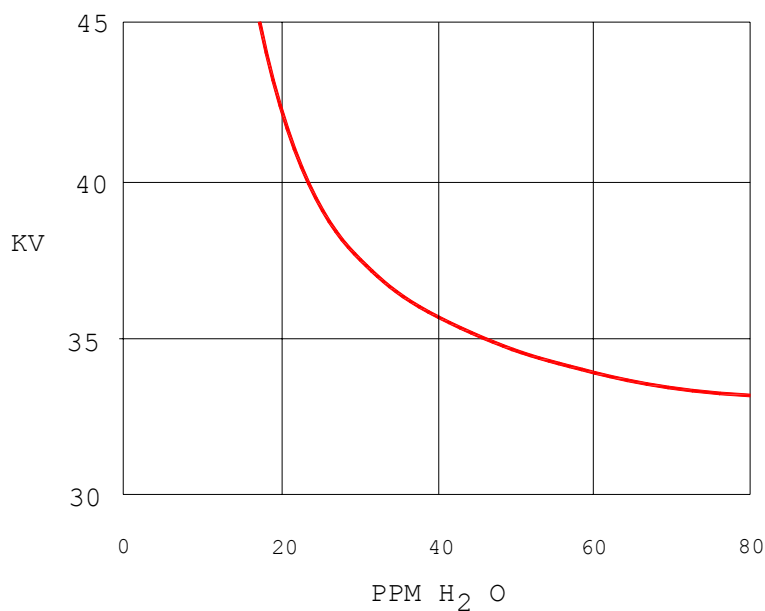


FIG. 3.36 VARIACION DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE CON SU CONTENIDO DE AGUA

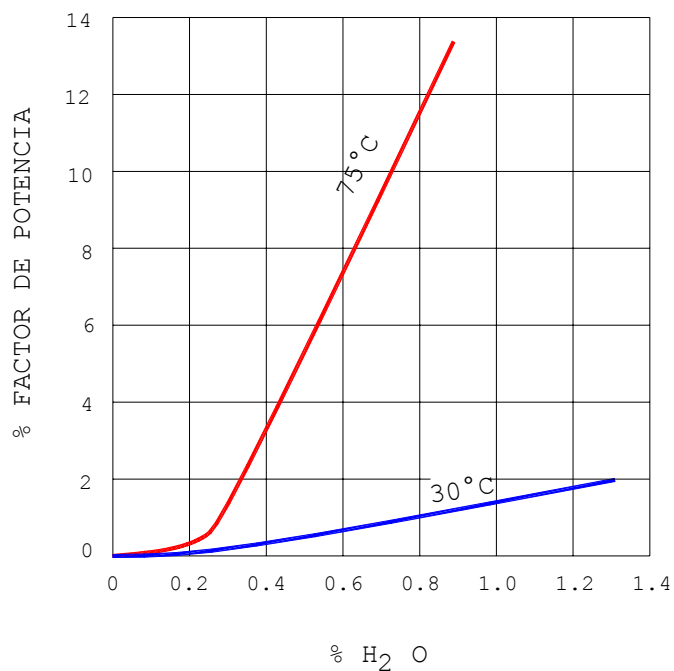


FIG. 3.37 VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA DEL PAPEL KRAFT CON SU CONTENIDO DE AGUA

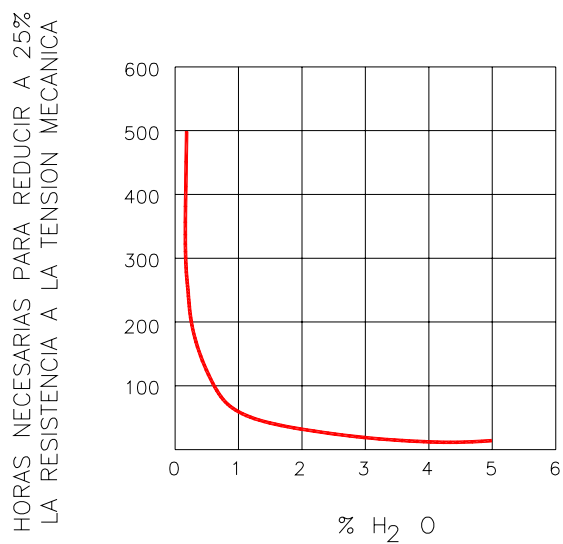


FIG. 3.38 EFECTO DE LA HUMEDAD EN EL PAPEL SOMETIDO A ENVEJECIMIENTO A UNA TEMPERATURA DE 150 °C

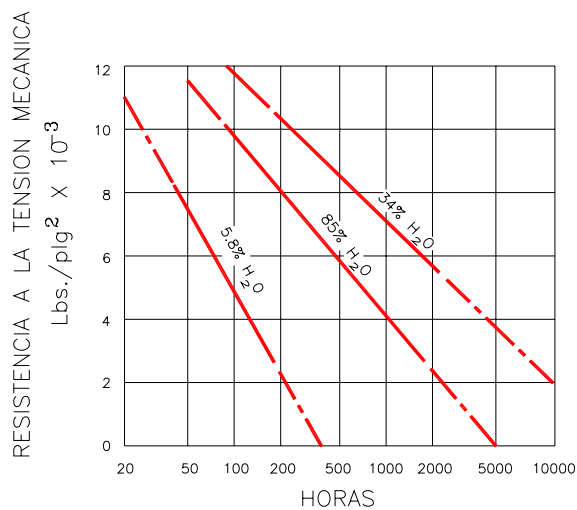


FIG. 3.39 ENVEJECIMIENTO DE PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE, A UNA TEMPERATURA DE 130 °C

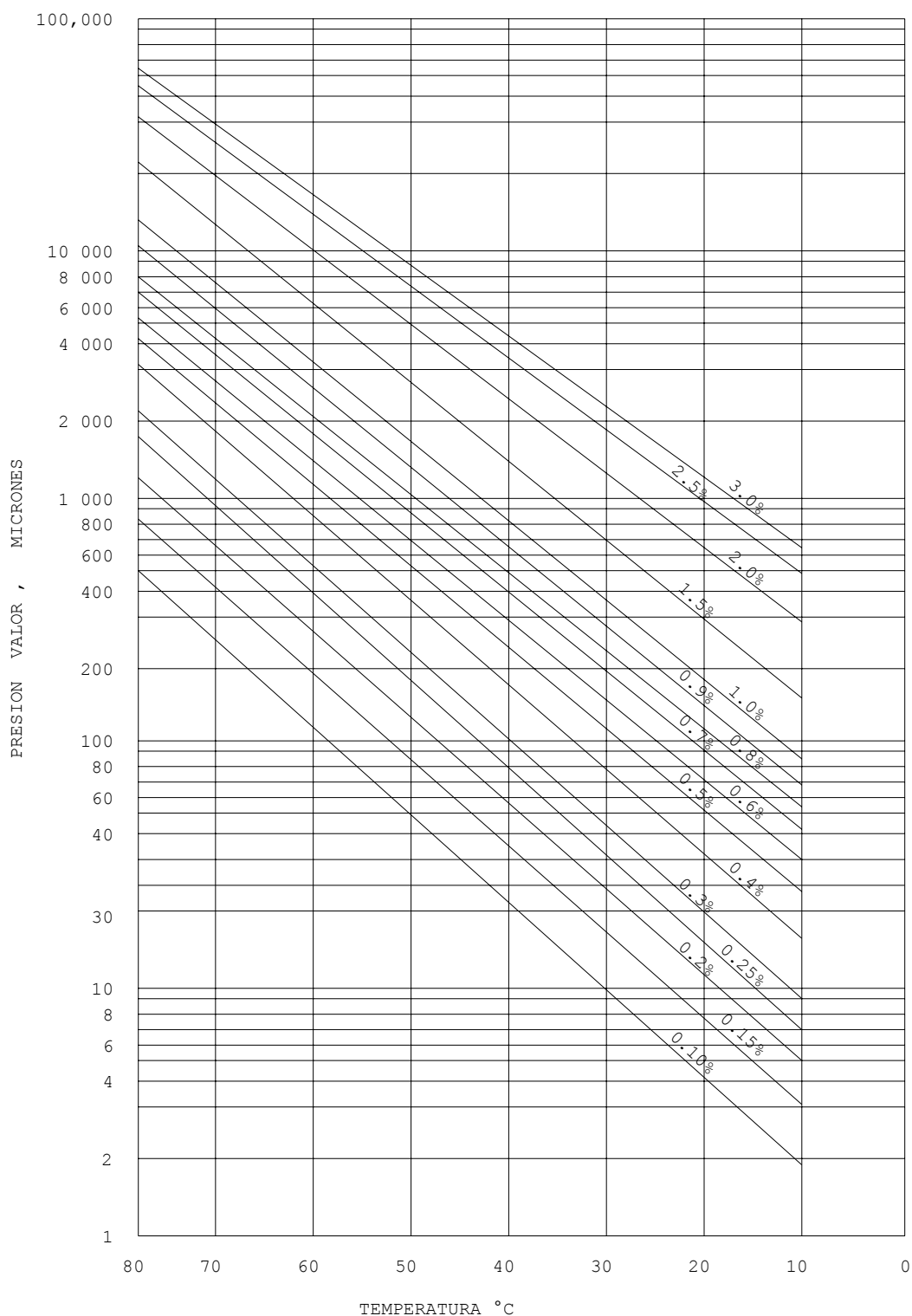


FIG. 3.40 GRAFICA DE EQUILIBRIO DE HUMEDAD

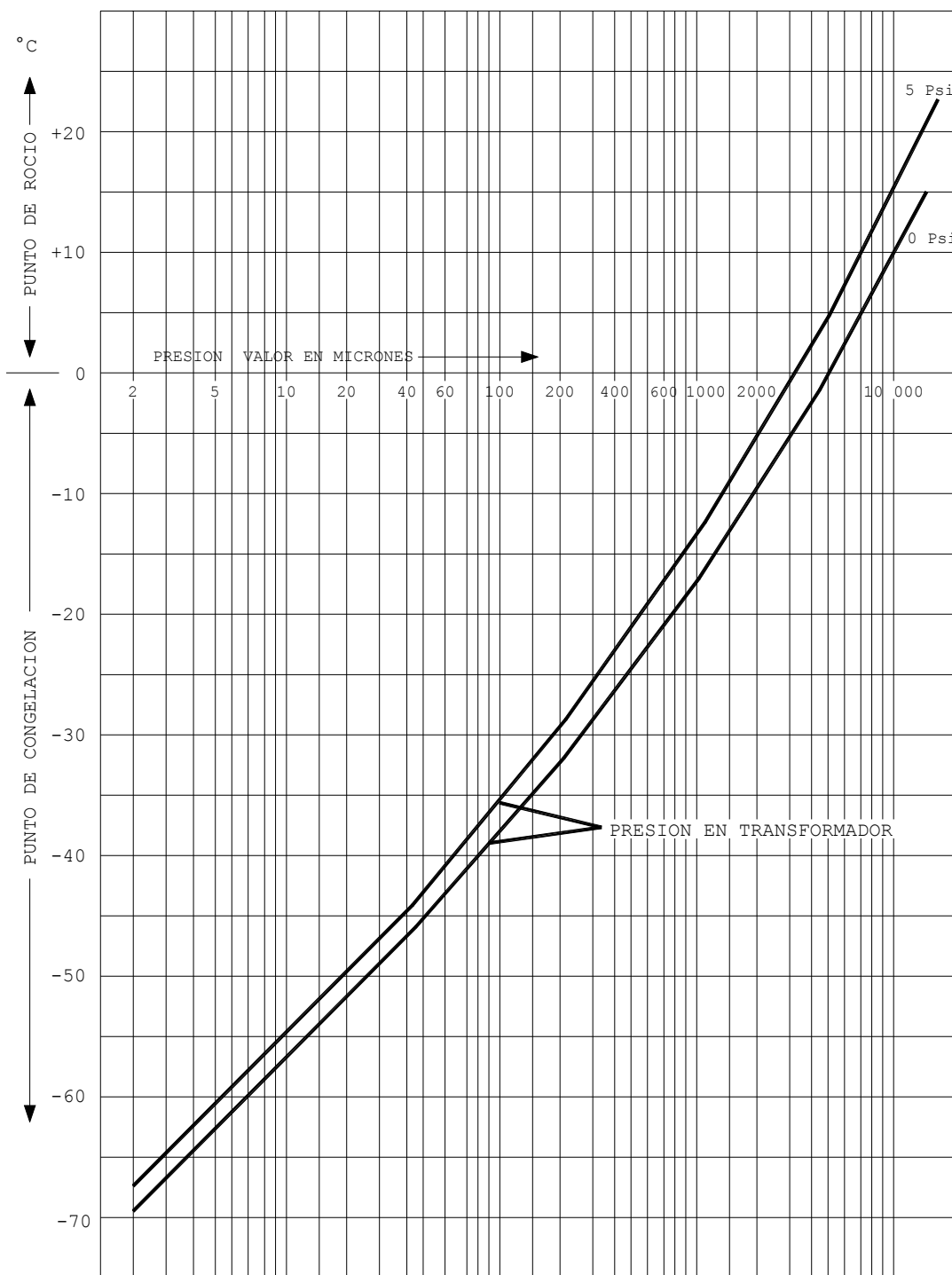
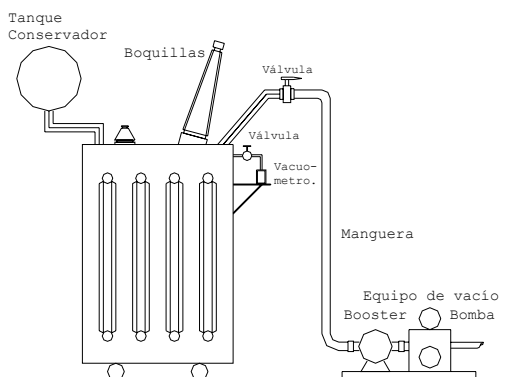


FIG. 3.41 CONVERSION DE PUNTO DE ROCIO A PRESION DE VAPOR



TRANSFORMADOR

FIG. 3.42

HIGROMETRO DE HIELO SECO

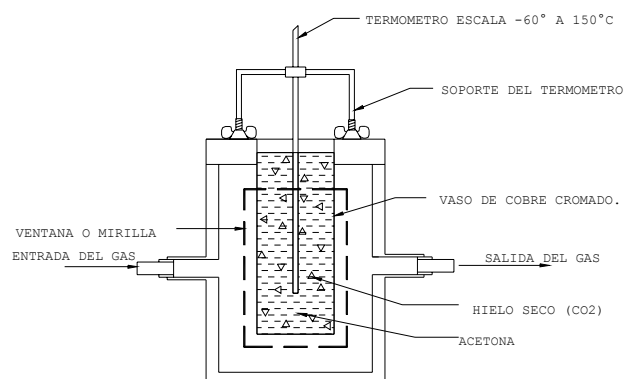
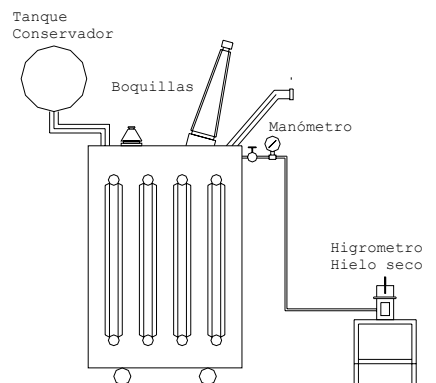


FIG. 3.43



TRANSFORMADOR

FIG. 3.44

3.9 PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION.

La prueba de reactancia de dispersión en los transformadores de potencia, es un auxiliar para detectar problemas relacionados con el cambio físico en la geometría del conjunto núcleo-bobinas.

3.9.1 TEORIA GENERAL.

Es una prueba que está influenciada por el canal de dispersión en los transformadores de potencia y es indicativa para detectar deformación o distorsión de los devanados y sus sistemas de sujeción en un transformador, debido a:

- Impactos y movimientos severos durante su transporte o maniobra.
- Esfuerzos mecánicos por fallas externas de cortocircuito soportadas por el transformador.
- Defectos derivados del diseño, fabricación o reparación del transformador.

La mayoría de las fallas de transformadores se inician como problemas mecánicos y eventualmente ocurren directamente por razones eléctricas. Cuando se presentan fallas de cortocircuito externas, el transformador puede sufrir modificaciones en su geometría física y permanecer en servicio con los devanados y/o los sistemas de sujeción parcialmente distorsionados, reduciéndose la confiabilidad y la vida útil del transformador.

Dentro de las pruebas periódicas de mantenimiento al transformador, se recomienda realizar esta prueba. Los cambios en el parámetro de reactancia son un indicador confiable para determinar una posible distorsión de los devanados y/o sus sistemas de sujeción.

3.9.2 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas al equipo primario
- b) Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- c) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas del devanado secundario o terciario, si éste es el caso.
- d) Conectar adecuadamente las terminales de prueba al transformador que se va a probar y encender el medidor.

- e) Realizar inicialmente la prueba en el equivalente trifásico. En caso de obtenerse valores anormales, la prueba debe realizarse por cada una de las fases.
- f) Para todos los transformadores nuevos o reparados se debe realizar la prueba en todas las posiciones del cambiador de derivaciones. Para los equipos que se encuentran en servicio se hace únicamente en la posición de operación.
- g) Contar con la información necesaria para la realización e interpretación de la prueba como es:
 - % de Impedancia
 - La capacidad base a que se encuentra referida esta impedancia en KVA o MVA
 - El voltaje base de línea a línea para la posición del cambiador de derivaciones durante la prueba, en KV
 - Si se disponen, los antecedentes de las pruebas.
- h) Seleccionar un voltaje adecuado que permita la medición con exactitud.
- i) Medir simultáneamente la corriente y la tensión.
- j) Existen equipos que hacen las mediciones automáticamente y que disponen de un módulo de medición de Reactancia de Dispersión.

3.9.3 INSTRUCCIONES PARA EL USO DE DIFERENTES MEDIDORES DE REACTANCIA DE DISPERSION.

Considerando que se trata de una prueba aún en desarrollo y que es aplicada tanto como prueba de rutina como prueba opcional a los transformadores de potencia, a continuación se describen las particularidades de algunos equipos disponibles en el mercado.

3.9.3.1 EQUIPO M4000 CON MODULO M4110.

El equipo M4000 requiere adicionalmente del módulo 4110 para realizar la prueba. El módulo de Reactancia de dispersión M4110 proporciona una corriente máxima de prueba de 25 amperes durante 3 a 5 minutos antes de disparar el interruptor de salida. El rango máximo continuo de la corriente de operación es de 9.5 amperes. El módulo está equipado con un circuito de protección térmico, el cual evita que se tenga salida de potencia cuando la temperatura del autotransformador o variac ha excedido el límite de operación segura. La luz roja al encenderse indica una sobrecarga.

Una vez que se han cargado los datos de placa del transformador y la información inicial de prueba, el M4000 calcula y sugiere la corriente de prueba.

3.9.3.2 EQUIPO M4000 CON MODULO M4130.

El equipo M4000 requiere adicionalmente del modulo 4130 y de un variac externo para realizar la prueba. El modulo de Reactancia de dispersión M4130 proporciona una corriente de prueba de magnitud dependiente de la capacidad del variac externo. La proteccion de sobrecarga debe estar asociada al variac externo.

Una vez que se ha proporcionado la información de los datos de placa del transformador y la información inicial de prueba, el M4000 calcula y sugiere la corriente de prueba.

3.9.3.3 EQUIPO ETP CON MODULO UM5B.

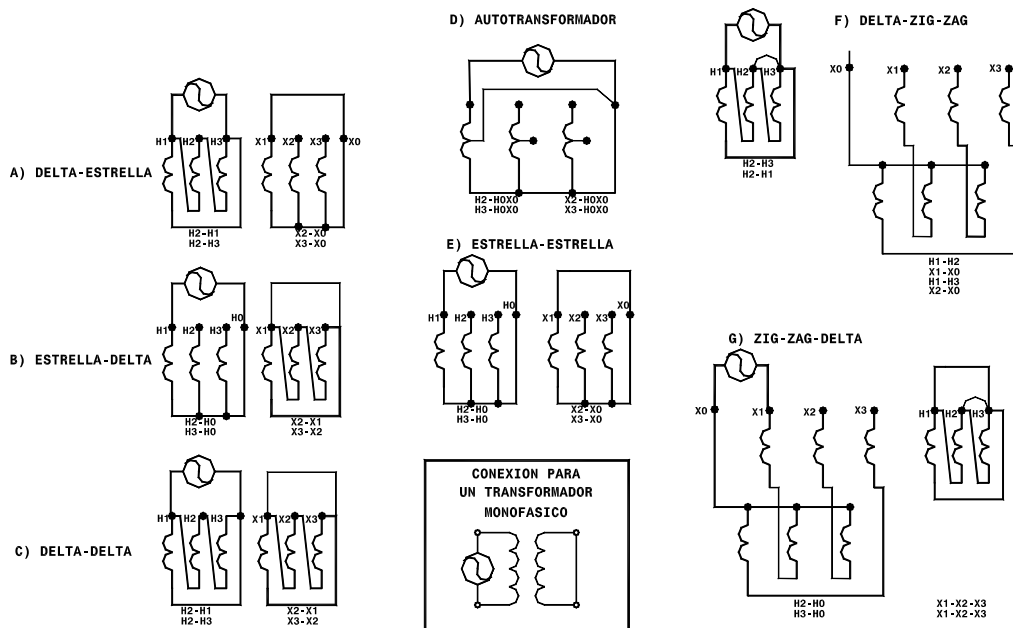
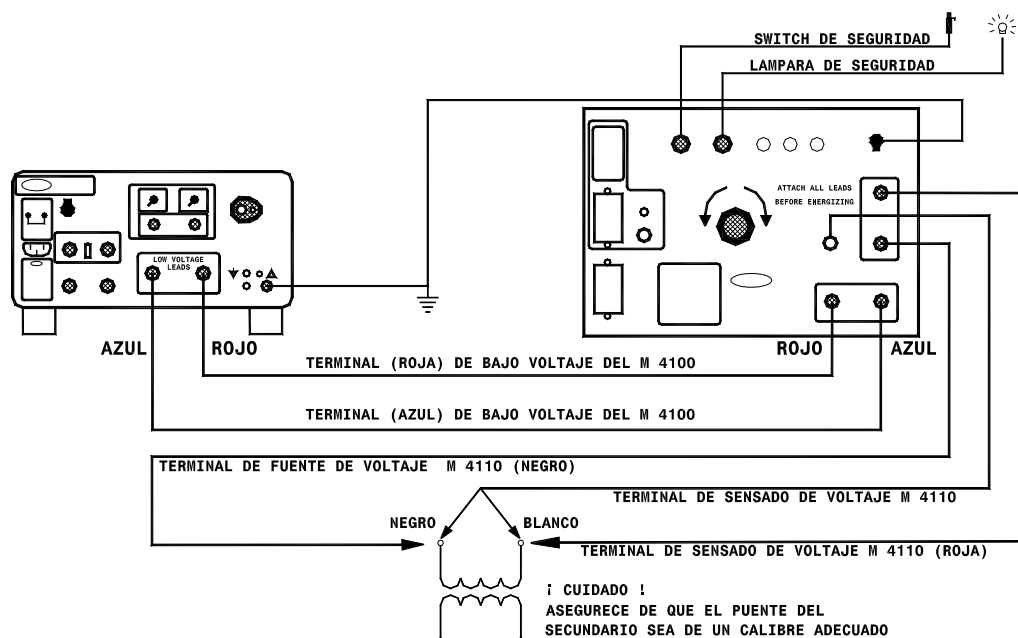
El equipo ETP requiere adicionalmente del modulo UM5B para realizar la prueba. El modulo UM5B puede proporcionar tensiones hasta de 250 volts durante las pruebas.

Una vez que se ha proporcionado la información de los datos de placa del transformador y la información inicial de prueba, el ETP determina y aplica la corriente y voltaje de prueba de manera automatica a traves del modulo UM5B.

3.9.4 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Para el medidor con el módulo 4110, las figuras No. 3.45 y 3.46 muestran de manera resumida, la metodología de conexión para la realización de las pruebas tanto por fase como del equivalente trifásico respectivamente. De manera mas específica y con el mismo equipo, las conexiones de prueba para transformadores de dos devanados con diversas conexiones y para autotransformadores se muestran en las figuras de la 3.47 a la 3.51.

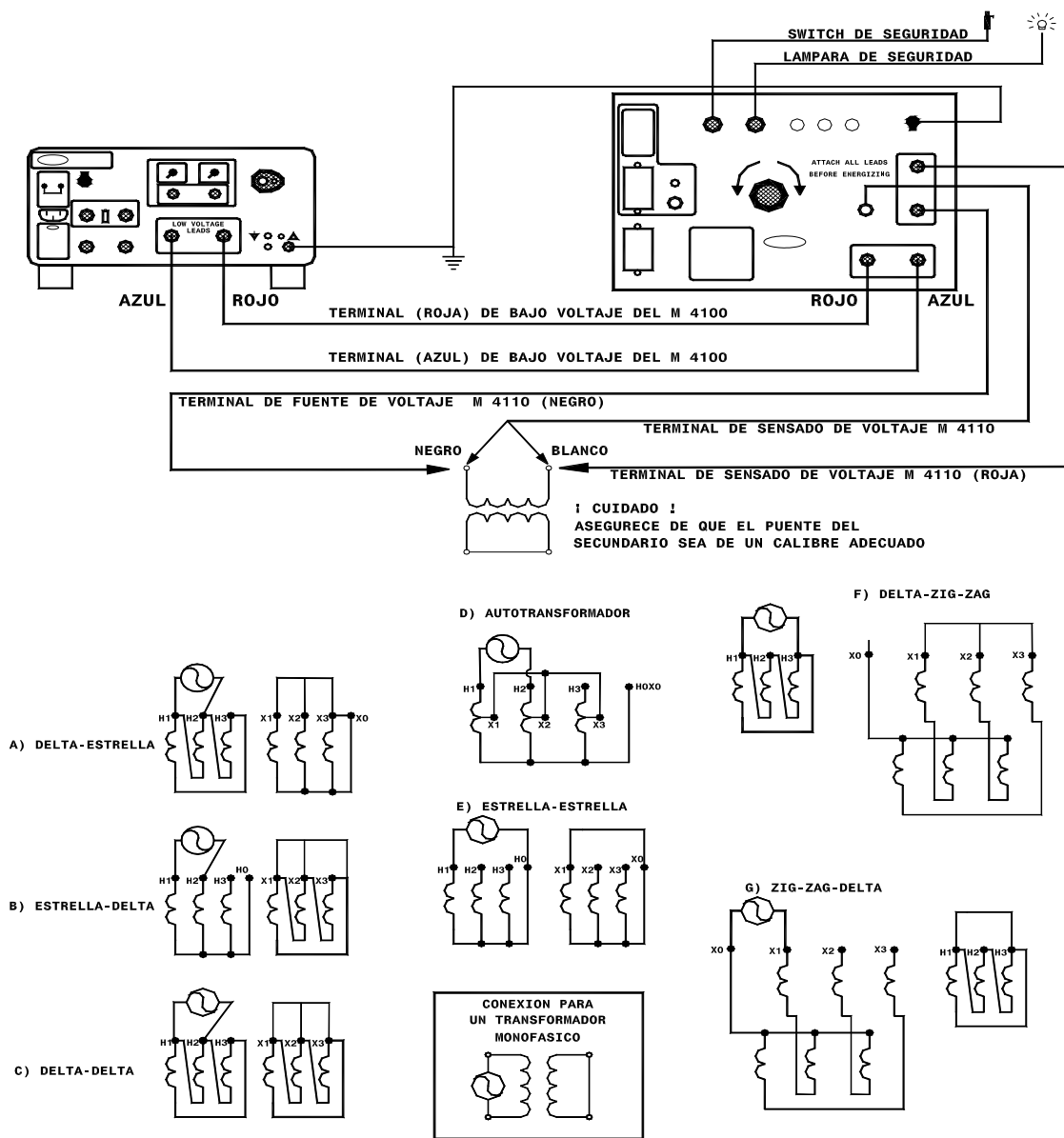
Finalmente la figura 3.52 muestra de manera ilustrativa la prueba de un transformador conexión Delta-Estrella con el medidor ETP. En razón de que este equipo indica en la pantalla de su PC asociada, las conexiones necesarias para realizar la prueba en transformadores con diferentes conexiones; no se incluyen mas figuras para otras conexiones de transformadores.



CONEXIONES PARA PRUEBAS POR FASE EN UN TRANSFORMADOR TRIFASICO

FIG. 3.45 PRUEBAS POR FASE

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16



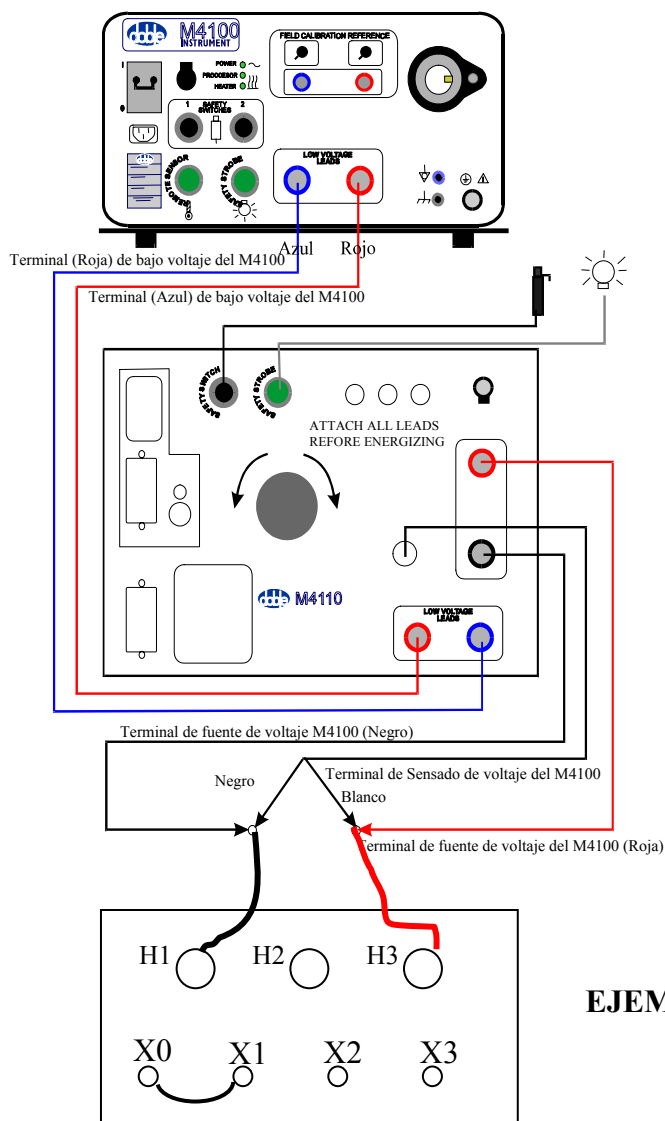
CONEXIONES PARA PRUEBAS EQUIVALENTES TRIFASICAS EN UN TRANSFORMADOR TRIFASICO

FIG. 3.46 PRUEBAS DE EQUIVALENTES TRIFÁSICOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION

CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16



EJEMPLO PRUEBA 1

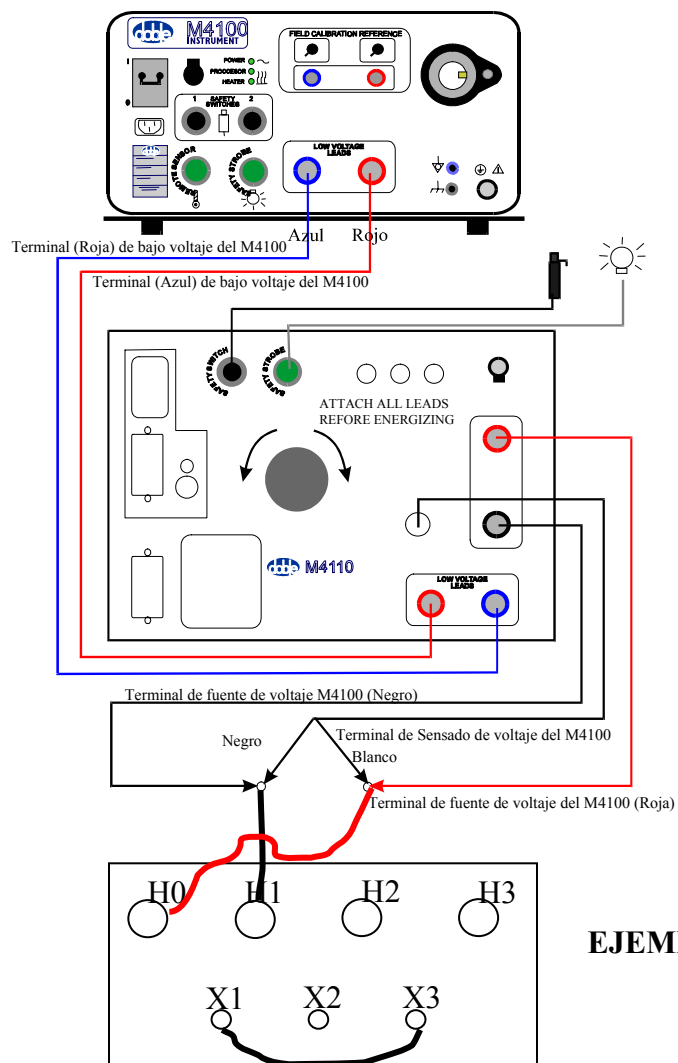
PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H3	X1-X0	Z1
2	H2	H1	X2-X0	Z2
3	H2	H3	X3-X0	Z3
4	H1	H2	X1-X2-X3	Z _{3φ}

FIG. 3.47 TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION

CONEXION DELTA-ESTRELLA

UTILIZAR FORMATO DEUEBA SE-03-16

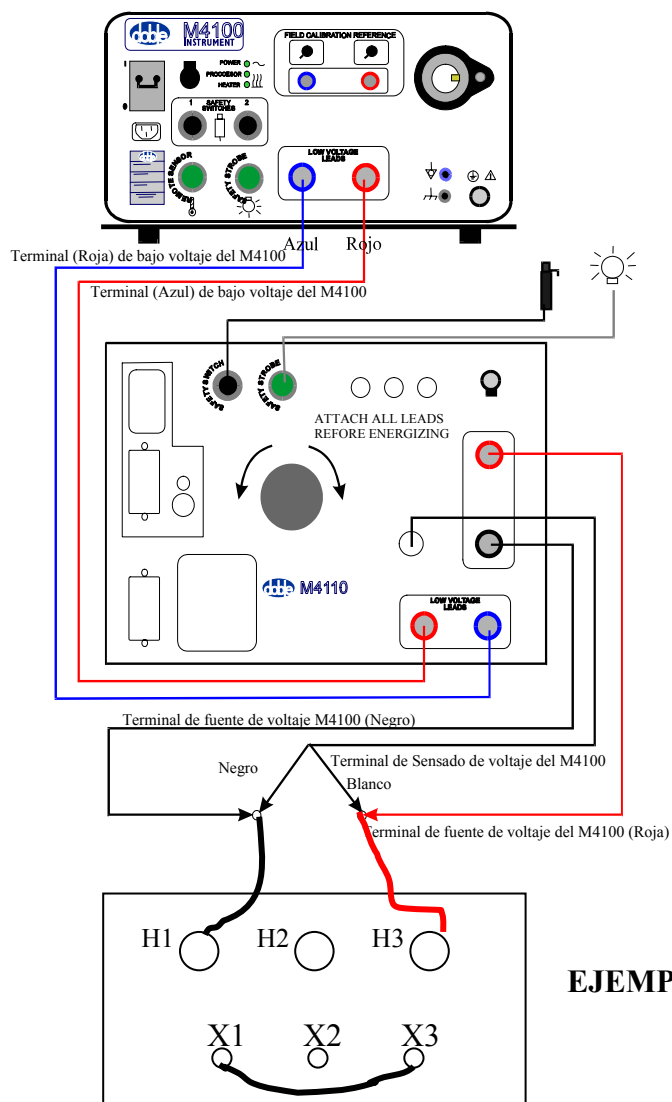


EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H0	X1-X3	Z1
2	H2	H0	X2-X1	Z2
3	H2	H0	X3-X2	Z3
4	H1	H2	X1-X2-X3	Z _{3φ}

Fig 3.48 TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
CONEXIÓN ESTRELLA-DELTA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16

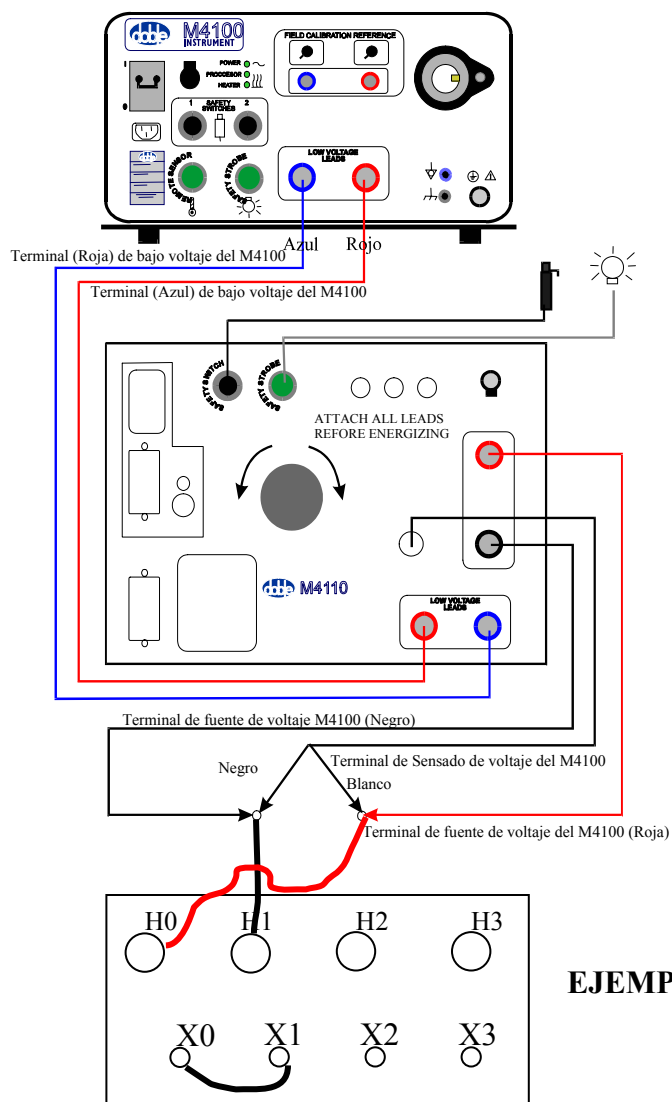


EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H3	X1-X3	Z1
2	H2	H1	X2-X1	Z2
3	H2	H3	X3-X2	Z3
4	H1-H2-H3	H1-H2-H3	X1-X2-X3	Z _{3φ}

FIG. 3.49 TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
CONEXIÓN DELTA-DELTA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16

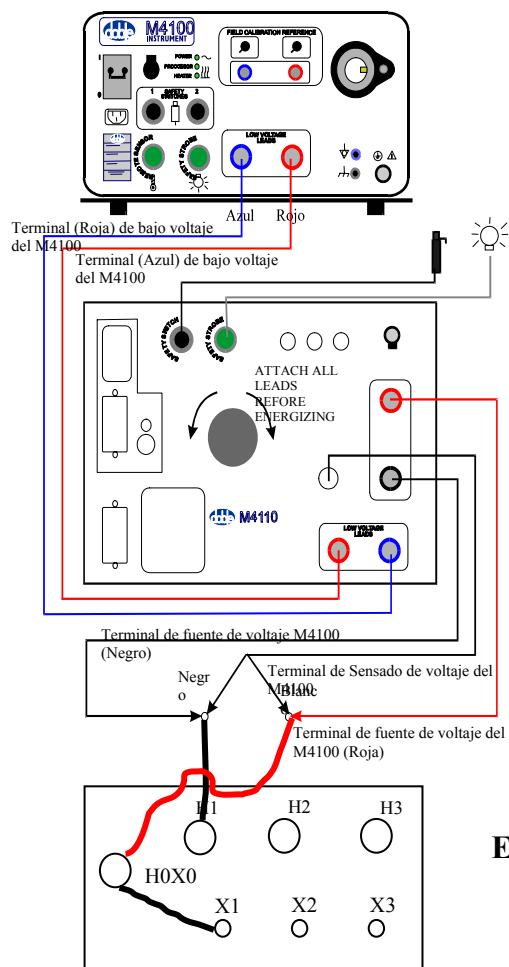


EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H0	X1-X0	Z1
2	H2	H0	X2-X0	Z2
3	H3	H0	X3-X0	Z3
4	H1	H2	X1-X2-X3	Z _{3φ}

FIG. 3.50 TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
CONEXIÓN ESTRELLA-ESTRELLA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16



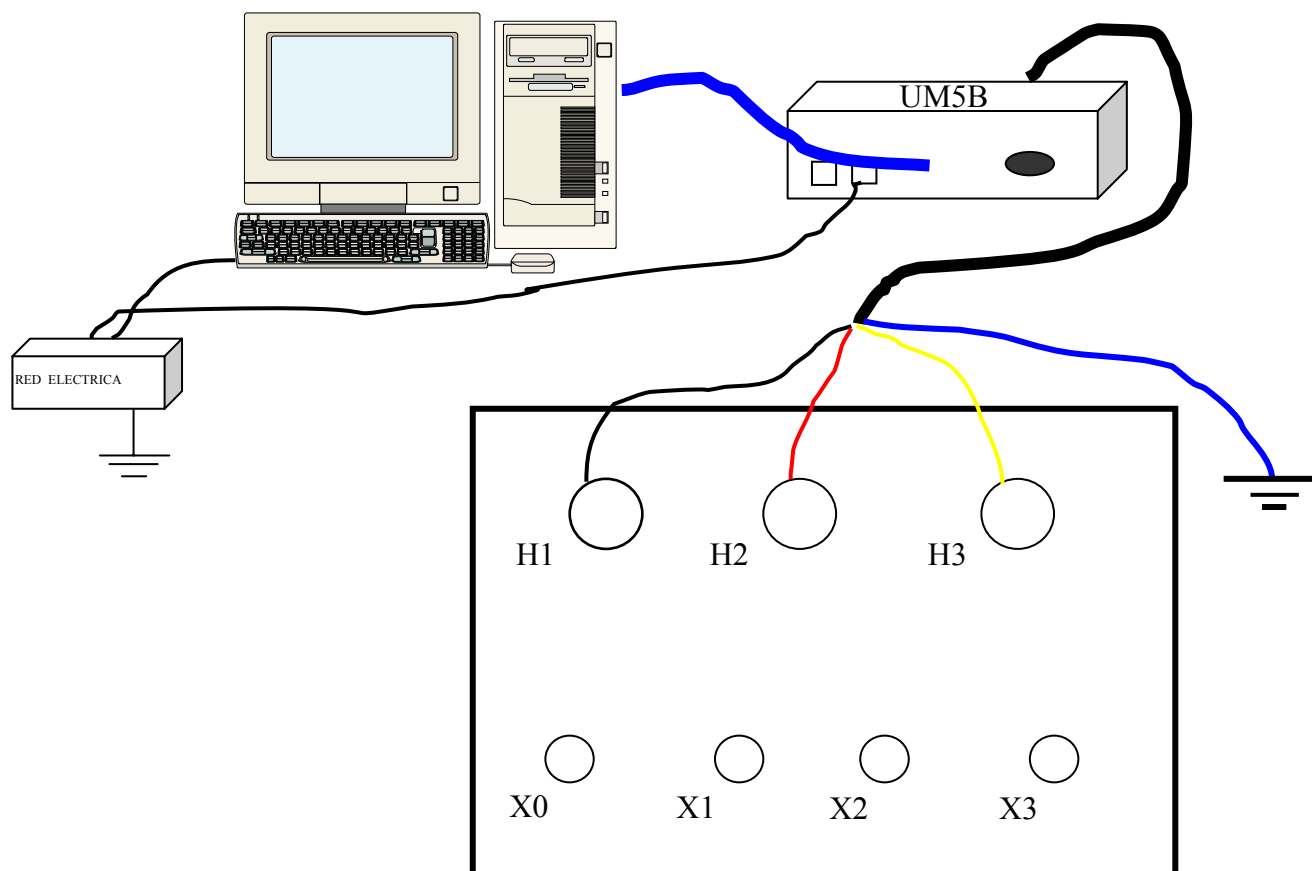
EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H0	X1-X0	Z1
2	H2	H0	X2-X0	Z2
3	H3	H0	X3-X0	Z3
4	H1	H2	X1-X2-X3	Z _{3φ}

PRUEBA	NEGRO/NEGRO	ROJA/BLANCO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H0-X0	X1-H0-X0	Z1
2	H2	H0-X0	X2-H0-X0	Z2
3	H3	H0-X0	X3-H0-X0	Z3
4	H1	H2	X1-X2-X3	Z _{3φ}

FIG. 3.51 AUTOTRANSFORMADOR

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16



PRUEBA	NEGRO	ROJO	AMARILLO	CONEXIONES EN BAJA	MIDE
1	H1	H2	H3	X0-X1	Z1
2	H1	H2	H3	X0-X2	Z2
3	H1	H2	H3	X0-X3	Z3

FIG. 3.52 TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

PRUEBA DE REACTANCIA DE DISPERSION
CONEXIÓN DELTA-ESTRELLA
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-03-16

3.9.5 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Debido a que es una prueba de reciente desarrollo y aplicación, no existe aun un criterio definido para evaluar los resultados. A la fecha se evalúan las variaciones en la impedancia de placa del transformador; considerándose permisibles aquellas desviaciones entre el 3% y el 5% dentro de las cuales se considera que un equipo se encuentra en buen estado (valores que corresponden a los criterios americano y europeo respectivamente).

Es importante tomar en cuenta que esta no es una prueba determinante para evaluar el estado de un transformador de potencia, sus resultados deben considerarse sobre todo en las tendencias de variación histórica o como complemento a otro tipo de pruebas (Relación de transformación, Corriente de excitación, Resistencia óhmica y Capacitancia). Para ello es de suma importancia contar con valores iniciales de prueba, previos al embarque del equipo y a su puesta en servicio.

Una variación en el porcentaje de la reactancia de dispersión (mayor a la de los criterios indicados anteriormente) entre una prueba anterior y una posterior puede ser indicativo de un cambio en la geometría de la parte activa del transformador, lo cual puede interpretarse como una probable falla incipiente en el conjunto núcleo-bobinas con una posibilidad de evolucionar hacia una probable falla mayor futura.

Al no existir un valor límite de la prueba, la determinación de que un transformador pueda seguir operando o dejarse fuera de servicio, depende más de la variación histórica presentada en pruebas anteriores, que del valor de una sola prueba.

3.10 PRUEBA DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA.

La prueba de respuesta a la frecuencia en los transformadores de potencia es un auxiliar para la detección de posibles problemas físicos en la geometría de los transformadores.

Podría ser considerada como de prototipo, y actualmente en campo es opcional, debido a que esta sujeta a la disposición de equipos de prueba y a que su proceso de desarrollo como herramienta de diagnóstico se encuentra en sus primeras etapas. Por tal razón solo se le incluye para aspectos de conocimiento teórico en el Capítulo 2.



GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN				COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD				
TRANSFORMADORES				FECHA ÚLTIMA PRUEBA: _____				
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO				REPORTE No.: _____				
				DIVISIÓN: _____				
				ZONA: _____				
SUBESTACIÓN: _____				FECHA: _____				
EQUIPO (CLAVE): _____				MARCA: _____		TIPO: _____		
No. DE SERIE: _____				CAPACIDAD: _____		MVA _____		
VOLTAJE (kv) _____		A.T. _____		TER.: _____		IMPEDANCIA: _____ %		
B.T. _____								
TEMP. DEV.: _____ °C		TEMP. ACEITE: _____ °C		TEMP. AMB.: _____ °C		H.R.: _____ %		
MEGGER No. DE SERIE: _____		ESCALA: _____		MULTIPLICADOR: _____		MARCA: _____		
CONEXIONES DE PRUEBA								
LINEA							INDICES	
GUARDA							R _H	
TIERRA							10/1	
							1/1/2	
TIEMPO DE LA PRUEBA (MIN)	LECTURAS			LECTURAS			R _X	
	MEDIDA	MULTIPLICADA	CORREGIDA A 20 °C	MEDIDA	MULTIPLICADA	CORREGIDA A 20 °C	10/1	
1/4							1/1/2	
1/2							R _{XH}	
3/4							10/1	
1							1/1/2	
2								
3							DIAGRAMA FASORIAL	
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
CONDICIONES METEOROLÓGICAS: _____								
CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.				RESISTENCIA MÍNIMA DE AISLAMIENTO EN ACEITE A 20 °C.				
TEMP. DEL TRANSFORMADOR	FACTOR DE CORRECCIÓN	TEMP. DEL TRANSFORMADOR	FACTOR DE CORRECCIÓN	INDICES DE POLARIZACIÓN Y ABSORCIÓN PROMEDIO MÍNIMO	VOLTAJE ENTRE FASES (kv)	MEGAHOMS	VOLTAJE ENTRE FASES (kv)	MEGAHOMS
95	89,00	35	2,50		1,20	32	92,00	2480
90	66,00	30	1,80		2,50	68	115	3100
85	49,00	25	1,30		5,00	135	138	3720
80	36,20	20	1,00		8,66	230	161	4350
75	26,80	15	0,73		15,00	410	196	5300
70	20,00	10	0,54		25,00	670	230	6200
65	14,80	5	0,40		34,50	930	287	7750
60	11,00	0	0,30		46,60	1240	345	9300
55	8,10	-5	0,22		69,00	1860		
50	6,00	-10	0,16					
45	4,50	-15	0,12					
40	3,30							
* TEMPERATURA DEL ACEITE				FACTOR DE CORRECCIÓN UTILIZADO: _____				
VALOR DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NÚCLEO A TIERRA				MEGAHOMS A 1000 VOLTS.				
OBSERVACIONES: _____								
PROBÓ: _____				REVISÓ: _____				

FORMATO SE-41

GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TRANSFORMADORES

PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN (TTR)

REPORTE NO. _____

FECHA DE ÚLTIMA PRUEBA: _____

SUBESTACIÓN: _____

DIVISIÓN: _____

MARCA: _____

SE _____

AÑO DE FABRICACIÓN: _____

CAPACIDAD: _____

MVA _____

VOLTAJES (kv): _____

A.T. _____

B.T. _____

IMPEDANCIA: _____

%

FECHA: _____

EQUIPO DE PRUEBA MARCA: _____

1.- PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN A
TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS.

ALTA TENSIÓN:	Y	☐	☐	☐
BAJA TENSIÓN:	Y	☐	☐	☐
TERCIARIO:	Y	☐	☐	☐

DIAGNÓSTICO

VALORES MEDIDOS

VALORES MEDIDOS

TAP	VOLTAJE	AMPERES	RELACIÓN NOMINAL	H - H X - X	H - H X - X	H - H X - X	% DIFERENCIA MÁXIMA

Página 1

1.- PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN A TRANSFORMADOR DE TRES
DEVANADOS Y AUTOTRANSFORMADORES.

DATOS DE PLACA

VALORES MEDIDOS

TAP	VOLTAJE	AMPERES	RELACIÓN NOMINAL												
				A			B			C					
				H - H X - X	H - H X - X	H - H X - X	H - H Y - Y	H - H Y - Y	H - H Y - Y	X - X Y - Y	X - X Y - Y	X - X Y - Y			

DIFERENCIA MÁXIMA PERMISIBLE
EN RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN:

0.4 %

OBSERVACIONES: _____

ENVIAR COPIAS A:

PROBADO POR:

REVISÓ:



GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TRANSFORMADOR DOS DEVANADOS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISIÓN

ZONA

SUBESTACIÓN:

FECHA:

EQUIPO (CLAVE):

MARCA:

TIPO:

NÚMERO DE SERIE:

CAPACIDAD:

MVA

VOLTAGE (kv):

A.T.:

B.T.:

IMPEDANCIA:

COND. AMBIENTE:

TEMP. DEV.:

°C

TEMP. ACEITE

°C

TEMP. AMB:

°C

H.R.:

%

EQUIPO DE PRUEBA MARCA:

No. DE SERIE:

MODELO:

PRUEBA CON ACEITE Y BOQUILLAS.

FACTOR DE CORRECCIÓN:

PRUEBA	CONEX. PARA PRUEBAS			kv DE PRUEBA	PRUEBA A 10 kv.						% FACTOR DE POTENCIA		INICIALES P / COND. AISL. B = BUENO D = DEFECTUOSO I = INVESTIGAR M = MALO		COND. DE AISL.	
	CABLE ALTO VOLTAJE	CABLE BAJO VOLTAJE	SELECTOR EN		MILIAMPERES			WATTS								
					LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	Ma	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	W						
1	ALTA	BAJA	TIERRA											CAPACITANCIA EN DEVANADOS		
2	ALTA	BAJA	GUARDA											Cu =		
3	ALTA	BAJA	UST											Cux =		
4	BAJA	ALTA	TIERRA													
5	BAJA	ALTA	GUARDA											Cx =		
RESULTADOS CALCULADOS														Cux =	(PRUEBA 1 MENOS PRUEBA 2)	
														Cux =	(PRUEBA 4 MENOS PRUEBA 5)	
PRUEBA AL ACEITE													TEMP. ACEITE			°C

Los valores Ma y W deben compararse con los valores C_{Hx}

TRANSFORMADOR EN ACEITE			ACEITE			TRANSFORMADOR EN ASKAREL		
FACTOR DE POTENCIA A 20 °C	EXCELENTE	≤ 0.5 %	FACTOR DE POTENCIA A 20 °C	NUEVO	0.05 %	FACTOR DE POTENCIA MÁXIMO A 20 °C = 3 %		
	LÍMITE	≤ 1.0 %		BUENO MÁX.	0.5 %			

DIAGRAMA FASORIAL

OBSERVACIONES

PROBÓ:

REVISÓ:

ENVIAR COPIAS A:

FORMATO SE-03



GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TRANSFORMADOR TRES DEVANADOS										FECHA ÚLTIMA PRUEBA					
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										REPORTE No.					
										DIVISIÓN					
										ZONA					
SUBESTACIÓN:										FECHA:					
EQUIPO (CLAVE):										MARCA:					
NÚMERO DE SERIE:										TIPO:					
VOLTAJE (kv):										CAPACIDAD:					
A.T.: B.T.: TER:										COND. AMBIENTE:					
TEMP. DEV.: °C										TEMP. ACEITE.: °C					
TEMP. AMB.: °C										H.R.: %					
EQUIPO DE PRUEBA MARCA:										No. DE SERIE:					
MODELO:															
PRUEBA CON ACEITE Y BOQUILLAS.										FACTOR DE CORRECCIÓN:					
PRUEBA	CONEX. PARA PRUEBAS			kv DE PRUEBA	PRUEBA A 2.5 kv.						% DE FACTOR DE POTENCIA		INICIALES P / COND. AISL.		COND. DE AISL.
	CABLE ALTO VOLTAJE	CONEXIONES EN LOS OTROS DEVANADOS			MILIVOLTAMPERES			MILIOWATTS					B = BUENO D = DEFECTUOSO I = INVESTIGAR M = MALO		
		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	MVA		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	MW		MEDIDO	CORR. A 20 °C	CAPACITANCIA EN DEVANADOS			
1	ALTA	BAJA TIERRA	TER—GUARDA									C _H =			
2	ALTA	BAJA—TER	GUARDA									C _W =			
3	ALTA	TER TIERRA	BAJA—UST									C _X =			
4	BAJA	TER TIERRA	ALTA GUARDA												
5	BAJA	ALTA—TER	GUARDA									C _X =			
6	BAJA	ALTA TIERRA	TER—UST									C _{XY} =			
7	TER	ALTA TIERRA	BAJA GUARDA												
8	TER	ALTA—BAJA	GUARDA									C _Y =			
9	TER	BAJA TIERRA	ALTA UST									C _{WY} =			
RESULTADOS CALCULADOS												C _{HX} =	(PRUEBA 1 MENOS PRUEBA 2)		
												C _{XY} =	(PRUEBA 4 MENOS PRUEBA 5)		
												C _{WY} =	(PRUEBA 1 MENOS PRUEBA 8)		
PRUEBA AL ACEITE												TEMP. ACEITE		°C	
Los valores MVA y MW deben compararse con los valores C _{HX} , C _{XY} y C _{WY}															
TRANSFORMADOR EN ACEITE					ACEITE					TRANSFORMADOR EN ASKAREL					
FACTOR DE POTENCIA A 20 °C		EXCELENTE ≤ 0.5 %			FACTOR DE POTENCIA A 20 °C		NUEVO 0.05 %			FACTOR DE POTENCIA MÁXIMO A 20 °C = 3 %					
		LÍMITE ≤ 10 %					BUENO MÁX. 0.5 %								
DIAGRAMA FASORIAL					OBSERVACIONES										
					PROBÓ:										
					REVISÓ:										
					ENVIAR COPIAS A:										

FORMATO SE-44

GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

AUTOTRANSFORMADOR

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISIÓN

ZONA

SUBESTACIÓN:

EQUIPO (CLAVE):

NÚMERO DE SERIE:

VOLTAJE (kv):

A.T.:

B.T.:

TER:

TEMP. DEV.:

°C

TEMP. ACEITE:

°C

TEMP. AMB:

°C

H.R.:

%

EQUIPO DE PRUEBA MARCA:

No. DE SERIE:

MODELO:

FECHA:

MARCA:

TIPO:

CAPACIDAD:

MVA

IMPEDANCIA:

COND. AMBIENTE:

PRUEBA CON ACEITE Y BOQUILLAS.

FACTOR DE CORRECCIÓN:

PRUEBA	CONEX. PARA PRUEBAS			kv DE PRUEBA	PRUEBA A 10 kv.						% DE FACTOR DE POTENCIA		INICIALES P / COND. AISL.		COND. DE AISL.							
	DEVANADO ENERGIZADO	DEVANADO A TIERRA	DEVANADO AGUARDA		MILIAMPERES			WATTS			MEDIDO	CORR. A 20 °C	CAPACITANCIA EN DEVANADOS	C _{10KV} =								
					LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	Ma	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	W												
1	ALTA BAJA	TER																				
2	ALTA BAJA		TER											C _{10KV} =								
3	ALTA BAJA	TER - UST												C _{10KV} =								
4	TER	ALTA BAJA																				
5	TER		ALTA BAJA											C _{10KV} =								
RESULTADOS CALCULADOS														C _{10KV} =	(PRUEBA 1 MENOS PRUEBA 2)							
														C _{10KV} =	(PRUEBA 4 MENOS PRUEBA 5)							
PRUEBA AL ACEITE														TEMP. ACEITE	°C							

Los valores MVA y MW deben compararse con los valores C_{10KV}

AUTOTRANSFORMADOR EN ACEITE

ACEITE

AUTOTRANSFORMADOR EN ASKAREL

FACTOR DE POTENCIA A 20 °C

EXCELENTE ≤ 0.5 %

LÍMITE ≤ 1.0 %

FACTOR DE POTENCIA A 20 °C

NUEVO 0.05 %

BUENO MÁX. 0.5 %

FACTOR DE POTENCIA MÁXIMO A 20 °C 3 %

DIAGRAMA FASORIAL

NOTAS: 1.- Cuando el transformador no disponga de boquillas para el devanado terciario, solamente se realiza la prueba 1. (CH) conectando la terminal L.V. al tanque.

2.- Este formato también se utiliza para la prueba de reactores, utilizando el renglón de la prueba 1, conectando la terminal L.V. al tanque.

OBSERVACIONES

PROBÓ:

REVISÓ:

ENVIAR COPIAS A:

FORMATO SE-07



GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TRANSFORMADORES

PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN (★)

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISIÓN

ZONA

SUBESTACIÓN:

FECHA:

EQUIPO (CLAVE):

MARCA:

TIPO:

NÚMERO DE SERIE:

CAPACIDAD:

MVA

VOLTAJE (kv):

A.T.:

B.T.:

IMPEDANCIA:

%

TEMPERATURA AMB.:

°C

TEMP. ACEITE:

°C

TEMP. DEV:

°C

H.R.:

%

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS:

T A P	DEVANADO DE ALTA TENSIÓN EN ESTRELLA (★)								
	CONEXIONES DE PRUEBA			KV PRUEBA	☐ MILIVOLTAMPERES			Ie (mA)	
					☐ MILIAMPERES				
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR		LECTURA	MULTIPLICADOR	VALOR	ACTUAL	ANTERIOR
1	H1	H0	UST.						
	H2	H0	UST.						
	H3	H0	UST.						
2	H1	H0	UST.						
	H2	H0	UST.						
	H3	H0	UST.						
3	H1	H0	UST.						
	H2	H0	UST.						
	H3	H0	UST.						
4	H1	H0	UST.						
	H2	H0	UST.						
	H3	H0	UST.						
5	H1	H0	UST.						
	H2	H0	UST.						
	H3	H0	UST.						

NOTA: MILIVOLTAMPERE EQUIPO DE 2.5 KV.
MILIAMPERE EQUIPO DE 10 KV.

PROBADOR F. P. MARCA:

No. DE SERIE:

TIPO:

OBSERVACIONES:

PROBÓ:

REVISÓ:

FORMATO SE-09



GERENCIA DE DISTRIBUCIÓN

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

TRANSFORMADORES

COMPROBACIÓN DE IMPEDANCIA

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISIÓN

ZONA

SUBESTACIÓN:

FECHA:

EQUIPO (CLAVE):

MARCA:

TIPO:

NÚMERO DE SERIE:

CAPACIDAD:

MVA

VOLTAGE (kv):

A.T.:

B.T.:

TERC.:

IMPEDANCIA:

%

TEMPERATURA AMB.:

°C

TEMP. ACEITE:

°C

TEMP. DEV:

°C

H.R.:

%

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS:

RESULTADOS OBTENIDOS

USAR FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 220 v.

TAP	VOLTAJES				AMPERES				WATTS
	A - B	B - C	C - A	PROMEDIO	A	B	C	PROMEDIO	★
1									
2									
3									
4									
5									

★ OPCIONAL

TAP	VOLTAJES	AMPERES
1		
2		
3		
4		
5		

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

CON ÉSTA FÓRMULA:

1.- CALCULAR LA Z DE CADA UNO DE LOS TAPS CON LOS VALORES PROMEDIO DE VOLTAGE Y CORRIENTE QUE SE OBTUVIERON EN LA PRUEBA. A ÉSTA Z SE LE LLAMA "Z_p" (IMPEDANCIA MEDIDA)

2.- CALCULAR OTRA Z DE CADA UNO DE LOS TAPS CON LOS VALORES DE VOLTAGE Y CORRIENTE QUE VIENEN MARCADOS EN LOS DATOS DE PLACA, A ÉSTA NUEVA SE LE LLAMA "Z_d" (IMPEDANCIA DE DATOS).

3.- AHORA CALCULAR EL % DE IMPEDANCIA DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$Z \% = \frac{Z_p \times 100}{Z_d}$$

4.- CON LA LECTURA DEL WATTMETRO PODEMOS CALCULAR LA RESISTENCIA DEL DEVANADO EN EL TAP QUE SE ENCUENTRE.

$$R = \frac{WATTS}{(I_{PRUEBA})^2}$$

TAMBIÉN SE PUEDE OBTENER ÉSTE VALOR, CON UN PUENTE DE WHEATSTONE.

FORMATO SE-12



SDD GERENCIA DE DISTRIBUCION		COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD																																																																																																																								
REPORTE DE PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA (RESUMEN)		☐	PRUEBA DE PUESTA EN SERVICIO.		FECHA ÚL																																																																																																																					
		☐	PRUEBA DE INSPECCIÓN		REPORTE I																																																																																																																					
		☐	PRUEBA DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO		DIVISIÓN																																																																																																																					
					ZONA																																																																																																																					
SUBESTACIÓN:		EQUIPO:		FE																																																																																																																						
SERIE No.:		VOLTAJES (kv):		A.T.	B.T.																																																																																																																					
CAPACIDAD:		TIPO:		TER.	IV.																																																																																																																					
TEMP. DEV:		°C	TEMP. ACEITE:	°C	TEMP AMB.: °C																																																																																																																					
TAP DE OPERACIÓN:		CONDICIONES METEREOLÓGICAS:																																																																																																																								
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE DEVANADOS A 20 °C. (MEGA OHMS) <table border="1"><thead><tr><th>MIN</th><th>RH</th><th>RX</th><th>RHX</th><th>TAP</th><th>H - H</th><th>H - H</th><th>H - H</th><th>H -</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.5</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4">% FACTOR DE POTENCIA DE DEVANADOS A 20 °C.</td><td>H -</td></tr><tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td></tr></tbody></table> ÍNDICES <table border="1"><thead><tr><th>10/1</th><th>CH</th><th>RELACIÓ</th></tr></thead><tbody><tr><td>11/12</td><td>CHX</td><td>TAPS</td></tr><tr><td></td><td></td><td>RELACIÓN NOMINAL TEÓRICA</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td></tr><tr><td></td><td></td><td>2</td></tr><tr><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td>4</td></tr><tr><td></td><td></td><td>5</td></tr></tbody></table> BOQUILLAS: ☐ MILIWATTS ☐ WATTS ☐ F. POTENCIA ☐ MILLIAMPERES ACEITE AISLANTE <table border="1"><thead><tr><th>RESISTENCIA</th><th>X 10⁶ MΩ</th><th>3</th></tr></thead><tbody><tr><td>H₀</td><td>H₁</td><td>H₂</td></tr><tr><td>H₃</td><td>X₀</td><td>X₁</td></tr><tr><td>X₂</td><td>X₃</td><td>F. P.</td></tr><tr><td></td><td></td><td>%</td></tr><tr><td></td><td></td><td>RIGIDEZ</td></tr><tr><td></td><td></td><td>KV</td></tr></tbody></table> F. P. TAP CAPACITIVO. OBSERVACIONES: PROBÓ: REVISÓ: AUTORIZÓ:						MIN	RH	RX	RHX	TAP	H - H	H - H	H - H	H -	0.5				1					1				2					2				3					3				4					5				5					7				% FACTOR DE POTENCIA DE DEVANADOS A 20 °C.				H -	10									10/1	CH	RELACIÓ	11/12	CHX	TAPS			RELACIÓN NOMINAL TEÓRICA			1			2			3			4			5	RESISTENCIA	X 10 ⁶ MΩ	3	H ₀	H ₁	H ₂	H ₃	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	F. P.			%			RIGIDEZ			KV
MIN	RH	RX	RHX	TAP	H - H	H - H	H - H	H -																																																																																																																		
0.5				1																																																																																																																						
1				2																																																																																																																						
2				3																																																																																																																						
3				4																																																																																																																						
5				5																																																																																																																						
7				% FACTOR DE POTENCIA DE DEVANADOS A 20 °C.				H -																																																																																																																		
10																																																																																																																										
10/1	CH	RELACIÓ																																																																																																																								
11/12	CHX	TAPS																																																																																																																								
		RELACIÓN NOMINAL TEÓRICA																																																																																																																								
		1																																																																																																																								
		2																																																																																																																								
		3																																																																																																																								
		4																																																																																																																								
		5																																																																																																																								
RESISTENCIA	X 10 ⁶ MΩ	3																																																																																																																								
H ₀	H ₁	H ₂																																																																																																																								
H ₃	X ₀	X ₁																																																																																																																								
X ₂	X ₃	F. P.																																																																																																																								
		%																																																																																																																								
		RIGIDEZ																																																																																																																								
		KV																																																																																																																								



CAPITULO 4

PRUEBAS A INTERRUPTORES DE POTENCIA

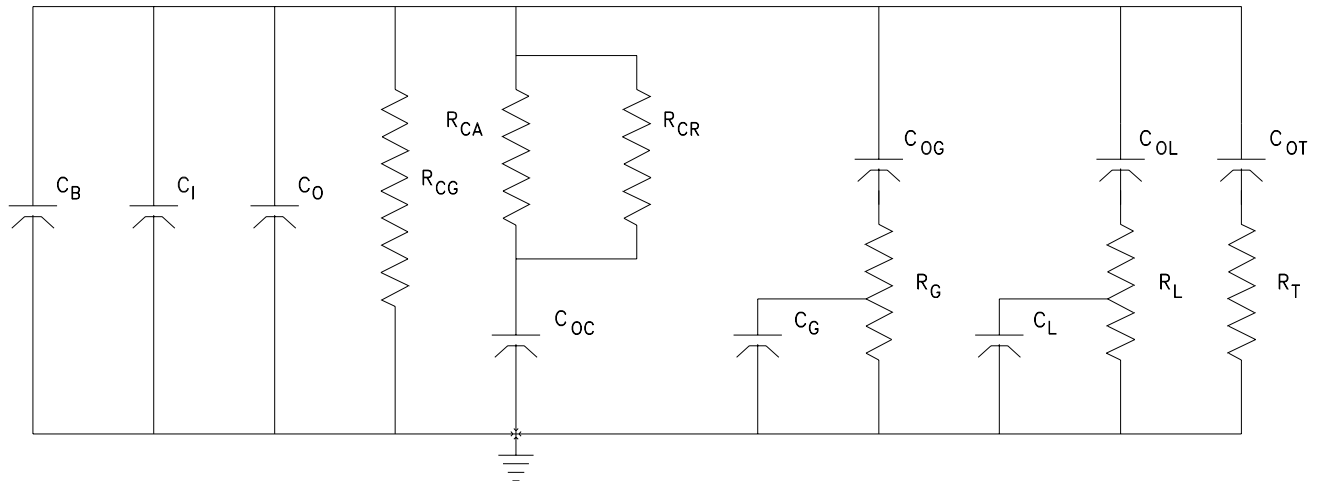
Un interruptor de potencia debe ser sometido a pruebas de diferente naturaleza, con el objeto de verificar el correcto estado de sus componentes. Así entonces, es necesario probar sus aislamientos, su mecanismo de operación, sus cámaras interruptivas, sus contactos y algunos accesorios como las resistencias de pre-inserción en los interruptores de GVA y los capacitores en los del tipo multi-cámara de PVA.

Antes de describir las pruebas correspondientes a los aislamientos, y con el objeto de poder tener una mejor comprensión sobre las capacitancias y resistencias que influyen o intervienen en las diferentes pruebas mencionadas en este capítulo; se muestran a continuación dos diagramas con circuitos dieléctricos simplificados.

El primero de ellos, corresponde al circuito establecido entre una boquilla energizada y tierra, con el interruptor en posición de ABIERTO, tal como se muestra en la figura 4.1.

En el segundo, puede identificarse el circuito equivalente entre las distintas partes energizadas (boquillas, conductores internos, contactos) y tierra, cuando el interruptor se encuentra en posición de CERRADO, como puede observarse en la figura 4.2.

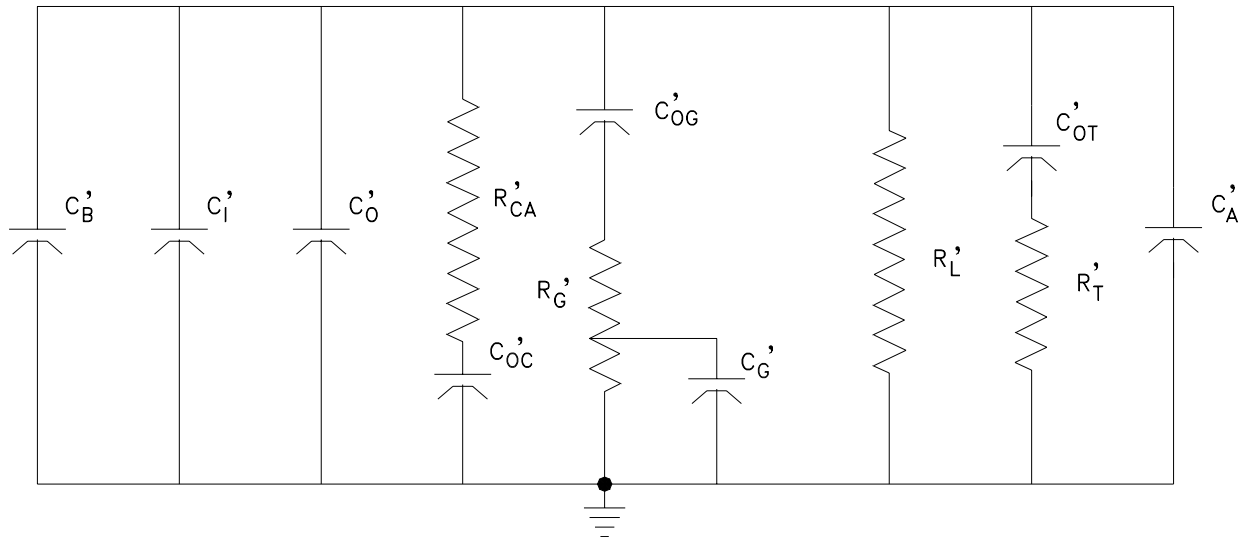
BOQUILLA ENERGIZADA



- C_B = AISLAMIENTO DE BOQUILLAS
 C_I = AISLADORES DEL BUS EXTERNO (DEBE DESCONECTARSE)
 C_O = ACEITE ENTRE LA BOQUILLA CONDUCTORA Y TIERRA
 R_{CG} = MONTAJE DE LA GUIA CRUZADA (COMO OPUESTA A "V" O CAJA GUIA-VER RG)
 R_{CA} = MONTAJE DE CONTACTOS
 R_{CR} = GRADIENTE DE LA RESISTENCIA DEL MONTAJE DE CONTACTOS O RESISTENCIA DE LA PINTURA
 C_{OC} = ACEITE ENTRE EL MONTAJE DE CONTACTOS Y TIERRA
 C_{OG} = ACEITE ENTRE LA BOQUILLA CONDUCTORA Y LA GUIA DE LA BARRA DE ELEVACION (EXCEPTO PARA GUIA DE CRUZADAS, RCG)
 R_G = GUIA DE LA BARRA DE ELEVACION (EXCEPTO PARA GUIAS CRUZADAS, RCG)
 C_G = CAPACITANCIA DISTRIBUIDA ENTRE LA GUIA DE A BARRA DE ELEVACION Y TIERRA
 C_{OL} = ACEITE ENTRE LA BOQUILLA CONDUCTORA Y LA BARRA DE ELEVACION
 R_L = BARRA DE ELEVACION
 C_L = CAPACITANCIA DISTRIBUIDA ENTRE LA BARRA DE ELEVACION Y TIERRA
 C_{OT} = ACEITE ENTRE LA BOQUILLA CONDUCTORA Y LA CUBIERTA DEL TANQUE
 R_T = CUBIERTA (O FORRO) DEL TANQUE.

FIG. 4.1 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO DIELECTRICO ENTRE UNA BOQUILLA ENERGIZADA Y TIERRA, CON EL INTERRUPTOR ABIERTO

CONDUCTORES ENERGIZADOS



- C'_B = LAS DOS BOQUILLAS
 C'_I = AISLAMIENTO DEL BUS EXTERNO (DEBE DESCONECTARSE)
 C'_O = ACEITE ENTRE CONDUCTORES ENERGIZADOS Y TIERRA
 R'_{CA} = MONTAJES DE LOS CONTACTOS CONECTADOS A LAS DOS BOQUILLAS
 C'_{OC} = ACEITE ENTRE LOS DOS MONTAJES DE CONTACTOS Y TIERRA
 C'_{OG} = ACEITE ENTRE CONDUCTORES ENERGIZADOS Y LA GUIA DE LA BARRA DE ELEVACION
 R'_G = GUIA DE LA BARRA DE ELEVACION
 C'_G = CAPACITANCIA DISTRIBUIDA ENTRE LA GUIA DE A BARRA DE ELEVACION Y TIERRA
 R'_L = BARRA DE ELEVACION
 C'_{OT} = ACEITE ENTRE CONDUCTORES ENERGIZADOS Y LA CUBIERTA (O FORRO) DEL TANQUE
 R'_T = CUBIERTA (O FORRO) DEL TANQUE
 C'_A = AISLADORES SOPORTE DE LOS CONTACTOS AUXILIARES

FIG. 4.2 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO DIELECTRICO ENTRE LAS BOQUILLAS ENERGIZADAS, LOS CONDUCTORES INTERNOS, CONTACTOS Y TIERRA CON EL INTERRUPTOR CERRADO



4.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Las pruebas de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia son importantes, para conocer las condiciones de sus aislamientos.

En los interruptores de gran volumen de aceite se tienen elementos aislantes de materiales higroscópicos, como son el aceite, la barra de operación y algunos otros que intervienen en el soporte de las cámaras de arqueo; también la carbonización del aceite causada por las operaciones del interruptor y la extinción del arco eléctrico, ocasionan contaminación de estos elementos, y por consiguiente una reducción en la resistencia del aislamiento.

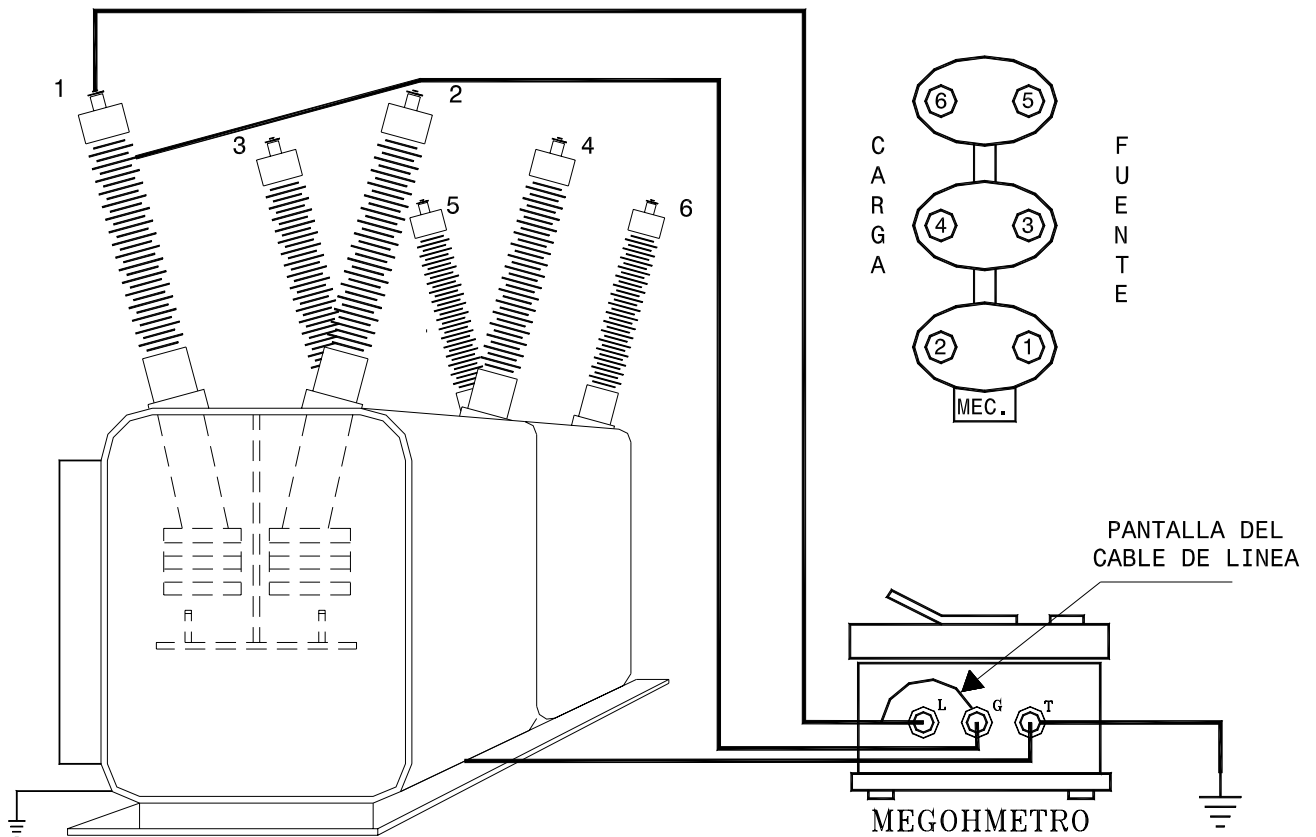
La prueba de resistencia de aislamiento se aplica a otros tipos de interruptores, como los de pequeño volumen de aceite, de vacío y SF₆ en los que normalmente se usa porcelana como aislamiento.

4.1.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.
- c) Conecte al tanque o estructura la terminal de tierra del medidor.
- d) Efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75%.
- e) Evitar que los rayos solares incidan directamente en la carátula del equipo de prueba a fin de evitar afectación de lecturas y daños al equipo de prueba.

4.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras de la 4.3 a la 4.6, se muestran las formas de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento.



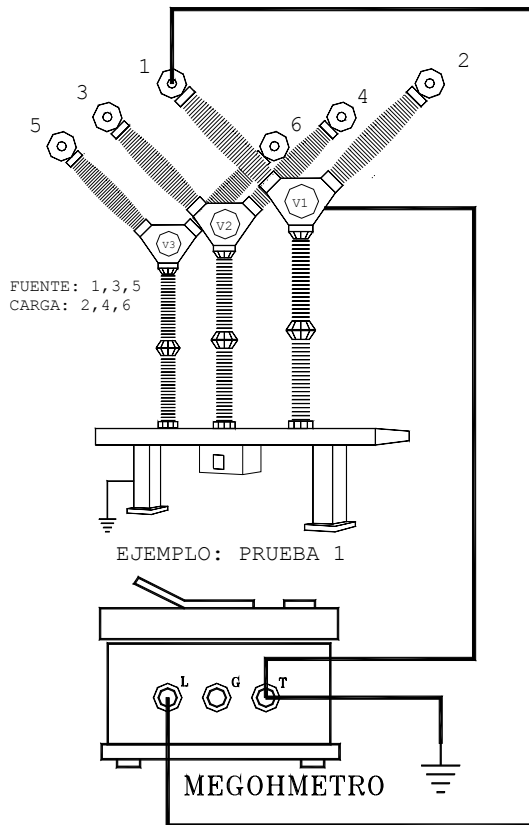
EJEMPLO:PRUEBA 1

PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		L	G	T	
1	ABIERTO	1	P1-2	Tq	B1
2	ABIERTO	1	P1	Tq-2	B1-G
3	CERRADO	1	P1-P2	Tq	B1-B2-Be-G-A-At
4	ABIERTO	2	P2-1	Tq	B2

LAS PRUEBAS INDICADAS DEBEN EFECTUARSE PARA CADA UNO DE LOS POLOS

B=BOQUILLA Be=BARRA ELEVADORA A=ACEITE At=AISLAMIENTO TANQUE Tq=TANQUE
P=PORCELANA G=GUIA DE BARRA DE LEVANTAMIENTO

FIG. 4.3 INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-01

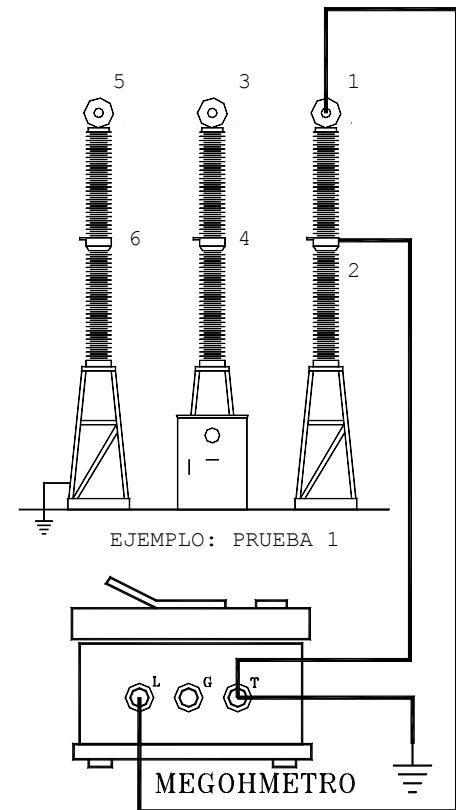


E=ESTRUCTURA

S=SECCION

	PRUEBA	CONEXION			MIDE
		L	G	T	
1	1	1	-	V1	S. SUPERIOR 1
	2	2	-	V1	S SUPERIOR 2
	3	1-2	-	E	POLO COMPLETO
	4	V1	-	E	S INFERIOR
2	5	3	-	V2	S SUPERIOR 3
	6	4	-	V2	S SUPERIOR 4
	7	3-4	-	E	POLO COMPLETO
	8	V2	-	E	S INFERIOR
3	9	5	-	V3	S SUPERIOR 5
	10	6	-	V3	S SUPERIOR 6
	11	5-6	-	E	POLO COMPLETO
	12	V3	-	E	S INFERIOR

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-02



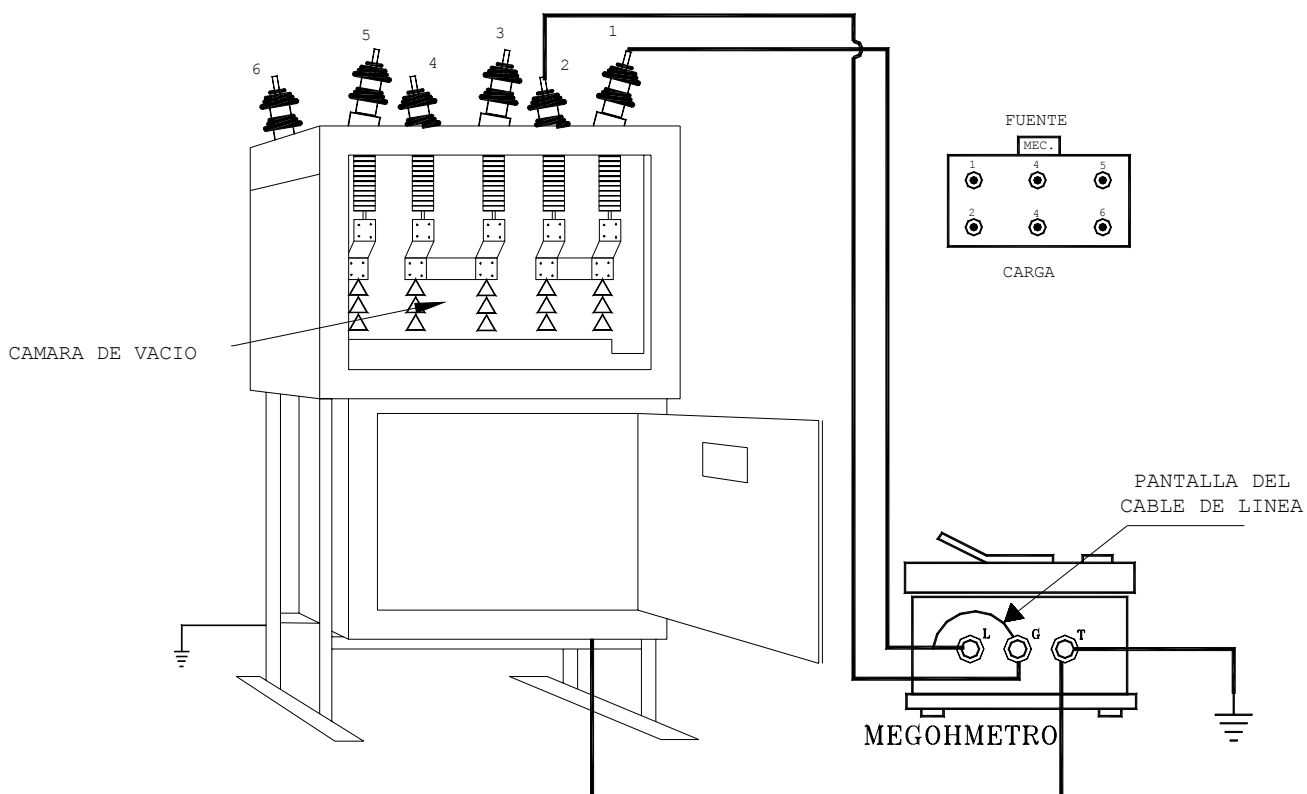
	PRUEBA	CONEXIONES			MIDE
		L	G	T	
1	1	1	-	2	S. SUPERIOR
	2	1	-	E	POLO COMPLETO
	3	2	-	E	S. INFERIOR
2	4	3	-	4	S. SUPERIOR
	5	3	-	E	POLO COMPLETO
	6	4	-	E	S. INFERIOR
3	7	5	-	6	S. SUPERIOR
	8	5	-	E	POLO COMPLETO
	9	6	-	E	S. INFERIOR

NOTA:

LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO.

UTILIZARE FORMATO DE PRUEBA SE-04-03

FIG. 4.4 INTERRUPTORES DE BAJO VOLUMEN DE ACEITE, SF₆ Y CIRCUIT SWITCHER
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		L	G	T	
1	ABIERTO	1	2	E	Boq. 1, As
2	ABIERTO	2	1	E	Boq. 2, As
3	ABIERTO	3	4	E	Boq. 3, As
4	ABIERTO	4	3	E	Boq. 4, As
5	ABIERTO	5	6	E	Boq. 5, As
6	ABIERTO	6	5	E	Boq. 6, As
7	CERRADO	1-2	-	E	Boq. 1-2, As,Ba
8	CERRADO	3-4	-	E	Boq. 3-4, As.Ba
9	CERRADO	5-6	-	E	Boq. 5-6, As,Ba

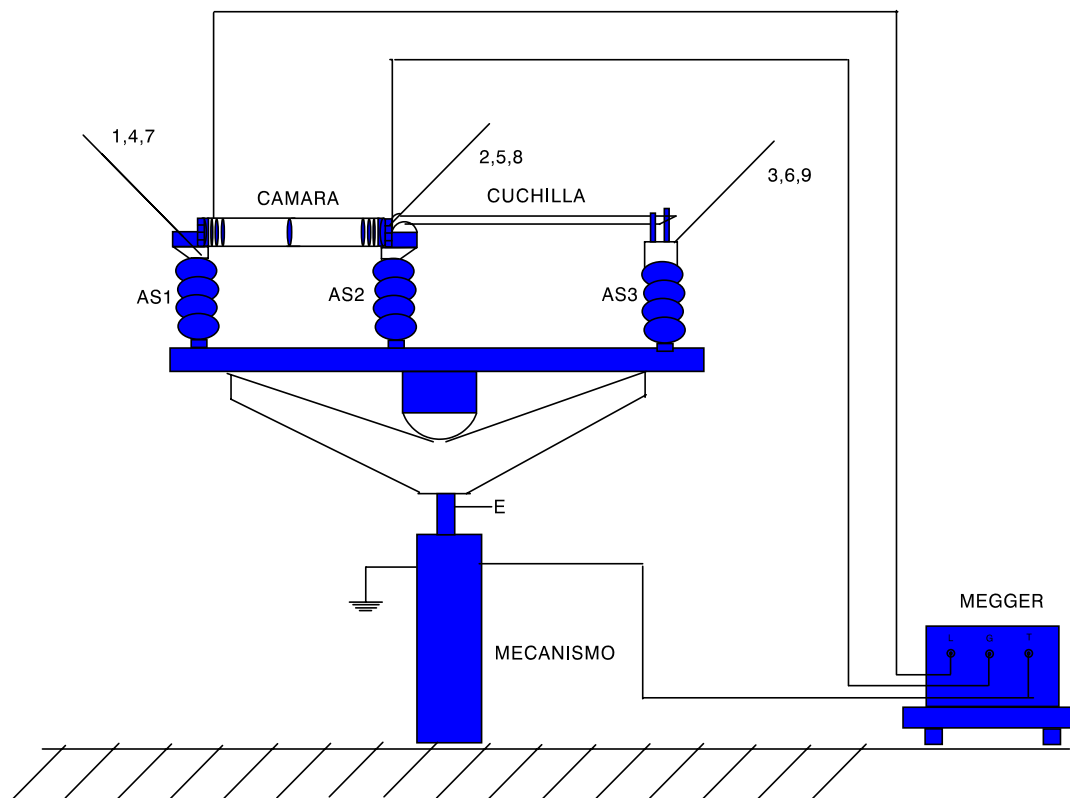
E=ESTRUCTURA

Boq.=BOQUILLA

As=AISLADOR SOPORTE

Ba=BARRA DE ACCIONAMIENTO

FIG. 4.5 INTERRUPTORES DE VACIO
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-04



POLO	PRUEBA	POSICION DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
			L	G	T	
1	1	ABIERTO	1	2	E	SOPORTE A
	2	ABIERTO	2	1	E	SOPORTE B
	3	ABIERTO	3		E	SOPORTE C
	4	ABIERTO	1	P1-P2	2	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 1
2	5	ABIERTO	4	5	E	SOPORTE A
	6	ABIERTO	5	4	E	SOPORTE B
	7	ABIERTO	6		E	SOPORTE C
	8	ABIERTO	4	P4-P5	5	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 2
3	9	ABIERTO	7	8	E	SOPORTE A
	10	ABIERTO	8	7	E	SOPORTE B
	11	ABIERTO	9		E	SOPORTE C
	12	ABIERTO	7	P7-P8	8	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 3

FIG. 4.6 INTERRUPTORES CIRCUIT SWITCHER MARC V
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-05



4.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS PARA LA EVALUACION DEL AISLAMIENTO.

Las lecturas de resistencia de aislamiento en interruptores, por lo general son altas sin tener, absorción ni polarización, por estar constituido su aislamiento, en mayor parte por porcelana; una lectura baja es indicación de deterioro del mismo.

a) En interruptores de gran volumen de aceite los valores mínimos de aislamiento deben ser de 10,000 MΩ a temperatura ambiente. Si este es inferior, efectuar pruebas dieléctricas al aceite aislante. Si los valores de prueba del aceite aislante resultan inferiores a los recomendados, se deberá reacondicionar o reemplazar el mismo. Si persisten los valores bajos de resistencia de aislamiento, efectuar una inspección interna al interruptor para investigar, efectuando pruebas individuales a cada uno de los componentes con el fin de determinar el causante del bajo valor de resistencia del aislamiento y corregir éstas; las causas pueden ser contaminación de los aislamientos internos como la barra elevadora, el cartón aislante y cámaras de interrupción o altas pérdidas dieléctricas en las boquillas, que pueden ser determinadas con las pruebas de factor de potencia.

b) En Interruptores en bajo volumen de aceite, un bajo valor de aislamiento, puede ser originado por contaminación del aceite aislante, altas pérdidas dieléctricas en los aislamientos soportes o aislamiento de las cámaras de interrupción.

c) En los interruptores en vacío y SF₆, el aislamiento está formado por las boquillas y aislamientos soportes, los bajos valores de aislamiento se deben a deterioro de alguno de ellos.

Para interruptores monopolares, como es el caso de los puntos b) y c) incluyendo los Circuit Switchers, los valores de resistencia de aislamiento deben ser superiores a los 100,000 MΩ si los componentes aislantes están en buenas condiciones; para casos de valores bajos de aislamiento, se requieren pruebas de factor de potencia para complementar el análisis de las condiciones del aislamiento.

4.2 FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

Al efectuar las pruebas de Factor de Potencia, intervienen las boquillas, y los otros materiales que forman parte del aislamiento (aceite aislante, gas SF₆, vacío, etc).

Al efectuar la prueba de Factor de Potencia el método consiste en aplicar el potencial de prueba a cada una de las terminales del interruptor.

Las pérdidas dieléctricas de los aislamientos no son las mismas estando el interruptor abierto que cerrado, porque intervienen diferentes aislamientos.

Con el interruptor cerrado intervienen dependiendo del tipo de interruptor, las pérdidas en



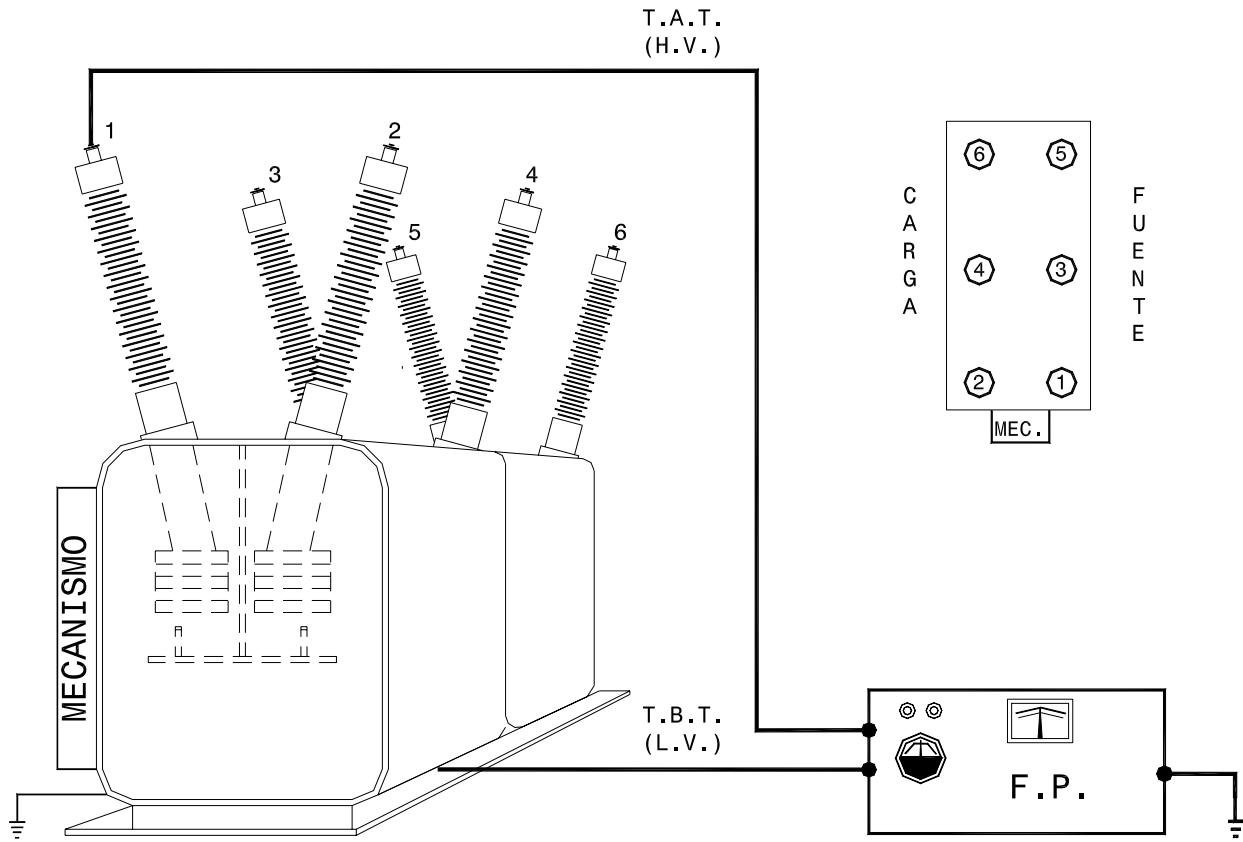
boquillas y de otros aislamientos auxiliares. Con el interruptor abierto intervienen también dependiendo del tipo de interruptor, las pérdidas en boquillas y del aceite aislante.

4.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.
- c) Conecte al tanque la tierra del medidor.
- d) Procurar efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75%.
- e) Para el caso de interruptores de GVA, que cuenten con resistencias de pre-inserción, es recomendable verificar el valor de las mismas con respecto a los datos del instructivo y con un medidor de rango adecuado. Para ello las resistencias deben desconectarse para efectuar la medición en forma independiente. Los valores medidos deben registrarse en la parte de observaciones del formato correspondiente a la prueba de factor de potencia.
- f) Para el caso de interruptores tipo columna multi-cámara de PVA, que cuenten con capacitores, es recomendable verificar la capacitancia de los mismos con respecto a su dato de placa y con un medidor de rango adecuado. Para ello los capacitores deben desmontarse para efectuar la medición en forma independiente. Los valores medidos debe registrarse en la parte de observaciones del formato correspondiente a la prueba de factor de potencia.

4.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras 4.7 a la 4.10 se ilustran los diagramas de conexión de los circuitos de prueba de factor de potencia para interruptores.

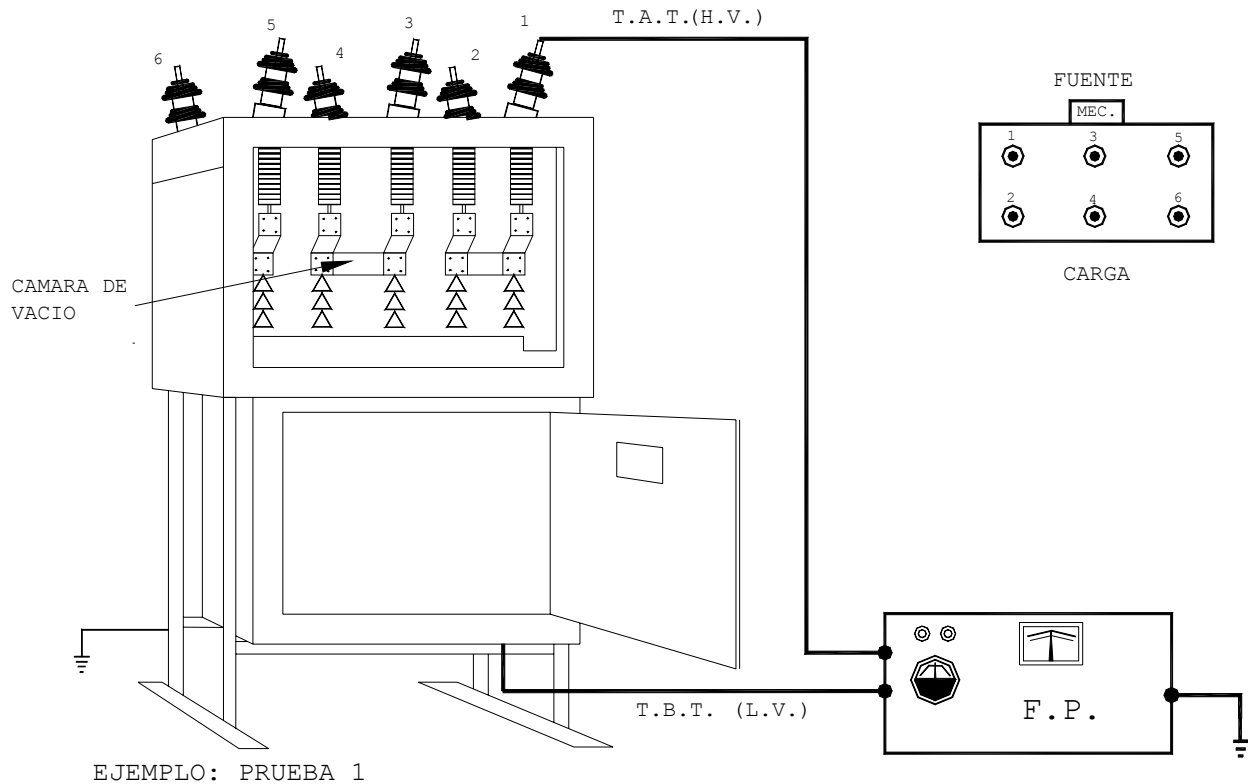


EJEMPLO: PRUEBA 1

B=BOQUILLA Be=BARRA ELEVADORA A=ACEITE At=AISLAMIENTO TANQUE Tq=TANQUE

PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR	
1	ABIERTO	1	Tq	GROUND	B1, A, At
2	"	2	Tq	"	B2, A, At
3	"	3	Tq	"	B3, A, At
4	"	4	Tq	"	B4, A, At
5	"	5	Tq	"	B5, A, At
6	"	6	Tq	"	B6, A, At
7	CERRADO	1-2	Tq	"	B1-2, Be, A, At, G
8	"	3-4	Tq	"	B3-4, Be, A, At, G
9	"	5-6	Tq	"	B5-6, Be, A, At, G

FIG. 4.7 INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-06 (para 2.5 KV) Y SE-04-07 (para 10 KV)



PRUEBA	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	ABIERTO	1	E	GROUND	B1, As
2	"	2	E	"	B2, As, Ba
3	"	3	E	"	B3, As
4	"	4	E	"	B4, As, Ba
5	"	5	E	"	B5, As
6	"	6	E	"	B6, As, Ba
7	"	1	2	UST	Cv
8	"	3	4	"	Cv
9	"	5	6	"	Cv

E=ESTRUCTURA Ba=BARRA DE ACCIONAMIENTO As=AISLADOR SOPORTE Boq.=BOQUILLA
Cv=CAMARA DE VACIO

FIG. 4.8 INTERRUPTORES DE VACIO
PRUEBA FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-08 (para 2.5 KV) Y SE-04-09 (para 10 KV)

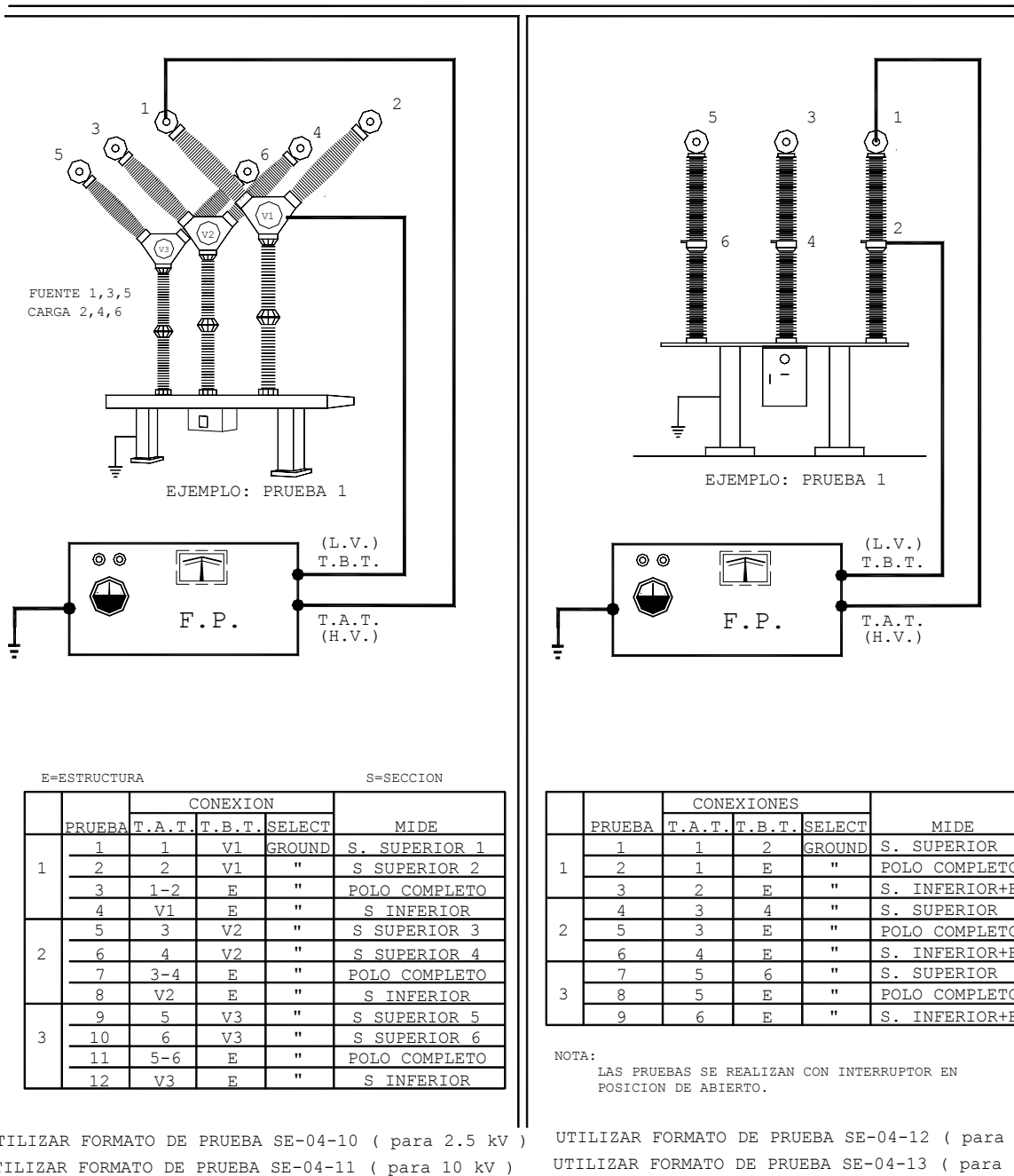
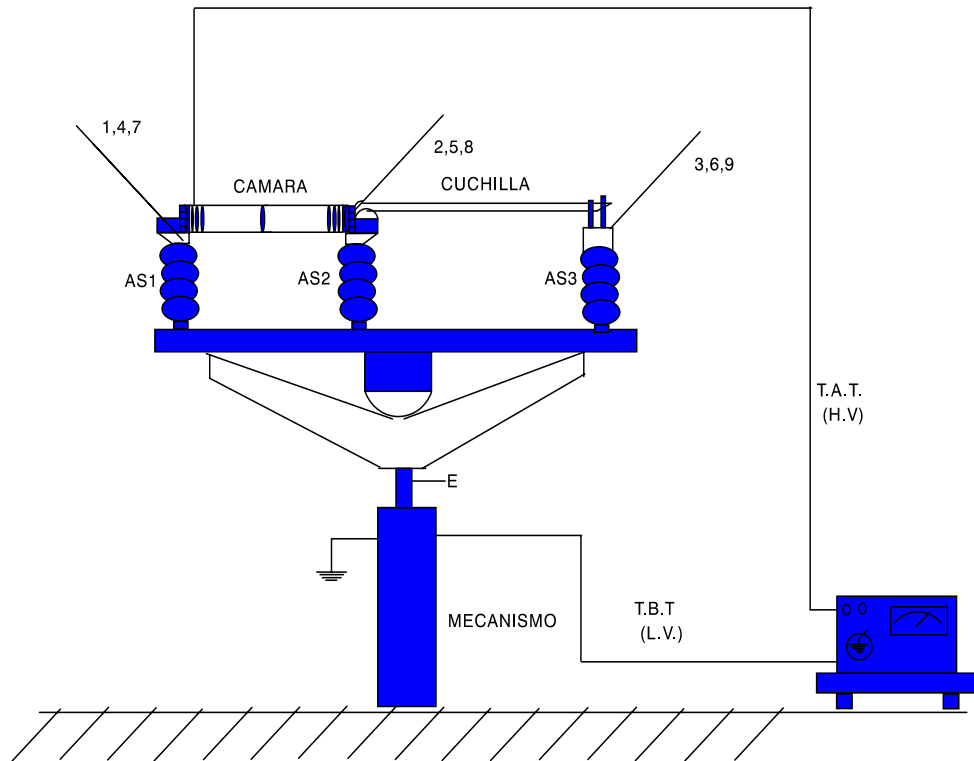


FIG. 4.9 INTERRUPTORES DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE, GAS SF6 Y CIRCUIT SWITCHER
PRUEBA FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO



POLO	PRUEBA	POSICION DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
			T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	1	ABIERTO	1	E	GROUND	SOPORTE A
	2	ABIERTO	2	E	GROUND	SOPORTE B
	3	ABIERTO	3	E	GROUND	SOPORTE C
	4	ABIERTO	1	2	UST	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 1
2	5	ABIERTO	4	E	GROUND	SOPORTE A
	6	ABIERTO	5	E	GROUND	SOPORTE B
	7	ABIERTO	6	E	GROUND	SOPORTE C
	8	ABIERTO	4	5	UST	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 2
3	9	ABIERTO	7	E	GROUND	SOPORTE A
	10	ABIERTO	8	E	GROUND	SOPORTE B
	11	ABIERTO	9	E	GROUND	SOPORTE C
	12	ABIERTO	7	8	UST	AISLAMIENTO DE LA CAMARA 3

FIG. 4.10 INTERRUPTORES CIRCUIT SWITCHER MARC V
PRUEBA FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-04-14



4.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS PARA LA EVALUACION DEL AISLAMIENTO.

Para la interpretación de resultados de factor de potencia en los interruptores de gran volumen de aceite, se recomienda analizar y comparar las pérdidas dieléctricas que resulten de las pruebas con interruptor en posición de abierto y cerrado.

La diferencia de las pérdidas obtenidas en la prueba con el interruptor cerrado menos la suma de las pérdidas de la misma fase con interruptor abierto, se utilizan para analizar las condiciones del aislamiento (se le denomina índices de pérdidas del tanque).

I.P.T. = (pérdidas con interruptor cerrado)-(suma de pérdidas con interruptor abierto).

I.P.T. = Índice de Pérdidas de Tanque.

GUIA PARA EL ANALISIS DEL VALOR OBTENIDO EN EL INDICE DE PÉRDIDAS DEL TANQUE:

CONDICION NORMAL

-10 mW a + 7.5 mW MEU
-0.10 W a + 0.05 W M2H

CONDICION ANORMAL NO PELIGROSA

entre -10 mW y -15 mW MEU
entre -0.10 W y -0.20 W M2H

Se recomienda realizar pruebas con mayor frecuencia al conjunto de la barra guía de elevación, contactos y parte superior de la barra de elevación.

CONDICION ANORMAL PELIGROSA

mayor a -15 mW MEU
mayor a -0.20 W M2H

Se recomienda investigar el conjunto de la barra guía de elevación, contactos y parte superior de la barra de elevación.

CONDICION ANORMAL NO PELIGROSA

entre +7.5 mW y +15 mW MEU
entre +0.05 W y +0.10 W M2H



Se recomienda realizar pruebas con mayor frecuencia a la barra de elevación, al aceite, al aislamiento del tanque y al brazo aislado de soporte de contactos.

CONDICION ANORMAL PELIGROSA

mayor a +15 mW MEU
mayor a +0.10 W M2H

Se recomienda investigar la barra de elevación, el aceite, el aislamiento del tanque y el brazo aislado de soporte de contactos.

4.3 RESISTENCIA DE CONTACTOS.

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, originan caídas de voltaje, generación de calor, pérdidas de potencia, etc.

La prueba se realiza en circuitos donde existen puntos de contacto a presión o deslizables, como es el caso en interruptores.

Para medir la resistencia de contactos existen diferentes marcas de equipo, de diferentes rangos de medición que fluctúan entre 0 y 100 amperes para ésta prueba.

Los equipos de prueba cuentan con una fuente de corriente directa que puede ser una batería o un rectificador.

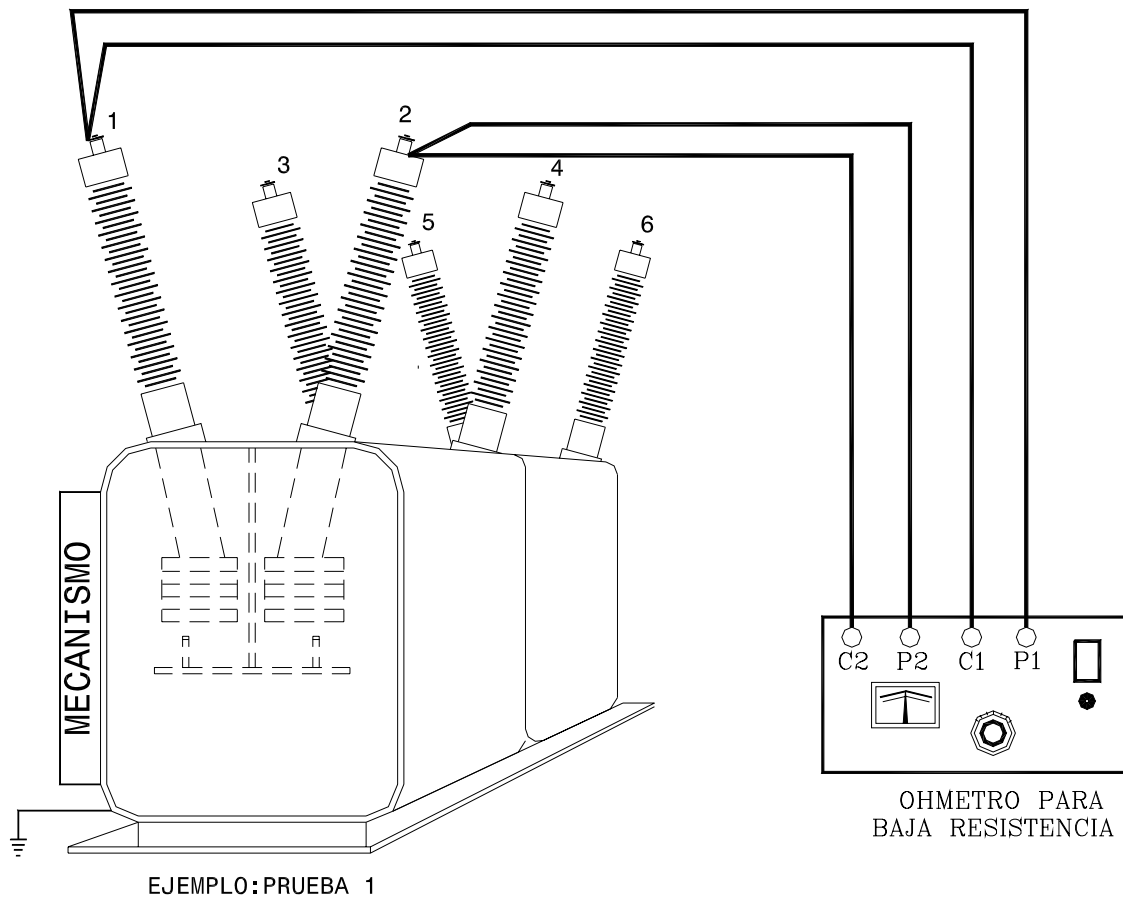
4.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- El equipo bajo prueba debe estar desenergizado y en la posición cerrado.
- Se debe aislar el equipo en lo posible contra la inducción electromagnética mediante aterrizamiento temporal inmediato previo a la prueba para descargar la estática, ya que ésta produce errores en la medición y puede dañar el equipo de prueba.
- Se deben limpiar perfectamente los conectores donde se van a colocar las terminales del equipo de prueba a fin de asegurar un buen contacto y no afectar la medición.



4.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras de la 4.11 a la 4.15 se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de resistencia de contactos para diferentes tipos de interruptores.

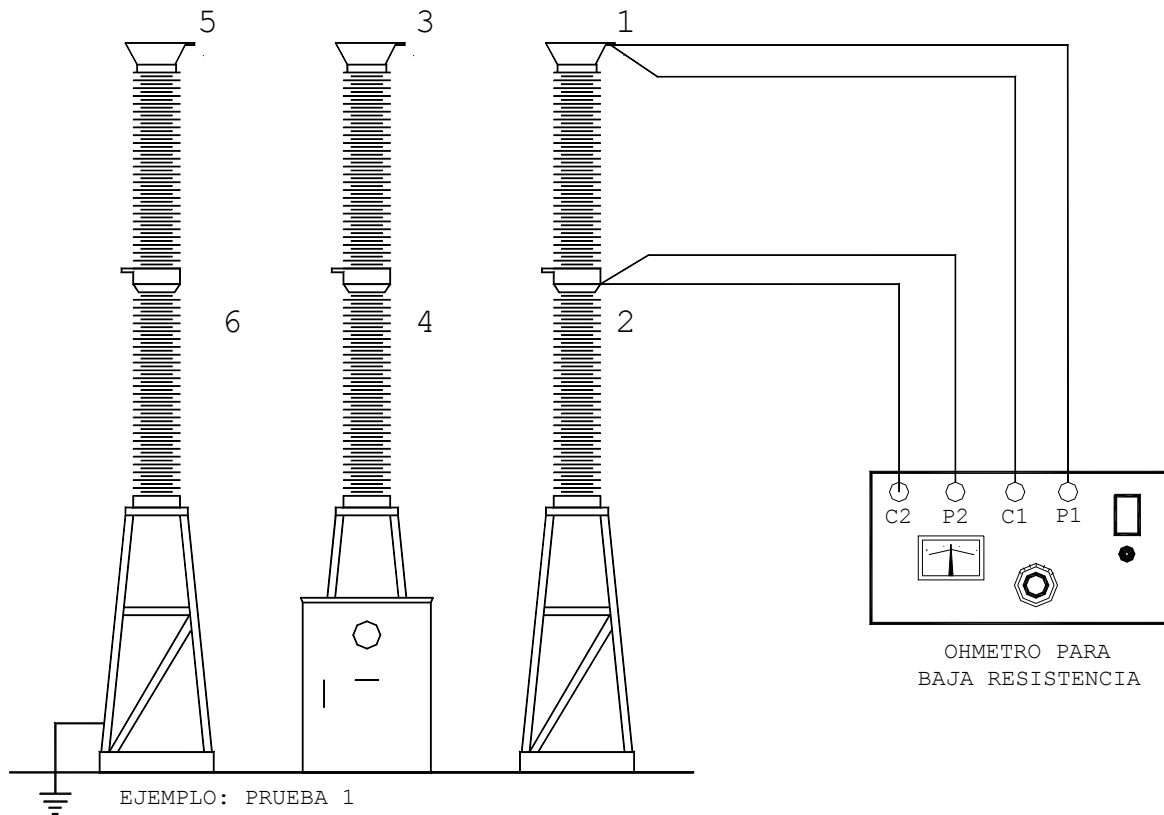


BOQUILLAS 1,3,5,=FUENTE
BOQUILLAS 2,4,6 = CARGA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	C1	P1	C2	P2	
1	1	1	2	2	RESIST. CONTACTO FASE A
2	3	3	4	4	RESIST. CONTACTO FASE B
3	5	5	6	6	RESIST. CONTACTO FASE C

NOTA: LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON EL INTERRUPTOR CERRADO

FIG. 4.11 INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14

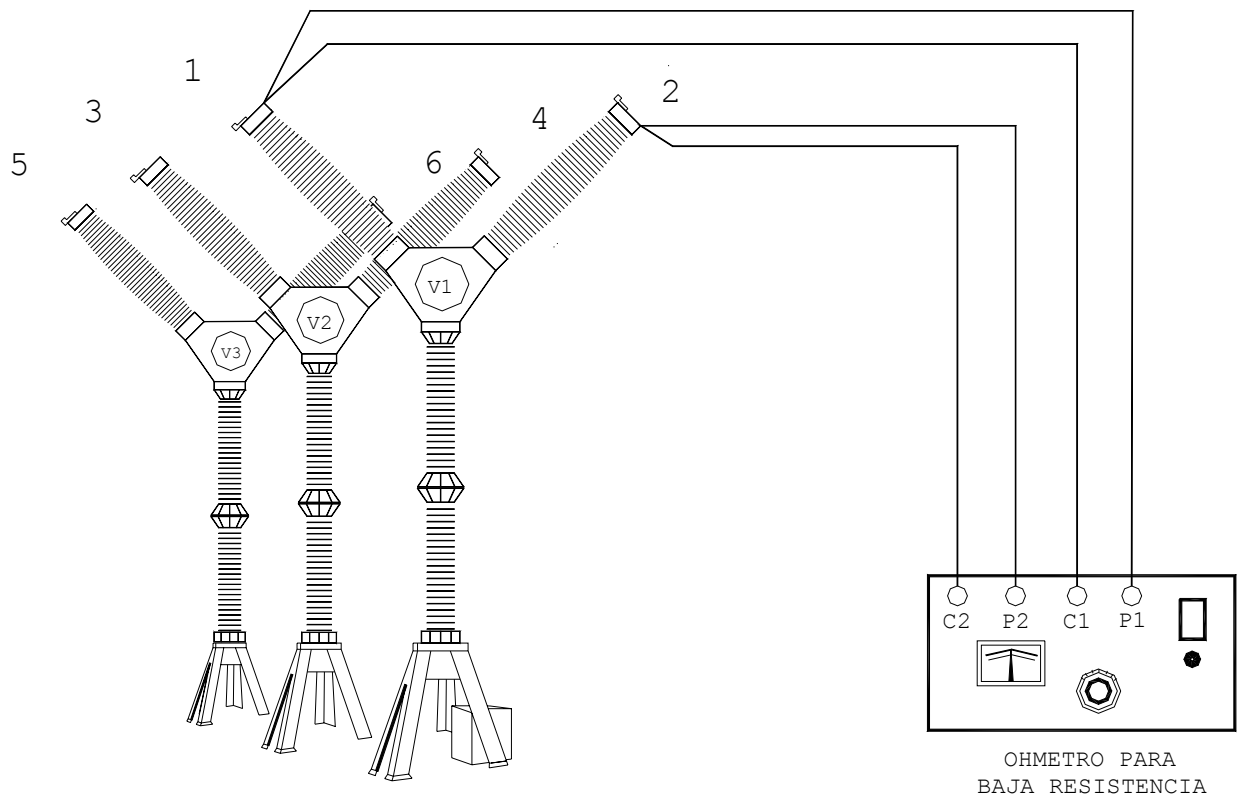


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				M I D E
	C1	P1	C2	P2	
1	1	1	2	2	RESIST. CONTACTO POLO 1
2	3	3	4	4	RESIST. CONTACTO POLO 2
3	5	5	6	6	RESIST. CONTACTO POLO 3

NOTA: LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON EL INTERRUPTOR CERRADO

FIG. 4.12 INTERRUPTORES DE BAJO VOLUMEN DE ACEITE, GAS SF₆ Y CIRCUIT SWITCHERS.

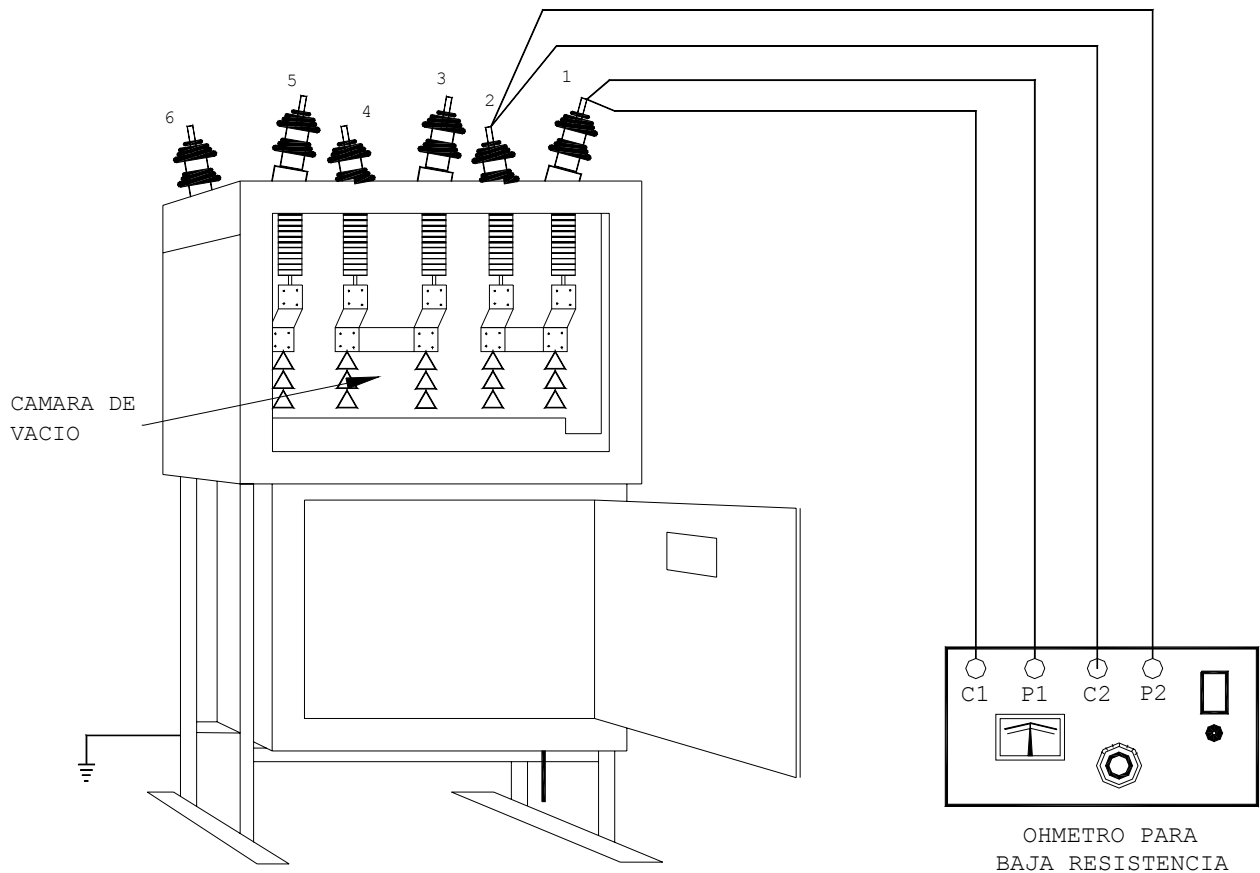
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				M I D E
	C1	P1	C2	P2	
1	1	1	2	2	RESIST. CONTACTO CAMARAS 1-2 FASE A
2	1	1	V1	V1	RESIST. CONTACTO CAMARA 1 FASE A
3	2	2	V1	V1	RESIST. CONTACTO CAMARA 2 FASE A
4	3	3	4	4	RESIST. CONTACTO CAMARAS 1-2 FASE B
5	3	3	V2	V2	RESIST. CONTACTO CAMARA 1 FASE B
6	4	4	V2	V2	RESIST. CONTACTO CAMARA 2 FASE B
7	5	5	6	6	RESIST. CONTACTO CAMARAS 1-2 FASE C
8	5	5	V3	V3	RESIST. CONTACTO CAMARA 1 FASE C
9	6	6	V3	V3	RESIST. CONTACTO CAMARA 2 FASE C

NOTA: LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON EL INTERRUPTOR CERRADO

FIG. 4.13 INTERRUPTORES MULTICAMARA BAJO VOLUMEN DE ACEITE ó GAS SF₆
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14



EJEMPLO: PRUEBA 1

BOQUILLAS 1,3,5 = FUENTE
BOQUILLAS 2,4,6 = CARGA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				M I D E
	C1	P1	C2	P2	
1	1	1	2	2	RESIST. CONTACTO FASE A
2	3	3	4	4	RESIST. CONTACTO FASE B
3	5	5	6	6	RESIST. CONTACTO FASE C

NOTA: LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON EL INTERRUPTOR CERRADO

FIG. 4.14 INTERRUPTORES EN VACIO O GAS SF₆
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14

4.3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Esta prueba permite detectar oportunamente los problemas que se presentan por alta resistencia de contactos, que puede ser causada por cualquier elemento que forma el conjunto de contactos; desde el conector de la boquilla hasta los conectores fijos y móviles con todos sus accesorios.

La resistencia de contactos varía de acuerdo al tipo y diseño del equipo, y debe ser de acuerdo a las normas correspondientes, los valores establecidos en los instructivos así como los obtenidos durante la puesta en servicio, nos sirven de referencia para pruebas posteriores. En algunos equipos el fabricante proporciona estos valores en milivolts (mV) de caída de tensión, por lo que será necesario hacer la conversión a micro-ohms ($m\Omega$).

Para interruptores en gran volumen de aceite, los valores son del orden de 100-300 micro-ohms. Para interruptores de los tipos pequeño volumen de aceite, vacío y gas SF_6 , los valores de resistencia de contactos aceptables son del orden de 30-100 micro-ohms.

En el caso de aquellos interruptores que cuenten con indicador visual de desgaste de contactos, verificar su estado o posición como complemento de la prueba.

4.4 TIEMPO DE OPERACION Y SIMULTANEIDAD DE CIERRE Y APERTURA.

El objetivo de la prueba es determinar los tiempos de operación de los interruptores de potencia en sus diferentes formas de maniobra, así como la de verificar la simultaneidad de los polos o fases.

El principio de la prueba se basa en una referencia conocida de tiempo trazado sobre el papel del equipo de prueba, se obtienen los trazos de los instantes en que los contactos de un interruptor se tocan o se separan a partir de las señales eléctricas 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 medir el tiempo y la secuencia de los eventos anteriores.

Existen varios tipos de instrumentos de prueba, los que utilizan dispositivos electromecánicos en los cuáles una señal eléctrica sobre una bobina, actúa mecánicamente sobre agujas que marcan un trazo sobre un papel tratado en su superficie; y los que utilizan galvanómetro que al accionar varían el punto de incidencia de un rayo luminoso sobre un papel fotosensible; en ambos tipos el movimiento del papel es efectuado por un motor de corriente directa a una velocidad constante.

TIEMPO DE APERTURA.- Es el tiempo medido desde el instante que se energiza la bobina de disparo hasta el instante en que los contactos de arqueo se han separado.

TIEMPO DE CIERRE.- Es el intervalo de tiempo medido desde el instante en que se energiza la bobina de cierre, hasta el instante en que se tocan los contactos primarios de arco en todos los polos.

NOTA: En el caso de interruptores dotados de resistencias de pre-inserción, por lo general existe una diferencia entre los tiempos de cierre o apertura hasta el momento en que los contactos auxiliares en serie con las resistencias se tocan o se separan.

EQUIPOS DE PRUEBA.- Existen varios tipos y marcas de equipos de prueba, distinguiéndose principalmente, los de tipo cronógrafo, oscilógrafo y registrador computarizado, las características generales de los equipos comúnmente usados se muestran en la tabla anexa, indicándose sobre la misma características de aplicación, así como ventajas y desventajas.

Entre las características deseables de cualquier equipo se puede mencionar lo siguiente:

- a) Velocidad de papel.- Se considera que debe ser como mínimo de 1 m/seg a fin de poder apreciar o medir con precisión tiempos del orden de milisegundos.
- b) Número de canales.- Dependiendo del tipo de interruptor por probar se requiere de diferente número de canales, por lo que este deberá ser suficiente para poder probar por lo menos un polo.
- c) Capacidad de almacenamiento de la información y plan de pruebas.
- d) Capacidad de entregar resultados en forma gráfica.
- e) Demanda de corriente de las bobinas de cierre y disparo de los interruptores.

PRUEBAS NORMALES.- Las pruebas o mediciones que a continuación se indican son aquellas que se consideran normales, tanto para mantenimiento como para puesta en servicio de un interruptor.

- a) Determinación del tiempo de apertura.
- b) Determinación del tiempo de cierre
- c) Determinación del tiempo cierre-apertura en condición de disparo libre (trip-free) o sea el mando de una operación de cierre y uno de apertura en forma simultánea, se verifica además el dispositivo de antibombeo.
- d) Cantidad de rebotes al cierre de los contactos y su duración.

- e) Determinación de la simultaneidad entre contactos de una misma fase, tanto en cierre como apertura.
- f) Determinación de la diferencia en tiempo entre los contactos principales y contactos auxiliares de resistencia de pre-inserción, ya sean estos para apertura o cierre.
- g) Determinación de los tiempos de retraso en operación de recierre si el interruptor está previsto para este tipo de aplicación, ya sea recierre monopolar o tripolar.
- h) Distancia de recorrido, velocidad de cierre y apertura con el auxilio con transductor de movimiento lineal para determinación de penetración de contacto móvil.

Las cuatro primeras pruebas son aplicables a todo tipo de interruptor mientras que las tres siguientes son aplicables a tipos específicos; la prueba e) a interruptores multi-cámaras, la f) a interruptores dotados de resistencia de pre-inserción y la g) a equipos aplicados con recierre. La última prueba h) a interruptores de gas SF₆ con accionamiento de biela mecánica.

Dependiendo del interruptor por probar en lo que a número de cámaras se refiere, así como el número de canales disponibles en el equipo de prueba, es posible en algunos casos determinar dos o más de los tiempos anteriores simultáneamente en una sola operación.

LIMITACION.- Se pueden presentar casos en los cuales por razones específicas se requiere efectuar algunas pruebas diferentes a los normales o bien algunas variaciones de estas que le dan carácter de especial.

Este tipo de pruebas son necesarias cuando se necesita una mayor investigación en algún problema específico y deberán diseñarse de acuerdo a lo que se desea investigar.

Otro caso de prueba especial es aquella que requiere un determinado tipo de interruptor que por su diseño o arreglo de cámaras esté fuera de lo que pueda considerarse normal, como es el caso de algunos interruptores neumáticos Mitsubishi y modelos antiguos de Merlin & Gerin, en los cuales en serie con las cámaras de interrupción se tienen desconectores cuya función exclusiva es dar aislamiento (no tienen capacidad de interrupción); para estos casos el sincronismo entre cámaras y desconectores debe entonces ser verificado periódicamente.

4.4.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Librar al interruptor completamente, asegurándose que las cuchillas seccionadoras respectivas se encuentran en posición abierta.



- c) Limpiar las terminales del interruptor donde se conectarán las terminales del equipo de prueba.

4.4.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Las conexiones entre el equipo de prueba y el interruptor por probar, están determinadas en el instructivo de cada equipo de prueba en particular y en el conocimiento del arreglo físico de las cámaras y contactos del interruptor, así como del arreglo del circuito de control para el cierre y apertura del interruptor.

Las figuras de la 4.16 a la 4.19, muestran las conexiones para la prueba de diferentes tipos de interruptores, utilizando el equipo de prueba FAVAG.

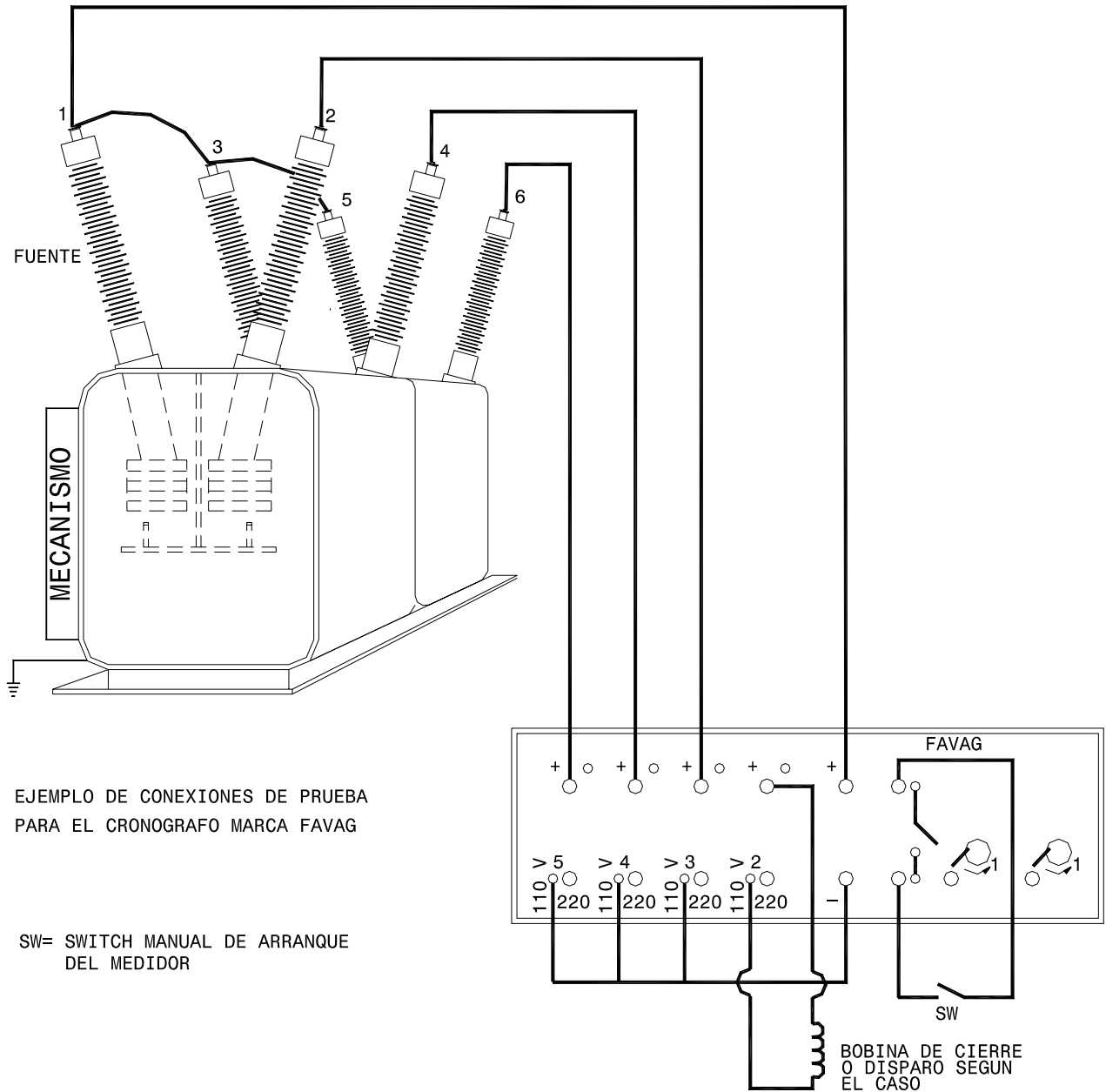


FIG. 4.16 INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE ó VACIO
PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14

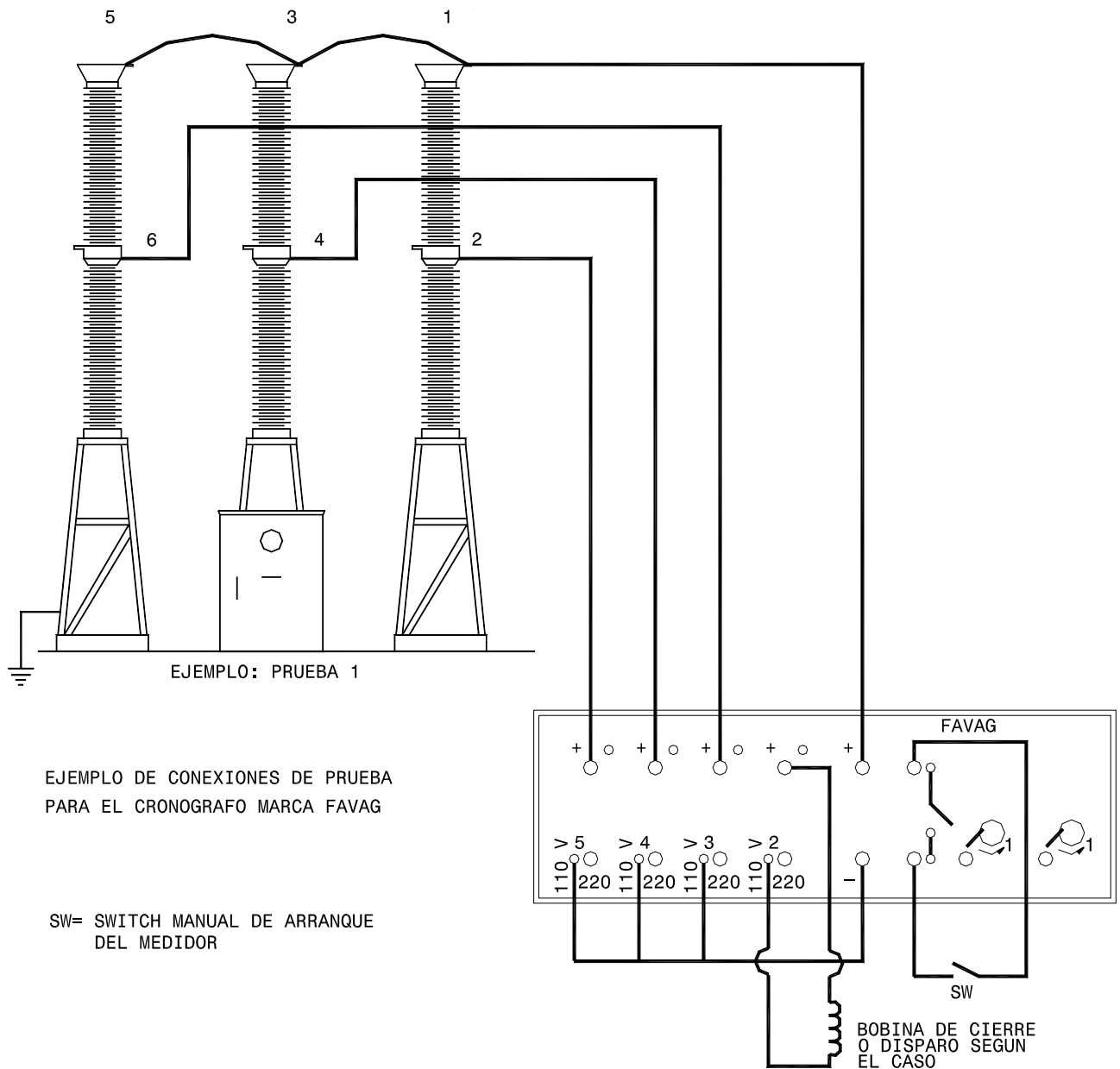


FIG. 4.17 INTERRUPTORES DE PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE, GAS SF₆ Y CIRCUIT SWITCHERS.
 PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD DE CONTACTOS
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14

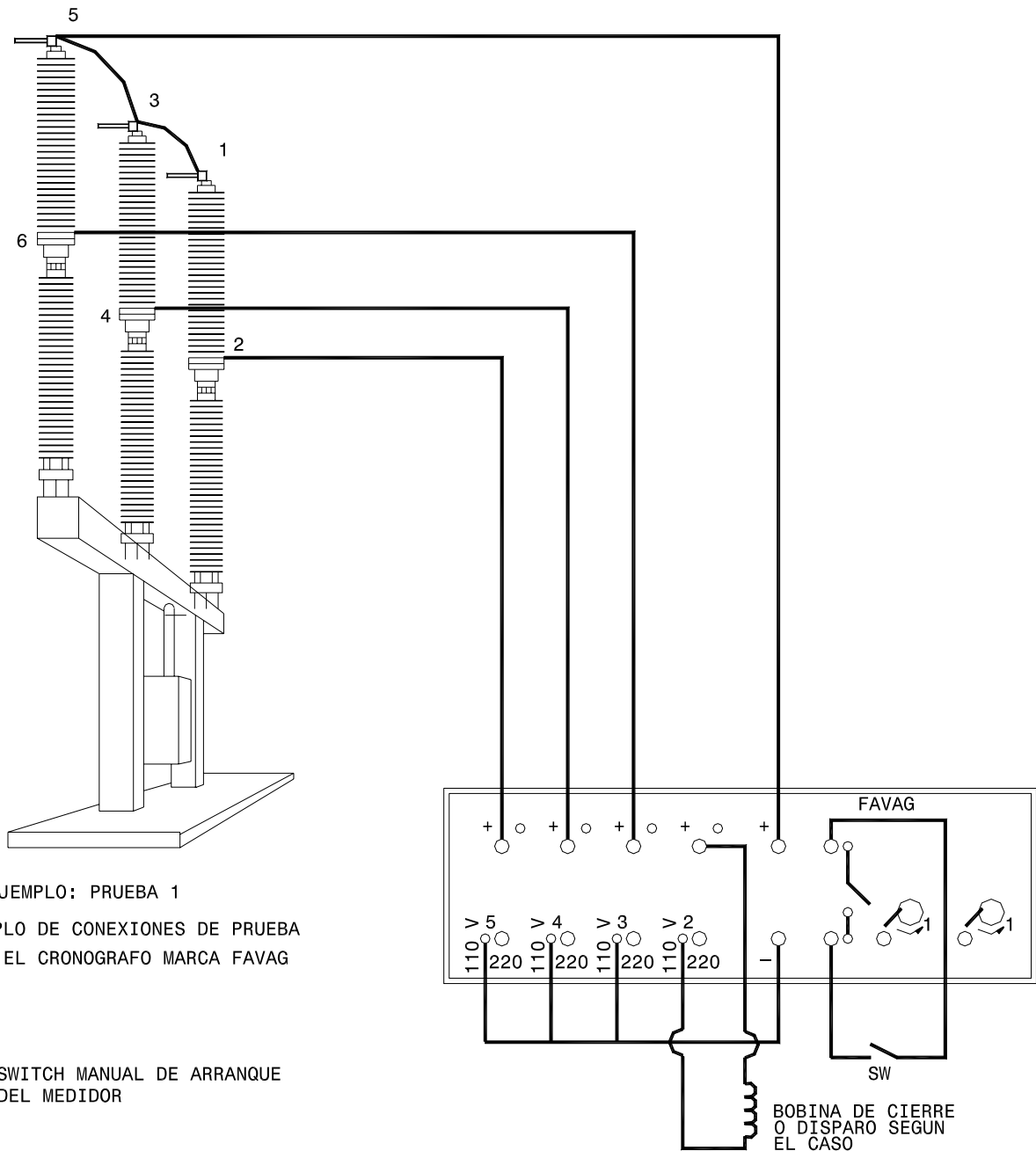


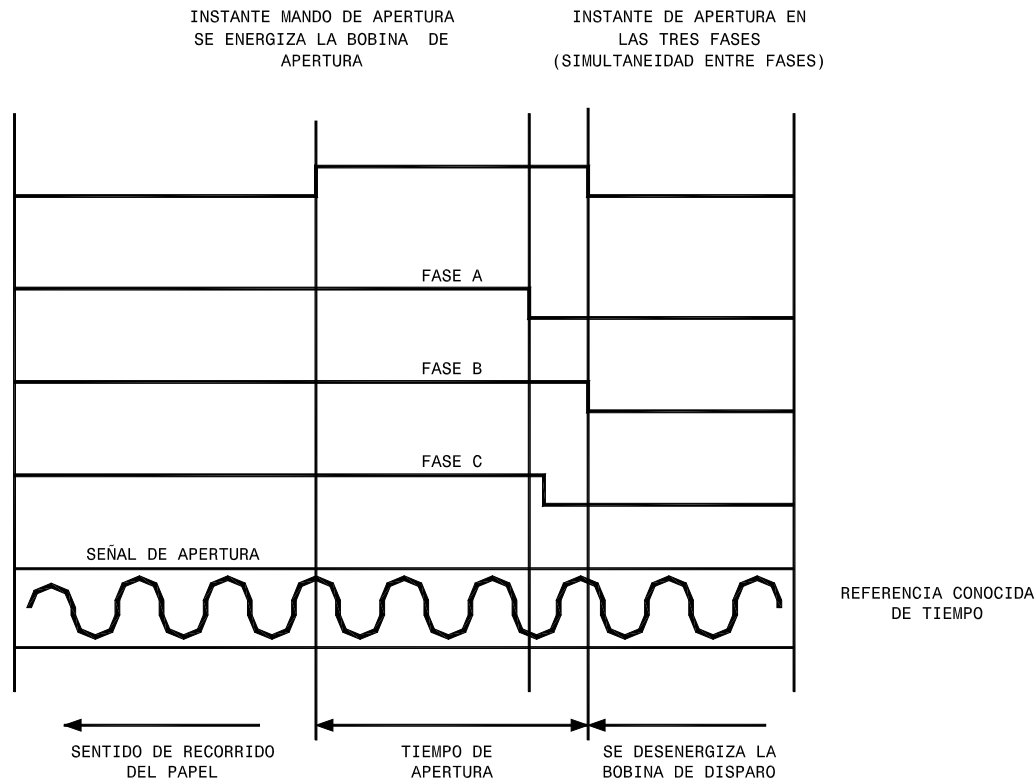
FIG. 4.18 INTERRUPTORES MULTICAMARA PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE ó GAS SF_6
PRUEBA DE TIEMPOS DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-14

4.4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

TIEMPO DE APERTURA. Se efectúa al interruptor registrando el instante de apertura de cada una de las fases y midiendo el intervalo en cada una, a partir de la señal de disparo del interruptor, que también queda registrada.

Esta prueba es general e independiente del número de cámaras o contactos en serie que se tengan por fase, puesto que se mide la fase completa, que para el caso de varios contactos en serie, el registro en la gráfica corresponde al instante en que se abre el primer par. De esta misma prueba puede obtenerse además la simultaneidad entre fases del interruptor a la apertura.

La figura siguiente muestra una gráfica típica para esta prueba.

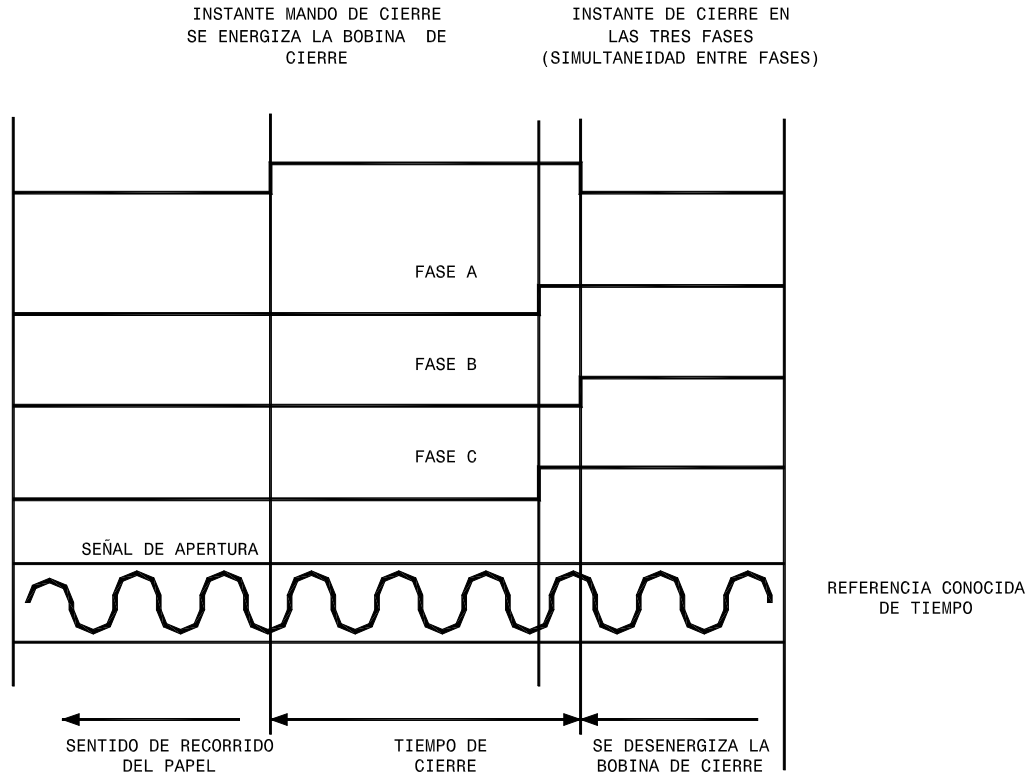


TIEMPO DE CIERRE. Se efectúa al interruptor completo registrando el instante de cierre de cada una de las fases y midiendo el intervalo en cada una, a partir de la señal de cierre del interruptor, que también queda registrada.

Esta prueba es general e independiente del número de cámaras o contactos en serie que se tengan por fase, puesto que se miden las tres fases completas. Debe tomarse en cuenta

que en el caso de varios contactos en serie por fase, el registro en la gráfica corresponde al instante en que se cierra el último par.

En la figura siguiente se muestra una gráfica típica para esta prueba.



VALORES DE PRUEBA. A continuación se hace referencia respecto a los valores de los tiempos anteriormente descritos para establecer un cierto criterio a modo de guía general, ya que los valores particulares para cada tipo de interruptor son una característica propia que generalmente proporciona el fabricante en sus instructivos.

Los interruptores están clasificados en lo que se refiere a su tiempo de interrupción, en interruptores de 8, 5 y 3 ciclos, estos rangos están dados en base a las pruebas de prototipo que se efectúan y es el tiempo máximo obtenido dentro de toda la gama de pruebas efectuadas.

Los tiempos de cierre son generalmente más largos que los de apertura y su importancia es relativamente menor, pueden variar dependiendo del tipo de interruptor, su mecanismo y el tamaño de sus partes en movimiento, por lo general los tiempos son del orden de 6 a 16 ciclos.

Para evaluar la simultaneidad entre fases y entre contactos de una misma fase, es necesario considerar la máxima diferencia entre los instantes que se tocan los contactos durante el cierre o entre los instantes en que se separan durante la apertura, y no deberá exceder de 1/2 ciclo en base a la frecuencia nominal. La operación de contactos de un mismo polo debe ser prácticamente simultánea.

4.5 RIGIDEZ DIELECTRICA DE CAMARAS DE INTERRUPCION, PARA INTERRUPTORES EN VACIO O SF₆.

Para interruptores de potencia con cámaras de extinción de arco en vacío o gas SF₆, se recomienda realizar la prueba de rigidez dieléctrica aplicando alta tensión de C.A. o C.D. Con esta prueba es posible verificar el estado de las cámaras en cuanto a su hermeticidad y estado del medio de extinción del arco, debiéndose consultar el manual del fabricante correspondiente para todo lo relativo a niveles de voltaje y duración de la prueba.

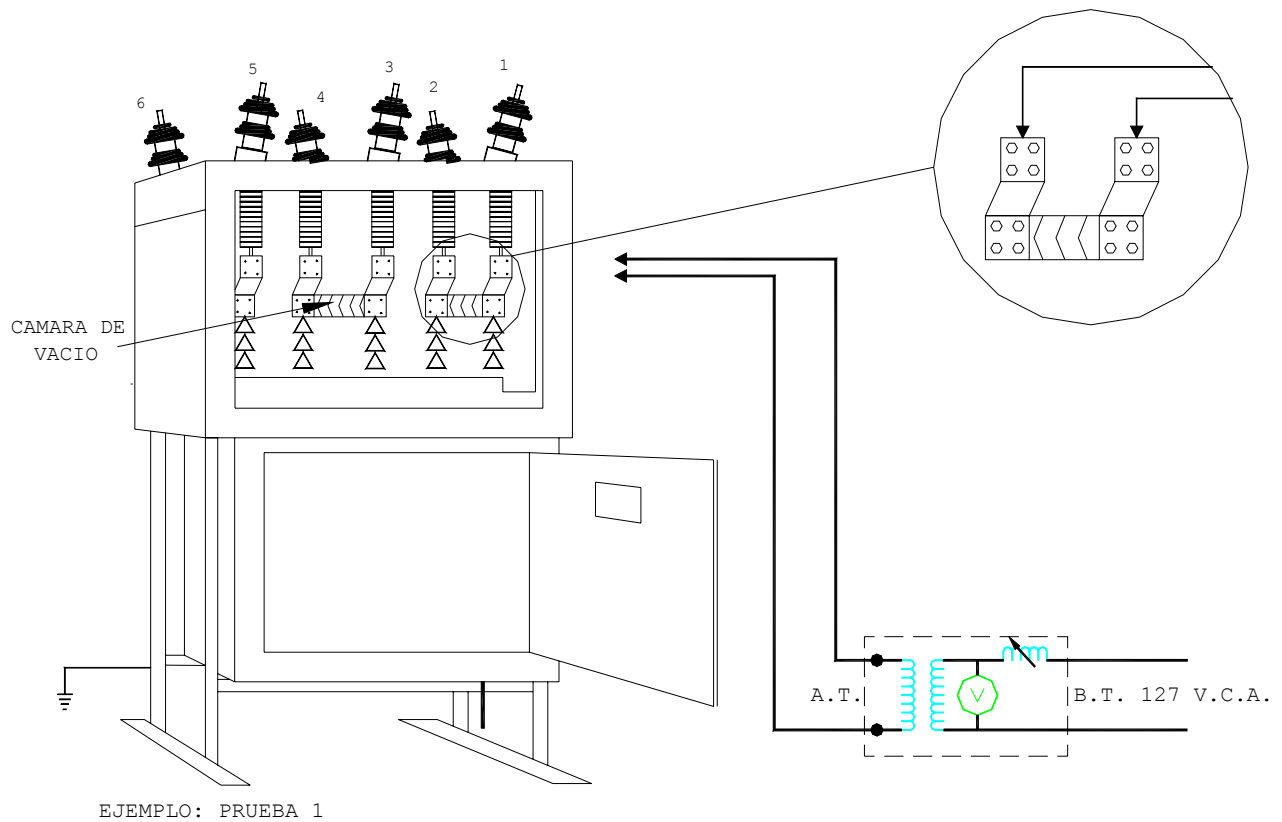
4.5.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- Librar al interruptor completamente, asegurándose que las cuchillas seccionadoras respectivas se encuentran en posición abierta.
- Se recomienda en lo posible aplicar el potencial únicamente a las cámaras, sin que intervengan en el circuito de prueba las boquillas y soportes aislantes del interruptor.
- Se deben limpiar perfectamente los conectores donde se van a colocar las terminales del equipo de prueba.

NOTA: Esta prueba se recomienda solo para puesta en servicio de los interruptores.

4.5.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

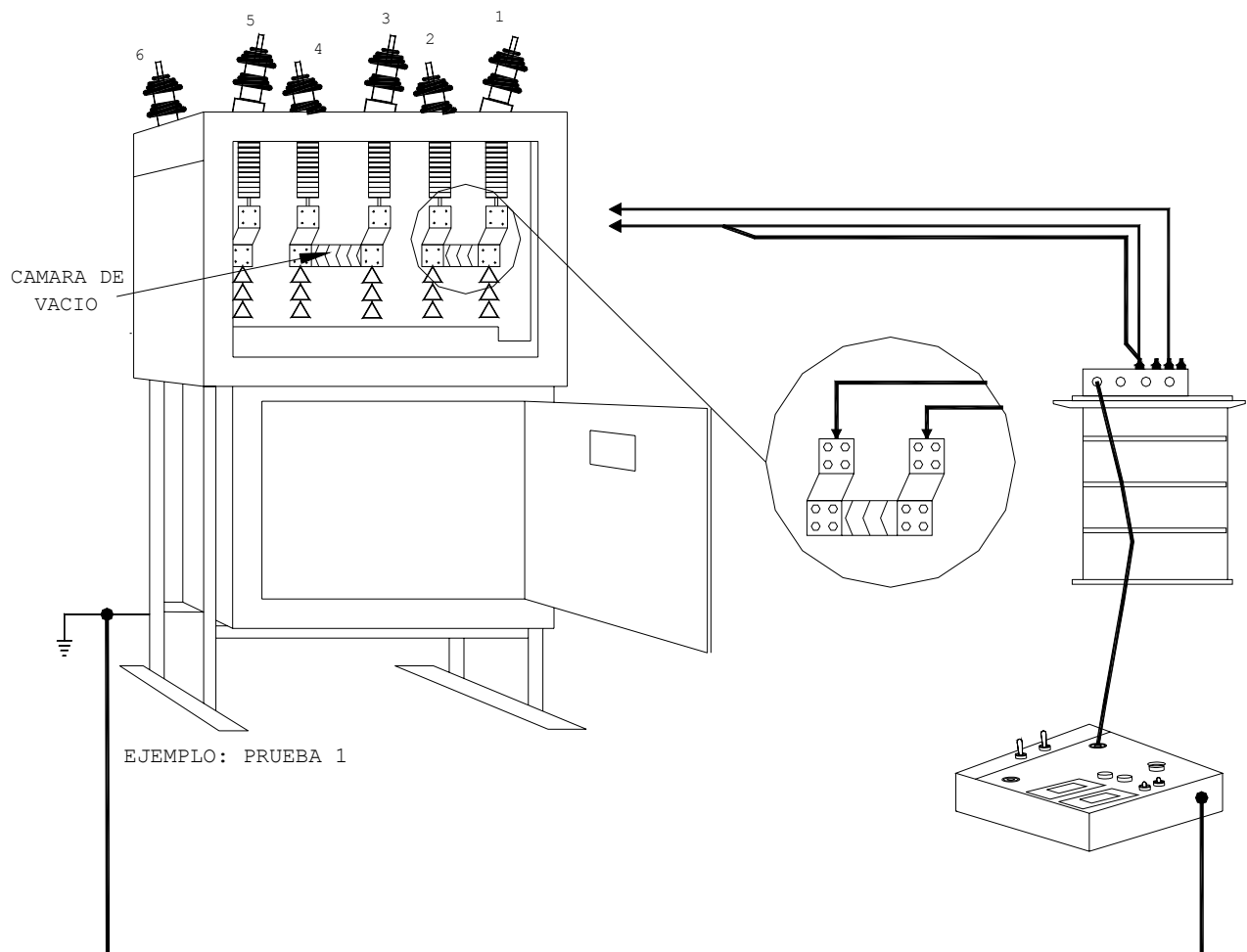
Las figuras 4.19 y 4.20 muestran las conexiones con detalle entre los equipos de prueba comúnmente utilizados y el interruptor por probar.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		KV PRUEBA	TIEMPO EN SEGUNDOS	POSICION INTERRUPTOR
	H1	H2			
1	1	2	50*	3*	ABIERTO
2	3	4	50	3	ABIERTO
3	5	6	50	3	ABIERTO

* PARA INTERRUPTORES CON VOLTAJE NOMINAL DE 15 KV. PARA LOS CASOS DE INTERRUPTORES DE 23 Y 34.5 KV, CONSULTAR EL MANUAL DEL FABRICANTE

FIG. 4.19 INTERRUPTORES EN VACIO 6 SF6
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE CAMARAS DE INTERRUPCION CON
FUENTE DE CORRIENTE ALTERNA DE 60 HZ.
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-15



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		KV PRUEBA	TIEMPO EN SEGUNDOS	POSICION INTERRUPTOR
	LINEA	TIERRA			
1	1	2	70*	3*	ABIERTO
2	3	4	70	3	ABIERTO
3	5	6	70	3	ABIERTO

* PARA INTERRUPTORES CON VOLTAJE NOMINAL DE 15 KV. PARA LOS CASOS DE INTERRUPTORES DE 23 Y 34.5 KV, CONSULTAR EL MANUAL DEL FABRICANTE

Fig. 4.20 INTERRUPTORES EN VACIO ó SF₆
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE CAMARAS DE INTERRUPCION CON FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-04-16

**INTERRUPTORES: G V A**
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVATEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____
VOLTAJE DE PRUEBA _____ VOLTS.

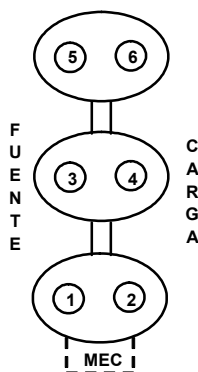
MULTIPLICADOR MEGGER: _____

F A S E	R U E B A	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES (MEGGER)			LECTURAS 60 SEG.	MEGAOHMS (MΩ) 60 SEG.
			LINEA	GUARDA	TIERRA		
1	1	ABIERTO	1	P1-2	Tq		
	2	"	1	P1	Tq-2		
	3	"	1-2	P1-P2	Tq		
	4	CERRADO	1	P1-P2	Tq		
	5	ABIERTO	2	P2-1	Tq		
2	6	ABIERTO	3	P3-4	Tq		
	7	"	3	P3	Tq-4		
	8	"	3-4	P3-P4	Tq		
	9	CERRADO	3	P3-P4	Tq		
	10	ABIERTO	4	P4-3	Tq		
3	11	ABIERTO	5	P5-6	Tq		
	12	"	5	P5	Tq-6		
	13	"	5-6	P5-P6	Tq		
	14	CERRADO	5	P5-P6	Tq		
	15	ABIERTO	6	P6-5	Tq		

NUMERACION DE FASES
Y BOQUILLAS

Tq = TANQUE

P = PORCELANA



OBSERVACIONES: _____

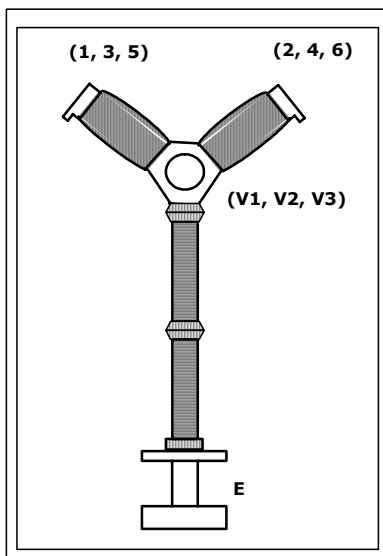
PROBO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE-04-01

**INTERRUPTORES: MULTICAMARA**
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVATEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____
VOLTAJE DE PRUEBA _____ VOLTS.TIPO ☐ BAJO VOLUMEN DE ACEITE ☐ SF6 ☐ AIRE COMPRIMIDO

P O L O	P R U E B A	CONEXIONES (MEGGER)			LECTURAS				VALOR EN MEGAOHMS			
		LINEA	GUARDA	TIERRA	15 SEG.	30 SEG.	45 SEG.	60 SEG.	15 SEG.	30 SEG.	45 SEG.	60 SEG.
1	1	1	---	V1								
	2	2	---	V1								
	3	1-2	---	E								
	4	V1	---	E								
2	1	3	---	V2								
	2	4	---	V2								
	3	3-4	---	E								
	4	V2	---	E								
3	1	5	---	V3								
	2	6	---	V3								
	3	5-6	---	E								
	4	V3	---	E								

FUENTE : 1, 3, 5
CARGA : 2, 4, 6

MULTIPLICADOR MEGGER: _____

E=ESTRUCTURA DEL INTERRUPTOR

OBSERVACIONES: _____

_____**NOTAS:**

- 1) LAS PRUEBAS SE REALIZAN CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO.
- 2) AL REALIZAR LAS PRUEBAS, DESCONECTAR LOS CAPACITORES SHUNT.

PROBO: _____

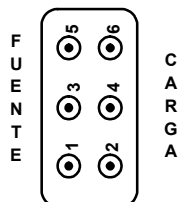
REVISO: _____

FORMATO SE-04-02

**INTERRUPTORES VACIO**
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVATEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____
VOLTAJE DE PRUEBA _____ VOLTS.

MULTIPLICADOR MEGGER: _____

F A S E	R U E B A	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES (MEGGER)			LECTURAS 60 SEG.	MEGAOHMS (MΩ) 60 SEG.
			LINEA	GUARDA	TIERRA		
1	1	ABIERTO	1	2	E		
	2	"	2	1	E		
2	3	"	3	4	E		
	4	"	4	3	E		
3	5	"	5	6	E		
	6	"	6	5	E		
1	7	CERRADO	1-2	—	E		
2	8	"	3-4	—	E		
3	9	"	5-6	—	E		

NUMERACION DE FASES
Y BOQUILLAS

MULTIPLICADOR MEGGER: _____

E= ESTRUCTURA
RIGIDEZ DIELECTRICA EN CAMARA DE VACIO O SF6 HASTA 34.5 KV
☐ NO SATISFACTORIOOBSERVACIONES: _____

PROBO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE-04-04



INTERRUPTORES: GVA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____								
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA						FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____												
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____						EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____												
F A S E	P R U E B A	POSICION	BOQUILLAS	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE AISLAMIENTO			
		INTERRUPTOR	SERIE No.	DE PRUEBA			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA					
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C				
		1	1	ABIERTO		1	Tq	GROUND										
			2	"		2	"	"										
		2	1	"		3	"	"										
			2	"		4	"	"										
		3	1	"		5	"	"										
			2	"		6	"	"										
		1	3	CERRADO		1-2	"	"										
		2	3	"		3-4	"	"										
		3	3	"		5-6	"	"										
		PRUEBA DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS												MVA		MW		
		1	1			II F	1	GROUND										
			2			"	2	"										
2	1				"	3	"											
	2				"	4	"											
3	1				"	5	"											
	2				"	6	"											
PRUEBA DE BOQUILLAS CON TAP CAPACITIVO												MEDIDO	CORR. 20 °C					
1	1			1	TAP	UST												
	2			2	"	"												
2	1			3	"	"												
	2			4	"	"												
3	1			5	"	"												
	2			6	"	"												
NUMERACION DE FASES Y BOQUILLA IM E C 1 1 2 3 2 4 5 3 6 Tq = TANQUE II F = SEGUNDO FALDON PROBO: _____ REVISO: _____ CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO																		
FORMATO SE-04-06																		



INTERRUPTORES: GVA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____								
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA						FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____												
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____						EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____												
F A S E	P R U E B A	POSICION	BOQUILLAS	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE AISLAMIENTO			
		INTERRUPTOR	SERIE No.	DE PRUEBA			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA					
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C				
		1	1	ABIERTO		1	Tq	GROUND										
		2	2	"		2	"	"										
		2	1	"		3	"	"										
		2	2	"		4	"	"										
		3	1	"		5	"	"										
		3	2	"		6	"	"										
		1	3	CERRADO		1-2	"	"										
2	3	"		3-4	"	"												
3	3	"		5-6	"	"												
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS												MVA MW						
1	1			II F	1	GROUND												
	2			"	2	"												
	2	1		"	3	"												
	2	2		"	4	"												
	3	1		"	5	"												
	3	2		"	6	"												
PRUEBA DE BOQUILLAS CON TAP CAPACITIVO												MEDIDO	CORR. 20 °C					
1	1			1	TAP	UST												
	2			2	"	"												
2	1			3	"	"												
	2			4	"	"												
3	1			5	"	"												
	2			6	"	"												
NUMERACION DE FASES Y BOQUILLA 1 2 3 4 5 6 Tq = TANQUE II F = SEGUNDO FALDON PROBO: _____ REVISO: _____ CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO																		
FORMATO SE-04-07																		

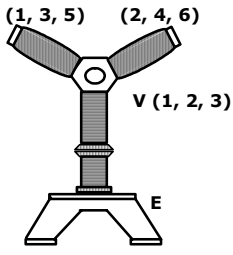


INTERRUPTORES: VACIO PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____							
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA						FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____											
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____						EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____											
F A S E	P R U E B A	POSICION	BOQUILLAS	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE		
		INTERRUPTOR	SERIE No.	DE PRUEBA			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA				
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C			
		1	1	ABIERTO		1	Tq	GROUND									
			2			2	"	"									
			3			3	"	"									
		2				4	"	"									
			5			5	"	"									
			6			6	"	"									
		3				1	2	UST									
	3			3	4	"											
	5			5	6	"											
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS												MVA	MW				
1	1			II F	1	GROUND											
	2			"	2	"											
2	1			"	3	"											
	2			"	4	"											
3	1			"	5	"											
	2			"	6	"											
PRUEBA DE BOQUILLAS CON TAP CAPACITIVO												MEDIDO	CORR. 20 °C				
1	1			1	TAP	UST											
	2			2	"	"											
2	1			3	"	"											
	2			4	"	"											
3	1			5	"	"											
	2			6	"	"											
NUMERACION DE FASES Y BOQUILLAS						Tq = TANQUE II F = SEGUNDO FALDON						CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO					
FUENTE [MEC]						PROBO: _____											
CARGA						REVISO: _____											

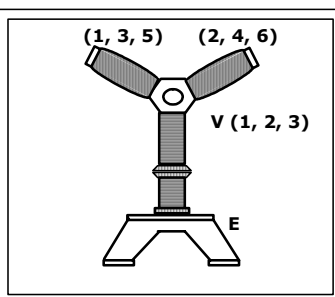


INTERRUPTORES: VACIO PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____							
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA						FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____											
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____						EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____											
F A S E	P R U E B A	POSICION	BOQUILLAS	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE		
		INTERRUPTOR	SERIE No.	DE PRUEBA			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA				
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C			
		1	1	ABIERTO		1	Tq	GROUND									
		2	2			2	"	"									
		3	3			3	"	"									
		4	4			4	"	"									
		5	5			5	"	"									
		6	6			6	"	"									
		1	3			1	2	UST									
2	3			3	4	"											
3	3			5	6	"											
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS												MVA	MW				
1	1			II F	1	GROUND											
	2			"	2	"											
2	1			"	3	"											
	2			"	4	"											
3	1			"	5	"											
	2			"	6	"											
PRUEBA DE BOQUILLAS CON TAP CAPACITIVO												MEDIDO	CORR. 20 °C				
1	1			1	TAP	UST											
	2			2	"	"											
2	1			3	"	"											
	2			4	"	"											
3	1			5	"	"											
	2			6	"	"											
NUMERACION DE FASES Y BOQUILLAS												Tq = TANQUE II F = SEGUNDO FALDON				CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO	
FUENTE [MEC]												PROBO: _____					
CARGA												REVISO: _____					
FORMATO SE-04-09																	



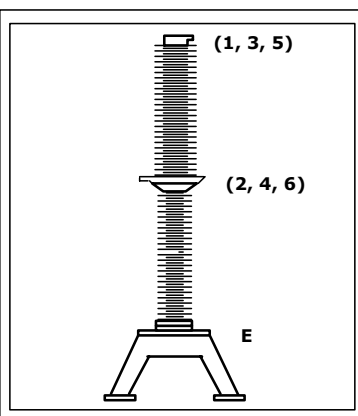
INTERRUPTORES: MULTICAMARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____			
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA					FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA								
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____					EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____								
TIPO ☐ BAJO VOLUMEN DE ACEITE ☐ SF6 ☐ AIRE COMPRIMIDO													
F A S E	P R U E B A	CONEXIONES DE PRUEBA			LECTURAS A 10 KV						% FACTOR DE POTENCIA		CONDIC. DE AISLAMIENTO
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	MILIAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA		
					LECTURA	MULT.	MVA	LECTURA	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C	
1	1	1	VI	GROUND									
	2	2	VI	"									
	3	1	E	"									
	4	2	E	"									
2	1	3	V2	"									
	2	4	V2	"									
	3	3	E	"									
	4	4	E	"									
3	1	5	V3	"									
	2	6	V3	"									
	3	5	E	"									
	4	6	E	"									
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE										PARTE SUPERIOR			
					MICROAMPERES			WATTS			MVA / MW		
1	1	II FCI	1	"									
	2	II FCI	2	"									
	3	II FAS	V 1	"									
2	1	II FCI	3	"									
	2	II FCI	4	"									
	3	II FAS	V 2	"									
3	1	II FCI	5	"									
	2	II FCI	6	"									
	3	II FAS	V 3	"									
 II F C I = SEGUNDO FALDON CAMARA INTERRUPTIVA II F A S = SEGUNDO FALDON AISLADOR SOPORTE OBSERVACIONES: _____ _____ _____ NOTAS: 1) REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO. 2) REALIZAR PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE CON INTERRUPTOR EN POSICION DE CERRADO. PROBO: _____ REVISO: _____ CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO FORMATO SE-04-10													



INTERRUPTORES: MULTICAMARA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO										FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____			
SUBESTACION _____ EQUIPO (CLAVE) _____ VOLTAJE NOMINAL _____ KV CORRIENTE NOMINAL _____ AMP CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA					FECHA _____ MARCA _____ TIPO _____ SERIE No. _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA								
TEMP. AMBIENTE _____ °C HUMEDAD RELATIVA _____ % CONDICIONES DEL TIEMPO _____					EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____ SERIE No. _____ TIPO _____								
TIPO ☐ BAJO VOLUMEN DE ACEITE ☐ SF6 ☐ AIRE COMPRIMIDO													
F A S E	P R U E B A	CONEXIONES DE PRUEBA			LECTURAS A 10 KV						% FACTOR DE POTENCIA		CONDIC. DE AISLAMIENTO
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	MILIAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA		
					LECTURA	MULT.	MVA	LECTURA	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C	
1	1	1	VI	GROUND									
	2	2	VI	"									
	3	1	E	"									
	4	2	E	"									
2	1	3	V2	"									
	2	4	V2	"									
	3	3	E	"									
	4	4	E	"									
3	1	5	V3	"									
	2	6	V3	"									
	3	5	E	"									
	4	6	E	"									
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE										PARTE SUPERIOR			
					MICROAMPERES			WATTS			MVA / MW		
1	1	II FCI	1	"									
	2	II FCI	2	"									
	3	II FAS	V1	"									
2	1	II FCI	3	"									
	2	II FCI	4	"									
	3	II FAS	V2	"									
3	1	II FCI	5	"									
	2	II FCI	6	"									
	3	II FAS	V3	"									
 II F C I = SEGUNDO FALDON CAMARA INTERRUPTIVA II F A S = SEGUNDO FALDON AISLADOR SOPORTE OBSERVACIONES: _____ NOTAS: _____ 1) REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO. 2) REALIZAR PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE CON INTERRUPTOR EN POSICION DE CERRADO. PROBO: _____ REVISO: _____ CONDICIONES DEL AISLAMIENTO B = BUENO D = DETERIORADO I = INVESTIGAR M = MALO FORMATO SE-04-11													

**INTERRUPTORES: BVA, SF6, CS.**
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVATEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____TIPO ☐ BAJO VOLUMEN DE ACEITE ☐ SF6 ☐ CIRCUIT - SWITCHER

P O L O	P R U E B A	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE AISLAMIENTO
		DE PRUEBA			MILIVOLTSAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA		
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECTURA	MULT.	MVA	LECTURA	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C	
1	1	1	2	GROUND									
	2	1	E	"									
	3	2	E	"									
2	1	3	4	"									
	2	3	E	"									
	3	4	E	"									
3	1	5	6	"									
	2	5	E	"									
	3	6	E	"									
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE											PARTE SUPERIOR MVA / MW		
1	1	II FCI	1	GROUND									
	2	II FAS	2	"									
2	1	II FCI	3	"									
	2	II FAS	4	"									
3	1	II FCI	5	"									
	2	II FAS	6	"									



II F C I = SEGUNDO FALDON CAMARA INTERRUPTIVA

II F A S = SEGUNDO FALDON AISLADOR SOPORTE

OBSERVACIONES: _____

NOTAS:

- 1) REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO.
- 2) REALIZAR PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE CON INTERRUPTOR EN POSICION DE CERRADO.

PROBO: _____

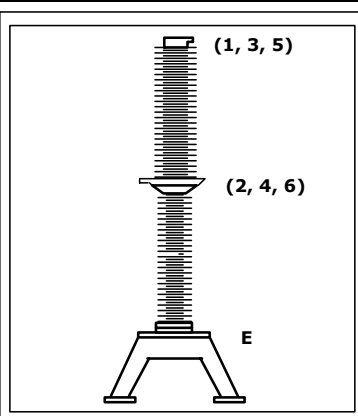
REVISO: _____

CONDICIONES DEL
AISLAMIENTO
B = BUENO
D = DETERIORADO
I = INVESTIGAR
M = MALO

FORMATO SE-04-12

**INTERRUPTORES: BVA, SF6, CS.**
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVATEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____TIPO ☐ BAJO VOLUMEN DE ACEITE ☐ SF6 ☐ CIRCUIT - SWITCHER

P O L O	P R U E B A	CONEXIONES			PRUEBAS A 2.5 KV						% FACTOR		CONDIC. DE AISLAMIENTO
		DE PRUEBA			MILIVOLTSAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA		
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECTURA	MULT.	MVA	LECTURA	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C	
1	1	1	2	GROUND									
	2	1	E	"									
	3	2	E	"									
2	1	3	4	"									
	2	3	E	"									
	3	4	E	"									
3	1	5	6	"									
	2	5	E	"									
	3	6	E	"									
PRUEBA DE COLLAR CALIENTE											PARTE SUPERIOR MVA / MW		
1	1	II FCI	1	GROUND									
	2	II FAS	2	"									
2	1	II FCI	3	"									
	2	II FAS	4	"									
3	1	II FCI	5	"									
	2	II FAS	6	"									



II F C I = SEGUNDO FALDON CAMARA INTERRUPTIVA

II F A S = SEGUNDO FALDON AISLADOR SOPORTE

OBSERVACIONES: _____

NOTAS:

- 1) REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA CON INTERRUPTOR EN POSICION DE ABIERTO.
- 2) REALIZAR PRUEBAS DE COLLAR CALIENTE CON INTERRUPTOR EN POSICION DE CERRADO.

PROBO: _____

REVISO: _____

CONDICIONES DEL
AISLAMIENTO
B = BUENO
D = DETERIORADO
I = INVESTIGAR
M = MALO

FORMATO SE-04-13



INTERRUPTORES PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS Y TIEMPO DE OPERACIÓN					FECHA ULTIMA PRUEBA _____ REPORTE No. _____ DIVISION _____ ZONA _____									
SUBESTACION _____			FECHA _____			EQUIPO (CLAVE) _____			MARCA _____			TIPO _____		
No. DE SERIE _____			CAPACIDAD _____			MVA _____			VOLTAJE (KV) _____					
TEMP. AMB. _____ °C H.R. _____ % COND. METEOROLOGICAS _____														
1.- RESISTENCIA DE CONTACTOS														
MICROOHMS ENTRE TERMINALES DE POLO														
POLO . 1 (1-2)		POLO . 2 (3-4)		POLO . 3 (5-6)		OHMETRO: TIPO _____								
						MARCA: _____								
						SERIE No. _____								
1.1.- RESISTENCIA DE CONTACTOS . INTERRUPTORES MULTICAMARA														
POLO	CAMARA 1	CAMARA 2	CAMARA 3	CAMARA 4	OHMETRO: TIPO _____									
1					MARCA: _____									
2					SERIE No. _____									
3														
2.- VELOCIDAD DE OPERACION														
☐ CICLOS ó ☐ MILLISEGUNDOS POR POLO														
CIERRE			APERTURA						CRONOGRFO: _____					
POLO . 1	POLO . 2	POLO . 3	POLO . 1	POLO . 2	POLO . 3	MARCA _____								
						TIPO _____								
						SERIE No. _____								
2.1.- VELOCIDAD DE OPERACIÓN . INTERRUPTORES MULTICAMARA														
☐ CICLOS ó ☐ MILLISEGUNDOS POR CAMARA INTERRUPTIVA														
CIERRE					APERTURA									
POLO	CAMARA 1	CAMARA 2	CAMARA 3	CAMARA 4	CAMARA 1	CAMARA 2	CAMARA 3	CAMARA 4						
1														
2														
3														
CRONOGRFO.- MARCA _____ TIPO _____ SERIE _____														
3.- SIMULTANEIDAD.														
DIFERENCIA: ☐ CICLOS ó ☐ MILLISEGUNDOS														
CIERRE					APERTURA									
POLOS 1-2	POLOS 2-3	POLOS 3-1	POLOS 1-2	POLOS 2-3	POLOS 3-1									
OBSERVACIONES _____						PROBO _____								
						REVISO _____								
FORMATO SE-04-14														



REPORTE DE PRUEBAS A INTERRUPTORES DE POTENCIA (RESUMEN)

PRUEBAS DE PUESTA
EN SERVICIO ☐

PRUEBAS DE INSPECCION ☐

PRUEBAS DESPUES
DEL MANTENIMIENTO ☐

SUBESTACION _____ ZONA _____ DIVISION _____ FECHA _____

DATOS DE PLACA DEL INTERRUPTOR: MARCA _____ SERIE No. _____ AMPERES _____
TIPO DE EXTINCION _____ TIPO _____ VOLTAJE DE OPERACION _____ CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA _____

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 20 °C MEGAOHMS										RESISTENCIA DE CONTACTOS $\mu \Omega$		
ABIERTO										CERRADO (Polos)		
SEG.	1	2	3	4	5	6	1-2	3-4	5-6	1-2	3-4	5-6
15												
30												
45												
60												
PRUEBA DE CAMARA DE VACIO ó en SF6 RIG. DIELECTRICA (KV)												
FACTOR DE POTENCIA A 20 °C												
ABIERTO										CERRADO		
	1	2	3	4	5	6	1-2	3-4	5-6	RESIST. $\times 10^5 M\Omega$		
BOQUILLAS:										VELOCIDAD DE OPERACION		
☐ MIL WATTS ☐ WATTS										☐ CICLOS ó ☐ MILISEGUNDOS		
☐ F. POTENCIA ☐ MILLAMP.										CICLOS ó ☐ MILISEGUNDOS		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	POLOS	CIERRE	APERTURA
*										1		
										2		
										3		

* F.P. TAP. CAPACITIVO

PROBO: _____

OBSERVACIONES: _____

REVISO: _____

AUTORIZO: _____

FORMATO SE-04-16

CAPITULO 5

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

5.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Los diferentes diseños en TC's y TP's requieren que la persona que debe probarlos analice con detenimiento su diagrama en particular, determine las conexiones que convenga seguir y las resistencias dieléctricas que están bajo prueba. Esta conexión deberá quedar asentada en el reporte de prueba del equipo. Invariablemente en fechas posteriores se harán pruebas con conexiones iguales, a fin de tener datos comparativos.

Al probar un transformador de instrumento se determinan las condiciones del aislamiento entre los devanados primario y secundario contra tierra. Para la prueba del primario contra tierra, se utiliza el rango de mayor tensión del equipo de prueba, dependiendo de su tipo; y para la prueba del secundario contra tierra, se usa el rango del medidor para una tensión aproximada a la tensión nominal del equipo a probar, de 500 V.

A partir de tensiones de 34.5 KV la gran mayoría de los transformadores de potencial con arreglos estrella – estrella son de aislamiento reducido en su terminal P2.

La terminal P2 del devanado primario está conectada directamente a tierra. Al probar este tipo de TP's es necesario desconectar la terminal P2 de tierra con objeto de efectuar la prueba del devanado primario a tierra, teniendo el cuidado de limpiar perfectamente la terminal P2 y de no aplicar más de 2500 V, debido a que ésta terminal es de aislamiento reducido.

En caso de no contar con acceso para la desconexión de la terminal P2, la prueba de resistencia del aislamiento no podrá ejecutarse.

5.1.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Desconectar cables de las terminales primaria y secundaria del transformador o dispositivo.
- c) Cortocircuitar terminales del devanado primario y secundario en forma independiente.
- d) Limpiar el aislamiento externo.



5.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

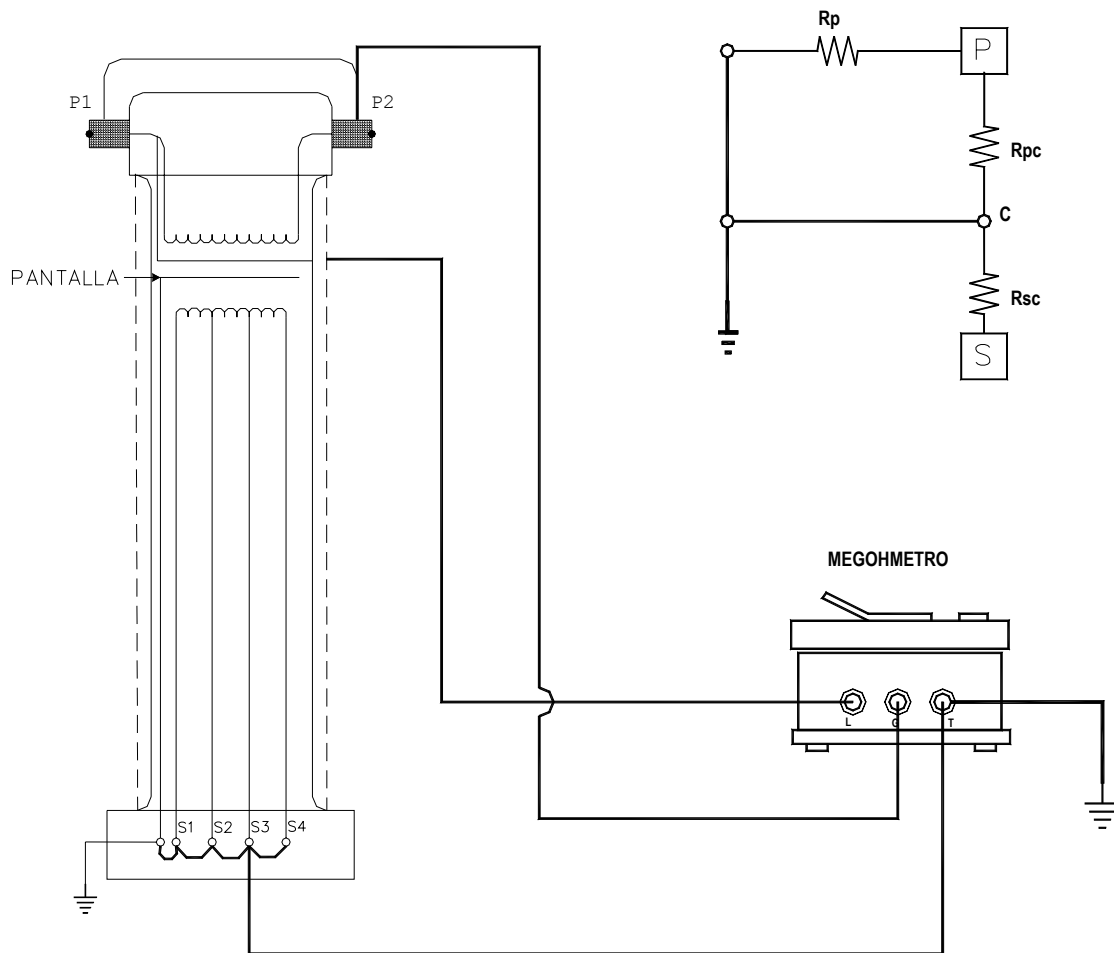
Para la prueba de transformadores de instrumento se tomarán las medidas de seguridad y se seguirán las instrucciones para el uso del probador de resistencia de aislamiento descritas en las secciones respectivas.

Todas las pruebas se harán a 1 minuto aplicando el voltaje de prueba adecuado, conforme a lo descrito anteriormente.

En las figuras 5.1 a la 5.3, se ilustran las conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a transformadores de instrumento.

DISPOSITIVOS DE POTENCIAL (Acopladores capacitivos y resistivos).

La prueba de resistencia de aislamiento en dispositivos de potencial (DP's) se realiza uniando las terminales de los devanados primario y secundario y aislando toda conexión a tierra y a tableros, siendo esto con el fin de que no intervengan en la prueba las capacitancias y /o resistencias integradas en el dispositivo; ésta prueba se efectúa únicamente a 500 V.

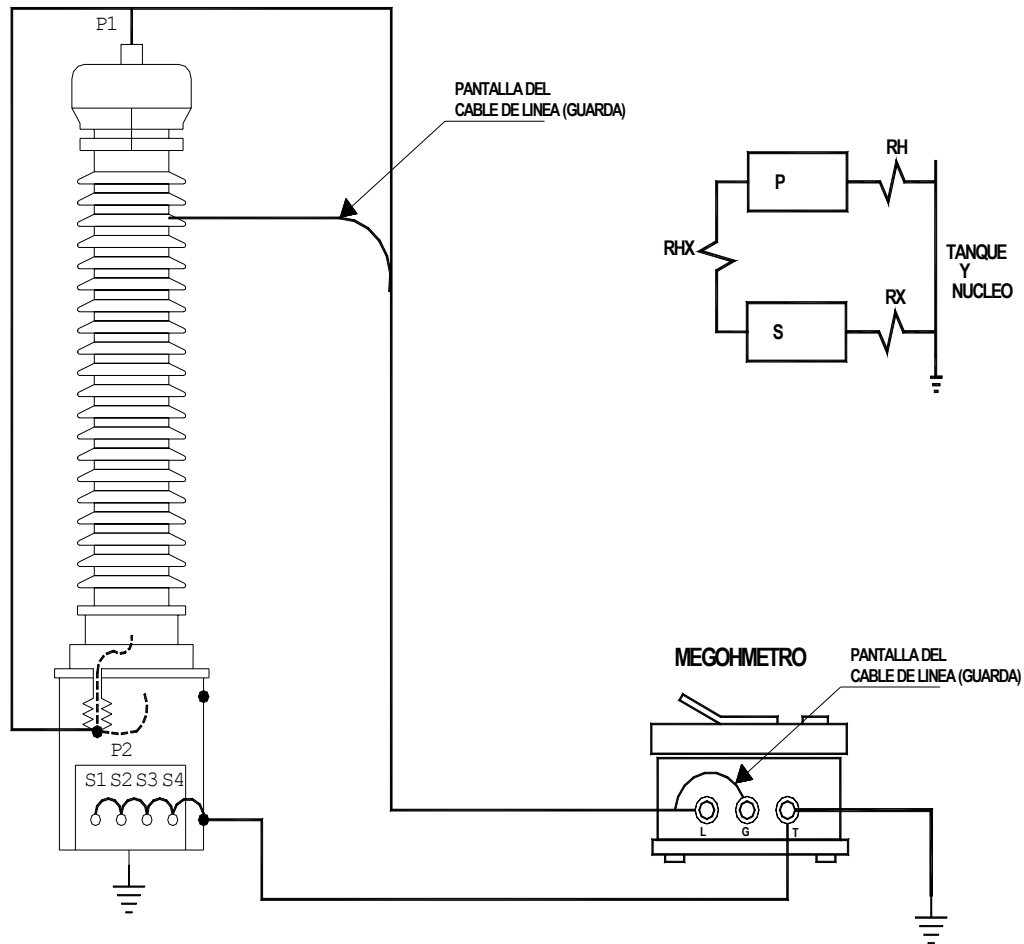


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	VOLTS PRUEBA
	L	G	T		
1	P1, P2	PORCELANA	S1, S2, S3, S4	RP-RPC	5000
2	S1, S2, S3, S4	—	P1, P2	RSC	500

Fig. 5.1 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-01

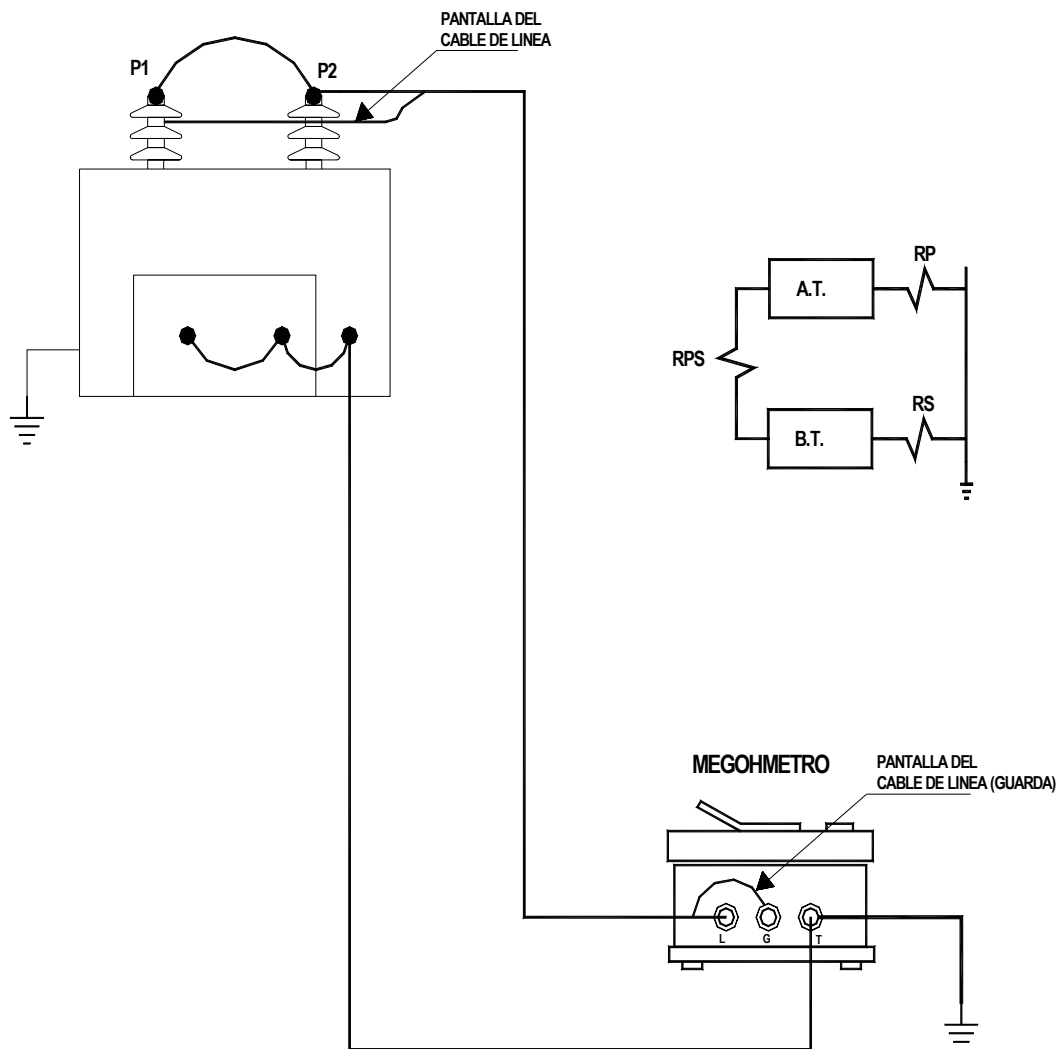


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	VOLTS PRUEBA
	L	G	T		
1	P1, P2	PORCELANA	S1, S2, S3, S4	RP-RPS	5000
2	S1, S2, S3, S4	—	P1, P2	RP-RPS	500

Fig. 5.2 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-01



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	VOLTS PRUEBA
	L	G	T		
1	P1 - P2	—	S1 - S2	RP - RPS	5000
2	S1 - S2	—	P1- P2	RP - RPS	500

Fig. 5.3 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-01



5.1.3 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

Por la experiencia en la diversidad de pruebas que se han realizado a este tipo de equipos, es recomendable que los valores que se obtengan en los aislamientos tanto de alta tensión como de baja tensión, deben ser superiores a 50,000 megaohms.

Para valores inferiores a lo descrito anteriormente y con el objeto de analizar las condiciones del aislamiento, deberá complementarse ésta prueba con los valores de pérdidas dieléctricas que se obtienen con las pruebas de factor de potencia.

5.2 FACTOR DE POTENCIA.

Con la prueba de factor de potencia se determinan las pérdidas dieléctricas de los aislamientos de los devanados primario y secundario que integran a los transformadores de instrumento.

Para realizar la prueba de factor de potencia a transformadores de potencial de baja tensión (14.4, 24.0 o 34.5 KV) se recomienda realizar las tres pruebas que se indican en la figura 5.6. Las dos últimas de éstas pruebas, se denominan "cruzadas" y determinan si algún problema está cercano a la terminal P1 o P2. De manera similar pueden probarse los T.P's. para esas mismas tensiones con conexión fase-tierra.

En cuanto a los transformadores de corriente se refiere, estos tienen un devanado primario (devanado en alta tensión), el cual puede estar formado de una o varias espiras. Para realizar la prueba, debe cortocircuitarse el primario, aterrizándose el devanado secundario (devanado de baja tensión). Para transformadores que se encuentren almacenados, deberá tenerse especial cuidado en aterrizarlos lo mejor posible para efectuarles la prueba. La rutina llevada a cabo para realizar esta prueba, consiste en aplicar el voltaje al primario y registrar la corriente y las pérdidas con respecto a tierra, calculando con estos parámetros el factor de potencia.

Para la determinación de las condiciones del aislamiento se deben realizar también las pruebas de collar caliente.

5.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

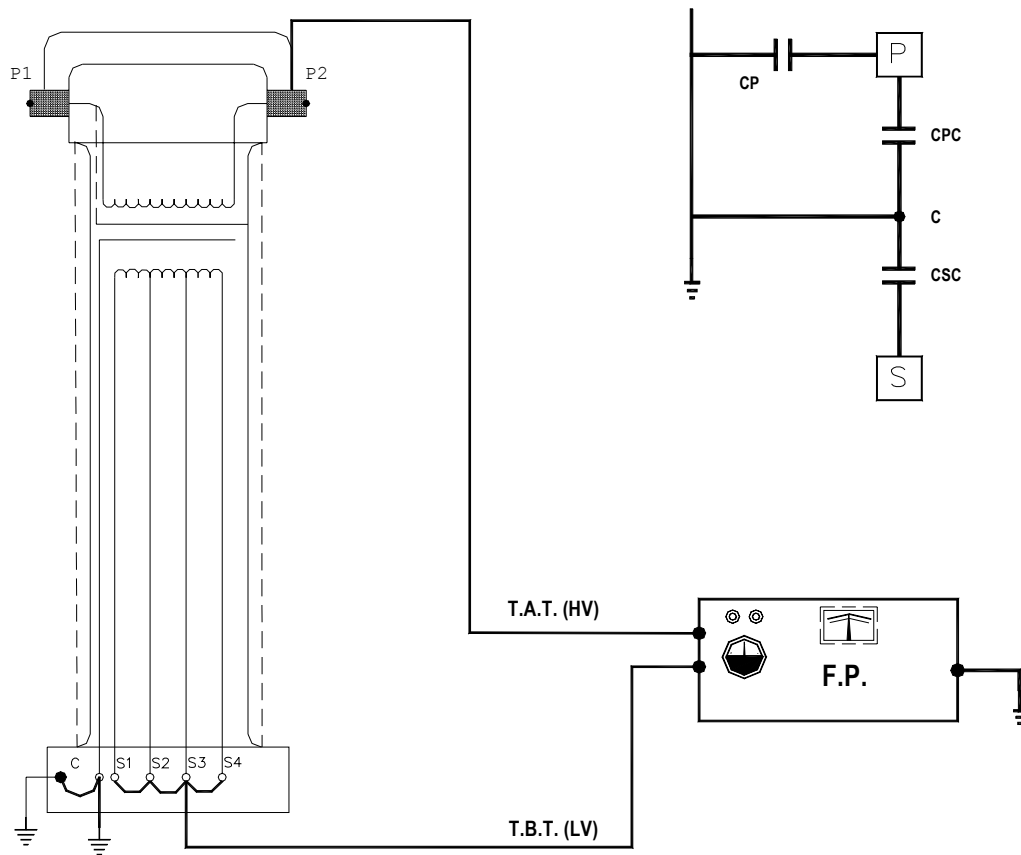
- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Se debe limpiar el aislamiento externo.
- c) Para el devanado primario utilizar el rango mayor de voltaje del medidor, y para el devanado secundario aplicar un voltaje no mayor de 500 volts.
- d) La terminal P2 del devanado primario está conectada directamente a tierra. Al probar este tipo de T.P's es necesario desconectar la terminal P2 de tierra con objeto de efectuar la prueba del devanado primario a tierra, teniendo el cuidado de limpiar perfectamente la terminal P2 y de no aplicar más de 2500 V, debido a que ésta terminal es de aislamiento reducido.
- e) En caso de no contar con acceso para la desconexión de la terminal P2, la prueba de factor de potencia no podrá ejecutarse.



Cuando se realizan pruebas cruzadas, un extremo del devanado de alta tensión está a potencial cero y el otro extremo al máximo potencial, por lo que la distribución de tensión será de forma lineal decreciente, esto hace que la capacitancia que está a potencial cero no se mida, midiéndose alternadamente la capacitancia que tiene el potencial máximo y una porción del devanado primario. Este procedimiento se puede usar para transformadores en cascada, así como para transformadores de potencial convencionales.

5.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras 5.4 a la 5.6, se ilustran los diagramas de conexión para circuitos de prueba de factor de potencia a transformadores de instrumento.



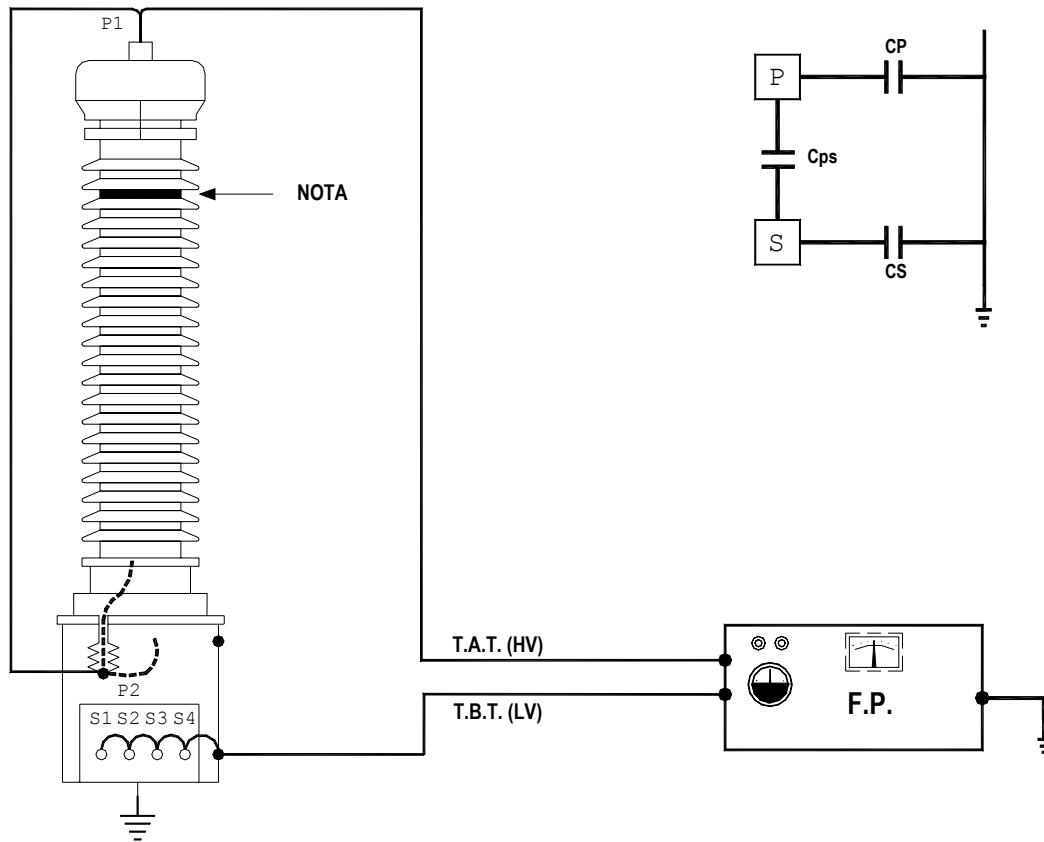
NOTA: TAMBIEN REALIZAR LA PRUEBA DE COLLAR CALIENTE

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	VOLTS PRUEBA
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR		
1	P1- P2	S1, S2, S3, S4	GROUND	CP - CPC	2500
2	S1, S2, S3, S4	P1- P2	GROUND	CSC	500

Fig. 5.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-02 (para 2.5 kV)
SE-05-03 (para 10 kV)



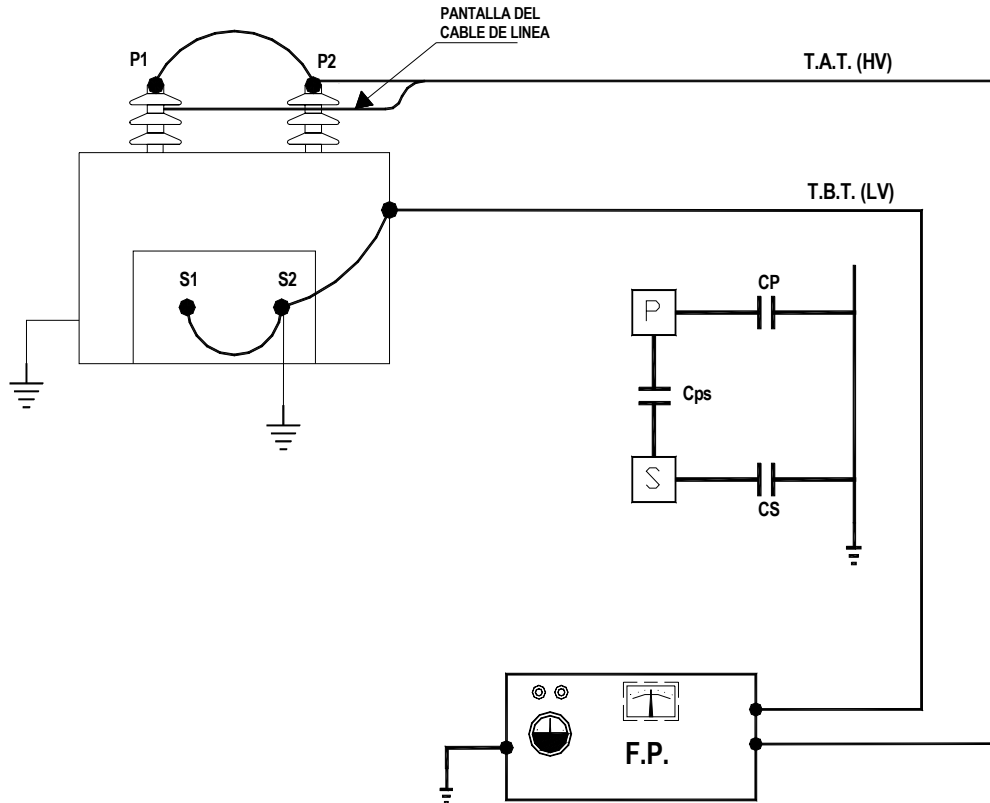
NOTA: TAMBIEN REALIZAR LA PRUEBA DE COLLAR CALIENTE
CONECTANDO T.A.T. AL SEGUNDO FALDON Y T.B.T. A P1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	kV PRUEBA
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR		
1	P1 - P2	S1, S2, S3, S4	GROUND	CP - CPS	10 o 2.5
2	S1, S2, S3, S4	P1 - P2	GROUND	CS - CPS	0.5

Fig. 5.5 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-02 (para 2.5 kV)
SE-05-03 (para 10 kV)



NOTA: TAMBIEN REALIZAR LA PRUEBA DE COLLAR CALIENTE
CONECTANDO T.A.T. AL SEGUNDO FALDON Y T.B.T. A P1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	kV PRUEBA	PRUEBA
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR			
1	P1- P2	S1, S2	GROUND	CP + CPS	10 o 2.5	—
2 (CRUZADA)	P1	P2	GUARDA	CP 1	10 o 2.5	SI *
3 (CRUZADA)	P2	P1	GUARDA	CP 2	10 o 2.5	SI *

* ATERRIZAR UN SOLO BORNE

Fig. 5.6 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO PARA T.P.'s CON 2 BOQUILLAS EN A.T.

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-02 (para 2.5 kV)
SE-05-03 (para 10 kV)



5.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Un valor de factor de potencia mayor de 2 % y pérdidas dieléctricas en la prueba de collar caliente mayores de 6 mW a 2.5 KV o 0.1 watts a 10 KV, será indicativo de que existe un deterioro en el aislamiento del transformador, pudiendo ser la causa el aceite aislante de aquellos que lo contengan, o microfisuras en la resina del aislamiento tipo seco.

Al obtener resultados con valores mayores, deberá investigarse y compararse con los datos estadísticos de equipos similares.

Se tienen mayores pérdidas cuando se mide P1 que cuando se mide P2, las pérdidas en P2 se pueden atribuir a que el pasamuro de la terminal es muy pequeño y de resina epóxica, esto no impide la operación del transformador puesto que ésta terminal en operación normal tendrá una tensión de cero Volts. Puesto que los datos a monitoriar aquí serían la prueba completa y la prueba cruzada para P1.

Para la mayoría de los T.P's, los factores de potencia hechos en pruebas cruzadas, deberán de compararse con el factor de potencia de las pruebas completas. En algunas unidades de la prueba cruzada es mayor que la prueba completa. La prueba cruzada no da datos complementarios cuando los resultados de la prueba completa son cuestionables.

5.3 RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD.

Con el medidor de relación de transformación convencional, se pueden medir relaciones de transformación hasta 130, siendo esto útil para transformadores de corriente de relación hasta 600/5, y para transformadores de potencial con relación hasta 14400/120. Para relaciones mayores se debe utilizar el accesorio del medidor o acoplar un segundo TTR. Si se dispone del medidor trifásico no se tiene ningún problema ya que éste puede medir relaciones de hasta 2700.

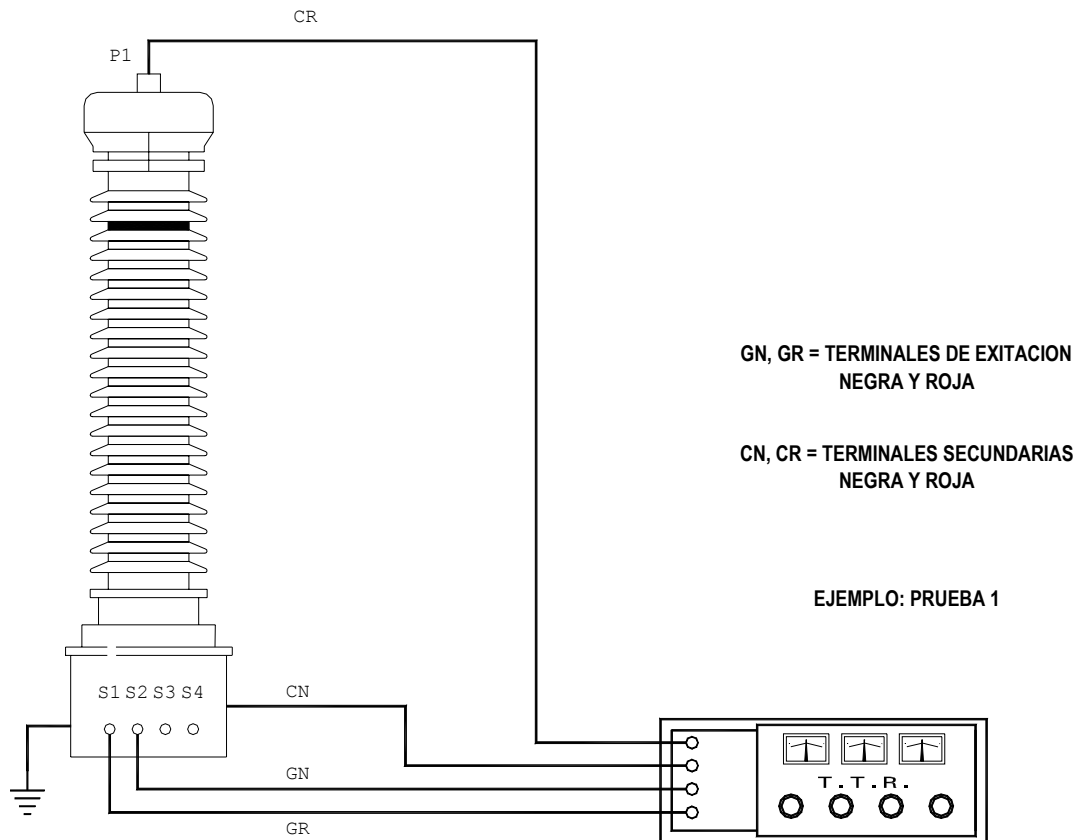
La prueba de relación de transformación a transformadores de corriente, también se realiza con un transformador de alta carga, un variac y dos ampérmetros. Para efectuarla es necesario puentear o cortocircuitar las terminales del devanado secundario de la relación a comprobar, aplicando al devanado primario diferentes valores de corriente pre-establecidos y midiendo las correspondientes corrientes en el devanado secundario. Conforme a los datos de placa, debe efectuarse la comprobación en las relaciones de que disponga el transformador.

5.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.

5.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras 5.7 a la 5.9 se muestran las conexiones para realizar esta prueba.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	P1	TIERRA	S1	S2	REL. DEVANADO 1
2	P1	TIERRA	S3	S4	REL. DEVANADO 2

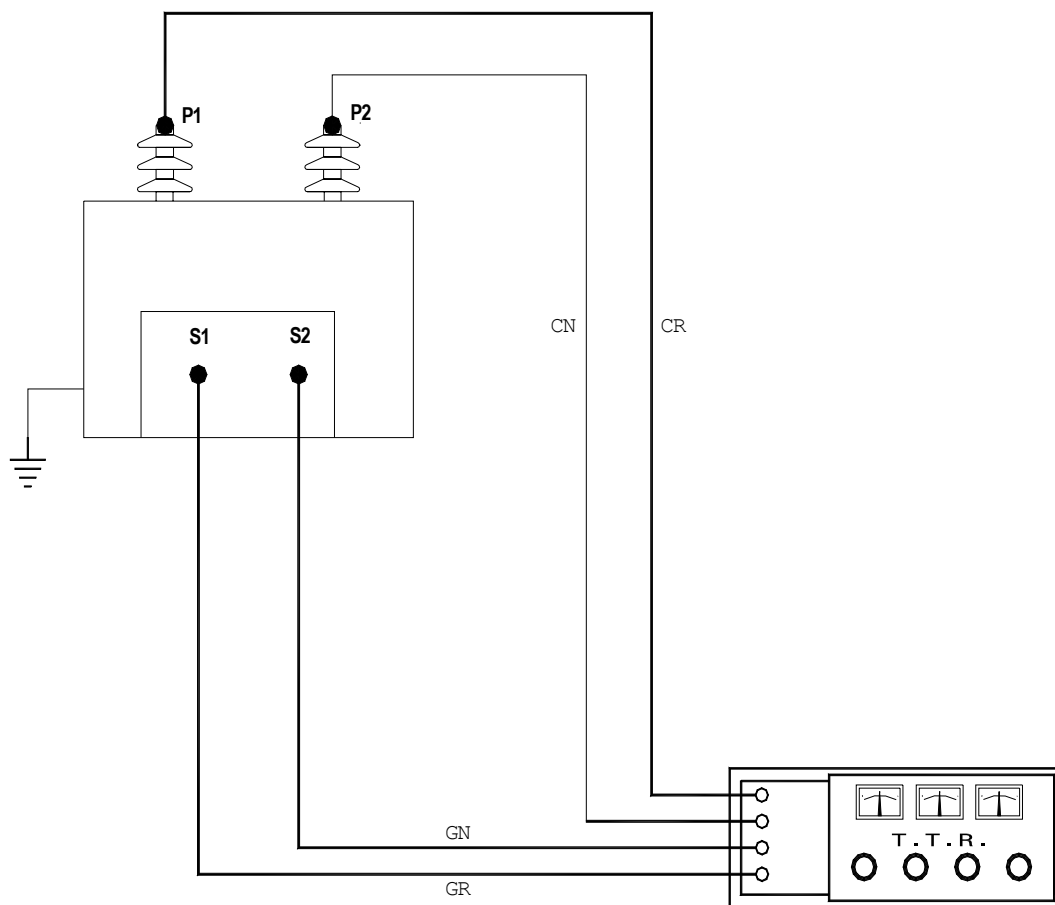
NOTAS: 1. SI POR EL RANGO DE MEDIDA DEL EQUIPO DE PRUEBA NO SE PUDIERA OBTENER LA RELACION, INTERCALAR EL TRANSFORMADOR AUXILIAR PROPIO DEL EQUIPO

2. LA OTRA MANERA DE CONOCER LA RELACION, ES APLICAR BAJO VOLTAJE (127 VOLTS POR EJEMPLO) Y MEDIR CON UN VOLMETRO DE PRECISION EL VOLTAJE DE LAS TERMINALES S1-S2 Y S3-S4 DE LOS DEVANADOS SECUNDARIOS.

Fig. 5.7 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-05-04



G = TERMINALES DE EXITACION
C = TERMINALES SECUNDARIAS

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			
	CR	CN	GR	GN
1	P1	P2	S1	S2

Fig. 5.8 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION
PARA T.P's CON 2 BOQUILLAS EN A.T.

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-04

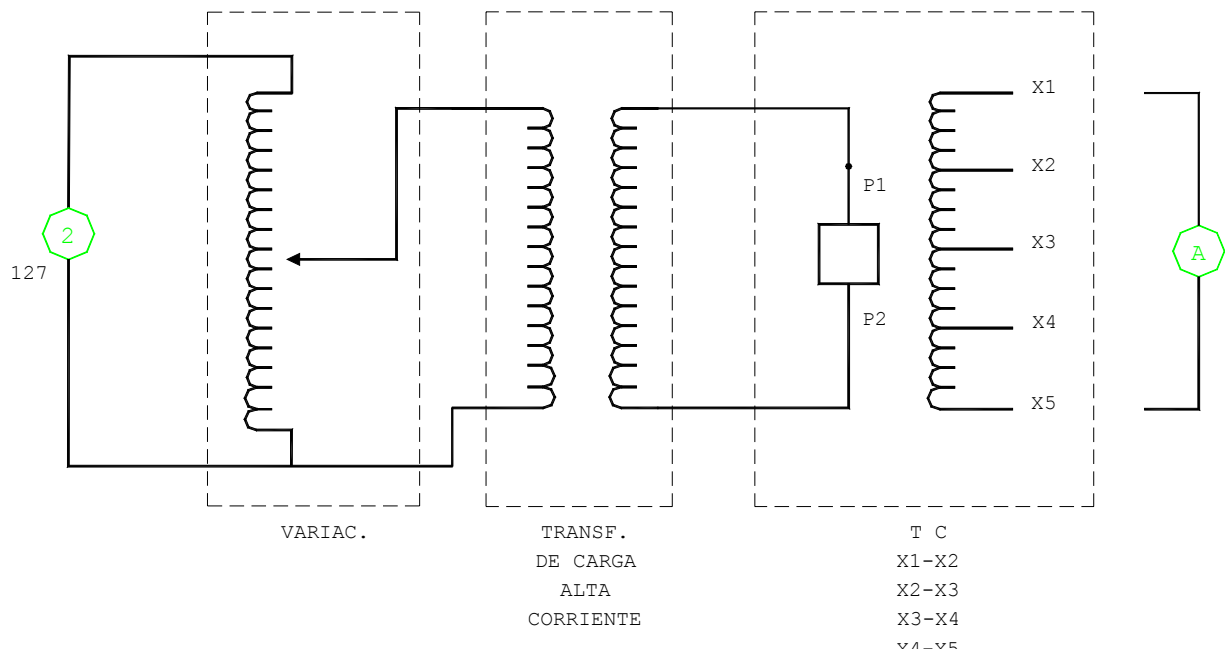


Fig. 5.9 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-05



5.3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

El porciento de diferencia en la relación de transformación medida con respecto a la teórica no debe ser mayor de 0.15 %.



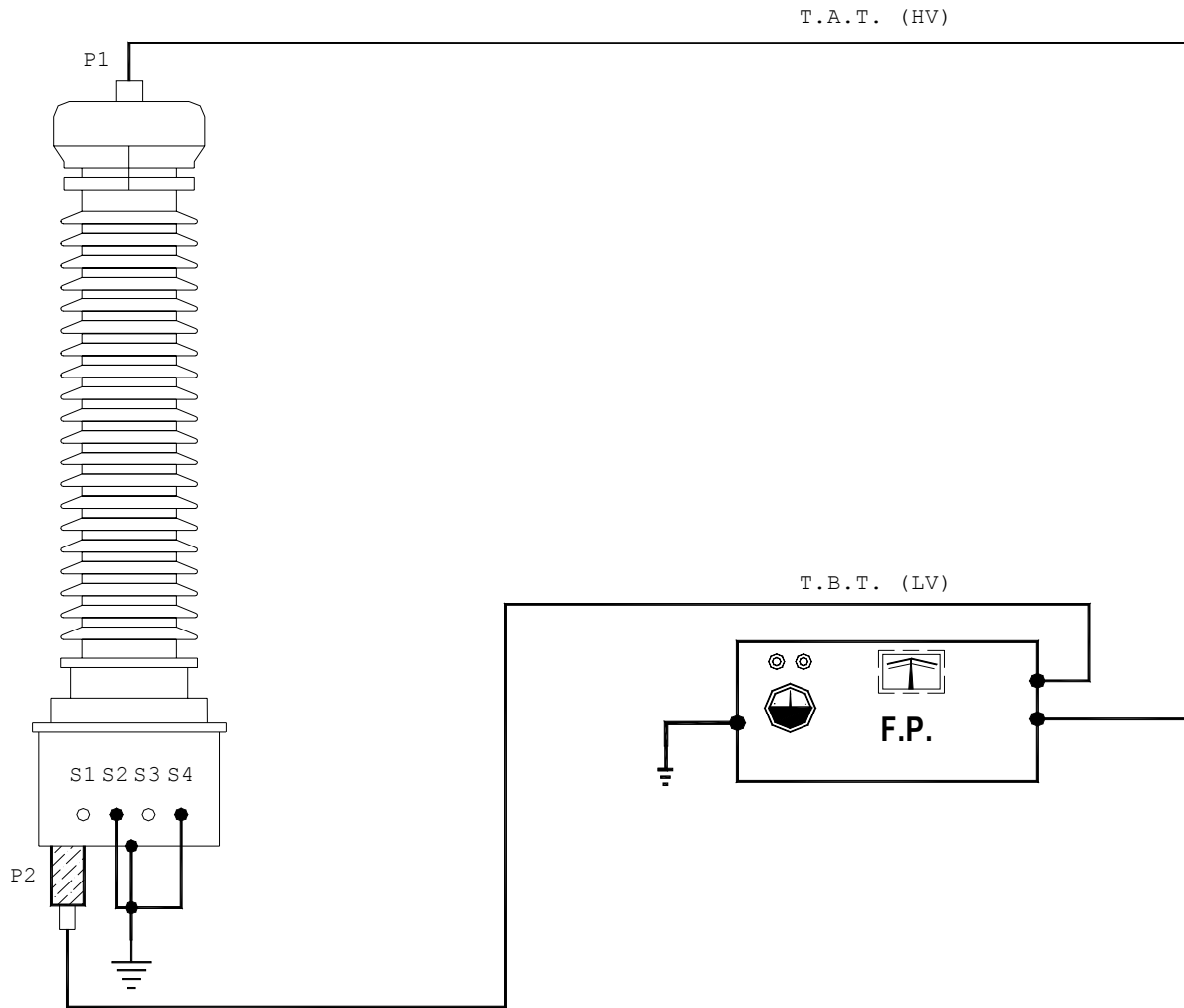
5.4 PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION.

Esta prueba se realiza para comprobar las condiciones del devanado principal y el núcleo.

La prueba se puede realizar con el medidor de factor de potencia, energizando el devanado primario y obteniéndose la corriente de excitación en mVA o mA de acuerdo al equipo que se utilice.

Si al estar aplicando el voltaje, el interruptor del medidor se abre, es indicación de problemas en el devanado al tenerse una corriente de excitación alta.

Las conexiones para la prueba se muestran en las figuras 5.10 y 5.11.

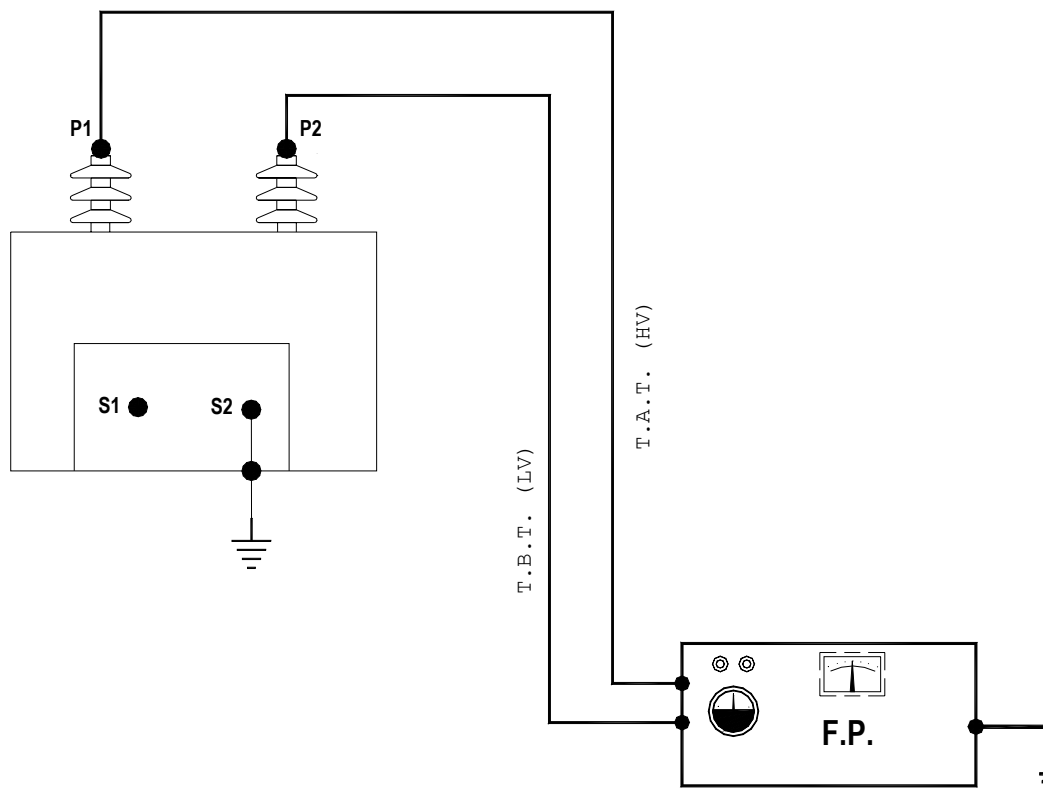


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR	
1	P1	P2	UST	le

Fig. 5.10 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-02
SE-05-03



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			ATERORIZAR
	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR	
1	P1	P2	UST	S2

NOTA: SI POR LA ALTA CAPACITANCIA DEL DEVANADO PRIMARIO DEL TC SE ABRIERA EL INTERRUPTOR PRINCIPAL DEL EQUIPO DE PRUEBA AL APLICAR EL VOLTAGE, EFECTUAR LA PRUEBA A MENOR VOLTAGE QUE EL ESTABLECIDO.

Fig. 5.11 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-02
SE-05-03



5.5 PRUEBA DE SATURACION.

La prueba se realiza para determinar a que voltaje se satura el núcleo del transformador.

En la figura No. 5.12 se muestran las conexiones para realizar la prueba.

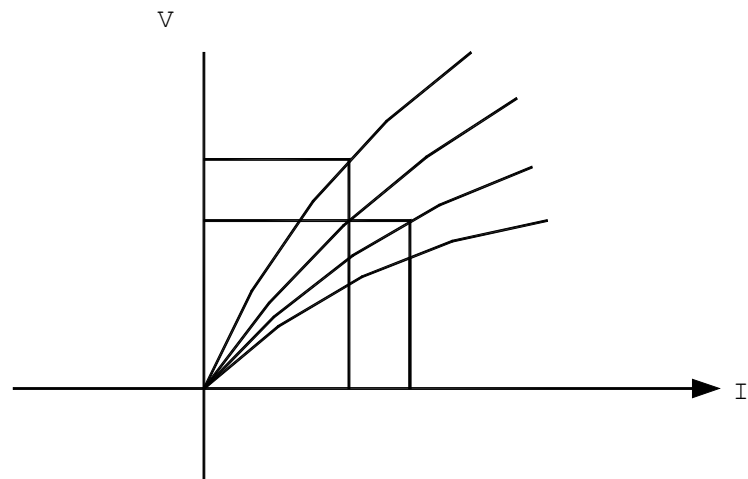
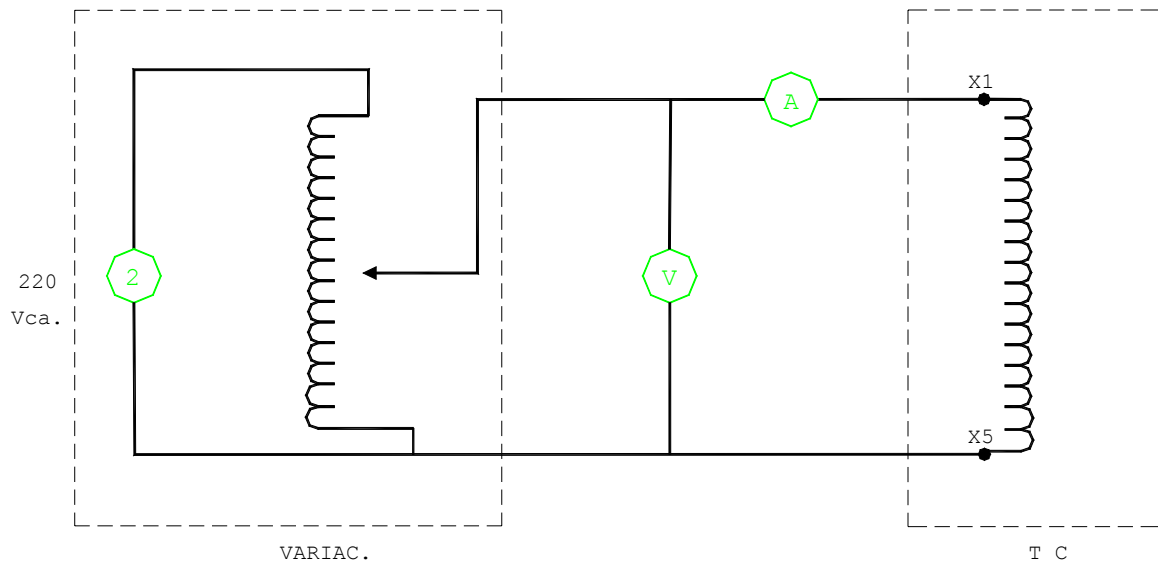


Fig. 5.12 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

PRUEBA DE SATURACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-05-05

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA

SUBESTACION _____
EQUIPO PROBADO _____

FECHA

MARCA	TIPO
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30
31	32
33	34
35	36
37	38
39	40
41	42
43	44
45	46
47	48
49	50
51	52
53	54
55	56
57	58
59	60
61	62
63	64
65	66
67	68
69	70
71	72
73	74
75	76
77	78
79	80
81	82
83	84
85	86
87	88
89	90
91	92
93	94
95	96
97	98
99	100

VOLTAJE NOMINAL

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

**FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)**

*** CONSIDERADOS**

MULTIPLICADOR MEGGER:

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM:

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISOR:

FORMATO SE-05-01

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ÚLTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISIÓN _____

ZONA _____

SUBESTACIÓN: _____

FECHA: _____

EQUIPO (CLAVE): _____

MARCA: _____

TIPO: _____

NÚMERO DE SERIE: _____

TEMP. AMBIENTE: _____ °C

EQUIPO DE PRUEBA MARCA: _____

HUMEDAD RELATIVA: _____ %

No. DE SERIE: _____

TIPO: _____

EQUIPO		PRUEBA No.	PRUEBAS A 2.5 kV.						% FACTOR DE POTENCIA		CONDICIONES DE AISLAMIENTO
			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS					
FASE	No. DE SERIE:		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mVA	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mW	MEDIDO	CORR. A 20 °C	

COLLAR CALIENTE

EQUIPO		VOLTAJE DE PRUEBA	PRUEBAS A 2.5 kV.						mW / mVA		CONDICIONES DE AISLAMIENTO
			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS					
FASE	No. DE SERIE:		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mVA	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mW	SUPERIOR	INFERIOR	

CORRIENTE DE EXCITACIÓN

CONEXIONES DE PRUEBA				kV. DE PRUEBA	☐ MILIVOLTAMPERES ☐ MILLIAMPERES			Ie (m A)	
PRUEBA	T. A. T.	T. B. T.	SECTOR		LECTURA	MULTIPLICADOR	VALOR	ACTUAL	ANTERIOR

OBSERVACIONES: _____

CONDICIONES DE AISLAMIENTO:

PROBÓ: _____

B = BUENO

D = DETERIORADO

I = INVESTIGAR

M = MALO

REVISÓ: _____

FORMATO SE-05-02

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ÚLTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISIÓN _____

ZONA _____

SUBESTACIÓN: _____

FECHA: _____

EQUIPO (CLAVE): _____

MARCA: _____

TIPO: _____

NÚMERO DE SERIE: _____

TEMP. AMBIENTE: _____ °C

EQUIPO DE PRUEBA MARCA: _____

HUMEDAD RELATIVA: _____ %

No. DE SERIE: _____

TIPO: _____

EQUIPO		PRUEBA No.	PRUEBAS A 10 kV.						% FACTOR DE POTENCIA		CONDICIONES DE AISLAMIENTO
			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS					
FASE	No. DE SERIE:		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mVA	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mW	MEDIDO	CORR. A 20 °C	

COLLAR CALIENTE

EQUIPO		VOLTAJE DE PRUEBA	PRUEBAS A 10 kV.						W / mA		CONDICIONES DE AISLAMIENTO
			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS					
FASE	No. DE SERIE:		LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mVA	LECTURA MEDICIÓN	MULTIPLICADOR	mW	SUPERIOR	INFERIOR	

CORRIENTE DE EXCITACIÓN

CONEXIONES DE PRUEBA				kV. DE PRUEBA	☐ MILIVOLTAMPERES ☐ MILIAMPERES			Ie (mA)	
PRUEBA	T. A. T.	T. B. T.	SELECTOR		LECTURA	MULTIPLICADOR	VALOR	ACTUAL	ANTERIOR

OBSERVACIONES: _____

CONDICIONES DE AISLAMIENTO:

B = BUENO

D = DETERIORADO

I = INVESTIGAR

M = MALO

PROBÓ: _____

REVISÓ: _____

FORMATO SE-05-03

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

FECHA ÚLTIMA PRUEBA: _____

REPORTE No.: _____

DIVISIÓN:

ZONA:

SUBESTACIÓN: _____ FECHA: _____

EQUIPO (CLAVE): _____ MARCA: _____ TIPO: _____

NÚMERO DE SERIE:

VOLTAJE (kv): A.T.: _____ PRECISIÓN: _____ COND. AMBIENTE: _____

TENSIONES SECUNDARIAS TERMINALES _____ V TERMINALES _____ V

EQUIPO DE PRUEBA MARCA: _____ No. DE SERIE: _____ MODELO: _____

PRUEBA DE RELACIÓN

[illegible]

DIAGRAMA

NOTA:

CUANDO LA PRUEBA SE EFECTÚE CON UNA FUENTE DE TENSIÓN ALTERNA, UTILIZAR LAS 5 COLUMNAS. SI LA PRUEBA SE REALIZA CON UN MEDIDOR DE RELACIÓN, ÚNICAMENTE UTILIZAR LAS COLUMNAS 1, 4 Y 5.

PROBÓ: _____

REVISÓ:

FORMATO SE-05-04





CAPITULO 6

BOQUILLAS (BUSHINGS)

6.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La prueba de resistencia de aislamiento a boquillas sirve para detectar imperfecciones en la estructura de la misma.

6.1.1 PREPARACION DE LA BOQUILLA PARA LA PRUEBA.

Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.

Limpiar perfectamente la boquilla y colocarla sobre una base firme en posición vertical y apoyada de su brida.

6.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Primera prueba.- Aterrizar la brida de la boquilla, conectar la terminal de Línea del Megger a la terminal de la boquilla y la terminal de Tierra a la brida de la boquilla.

Segunda prueba.- Manteniendo aterrizada la brida, conectar la terminal de Línea del Megger a la terminal de la boquilla y la terminal de Tierra al Tap capacitivo. El voltaje de prueba en este caso debe de ser de 500 volts.

El tiempo de duración para la prueba es de un minuto, debido a que las boquillas no tienen absorción dieléctrica.

Precaución. Al terminar la prueba de aislamiento de las boquillas que tengan Tap capacitivo, verificar que éste, quede perfectamente aterrizado.

En la figura No. 6.1, se ilustra la manera de realizar la prueba.

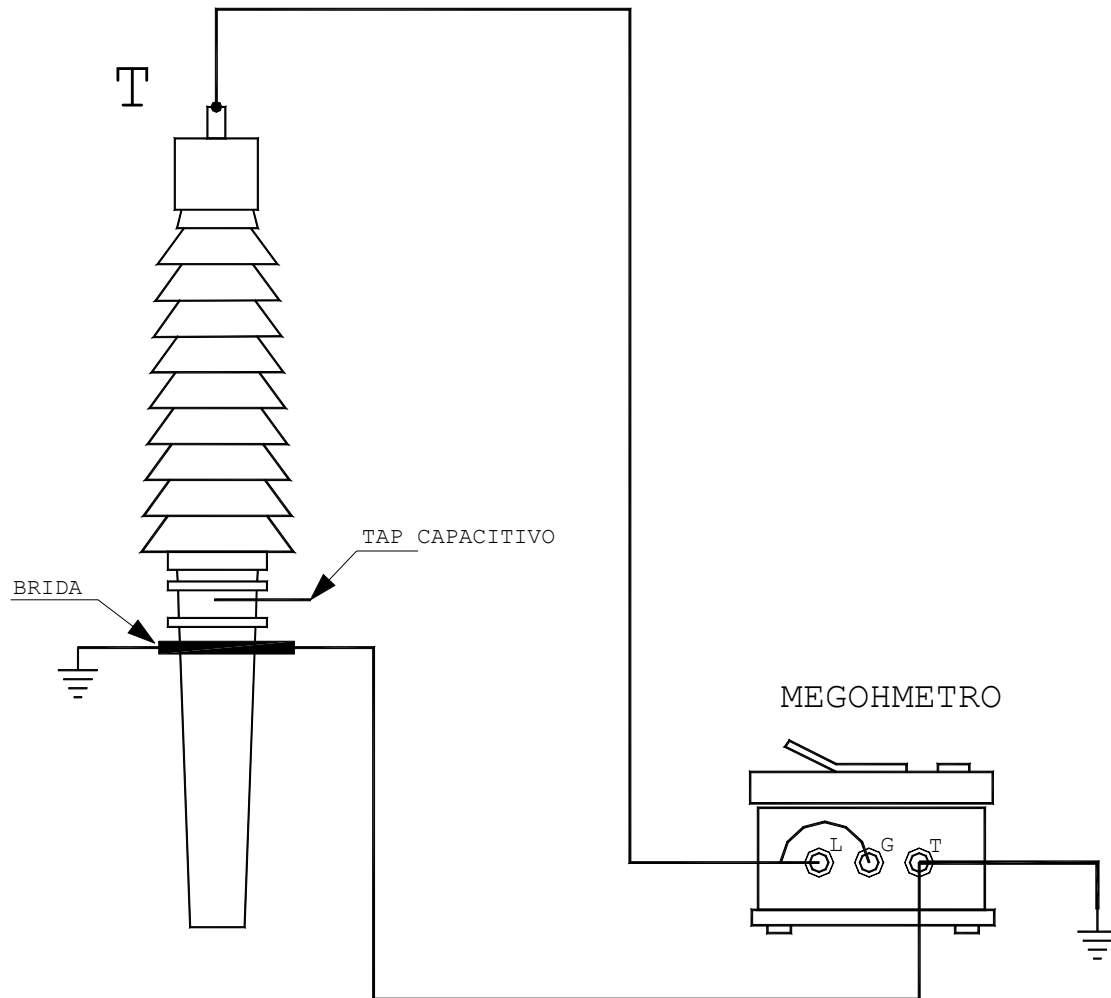


Fig. 6.1 BOQUILLAS (NO INSTALADAS)

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-06-01



6.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Como una guía práctica para interpretación de resultados, los valores deben ser mayores de 40,000 Megaohms. En caso de no contar con valores de referencia, comparar los valores obtenidos con valores de boquillas similares.



6.2 FACTOR DE POTENCIA.

Las boquillas de cualquier equipo pueden probarse por cualquiera de los siguientes métodos:

a) Prueba de equipo aterrizado (GROUND). Esta es una medición de las cualidades aislantes del aislamiento entre el conductor central de la boquilla y la brida de sujeción. La prueba se realiza energizando la terminal de la boquilla por medio de la terminal de alta tensión del medidor y la terminal de baja tensión del medidor a la brida de sujeción, la brida debe de estar aterrizada.

b) Prueba de equipo no aterrizado (UST). Esta es una medición del aislamiento entre el conductor central y el tap capacitivo. Esta prueba se aplica a boquillas que cuentan con un condensador devanado a lo largo de la boquilla. El objeto principal del capacitor, es controlar la distribución del campo eléctrico, tanto interno con externo de la boquilla.

CAPACITANCIAS DE UNA BOQUILLA.

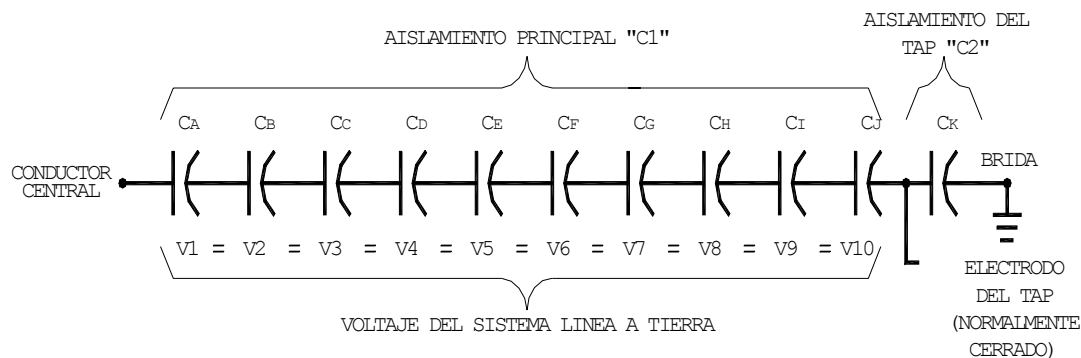
La capacitancia C1 de una boquilla, es el valor expresado en picofaradios entre el conductor principal y el tap, La prueba incluye aislamiento principal C1 del nucleo.

La capacitancia C2, es el valor expresado en picofaradios entre el tap y la brida, la prueba incluye, tap de aislamiento, aislamiento del nucleo entre la capa del tap y la manga de tierra del aislador, porcion del liquido o compound de relleno, porcion de barrera aislante.

La capacitancia C, es el valor expresado en picofaradios entre el conductor principal y la brida. La prueba incluye, aislamiento principal C1 del nucleo, barrera de aislamiento, ventanilla, aislante inferior, porcion de liquido o compuesto de relleno.

Los conceptos anteriores son ilustrados para mayor claridad en la figura 6.2.

Para voltajes de 34.5 KV en adelante, se utilizan boquillas de tipo capacitor llenas o impregnadas de aceite.



NOTAS :

1. LAS CAPACITANCIAS IGUALES DE "CA" A "CJ" DISTRIBUYEN EN FORMA IGUAL EL VOLTAJE DESDE EL CONDUCTOR CENTRAL ENERGIZADO A LAS CAPAS DE CONDUCTOR Y LA BRIDA ATERRIZADAS
2. EL TAP EN EL ELECTRODO ES NORMALMENTE ATERRIZADO EN SERVICIO, EXCEPTO LOS DISEÑOS Y BOQUILLAS USADOS CON DISPOSITIVO DE POTENCIA.
3. PARA LAS BOQUILLAS CON TAPS DE POTENCIAL, LA CAPACITANCIA "C2" ES MUCHO MAYOR QUE "C1" PARA BOQUILLAS CON TAP DE FACTOR DE POTENCIA . LAS CAPACITANCIAS C1 Y C2 DEBERAN SER DE LA MISMA MAGNITUD.

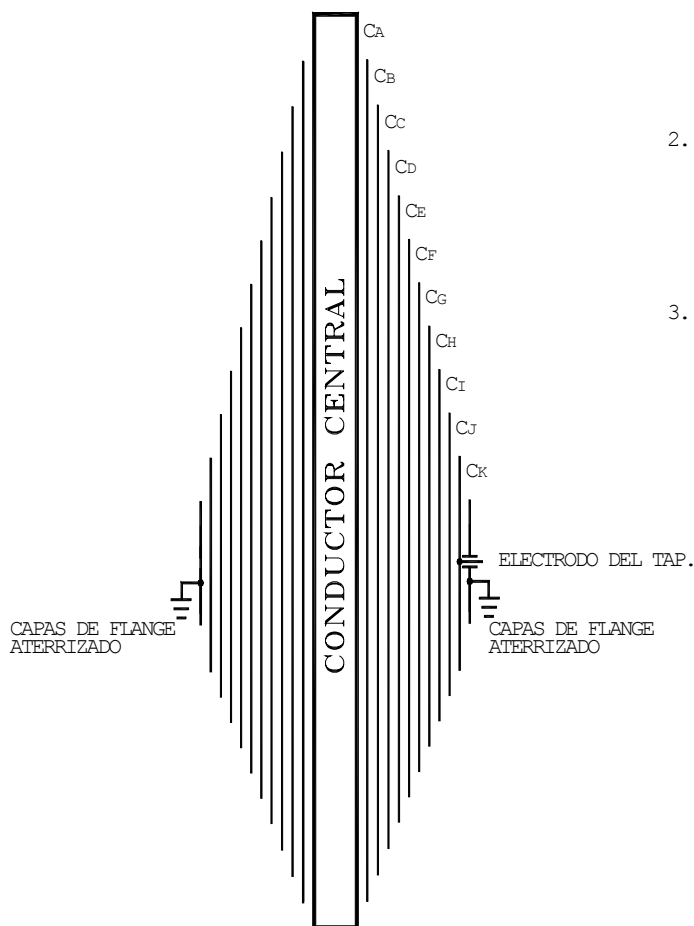


Fig. 6.2 DISEÑO TIPICO DE UNA BOQUILLA TIPO CONDENSADOR



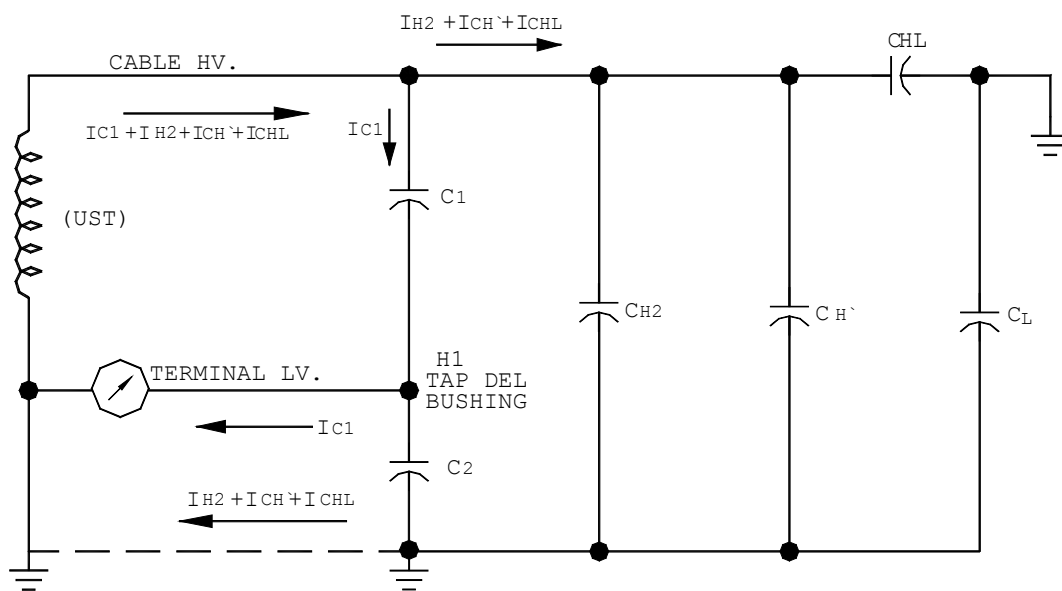
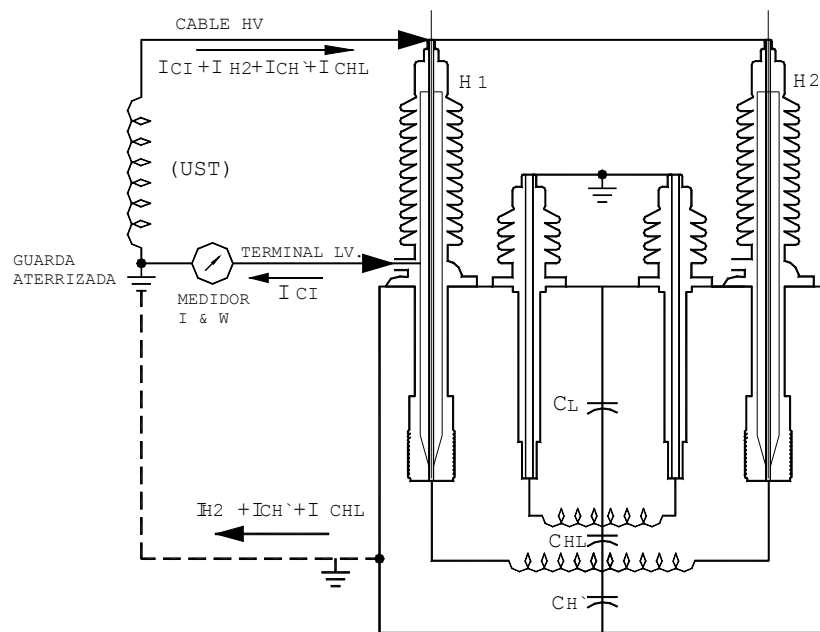
6.2.1 PREPARACION DE LA BOQUILLA PARA LA PRUEBA.

Limpiar perfectamente la boquilla y colocarla sobre una base firme en posición vertical apoyada en su brida.

6.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

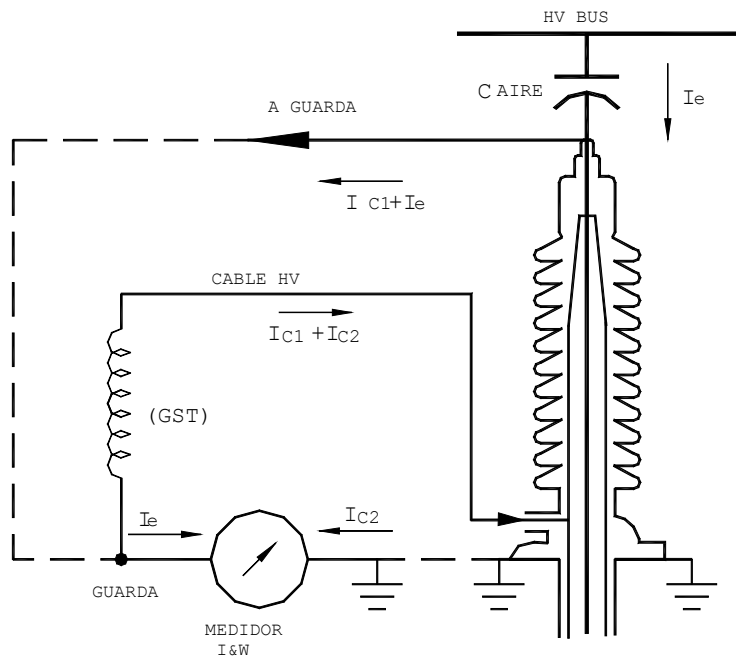
En las figuras 6.3 y 6.4 se ilustran las pruebas para determinar las capacitancias C1 y C2 de una boquilla tipo condensador.

En las figuras 6.5 y 6.6, se muestran las conexiones para las pruebas de factor de potencia a boquillas.

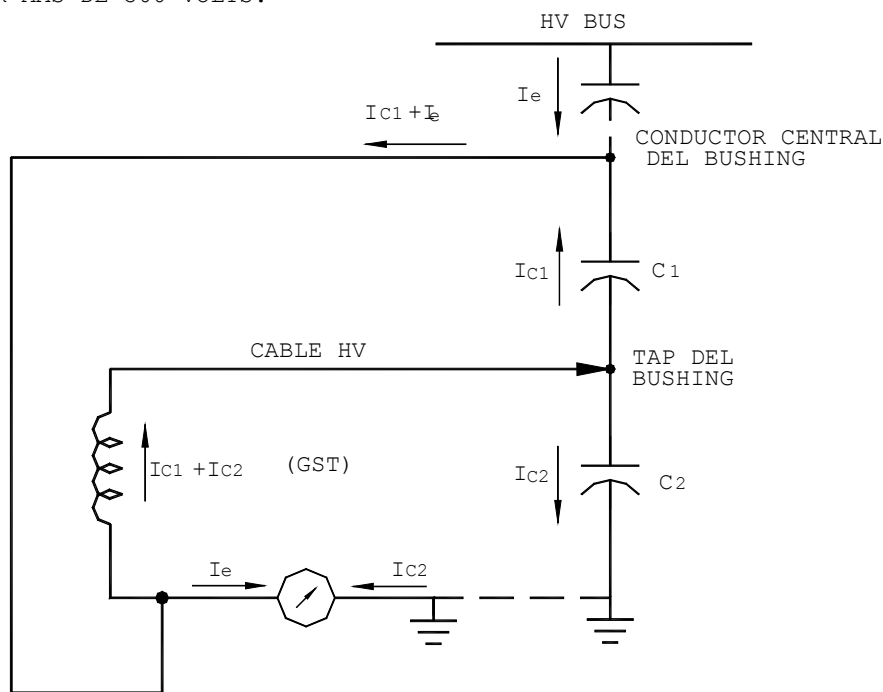


ESQUEMATICO

Fig. 6.3 METODO DE PRUEBA UST PARA AISLAMIENTO "C1" DE BOQUILLA EN TRANSFORMADOR

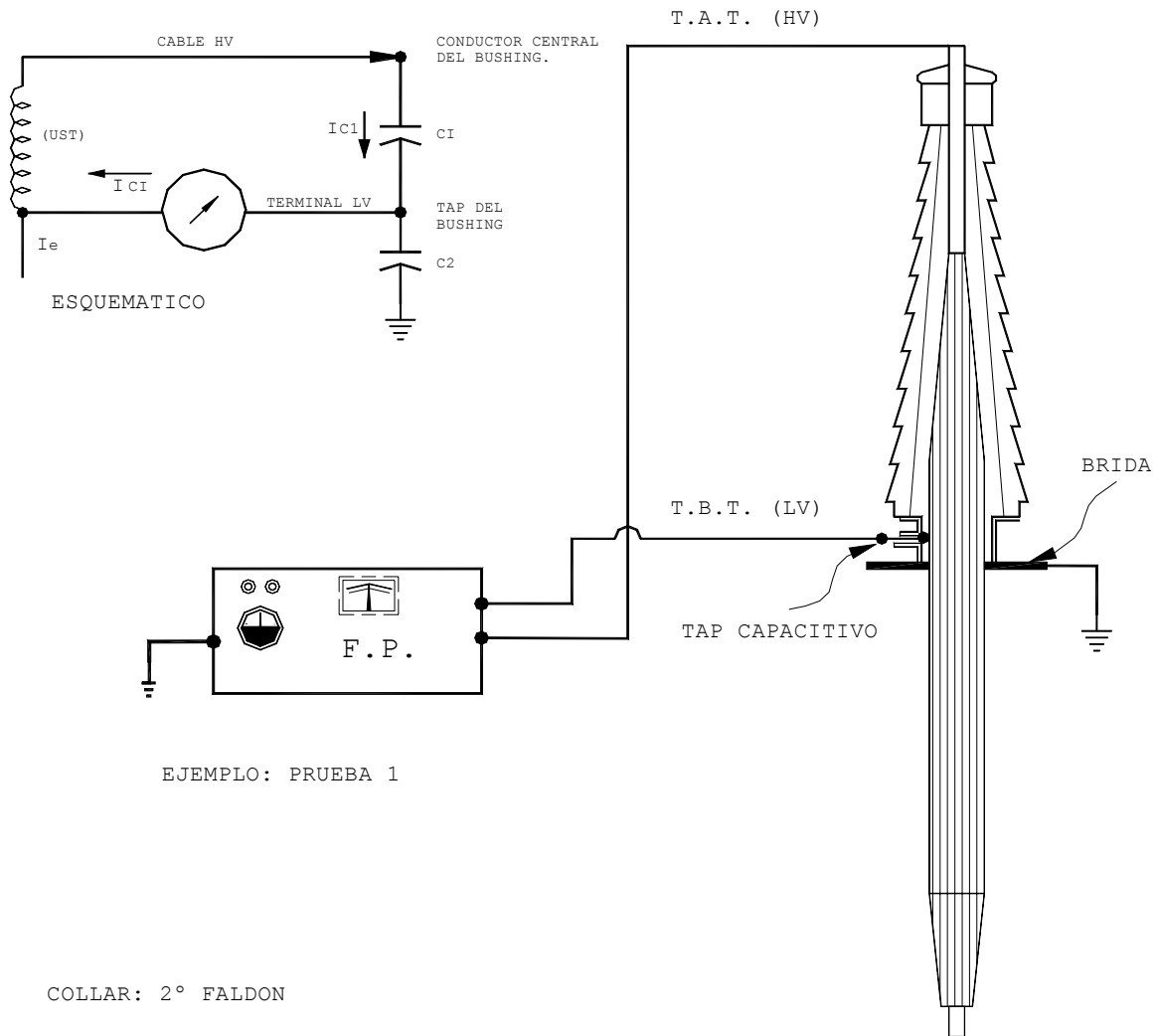


* NO APLICAR MAS DE 500 VOLTS.



ESQUEMATICO

Fig. 6.4 PRUEBA DE AISLAMIENTO DE LA TERMINAL DEL TAP CAPACITIVO "C2"

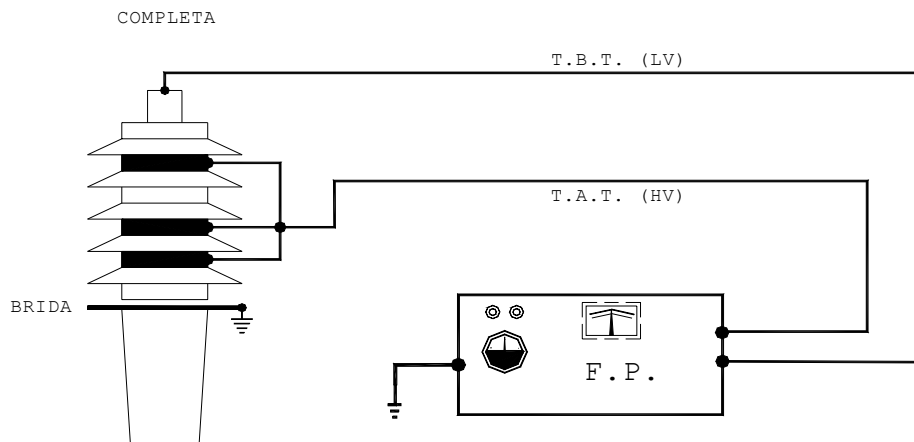


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			KV. DE PRUEBA	MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR		
1	TERM. BOQUILLA	TAP CAPACITIVO	UST	2.5 o 10 kV	C1
2	TERM. BOQUILLA	BRIDA	GROUND	2.5 o 10 kV	C
3	TAP CAPACITIVO	TERM. BOQUILLA	GUARDA	500 V	C2
4	COLLAR	TERM. BOQUILLA	GROUND	2.5 o 10 kV	P

Fig. 6.5 BOQUILLAS (TIPO CONDENSADOR)

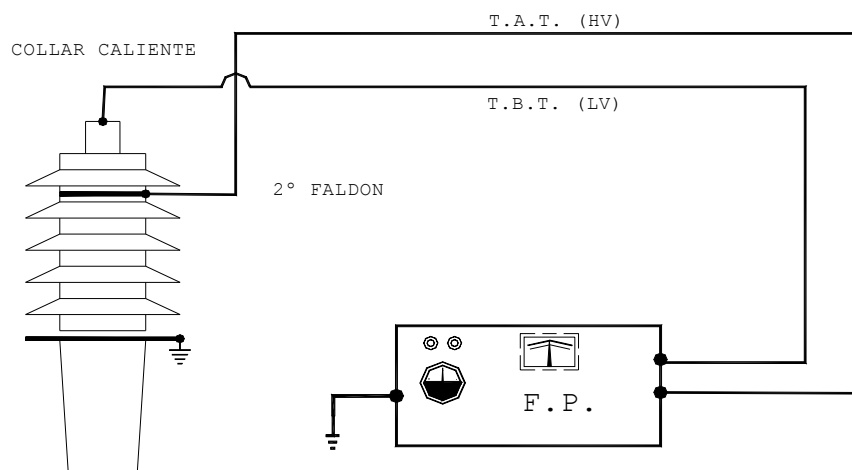
PRUEBA FACTOR DE POTENCIA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-06-02 (para 2.5 KV)
SE-06-03 (para 10 KV)



PRUEBA DE COLLAR CALIENTE MULTIPLE

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR
1	COLLARES	TERM. BOQUILLA	GROUND



PRUEBA DE COLLAR COLIENTE SENCILLO

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR
1	COLLAR	TERMINAL BOQUILLA	GROUND

Fig. 6.6 BOQUILLAS SOLIDAS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-06-02 (para 2.5 KV)
SE-06-03 (para 10 KV)

6.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Los siguientes valores de pérdidas se dan como una referencia general:

VALOR	KV. PRUEBA	CONDICION
0.05 a 9 mW	2.5	Buena
9 a 19 mW	2.5	Investigar
Mayor de 19 mW	2.5	Sustituir
0.01 a 0.15 mW	10	Buena
0.15 a 0.30 mW	10	Investigar
Mayor de 0.30 mW	10	Sustituir

En las pruebas de tap capacitivo, a partir de los miliamperes o milivoltamperes se determina la capacitancia. La capacitancia se obtiene multiplicando los MVA por 0.425 para voltaje de prueba de 2.5 KV, y por 265 para voltajes de prueba de 10 KV.

Para boquillas tipo condensador modernas, el valor del factor de potencia es del orden de 0.5 % después de realizar la corrección a 20 °C. El valor de la capacitancia deberá estar entre el 5 y 10 % del valor de placa (referirse al valor de C1). Un incremento en el factor de potencia indica contaminación o deterioro del aislamiento del condensador; un aumento en el valor de la capacitancia indica la posibilidad de capas del condensador en cortocircuito. Una disminución en el valor de la capacitancia indica la posibilidad de una alta resistencia entre el tap capacitivo y tierra (deficiente aterrizamiento del tap).

Un incremento en las pérdidas indica contaminación del aislamiento.

Una disminución en las pérdidas indica, vías resistivas a tierra (efecto negativo).



6.3 PRUEBA DE COLLAR CALIENTE A BOQUILLAS.

Es una medición de la condición de una sección del aislamiento de la boquilla, entre la superficie de los faldones y el conductor. Se lleva a cabo energizando uno o mas collares situados alrededor de la porcelana de la boquilla y aterrizando el conductor central (terminal) de la misma. Esta prueba es de gran utilidad para detectar fisuras en la porcelana o bajo nivel del líquido o compound.

Prueba de collar sencillo. Refleja información relacionada con la condición del aislamiento de la parte superior de la boquilla. Si se obtienen valores elevados de pérdidas, se recomienda hacer la prueba en cada faldón para analizar la magnitud de la falla.

Prueba de collar múltiple. Proporciona información de la condición del aislamiento en general entre la brida y el conductor central.

6.3.1 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Una guía general para pruebas de collar caliente, es la de considerar como máximo 6.0 mW de pérdidas a 2.5 KV y 0.1 Watts de pérdidas a 10 KV.

Valores de Watts (W) a 10KV:	menores a 0.1 W	Satisfactorio.
	De 0.11 W a 0.3 W	Investigar.
	De 0.31 W a 0.5 W	Cambiar boquilla.

Valores de miliWatts (mW)		
a 2.5 KV:	menor o igual a 6 mW	Satisfactorio.
	De 6 a 19 mW	Investigar.
	De 19 a 31 mW	Cambiar boquilla.

Los valores de referencia son para boquillas montadas o desmontadas.

BOQUILLAS (BUSHING)

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION

ZONA _____

SUBESTACION

EQUIPO PROBADO

FECHA

MARCA	TIPO
ALFA ROMEO	1.6
BMW	1.8
FERRARI	1.6
FORD	1.6
HONDA	1.6
MAZDA	1.6
NISSAN	1.6
PEUGEOT	1.6
RENAULT	1.6
SEAT	1.6
SKODA	1.6
TOYOTA	1.6
VW	1.6

VOLTAJE NOMINAL

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

**FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)**

*** CONSIDERADOS**

MULTIPLICADOR MEGGER:

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM:

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISOR:

FORMATO SE-06-01

BOQUILLAS
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORTENb.

DIVISIÓN

ZONA

BOQUILLAS MONTADAS:

SI: ☐NO ☐

SUBESTACIÓN

FECHA:

EQUIPO(CLAVE):

EQUIPO DE PRUEBA MARCA:

No. DE SERIE:

Nb. DE SERIE:

TEMP. AMBIENTE:

MODELO

CI AISLAMIENTO PRINCIPAL DE LA BOQUILLA

C2 AISLAMIENTO DEL TAP CAPACITIVO

CC COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBÓ.

REVISÓ.

ENMARCOPIAS A:

FORMATOSE-06-02

6-14

81 06 26

Revisiões:

85 01 12

91 09 20

93 12 24

03 04 30

BOQUILLAS
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

FECHA ÚLTIMA PRUEBA

REPORT ENb.

DIVISIÓN

ZONA

BOQUILLAS MONTADAS:

SI: ☐NO ☐

SUBESTACIÓN

FECHA:

EQUIPO(CLAVE):

EQUIPO DE PRUEBA MARCA:

No. DE SERIE:

No. DE SERIE

TEMP. AMBIENTE °C

MODELO:

CI AISLAMIENTO PRINCIPAL DE LA BOQUILLA

C2 AISLAMIENTO DEL TAP CAPACTIVO.

CC COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBÓ:

REVISÓ

ENMARCOPIASA

FORMATOSE-06-03

6 - 15

81 06 26

Revisiões:

85 01 12

91 09 20

93 12 24

03 04 30



CAPITULO 7 APARTARRAYOS

7.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Con el objeto de determinar mediante pruebas dieléctricas el posible deterioro o contaminación en apartarrayos de una sección, o en unidades de varias secciones, se efectúan las pruebas de resistencia de aislamiento.

Con la prueba de resistencia de aislamiento se detecta:

- a) Contaminación por humedad y/o suciedad en las superficies internas de porcelana.
- b) Entre-hierros corroídos.
- c) Depósitos de sales de aluminio, aparentemente causados por interacción entre la humedad y los productos resultantes del efecto corona.
- d) Porcelana fisurada, porosa o rota .
- e) Envolvente polimerico degradado, contaminado o fisurado.

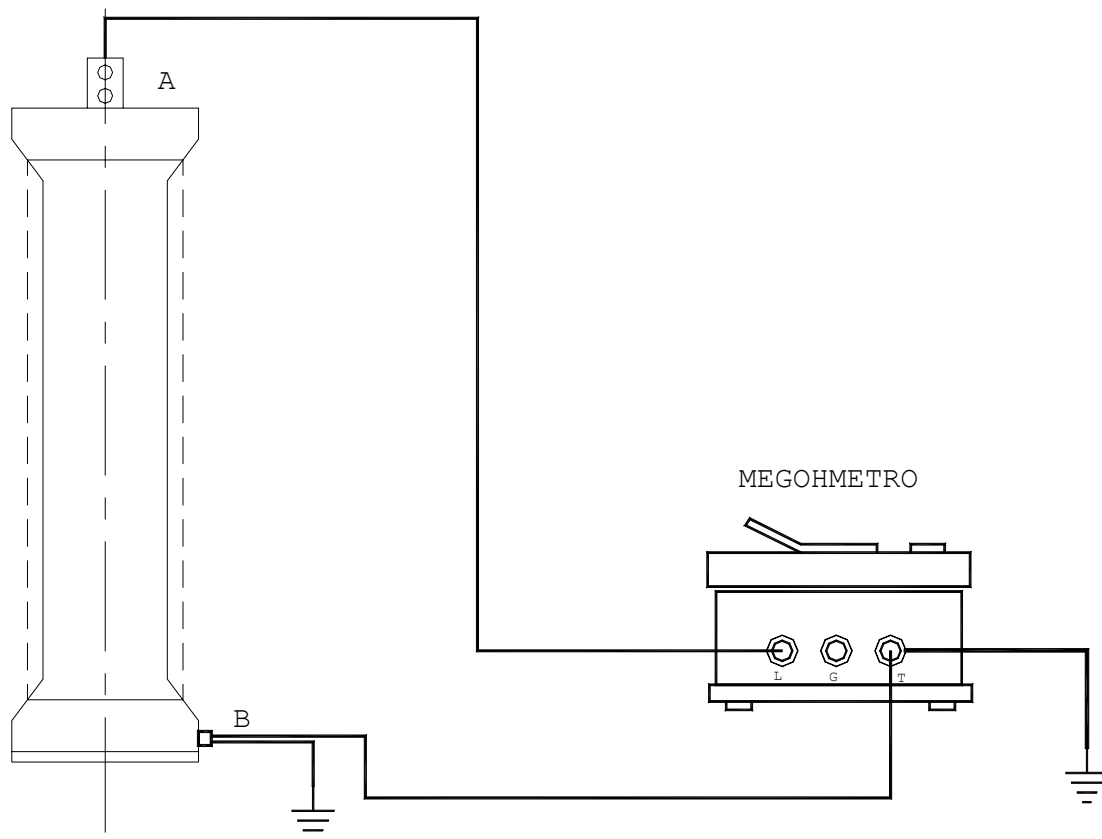
7.1.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Drenar cargas estáticas, a traves de un conductor conectado solidamente a tierra.
- c) Limpiar perfectamente la porcelana o el envolvente polimerico y puntos de conexión para pruebas, quitando el polvo, humedad o agentes contaminantes.
- d) Preparar el equipo de prueba.
- e) Utilizar la mayor tensión de prueba del equipo (2.5 o 5 kv).
- f) Tomar la lectura al minuto y anotarla en el formato de prueba.
- g) En apartarrayos compuestos de varias secciones se debe utilizar la terminal de guarda para efectos de corrientes de fuga por la superficie, lo anterior, en las secciones que no se desean considerar en la prueba.



7.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras 7.1 y 7.2 se ilustran los diagramas de conexión de circuitos de prueba para determinar la resistencia de aislamiento de apartarrayos de una o varias secciones respectivamente.

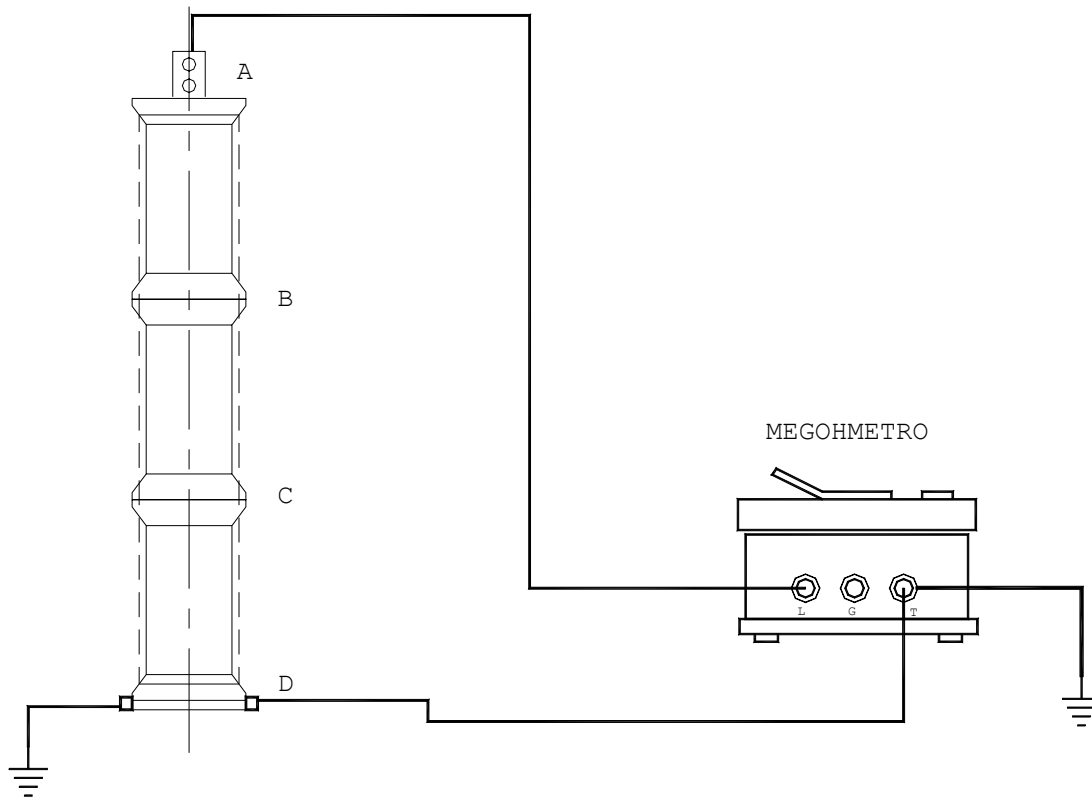


PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	LINEA	GUARDA	TIERRA	
1	A	—	B	R. A.B.

Fig. 7.1 APARTARRAYOS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
APARTARRAYO EN UNA SECCION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-07-01



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	V _{PRUEBA}
	LINEA	GUARDA	TIERRA		
1	A	-	D	RAD	5000 V
2	A	-	B	RAB	
3	B	A	C	RBC	
4	C	B	D	RCD	

Fig. 7.2 APARTARRAYOS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
APARTARRAYOS VARIAS SECCIONES

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-07-01



7.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Los valores de resistencia de aislamiento en apartarrayos son variables; dependiendo de la marca y tipo, pudiendo ser desde 500 hasta 50,000 megaohms. Se recomienda efectuar comparaciones con apartarrayos de la misma marca, tipo y tensión.

En caso de desviación notoria en los valores, se requiere efectuar una investigación.



7.2 FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

GENERALIDADES.

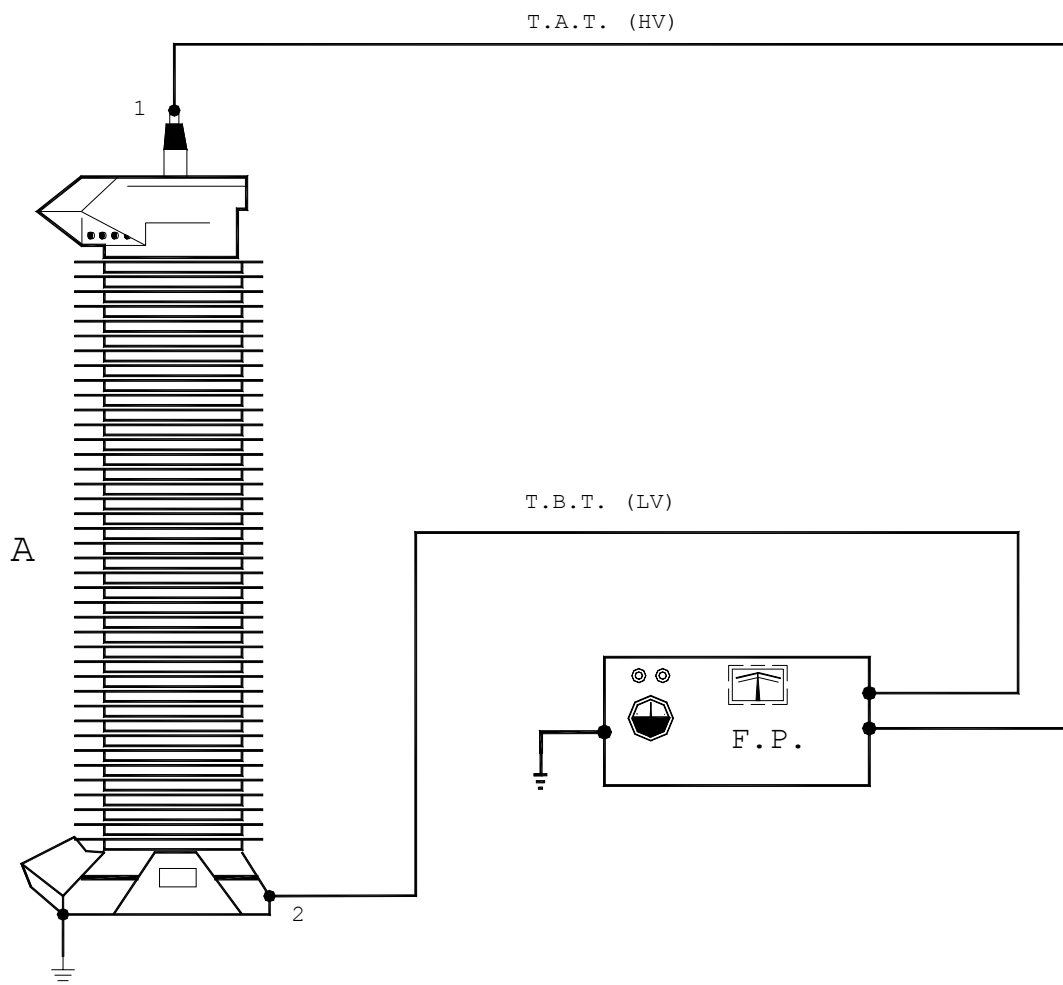
El objeto de efectuar la prueba de factor de potencia en apartarrayos es detectar las pérdidas dieléctricas, producidas por contaminación o suciedad en los elementos autovalvulares, porcelanas despostilladas, porosas, envoltentes polimericos degradados etc.

7.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Drenar cargas estáticas, a traves de un conductor conectado solidamente a tierra.
- c) Limpiar perfectamente la porcelana o la envoltente polimerico, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.
- d) Preparar el equipo de prueba.

7.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras No. 7.3 y No. 7.4, se representan las conexiones para las pruebas de una o varias secciones respectivamente.



EJEMPLO : PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	1	2	GROUND	A
2	COLLAR	1	GROUND	PA

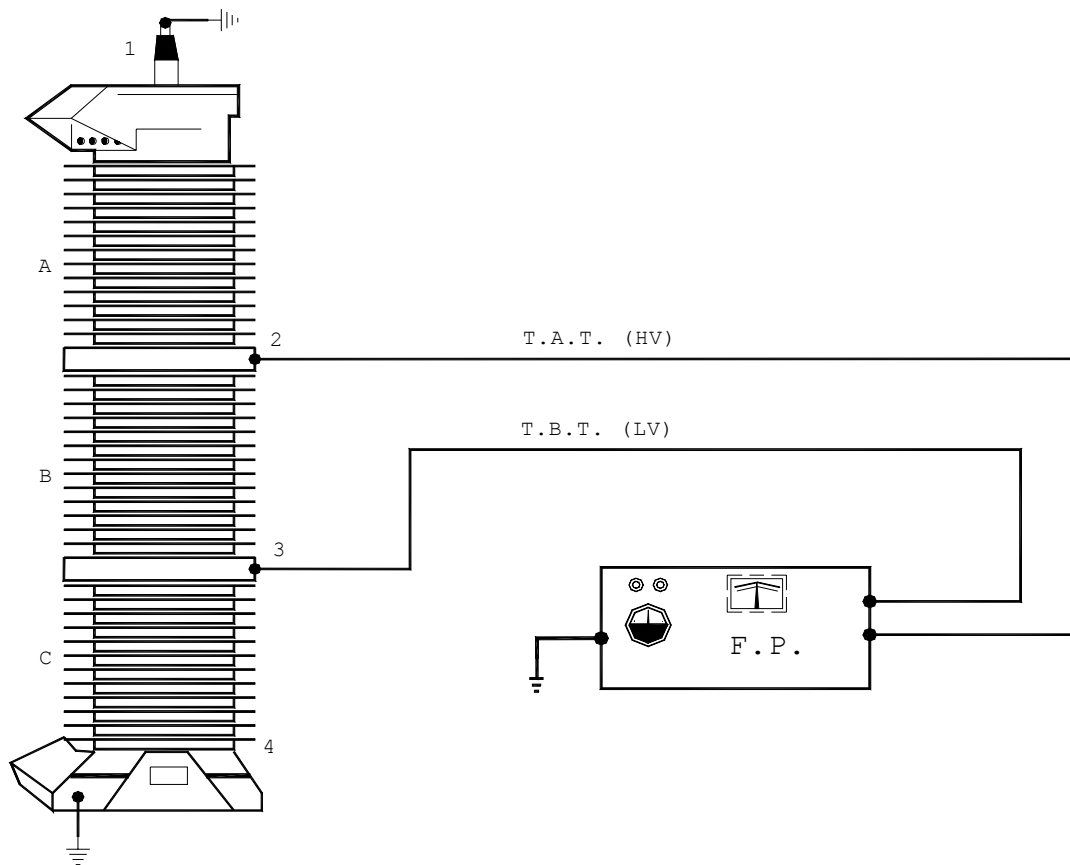
P= PORCELANA

COLLAR :2° FALDON

Fig. 7.3 APARTARRAYOS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA
APARTARRAYOS EN UNA SECCION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-07-02 (para 2.5 kV)
No. SE-07-03 (para 10 kV)



EJEMPLO : PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	TIERRA	SECTOR	
1	2	3	1, 4	GUARDA	A
2	2	3	1, 4	UST	B
3	3	2	4	GUARDA	C
4	COLLAR EN A	3	1, 2, 4	GUARDA	P _A
5	COLLAR EN B	1	2, 3, 4	GUARDA	P _B
6	COLLAR EN C	2	3, 4	GUARDA	P _C

P_A, P_B, P_C = PORCELANA DE LA SECCION A, B, C

COLLAR : 2° FALDON DE CADA SECCION

Fig. 7.4 APARTARRAYOS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA
APARTARRAYOS EN VARIAS SECCIONES

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-07-02 (para 2.5 kV)

No. SE-07-03 (para 10 kV)



7.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Con las pruebas de factor de potencia se obtienen las pérdidas dieléctricas de los apartarrayos en Miliwatts o Watts dependiendo del equipo de prueba que se utilice.

Debido a las diferencias de elementos de construcción de cada fabricante, no existen valores normalizados para su aceptación. La compañía Doble Engineering, en su manual de referencias proporciona información de estadística de pruebas de varias marcas y tipos de apartarrayos y que pueden servir de base para juzgar los resultados que se obtengan.

Se recomienda consultar ese manual.

La calificación de apartarrayos está basada en las pérdidas mW o W según el equipo y tensión de prueba.

No es necesario calcular el factor de potencia.

No es necesario corregir por temperatura.

De acuerdo al tipo:

Silicon Carbide: Pérdidas más altas que lo normal, la probable causa es contaminación por humedad y suciedad o corrosión.

Si las pérdidas son más altas de lo normal, la probable causa son resistores rotos, contacto deficiente o circuito abierto entre los elementos.

Cambios en corrientes, la posible causa son daños mecánicos.

Oxido metálico: Pérdidas más altas de lo normal, la posible causa es contaminación por humedad y suciedad, o entrehierros corroidos (diseño antiguo), los diseños modernos no tienen entrehierros.

Pérdidas más bajas de lo normal, se refieren a falta de continuidad en la configuración eléctrica interna.

APARTARRAYOS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION

ZONA _____

SUBESTACION _____
EQUIPO PROBADO _____

FECHA

MARCA	TIPO
ALFA ROMEO	1.6
BMW	1.8
FERRARI	1.6
FORD	1.6
HONDA	1.6
MAZDA	1.6
NISSAN	1.6
PEUGEOT	1.6
RENAULT	1.6
SEAT	1.6
SKODA	1.6
TOYOTA	1.6
VW	1.6

VOLTAJE NOMINAL

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

**FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)**

*** CONSIDERADOS**

MULTIPLICADOR MEGGER:

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM:

OBSERVACIONES:

PROBO: _____

REVISOR: _____

FORMATO SE-07-01

APARTARRAYOS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION _____

EQUIPO (CLAVE) _____

FECHA _____

MARCA _____ TIPO _____

No. DE SERIE

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISO:

CONDICIONES DEL AISLAMIENTO

B = BUENO

D = DETERIORADO

I = INVESTIGAR

M = MALO

FORMATO SE-07-02

APARTARRAYS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION

ZONA _____

SUBESTACION

EQUIPO (CLAVE)

FECHA

[illegible]

No. DE SERIE

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

EQUIPO DE PRUEBA: MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISO: _____

CONDICIONES DEL AISLAMIENTO

B = BUENO

B = BUENO

D = DETERIORADO

I = INVESTIGAR

M = MALO

FORMATO SE-07-03



CAPITULO 8

CUCHILLAS DESCONECTADORAS

8.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Esta prueba tiene como finalidad determinar las condiciones del aislamiento, para detectar pequeñas imperfecciones o fisuras en el mismo; así como detectar su degradación por envejecimiento.

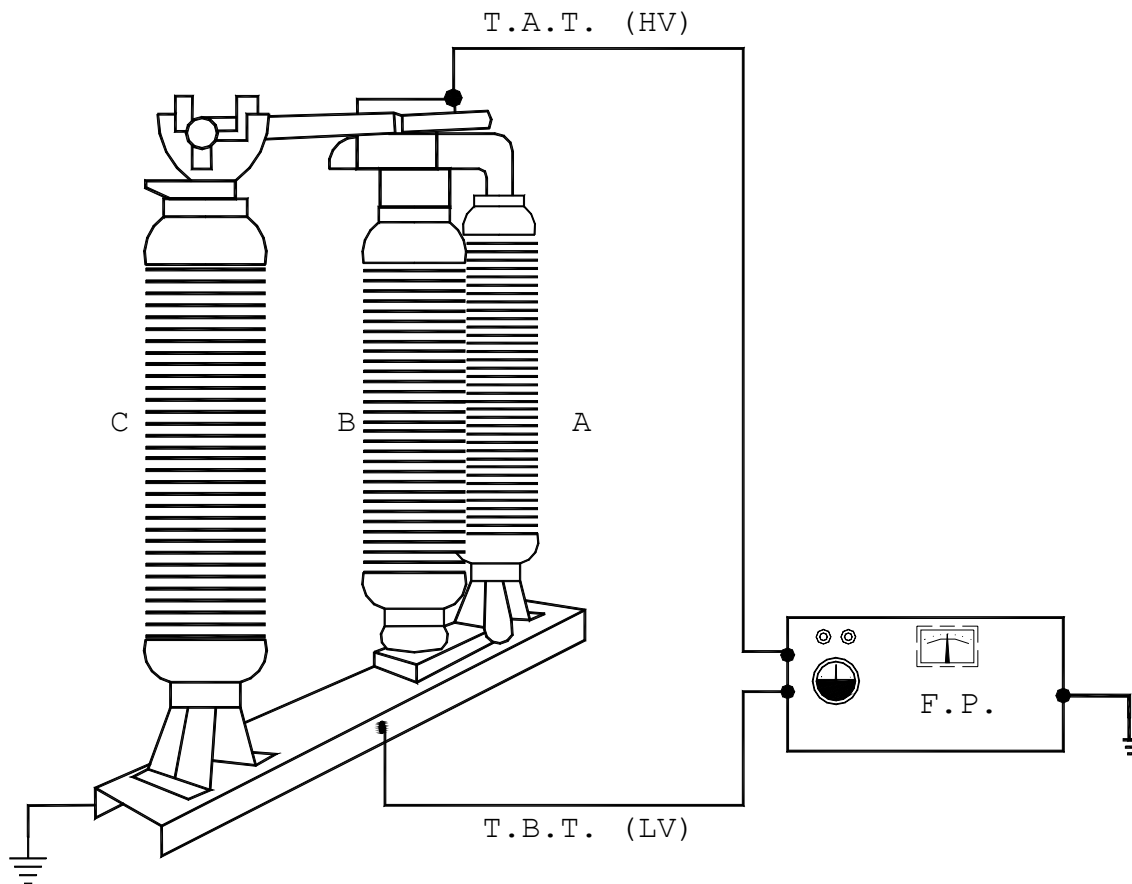
La prueba se lleva a cabo durante los trabajos de puesta en servicio y rutina en pruebas de campo.

8.1.1 PREPARACION DE LAS CUCHILLAS PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la superficie del aislamiento con el fin de evitar obtener valores erróneos, por suciedad o contaminación.
- c) Se debe aterrizar la base de la cuchilla.

8.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

La prueba de resistencia de aislamiento se realizan para las cuchillas en posición abierta y cerrada. La manera de conexión para las pruebas se indica en la figura No. 8.1.



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			CUCHILLA
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	A+B	BASE	GROUND	ABIERTA
2	C	BASE	GROUND	ABIERTA
3	A+B+C	BASE	GROUND	CERRADA

NOTA: SI EN LA PRUEBA 1 EL RESULTADO ES BAJO
 PROBAR EN FORMA IDEPENDIENTE CADA AISLADOR PARA
 DETERMINAR CUAL DE ELLOS ES EL DE BAJO VALOR

Fig. 8.1 CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-08-01



8.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

De acuerdo a la experiencia acumulada en CFE, el valor de resistencia de aislamiento para cuchillas desconectadoras debe ser como referencia 40,000 megaohms como mínimo.

Cuando no se disponga de valores de referencia, se recomienda complementar el análisis, con las pruebas de factor de potencia para dictaminar el estado de su aislamiento.



8.2 FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

El efectuar esta prueba a cuchillas desconectadoras, tiene por objeto detectar las pérdidas dieléctricas del aislamiento producidas por imperfecciones, degradación por envejecimiento y por contaminación.

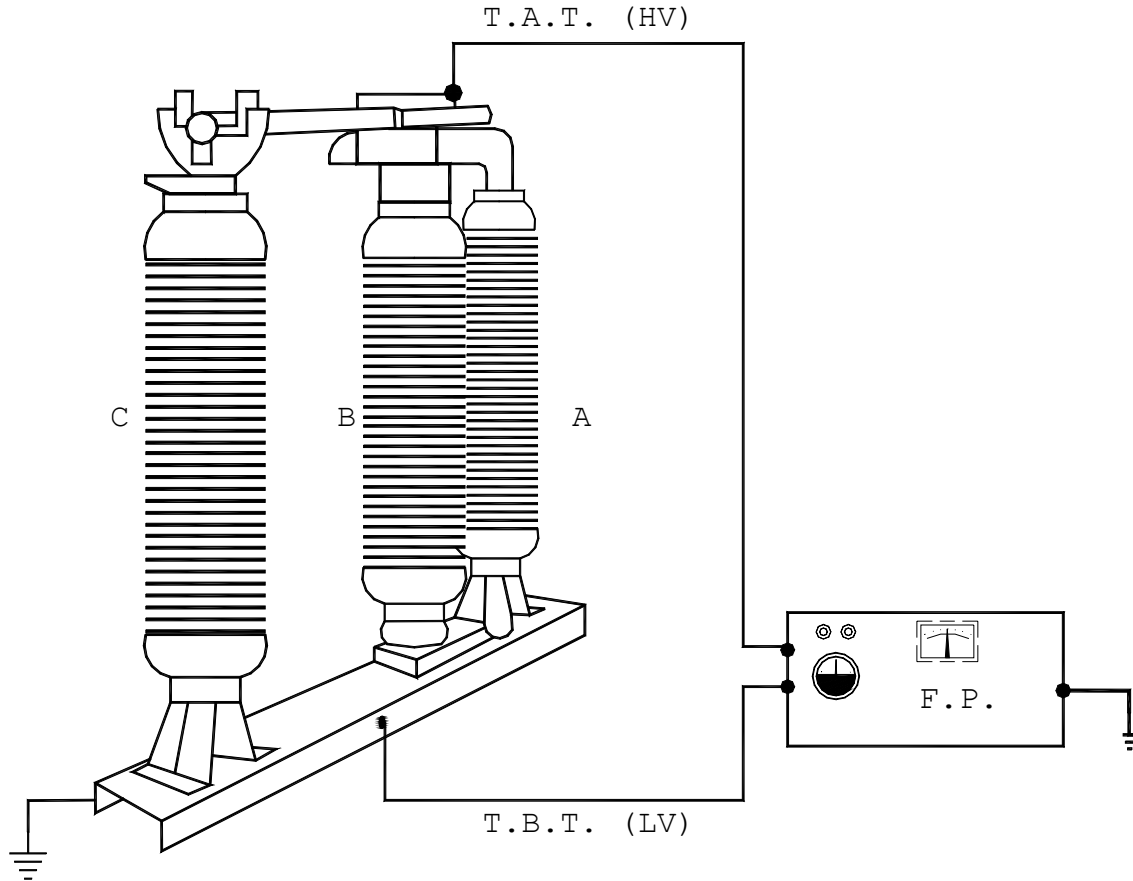
La prueba se lleva a cabo durante los trabajos de puesta en servicio y rutina en pruebas de campo.

8.2.1 PREPARACION DE LAS CUCHILLAS PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la superficie del aislamiento con el fin de evitar obtener valores erróneos, por suciedad o contaminación.
- c) Se debe aterrizar la base de la cuchilla.

8.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Las pruebas de factor de potencia se realizan como se indica en la figura No. 8.2, donde se muestra el diagrama de conexiones y la metodología simplificada para las diferentes pruebas.



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			CUCHILLA
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	A+B	BASE	GROUND	ABIERTA
2	C	BASE	GROUND	ABIERTA
3	A+B+C	BASE	GROUND	CERRADA

NOTA: SI EN LA PRUEBA 1 EL RESULTADO ES BAJO
 PROBAR EN FORMA IDEPENDIENTE CADA AISLADOR PARA
 DETERMINAR CUAL DE ELLOS ES EL DE BAJO VALOR

Fig. 8.2 CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-08-02



8.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

De acuerdo a la experiencia acumulada de CFE, para evaluar las condiciones del aislamiento en cuchillas desconectadoras, se consideran únicamente las pérdidas en el aislamiento.

Valores de pérdidas inferiores a 9 miliwatts con voltaje de 2.5 KV, y a 0.1 watts a 10 KV se consideran aceptables



8.3 RESISTENCIA DE CONTACTOS.

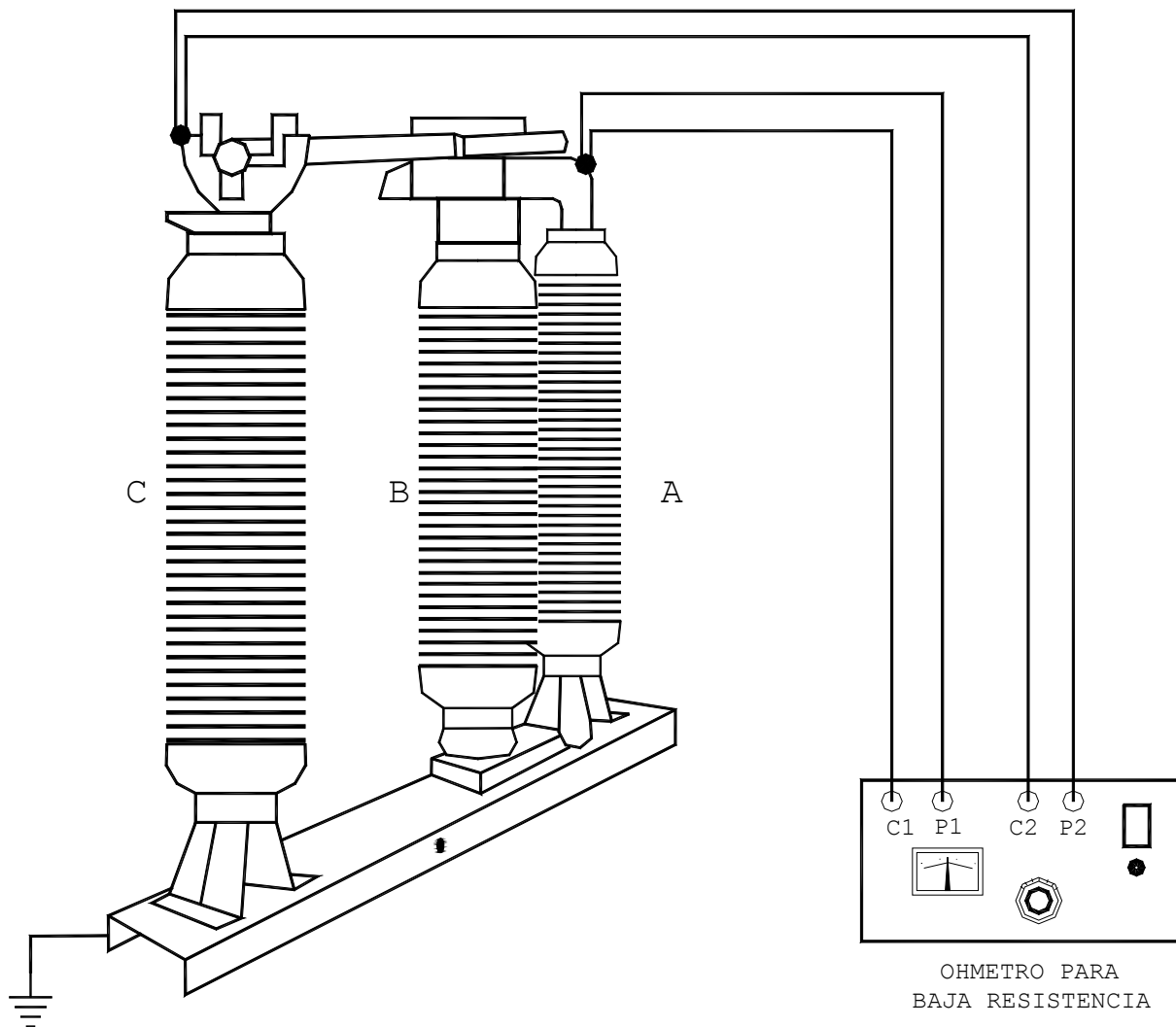
El objeto de realizar esta prueba es verificar que se tenga un bajo valor de resistencia eléctrica entre los contactos respectivos de la cuchilla.

8.3.1 PREPARACION DE LAS CUCHILLAS PARA LA PRUEBA.

- a) Librar completamente la cuchilla para realizar esta prueba, desconectándola de la línea.
- b) Limpiar perfectamente las terminales de conexión de la cuchilla para asegurar una buena conducción, y poder obtener el valor real de la resistencia de contactos en el equipo de prueba.

8.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Las pruebas de resistencia de contactos para cuchillas desconectadoras se deben hacer de la manera indicada en la figura No. 8.3.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			
	C1	P1	C2	P2
1	A+B	A+B	C	C

Fig. 8.3 CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-08-04



8.3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Como referencia, un valor de resistencia de contactos de 100 microohms se considera aceptable para la confiabilidad en la operación de la cuchilla. Si resultaran valores superiores, se recomienda ajustar el mecanismo, así como limpiar y ajustar el área de contacto.

CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION

EQUIPO PROBADO

FECHA

MARCA	TIPO
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

VOLTAJE NOMINAL

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

**FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)**

*** CONSIDERADOS**

MULTIPLICADOR MEGGER:

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM:

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISOR:

FORMATO SE-08-01

CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No.

DIVISION

ZONA

SUBESTACION _____

EQUIPO (CLAVE) _____

FECHA _____

MARCA _____ TIPO _____

No. DE SERIE

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISO: _____

CONDICIONES DEL AISLAMIENTO

B = BUENO

D = DETERIORADO

I = INVESTIGAR

M = MALO

FORMATO SE-08-02



CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA

SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____

FECHA	TIPO
MARCA	

No. DE SERIE

TEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____

[illegible]

COLLAR CALIENTE

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISO:

CONDICIONES DEL AISLAMIENTO
B = BUENO
D = DETERIORADO
I = INVESTIGAR
M = MALO

FORMATO SE-08-03

CUCHILLAS DESCONECTADORAS

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA

SUBESTACION	FECHA

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

OHMETRO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISO: _____

**CONDICIONES DE LA RESISTENCIA
DE LOS CONTACTOS:**

B= BUENO
I= INVESTIGAR
M= MALO

FORMATO SE-08-04



CAPITULO 9 RESTAURADORES

9.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Las pruebas de resistencia de aislamiento en restauradores, sirven para conocer las condiciones de sus elementos aislantes y detectar la degradación de los mismos.

En los restauradores se tienen materiales higroscópicos, como el aceite, la barra de operación y otros que intervienen como soporte de las cámaras interruptivas.

Para el aislamiento a tierra, normalmente se utiliza porcelana por medio de boquillas tipo sólido.

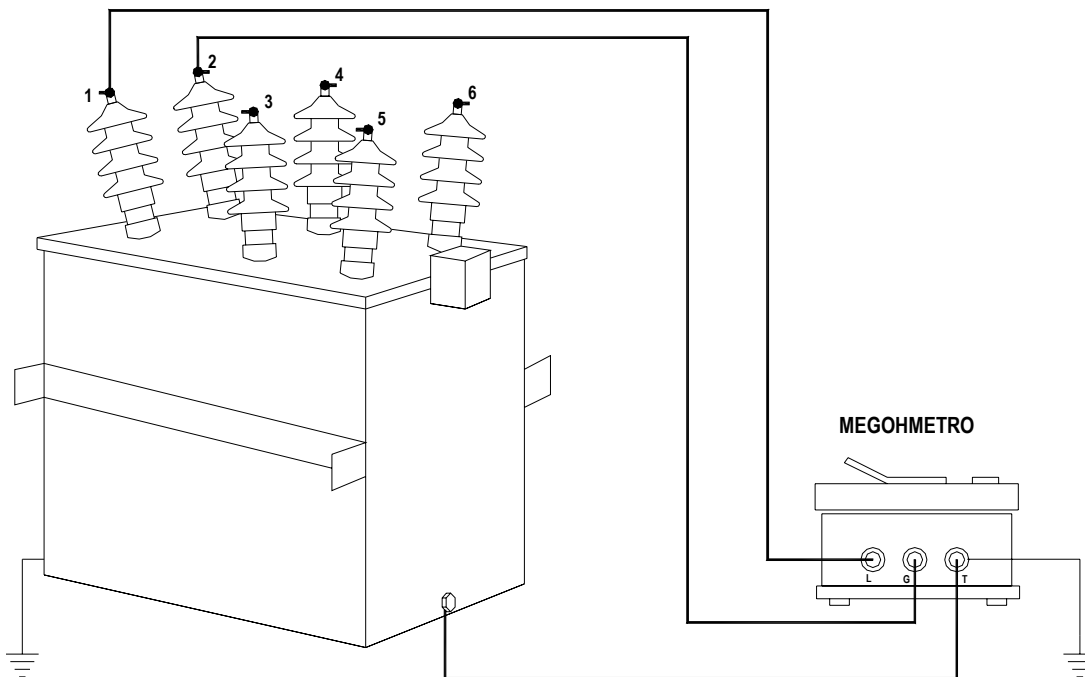
Además de los tipos en aceite, existen restauradores de vacío y en SF6.

9.1.1 PREPARACION DEL RESTAURADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.
- c) Procurar efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75%.

9.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.1 se muestran las formas de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento a restauradores.



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			POSICION RESTAURADOR
	LINEA	GUARDA	TIERRA	
1	1	2	TANQUE	ABIERTO
2	2	1	"	"
3	3	4	"	"
4	4	3	"	"
5	5	6	"	"
6	6	5	"	"
7	1-2	—	"	CERRADO
8	3-4	—	"	"
9	5-6	—	"	"

NOTA: EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

FIG. 9.1 RESTAURADORES

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-09-01



9.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Los valores de resistencia de aislamiento recomendados para restauradores en aceite, por experiencia de pruebas realizadas con el tiempo, deben ser mayores a los 10,000 megaohms a una temperatura de 20°C. Si resultaran inferiores, es necesario efectuar las pruebas dieléctricas al aceite aislante y hacer la inspección interna del equipo para descubrir y corregir las causas que originan las altas pérdidas en el aislamiento.

En restauradores en gas SF6, por lo general las lecturas de resistencia de aislamiento que se obtienen, son de valores altos.



9.2 FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

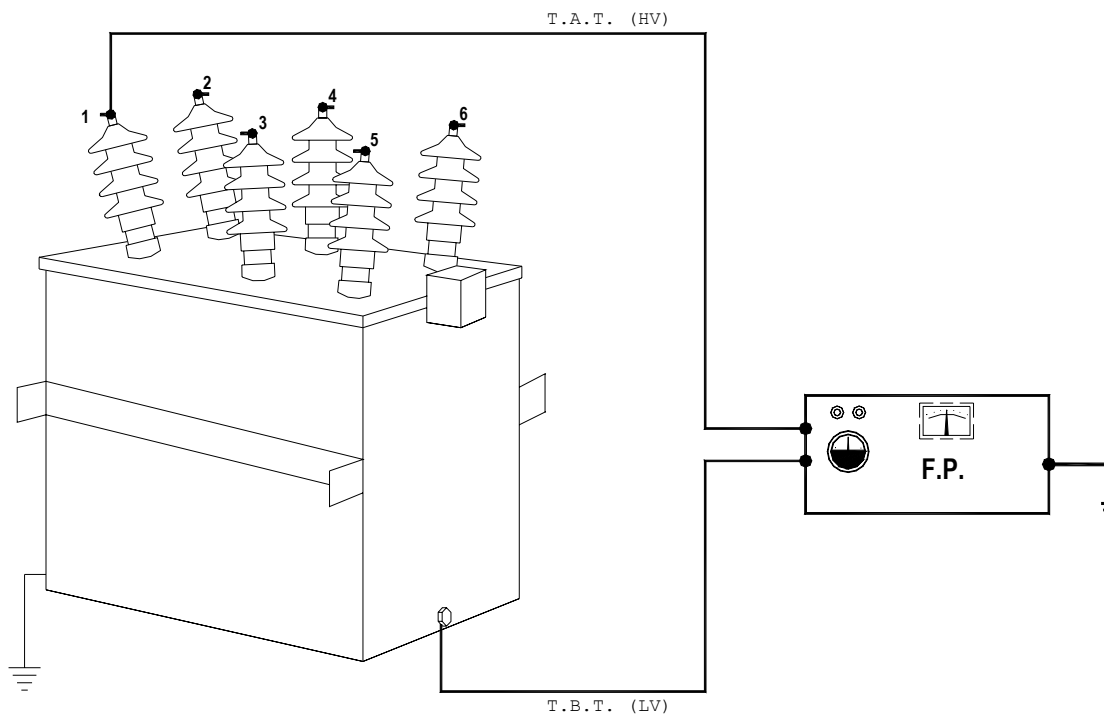
En las pruebas de Factor de Potencia, de los restauradores intervienen sus elementos aislantes, como las boquillas, aislamientos auxiliares, aceite aislante; así como las partículas semiconductoras de carbón, formadas por la descomposición del aceite cuando se presenta el arco eléctrico.

9.2.1 PREPARACION DEL RESTAURADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes contaminantes.
- c) Procurar efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75%.

9.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.2 se muestran las formas de conexión para la prueba de factor de potencia a restauradores.



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			POSICION RESTAURADOR
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	1	TANQUE	GROUND	ABIERTO
2	2	"	"	"
3	3	"	"	"
4	4	"	"	"
5	5	"	"	"
6	6	"	"	"
7	1-2	"	"	CERRADO
8	3-4	"	"	"
9	5-6	"	"	"

NOTA: EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

Fig. 9.2 RESTAURADORES

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-09-02



9.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Las pérdidas de los aislamientos no son las mismas con el restaurador en posición de abierto que cerrado, porque el efecto del campo eléctrico en el aislamiento es diferente.

La comparación de las pérdidas obtenidas en la prueba con el restaurador cerrado, y la suma de las pérdidas de la misma fase o polo con el restaurador abierto, pueden ser utilizadas para analizar las condiciones del aislamiento.

Para el análisis de los resultados de las pérdidas, se recomienda proceder como se indica en el capítulo de interruptores.

Cuando el factor de potencia sea mayor al 2%, en alguna fase o en todo el conjunto, es conveniente investigar la causa.



9.3 RESISTENCIA DE CONTACTOS.

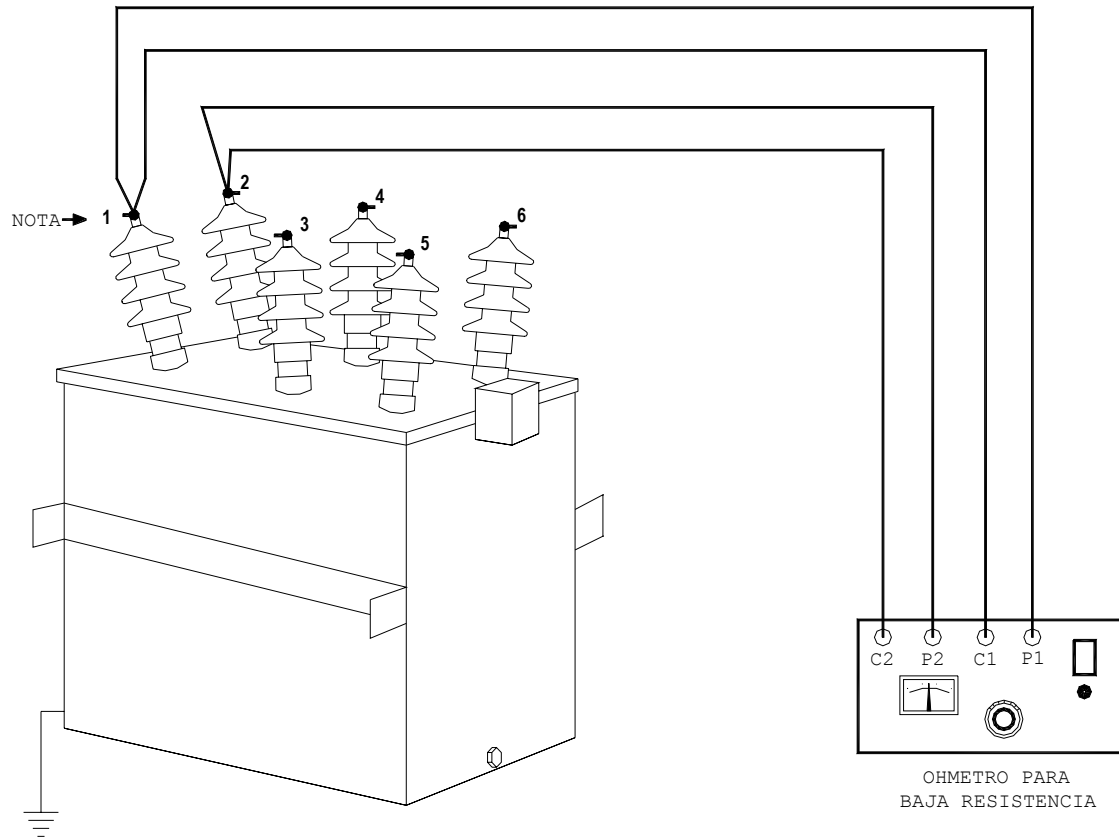
Esta prueba se realiza para detectar alta resistencia entre los contactos fijos y móviles del restaurador. Una alta resistencia provocará calentamiento.

9.3.1 PREPARACION DEL EQUIPO PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Para realizar la medición de resistencia de contactos, las bobinas serie del restaurador no deben intervenir, debido a su impedancia, por lo anterior se debe abrir el restaurador para tener acceso al punto de medición.
- c) Se deben limpiar las partes donde se va a realizar la conexión del medidor a fin de que cuando ésta se efectúe, se asegure un buen contacto.

9.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.3 se ilustran las conexiones para realizar la prueba de resistencia de contactos. Aunque en dicha figura (con el único propósito de simplificarla), se muestran las conexiones del equipo de prueba con las boquillas del restaurador; es necesario que dichas conexiones se efectúen directamente en los contactos fijos y móviles, tal y como se establece en el inciso 9.3.1 b; siendo por tanto indispensable extraer del tanque la parte interna del restaurador para realizar la medición.



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			
	C1	P1	C2	P2
1	1	1	2	2
2	3	3	4	4
3	5	5	6	6

NOTA: EN LA PRUEBA, LAS BOBINAS SERIE NO DEBEN INTERVENIR
POR LO QUE ES NECESARIO DESTAPAR EL EQUIPO PARA HACER
LAS CONEXIONES DIRECTAMENTE SOBRE LOS CONTACTOS

Fig. 9.3 RESTAURADORES

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-09-03



9.3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Esta prueba permite detectar oportunamente los problemas que se presentan por alta resistencia de contactos.

La resistencia de contactos varía de acuerdo al diseño del equipo; los datos de puesta en servicio, son útiles para comparación con pruebas posteriores, un valor entre 100 a 150 microohms se considera aceptable.

9.4 VERIFICACION DE CORRIENTE MINIMA DE DISPARO DE FASE.

Esta prueba sirve para comprobar la característica de la corriente de arranque o pick up del restaurador.

Para realizar esta prueba existen tres métodos:

- a) Con un equipo integrado se aplica una corriente de acuerdo a su corriente de arranque o pick up, los equipos de prueba además de provocar el disparo registran el tiempo de apertura. Refiérase al instructivo del equipo para realizar adecuadamente esta prueba.
- b) El segundo método consiste en efectuar la prueba con un transformador de alta carga, difiere del anterior, en no proporcionar el tiempo de apertura.
- c) El tercer método se realiza con el apoyo de simuladores de falla para relevadores de protección, esto en los equipos que cuenten con control microprocesado siendo factible la utilización de los métodos anteriores para este tipo de prueba.

9.4.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA POR MEDIO DE LOS METODOS A Y B.

a) Para el segundo método descrito, conectar un variac en el circuito como se muestra en la figura 9.4 y conectar las terminales W y X sobre las boquillas de la fase que se va a probar.

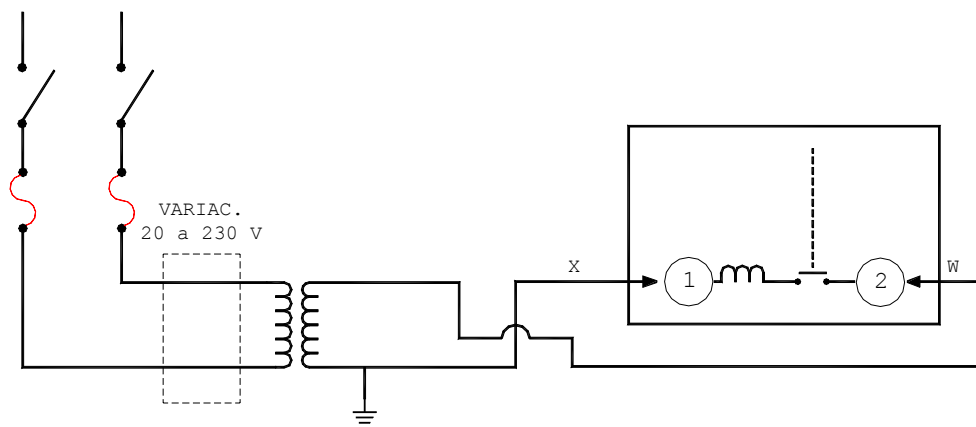
b) Cerrar manualmente el restaurador con el maneral.

NOTA: Es necesario bloquear el disparo a tierra para poder realizar la comprobación de la corriente mínima de disparo de fase.

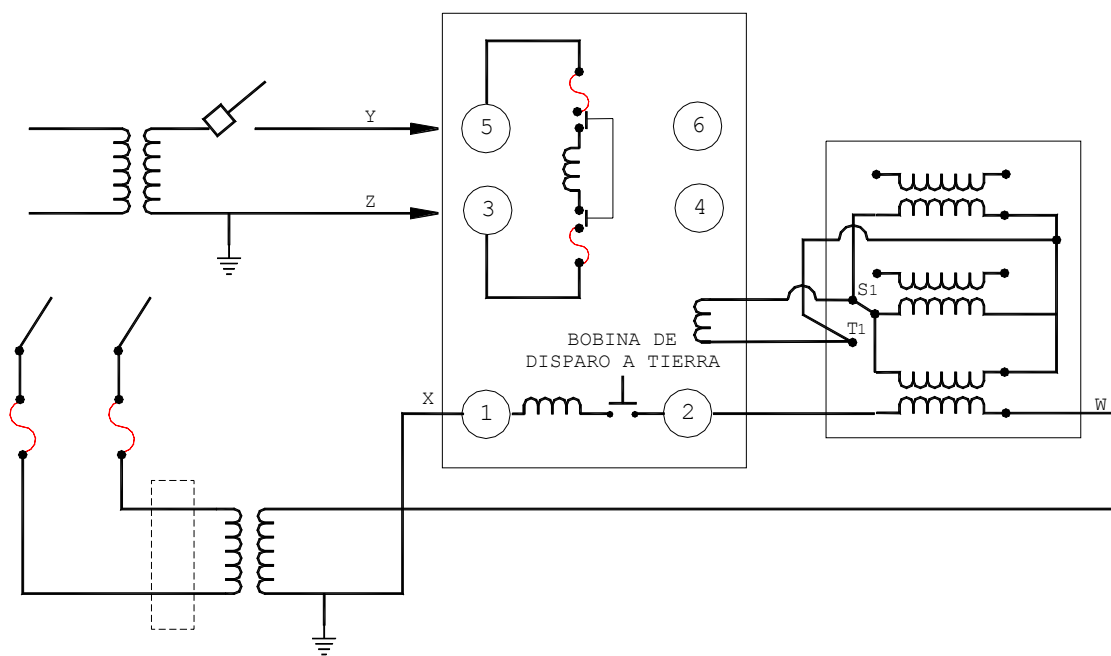
c) Cerrar el interruptor de navajas y girar el control de variac para incrementar la corriente. Conforme el émbolo de la bobina serie comienza a moverse, la impedancia de la misma aumenta y provoca una disminución en la corriente. El valor que debe registrarse es el obtenido un instante antes de la disminución.

9.4.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.4 se ilustran las conexiones para realizar la prueba de verificación de corriente mínima de disparo de fase.



PRUEBA DE CORRIENTE MINIMA DE DISPARO DE FASE



PRUEBA RESTAURADOR CON BOBINA DE DISPARO A TIERRA

FIG. 9.4 RESTAURADORES

PRUEBA COMPROBACION DE DISPAROS DE FASES Y TIERRA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-09-03



9.5 VERIFICACION DE LA CORRIENTE MINIMA DE DISPARO A TIERRA.

Esta prueba permite verificar la operación del disparo a tierra, así como la relación de los transformadores de corriente.

9.5.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) La manera de verificar la corriente mínima de disparo a tierra de un restaurador es, cerrándolo manualmente por medio de la palanca de cierre y energizando la bobina de disparo con una fuente de alimentación de C.A.
- b) Conectar el secundario del transformador de carga a la bobina de disparo a tierra y conectar el amperímetro en serie como se indica en la figura 9.4.
- c) Conectar un variac en el circuito y conectar las terminales W y X sobre las boquillas de la fase que se va a probar.
- d) Cerrar manualmente el restaurador con el maneral.
- e) Girar el control del variac para la inyección de corriente. La tolerancia del valor de la lectura es 10% del valor especificado en los datos de placa.

9.5.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.4 se ilustran las conexiones para realizar la prueba de verificación de corriente mínima de disparo a tierra.



9.6 VERIFICACION DE LAS CURVAS TIEMPO-CORRIENTE.

El propósito de esta prueba es comprobar las características de operación tiempo-corriente que el fabricante proporciona en sus instructivos. Consiste en simular diferentes magnitudes de corriente, registrando el tiempo de operación del restaurador.

Lo anterior es de suma importancia para asegurar que los estudios de coordinación de protecciones estén fielmente representados por los equipos en el campo.

Por otra parte es común que los restauradores dispongan de varias curvas o características seleccionables, las cuales no necesariamente pueden coincidir con las marcadas en su placa de datos, siendo recomendable por tal razón su verificación.

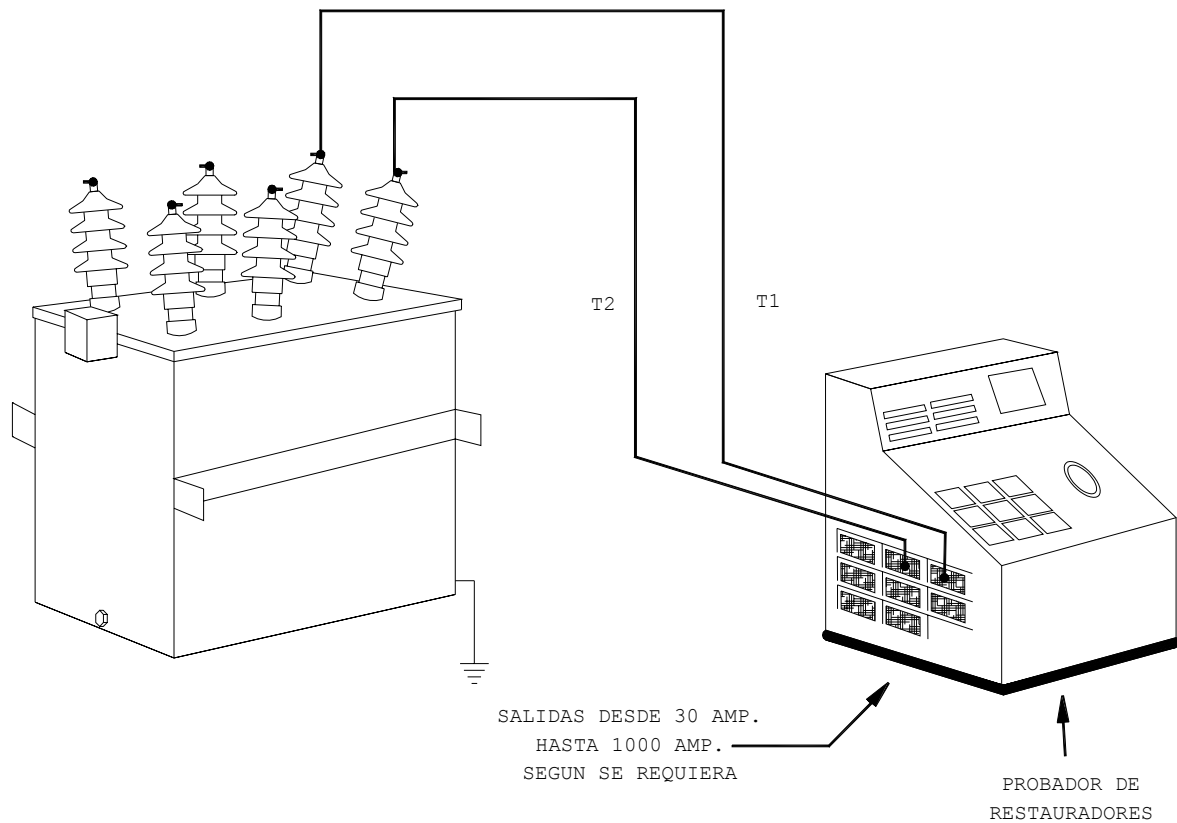
9.6.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Esta prueba se realiza con un equipo integrado, para el disparo trifásico se aplica a diferentes múltiplos de la corriente de arranque o pick up, con lo que se obtienen los valores de corriente y los tiempos de operación.

Referirse al instructivo del equipo de prueba para las instrucciones de operación y detalles propios de la prueba.

9.6.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 9.5 se ilustran las conexiones para realizar la prueba de verificación de las curvas tiempo-corriente para restauradores.



TIPO	CONEXIONES DE PRUEBA		
	APERTURA 3 Ø	POR FASE	BOB. PROTECC. TIERRA
APLICACION DE CORRIENTE	1 PICK UP	4 VECES CAPAC.	ALIM. BOB. SERIE
RESTAURADOR	6H, 3H, HR, R, RV, W, KF		Q, B, C
			Q, A, C
			R, RV, W
			KF

Fig. 9.5 RESTAURADORES

PRUEBA DE TIEMPO-CORRIENTE

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-09-03

**RESTAURADORES: ACEITE, VACIO, SF6**
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA
K= _____TEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES AMBIENTE _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____
VOLTAJE DE PRUEBA _____ VOLTS.TIPO ☐ ACEITE ☐ VACIO ☐ SF6

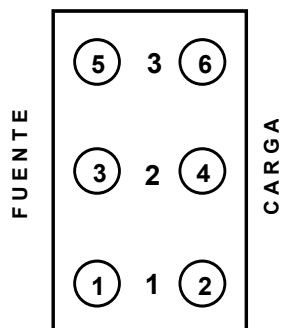
F A S E	P R U E B A	POSICION RESTAURADOR	CONEXIONES (MEGGER)			LECTURAS				VALOR EN MEGAOHMS			
			LINEA	GUARDA	TIERRA	15 SEG.	30 SEG.	45 SEG.	60 SEG.	15 SEG.	30 SEG.	45 SEG.	60 SEG.
1	1	ABIERTO	1	2	Tq								
	2	"	2	1	"								
2	1	"	3	4	"								
	2	"	4	3	"								
3	1	"	5	6	"								
	2	"	6	5	"								
1	3	CERRADO	1-2	—	"								
2	3	"	3-4	—	"								
3	3	"	5-6	—	"								

NUMERACION DE FASES Y BOQUILLAS

Tq = TANQUE

MULTIPLICADOR

MEGGER: _____

OBSERVACIONES: _____

PROBO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE-09-01

RESTAURADORES: ACEITE, VACIO, SF6
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KAFECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA
BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____TEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES AMBIENTE _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____TIPO ☐ ACEITE ☐ VACIO ☐ SF6

F A S E	P R U E B A	POSICION RESTAURADOR	BOQUILLAS SERIE No.	CONEXIONES DE PRUEBA			LECTURAS A 2.5 KV						% FACTOR DE POTENCIA		CONDIC. DE AISLAMIENTO
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			MEDIDO	CORR. 20 °C	
							LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW			
1	1	ABIERTO		1	Tq	GROUND									
	2	"		2	"	"									
	3	"		3	"	"									
2	4	"		4	"	"									
	5	"		5	"	"									
	6	"		6	"	"									
3	7	CERRADO		1-2	"	"									
	8	"		3-4	"	"									
	9	"		5-6	"	"									

PRUEBA DE COLLAR CALIENTE

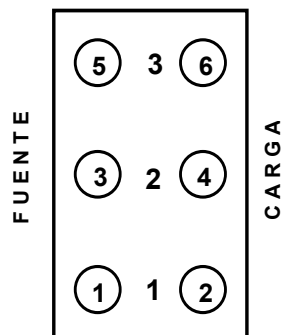
PARTE SUPERIOR
MVA / MW

1	1														
	2														
2	3														
	4														
3	5														
	6														

NUMERACION DE FASES Y BOQUILLAS

Tq = TANQUE

FACTOR DE CORRECCION: _____



OBSERVACIONES _____

Corregir para equipo en vacío y SF6

PROBO: _____

REVISO: _____

CONDICIONES DEL
AISLAMIENTO
B = BUENO
D = DETERIORADO
I = INVESTIGAR
M = MALO

FORMATO SE 09-02



RESTAURADORES: ACEITE, VACIO, SF6
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS, TIEMPO DE
OPERACIÓN Y CORRIENTE MÍNIMA DE DISPARO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____

SUBESTACION _____
EQUIPO (CLAVE) _____
VOLTAJE NOMINAL _____ KV
CORRIENTE NOMINAL _____ AMP
CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA

FECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
SERIE No. _____
CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA
BOBINA DE DISPARO A TIERRA _____ AMP.

TEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES AMBIENTE _____

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____

TIPO ☐ ACEITE ☐ VACIO ☐ SF6

RESISTENCIA DE CONTACTO

FASE	LECTURA	K	MICROOHMS	OHMETRO	
1				MARCA	_____
2				TIPO	_____
3				SERIE No.	_____

(*) CORRIENTE MINIMA DE DISPARO A TIERRA _____ AMP.

FASE A _____ FASE B _____ FASE C _____

RECIERRE ELECTRICO

SECUENCIA _____ TIEMPO _____
BLOQUEO FALLA A TIERRA ☐ SI ☐ NO
PALANCA NO RECIERRE ☐ SI ☐ NO

(*) CORRIENTE MINIMA DE DISPARO

APERTURA			TIEMPOS		
FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 1	FASE 2	FASE 3

(*) VERIFICACIÓN TIEMPO-CORRIENTE DE FASES

FASE	1 a. OPERACION		2 a. OPERACION		3 a. OPERACION		4 a. OPERACION	
	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO
A								
B								
C								

(*) VERIFICACIÓN TIEMPO-CORRIENTE DE DISPARO A TIERRA

FASE	1 a. OPERACION		2 a. OPERACION		3 a. OPERACION		4 a. OPERACION	
	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO	CORRIENTE	TIEMPO
A								
B								
C								

OBSERVACIONES: _____

PROBO: _____
REVISO: _____

FORMATO SE-09-03



CAPITULO 10

REGULADORES DE VOLTAJE

10.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

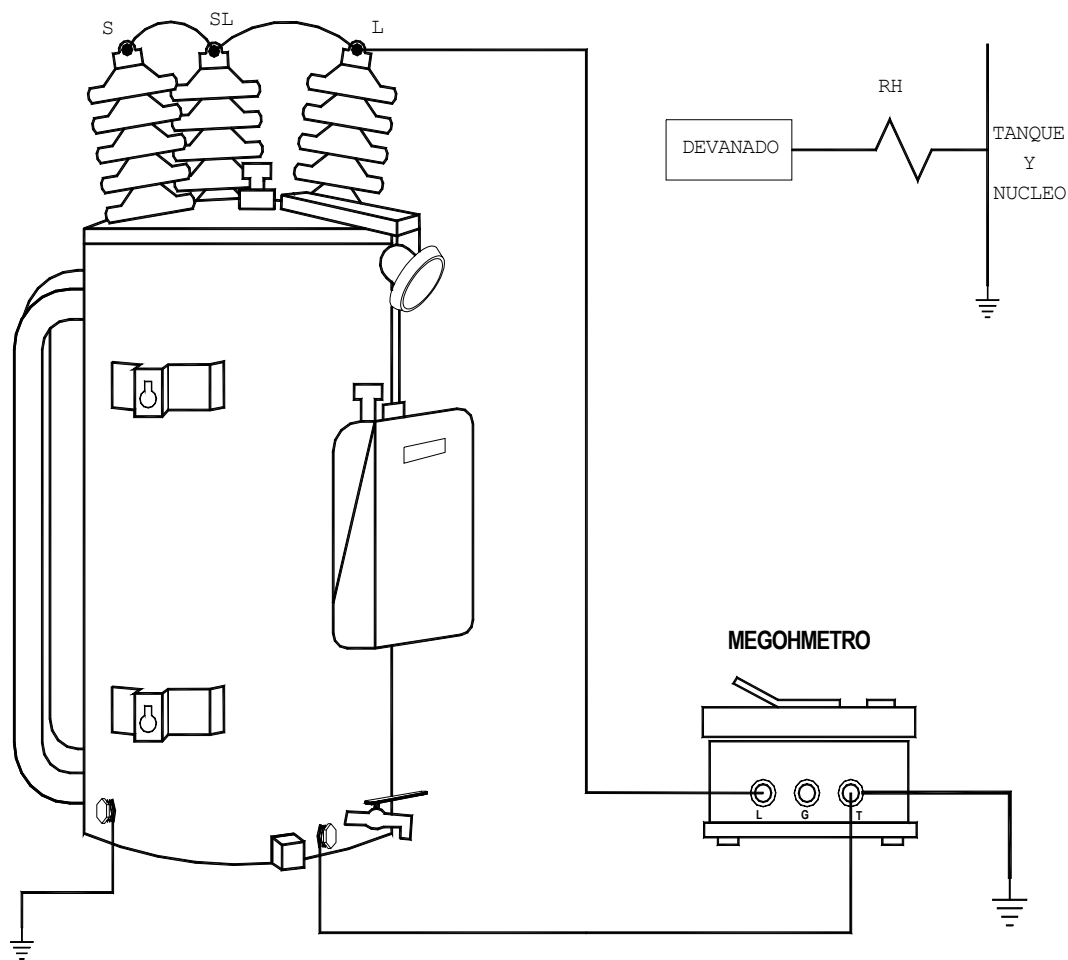
Las pruebas de resistencia de aislamiento en reguladores sirven para conocer las condiciones de sus elementos aislantes y detectar la degradación de los mismos.

10.1.1 PREPARACION DEL REGULADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Preparar el equipo de prueba.
- c) Aterrizar firmemente el tanque.
- d) Puentear las terminales lado carga (L), lado fuente (S) y el común (SL). Aplicando el voltaje de prueba en esa unión.
- e) Poner el regulador en posición neutral y el control en posición OFF.
- f) Efectuar la prueba con el máximo voltaje del equipo de prueba.
- g) Tomar la lectura al minuto y anotarla en la hoja de prueba.

10.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 10.1 se muestran las conexiones para realizar las pruebas de resistencia de aislamiento a reguladores de voltaje.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	LINEA	GUARDA	TIERRA	
1	S, SL, L	-	Tq	RH

Tq = TANQUE

Fig. 10.1 REGULADORES DE VOLTAJE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-01



10.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Si los valores de resistencia de aislamiento son menores de 10,000 megaohms a una temperatura de 20 °C, se requiere efectuar las pruebas dieléctricas al aceite aislante, para verificar si el bajo valor de resistencia de aislamiento es ocasionado por degradación del mismo; y programar un mantenimiento completo al regulador.



10.2 FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

Las pruebas de factor de potencia del aislamiento en reguladores nos indica las condiciones de sus elementos aislantes y detecta la degradación de los mismos.

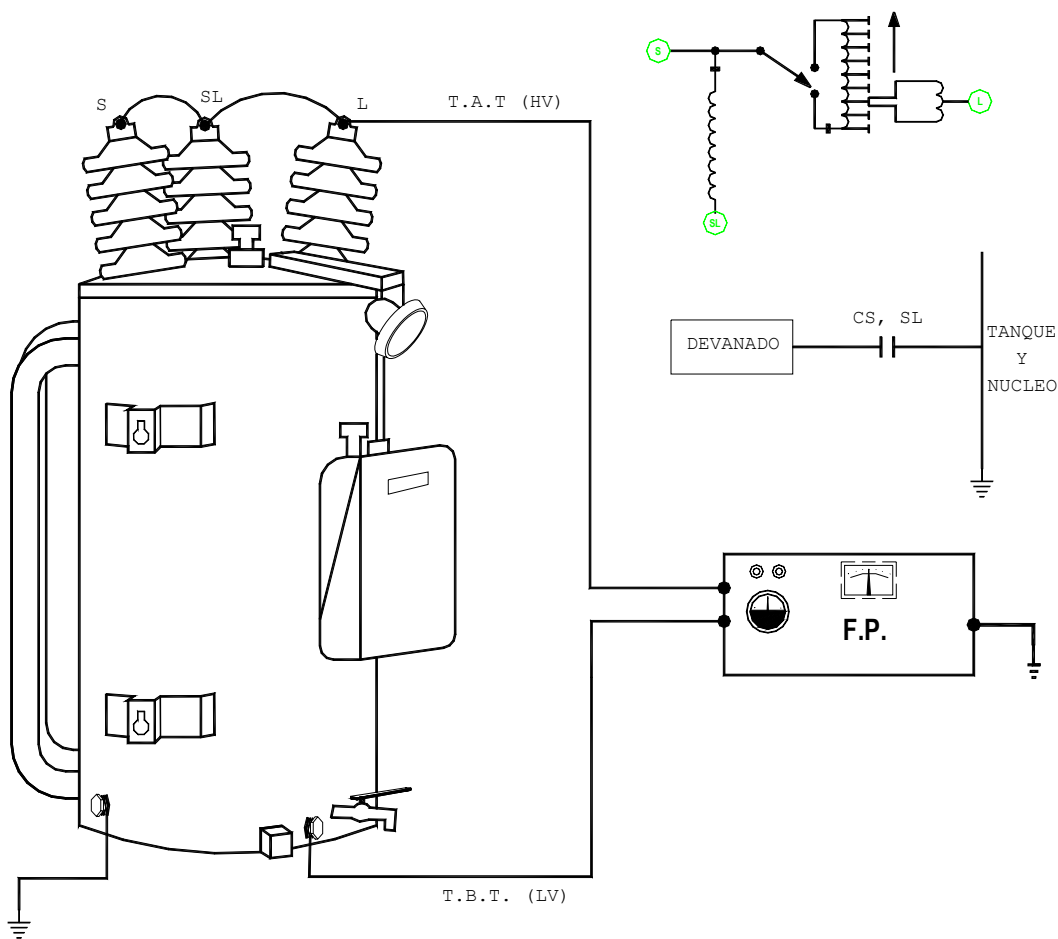
Cabe señalar que para aquellos reguladores que poseen internamente resistencias no lineales en paralelo con los devanados serie, con el objeto de limitar el voltaje generado entre los devanados (serie); es recomendable cortocircuitar dichas resistencias a efecto de que las pérdidas I^2R disipadas por estos elementos, no se adicionen a las pérdidas por aislamiento, provocando la medición de un alto valor de Factor de Potencia. Lo anterior se logra atendiendo el inciso e) del siguiente punto.

10.2.1 PREPARACION DEL REGULADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Se deberá limpiar la porcelana de las boquillas.
- c) Aterrizar firmemente el tanque.
- d) Puentear las terminales lado carga (L), lado fuente (S) y el común (SL). Aplicando el voltaje de prueba en esa unión.
- e) Poner el regulador en posición neutral y el control en posición OFF.

10.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En las figuras 10.2 y 10.3 se ilustran los diagramas de conexión para la prueba de factor de potencia a reguladores de voltaje.



EJEMPLO: PRUEBA 1

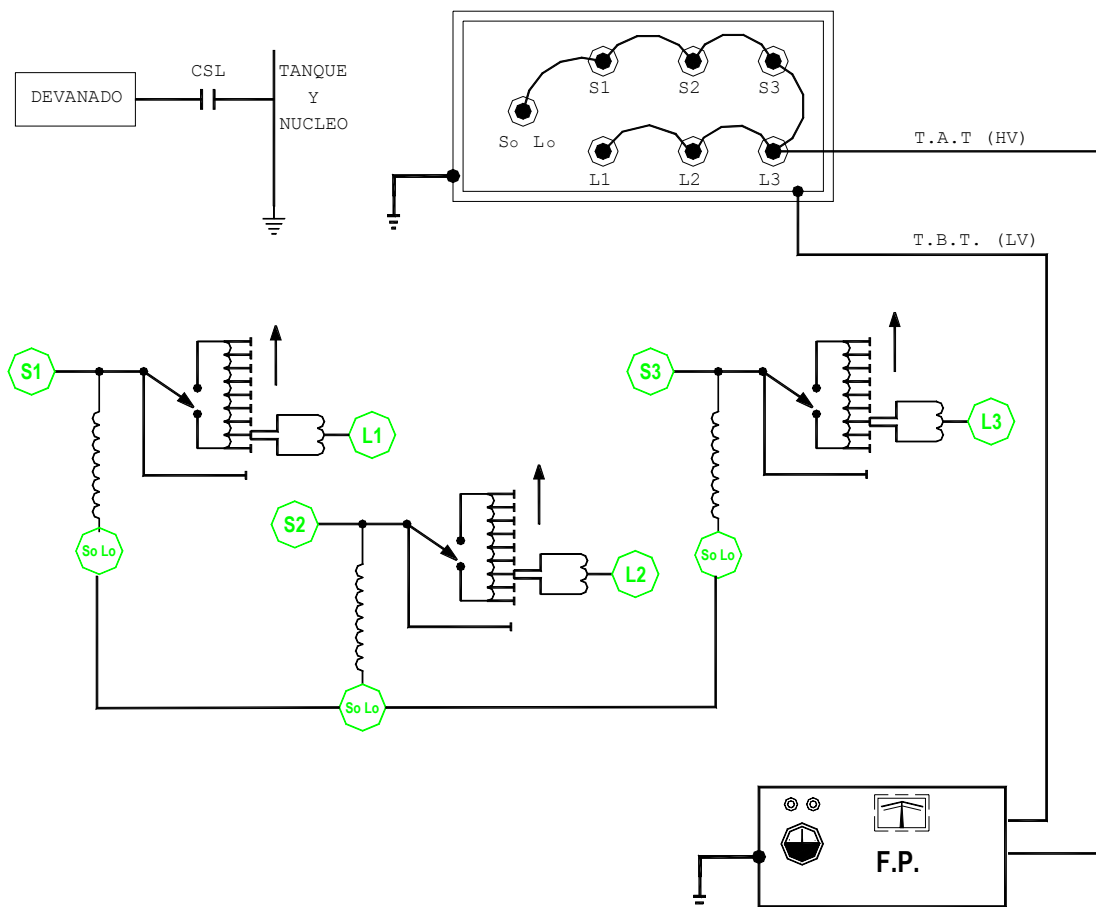
PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	S, SL, L	Tq	GROUND	Cs-SL
2	L	SL	UST	I. EXT.

Tq = TANQUE

Fig. 10.2 REGULADORES DE VOLTAJE

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN.

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-02



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	S1, S2, S3 L1, L2, L3 So Lo	TANQUE	GROUND	CSL.- T
2	L1	So Lo	UST	IEXC..FA
3	L2	So Lo	UST	IEXC..FB
4	L3	So Lo	UST	IEXC..FC

Fig. 10.3 REGULADORES DE VOLTAJE TRIFASICOS

**PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA
Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN.**

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-02



10.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Es necesario que los valores medidos de factor de potencia, se corrijan a 20 °C, utilizando para ello la tabla 3.3 del capítulo 3, en la columna correspondiente a transformadores en aceite con respiración libre.

Un valor de factor de potencia mayor de 2%, será indicativo de que existe un deterioro en el aislamiento, este puede ser en el aceite, boquillas o en el aislamiento seco del devanado.

Al obtener resultados con valores mayores, deberá investigarse recurriendo a estadísticas de pruebas anteriores y en equipos similares.

Para un mejor análisis de las condiciones del aislamiento, es conveniente relacionar esta prueba con la de resistencia de aislamiento; para así poder tomar la decisión acerca de si el regulador requiere o no de mantenimiento.

Por otra parte es necesario también comprobar las boquillas, efectuando la prueba de collar caliente a las mismas.



10.3 CORRIENTE DE EXCITACION.

La medición de la corriente de excitación en reguladores de voltaje complementa el diagnóstico sobre el comportamiento del regulador de voltaje, detectando posibles problemas o fallas incipientes en la operación del mismo, como pudieran ser:

- Cortocircuito en espiras o capas de aislamiento deteriorado.
- Conexión incorrecta de terminales en derivaciones.
- Operación incorrecta del cambiador de derivaciones.
- Cambio en la reluctancia del núcleo.

Es necesario que esta prueba se realice durante la puesta en servicio de este tipo de equipos, para disponer de una referencia en posteriores verificaciones por mantenimiento.

10.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Cuidar que el voltaje de prueba a utilizar sea menor al voltaje nominal de fase a tierra del regulador.
- b) Realizar la prueba en las 5 posiciones del cambiador indicadas a continuación:
 - b1) Primera posición siguiente a la posición NEUTRO en la dirección de REDUCIR: 1L.
 - b2) En la posición NEUTRO.
 - b3) Primera posición siguiente a la posición NEUTRO en la dirección de ELEVAR: 1R.
 - b4) En las dos posiciones máximas de ELEVAR y REDUCIR: 16R y 16L.

10.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

PARA REGULADORES TRIFASICOS CONEXION ESTRELLA CON NEUTRO.

Conectado a tierra probar de la siguiente manera:

ENERGIZAR	UST	FASE
L1	S ₀ L ₀	A
L2	S ₀ L ₀	B
L3	S ₀ L ₀	C

**PARA REGULADORES CONEXION ESTRELLA SIN NEUTRO CONECTADO.**

ENERGIZAR	UST	FLOTANDO	FASE
L1	L2	L3	A-B
L2	L3	L1	B-C
L3	L1	L2	C-A

PARA REGULADORES CONEXION DELTA.

ENERGIZAR	UST	GROUND	FASE
L1	L2	L3	B
L2	L3	L1	C
L3	L1	L2	A

En forma general las conexiones de unidades monofásicas y trifásicas para esta prueba, se ilustran en las figuras 10.2 y 10.3.

10.3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

La corriente de excitación medida debe ser analizada mediante la comparación con algunos resultados previos del mismo regulador, o con mediciones obtenidas en otros equipos de la misma marca y tipo. Con esto se obtiene una referencia para soportar el criterio de diagnóstico del equipo que se esta probando.

Generalmente la corriente de excitación es notablemente alta cuando el cambiador de derivaciones esta en posiciones iniciales (1L, 1R, etc.) comparada con la corriente medida por posición simétrica (N, 16R, 16L); este incremento es debido a la posición adicional requerida para excitar el reactor o autotransformador preventivo cuando está en posición "puenteada".



10.4 RELACION DE TRANSFORMACION.

Esta prueba tiene por objeto verificar la relación de transformación en el autotransformador del regulador, la prueba se debe realizar en todas las posiciones del cambiador.

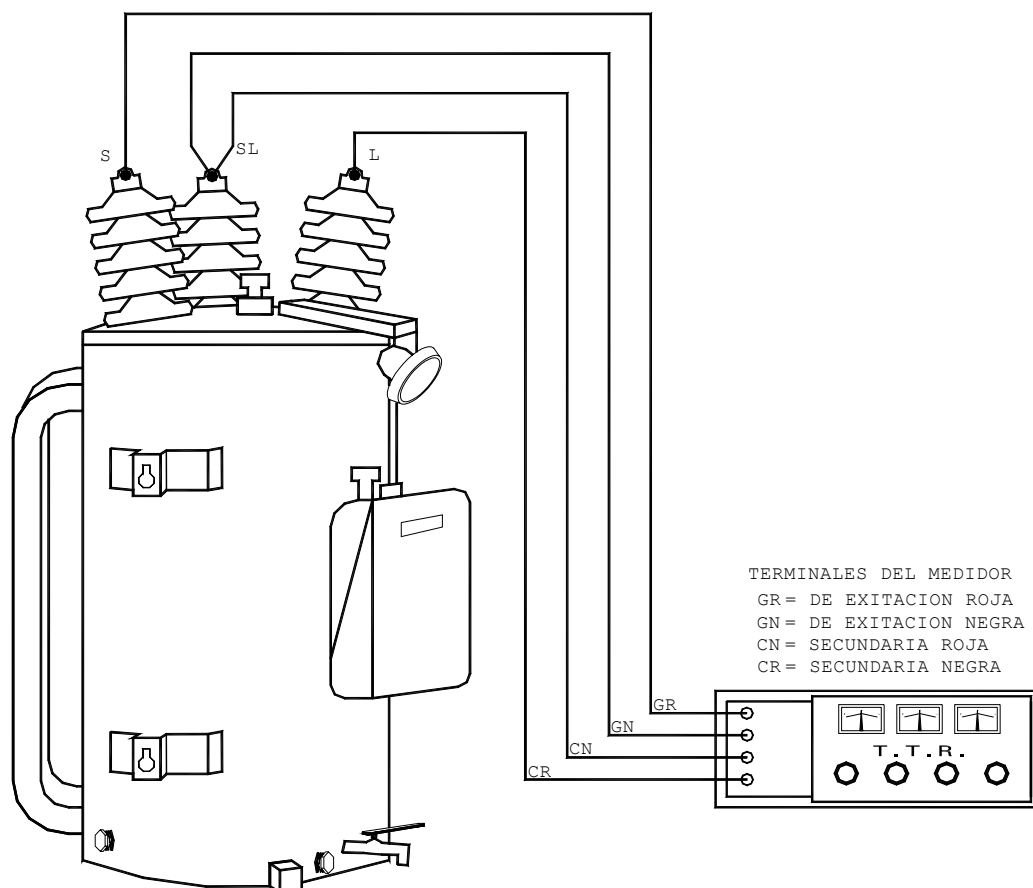
La prueba nos indica si existen problemas en el devanado, que pueden ser cortocircuito entre espiras, falsos contactos en el cambiador de derivaciones y circuitos abiertos.

10.4.1 PREPARACION DEL REGULADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Antes de iniciar la prueba, verificar que el regulador esté en la posición neutral.

10.4.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 10.4 se muestran las conexiones para realizar la prueba de relación de transformación a reguladores.



S = FUENTE
L = CARGA
SL = FUENTE-CARGA (Común)

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			POSICION CAMBIADOR
	GR	GN, CN	GR	
1	S	SL	L	N
2	S	SL	L	I R
HAŞTA				HAŞTA
17	S	SL	L	16 R
18	S	SL	L	1 L
19	S	SL	L	2 L
HAŞTA				HAŞTA
33	S	SL	L	16 L

Fig. 10.4 REGULADORES DE VOLTAJE

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-03



10.4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

El porcentaje de diferencia para la prueba de relación de transformación a reguladores no debe ser mayor de $\pm 0.5 \%$, en relación con pruebas del fabricante; o de $\pm 1 \%$, con respecto a los datos de placa (relación teórica).



10.5 RESISTENCIA OHMICA.

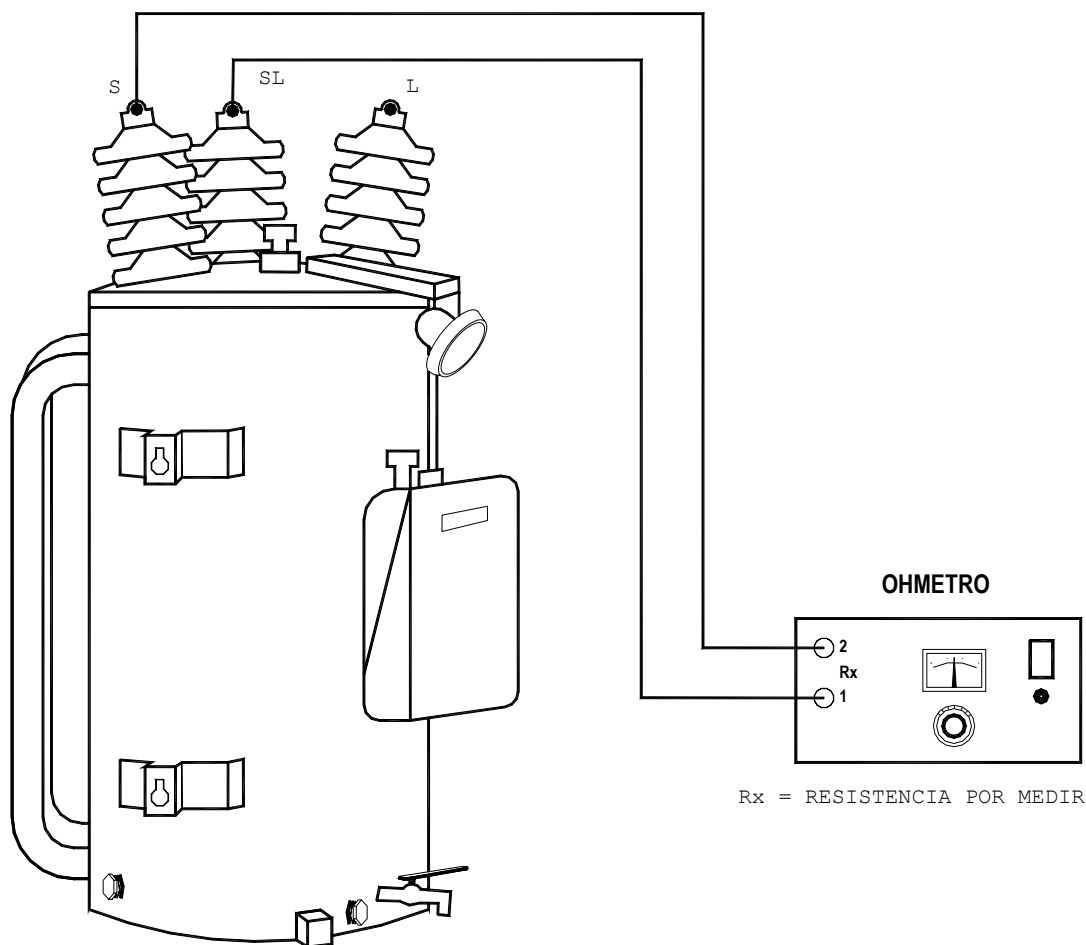
Esta prueba tiene por objeto detectar la existencia de falsos contactos en el cambiador de derivaciones y en otros puntos de contacto del regulador de voltaje.

10.5.1 PREPARACION DEL REGULADOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Antes de iniciar la prueba, verificar que el regulador esté en la posición neutral.

10.5.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figuras 10.5 y 10.6 se muestran las conexiones para realizar la prueba.



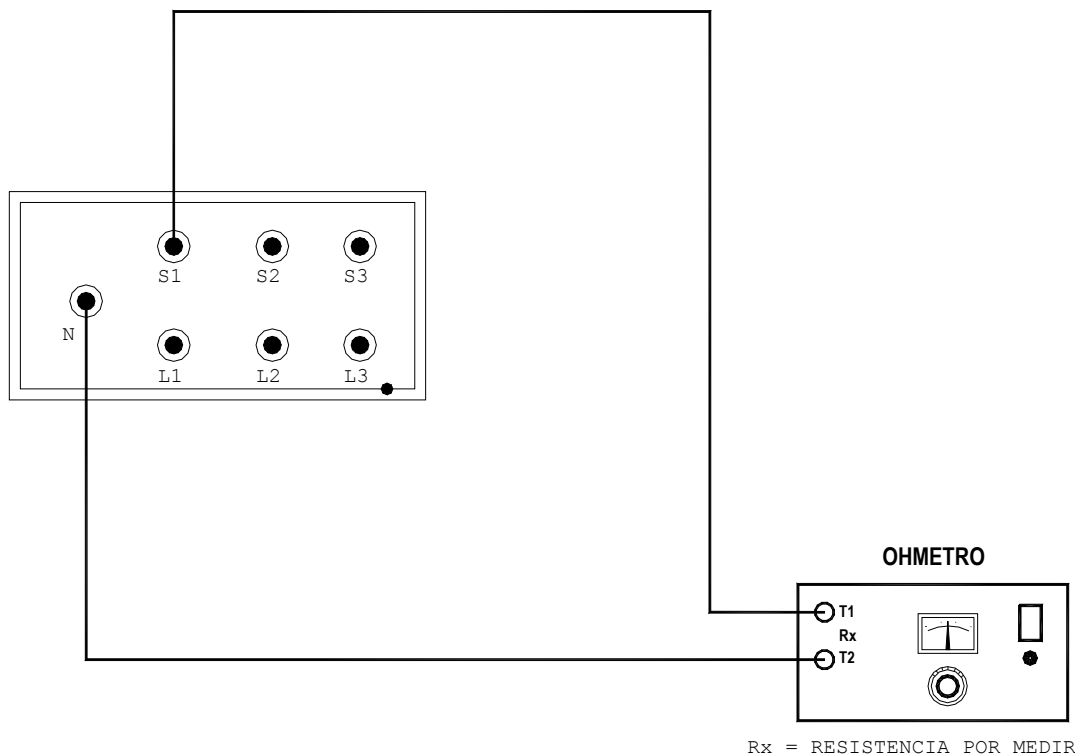
EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		POSICION CAMBIADOR
	T1	T2	
1	S	SL	N
2	S	SL	1R o 1L
HASTA ↓			HASTA ↓
17	S	SL	16R o 16L

Fig. 10.5 REGULADORES DE VOLTAJE

PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-01



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE
	T1	T2	
1	S1	N	rSNØ1
2	S2	N	rSNØ2
3	S3	N	rSNØ3
4	L1	N	rLNØ1
5	L2	N	rLNØ2
6	L3	N	rLNØ3

Fig. 10.6 REGULADORES TRIFASICOS

PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-10-01



10.5.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Los valores obtenidos de resistencia óhmica del devanado, en cada uno de sus pasos, deben tener una diferencia proporcional. Si esto no se cumple, revisar internamente el equipo para detectar el problema o la causa.



10.6 RESISTENCIA DE CONTACTOS.

Los puntos con alta resistencia en diferentes partes de conducción, son fuente de problemas en los circuitos eléctricos, ya que originan caídas de voltaje, fuentes de calor, pérdidas de potencia, etc. Con la aplicación de esta prueba es posible detectar dichas condiciones.

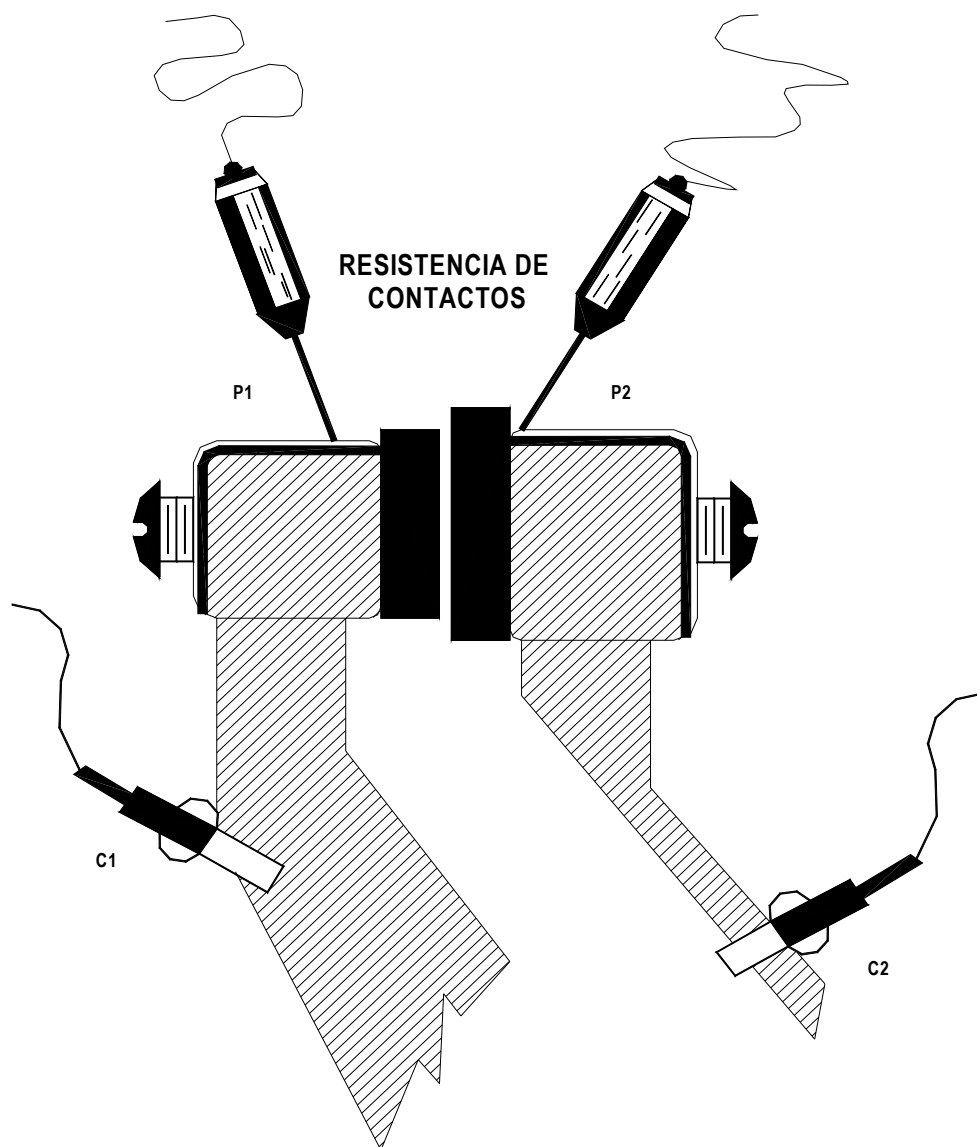
Esta prueba se utiliza en todo circuito eléctrico en el que existen puntos de contacto a presión o deslizables, tales como dedos de contacto en reguladores, o de cambiadores de derivaciones. La medición se puede efectuar con un medidor óhmico de contactos, de baja resistencias.

10.6.1 PREPARACION DEL REGULADOR PARA LA PRUEBA.

- a) El equipo bajo prueba debe estar desenergizado, la prueba debe realizarse directamente en los contactos principales y auxiliares del cambiador.
- b) Deben limpiarse perfectamente las partes donde se van a conectar las terminales del probador, a fin de que cuando la prueba se efectúe se asegure un buen contacto.
- c) Se deben evitar los campos electromagnéticos provocados principalmente por la inducción, ya que el equipo de prueba de bajas resistencias, es un instrumento muy sensible, y se pueden presentar errores en las mediciones.

10.6.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 10.7 se muestran las conexiones para realizar la prueba.



ESTA PRUEBA SE REALIZARA EN LOS CONTACTOS PRINCIPALES
Y AUXILIARES DEL CAMBIADOR

Fig. 10.7 REGULADORES

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

UTILIZAR LA FORMA DE REPORTE S.E-10-03



10.6.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Esta prueba permite detectar oportunamente los problemas que se presentan por alta resistencia de contactos.

Los valores de resistencia de contactos varían de acuerdo al fabricante del regulador y al diseño del mismo, por lo que es importante conocer los valores límite establecidos en los instructivos, así como en los valores obtenidos durante la puesta en servicio, con el fin de poder efectuar comparaciones y observar tendencias.

REGULADORES DE VOLTAJE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION

EQUIPO PROBADO

FECHA

MARCA	TIPO

VOLTAJE NOMINAL _____

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

**FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)**

*** CONSIDERADOS**

MULTIPLICADOR MEGGER:

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM:

OBSERVACIONES:

PROBO:

REVISOR:

FORMATO SE-10-01



REGULADORES

PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN
Y FACTOR DE POTENCIA

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION ó CIRCUITO _____

FECHA _____

TRIFASICO ☐ MONOFASICO ☐

No. (S) DE SERIE: _____

MARCA _____ TIPO _____

LECTURA DEL CONTADOR (S): _____

CAPACIDAD _____ KVA
CORRIENTE _____ AMPS.

EQUIPO DE PRUEBA: MARCA _____ MODELO _____ No. SERIE _____

FASE Y POSICION CAMBIADOR	KV PRUEBA	☐ MILIVOLTAMPERES ☐ MILIAMPERES			I exc (ma)		OBSERVACIONES
		LECTURA	MULT.	VALOR	ACTUAL	ANTERIOR	
FASE- A							
1L							
16 L							
N							
1R							
16R							
FASE-B							
1L							
16L							
N							
1R							
16R							
FASE-C							
1L							
16L							
N							
16R							

FACTOR DE POTENCIA (CON BOQUILLAS Y ACEITE)

TEMP. ACEITE _____ °C TEMP. AMBIENTE _____ °C H.R. _____ %

KV DE PRUEBA	CONEX. PARA PRUEBA			Ma ☐ mva ☐			Watts ☐ miliwatts ☐			% FACTOR DE POTENCIA		Inicial p/cond. aisl. B= BUENO D= DETERIORADO I= INVESTIGAR M= MALO(quite o rep.)	COND. DE AISLA MIENTO
	DEVANS. ENERGIZA DOS	DEVANS. A TIERRA	SELECTOR	LECT. MED.	MULT	VALOR	LECT. MED.	MULT	VALOR	MEDIDO	CORR. 20 °C		
	S, SL, L	Tq	GROUND										
	S, SL, L	Tq	GROUND										
	S, SL, L	Tq	GROUND										

OBSERVACIONES:

PROBO: _____ REVISO: _____

FORMATO SE-10-02



REGULADORES

PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION, RESISTENCIA
OHMICA Y FACTOR DE POTENCIA AL AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION ó CIRCUITO _____

No. DE SERIE: _____

VOLTAJE NOMINAL _____ KV. No. PASOS _____

LECTURA DEL CONTADOR: _____

FECHA _____

MARCA _____ TIPO _____

CAPACIDAD _____ KVA

CORRIENTE _____ AMPS.

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

EQUIPO DE PRUEBA: MARCA _____ No. SERIE _____

RESISTENCIA OHMICA DEL DEVANADO

EQUIPO DE PRUEBA: MARCA _____

No. SERIE _____

TAP	LECTURA ELEVAR	DIFERENCIA ENTRE TAP	TAP	LECTURA BAJAR	DIFERENCIA ENTRE TAP	POSICION ELEVADOR	LECTURA	MULTIPLIC.	VALOR OHMS
N			N			N			
1			1			1 ROL			
2			2			2			
3			3			3			
4			4			4			
5			5			5			
6			6			6			
7			7			7			
8			8			8			
9			9			9			
10			10			10			
11			11			11			
12			12			12			
13			13			13			
14			14			14			
15			15			15			
16			16			16			

FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

TEMP. ACEITE _____ °C TEMP. AMBIENTE _____ °C H.R. _____ %

EQUIPO DE PRUEBA MARCA _____ No. SERIE _____ MODELO _____

PRUEBAS CON ACEITE Y BOQUILLAS

PRUEBA	CONEX. PARA PRUEBAS			PRUEBAS A 2.5 KV.						% FACTOR DE POTENCIA		Inicial p/cond. aisl. B= BUENO D= DETERIORADO I= INVESTIGAR M= MALO(quite o rep.)	COND. DE AISLA MIENTO
	DEVAN. ENERGIZA DO	DEVAN. A TIERRA	SELECTOR	LECT. MED.	MULT	MVA	LECT. MED.	MULT	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C		
1	S, SL, L	Tq	GROUND										

OBSERVACIONES _____

PROBO: _____ REVISO: _____

FORMATO SE-10-03

CAPITULO 11 CAPACITORES

11.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

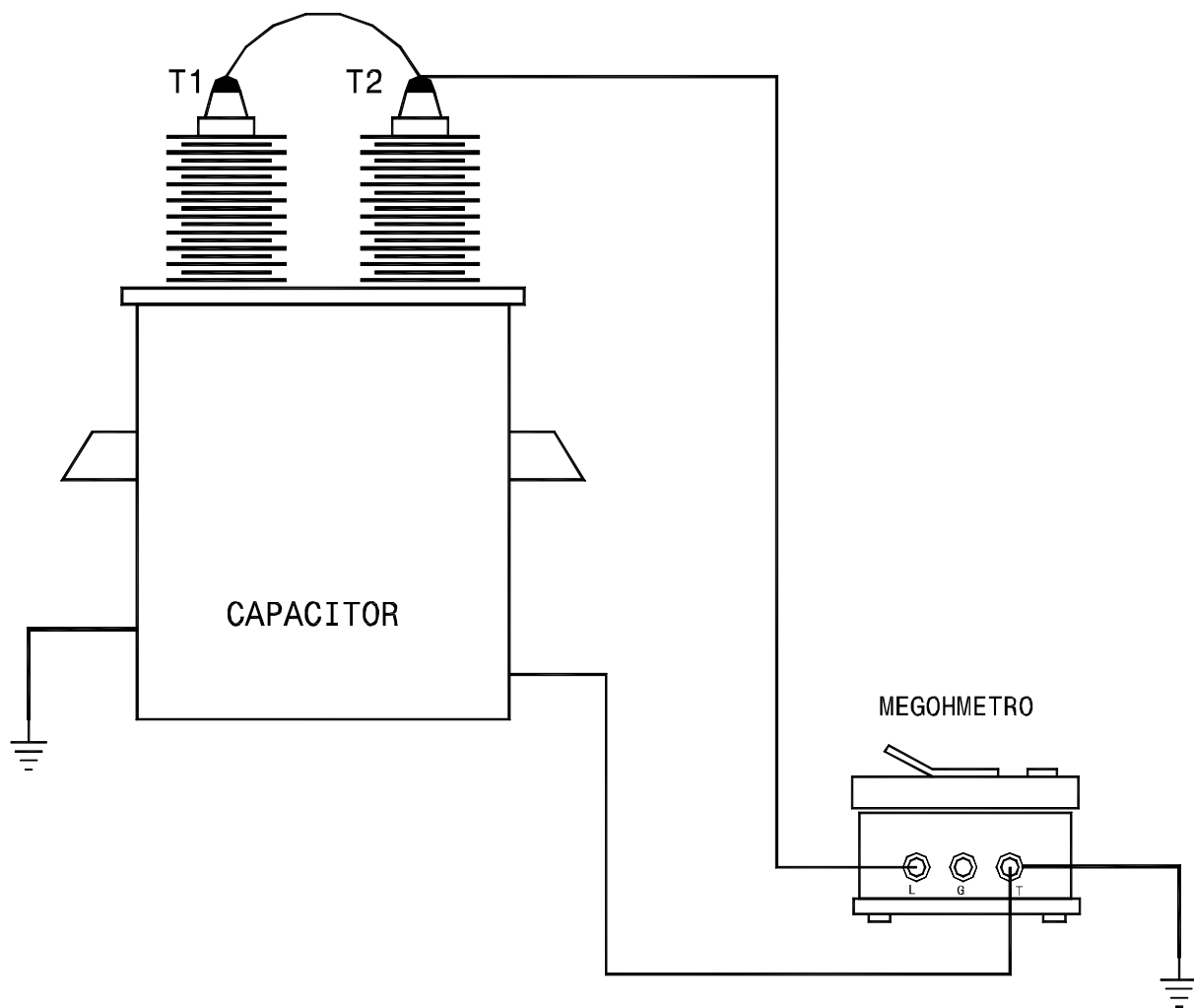
La aplicación de esta prueba en capacitores, es con la finalidad de detectar fallas incipientes en la estructura aislante del mismo. Esta prueba solo debe efectuarse a unidades de dos boquillas, debido a que la tensión de prueba no debe aplicarse entre las placas del capacitor, tal y como sucedería para un capacitor de una boquilla, donde una de sus dos placas esta referida al tanque del mismo. De realizarse la prueba bajo estas condiciones, se estaría registrando el valor de la resistencia interna de descarga, y no la resistencia de aislamiento existente entre partes vivas y tierra.

11.1.1 PREPARACION DEL CAPACITOR PARA LA PRUEBA.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- Desenergizar completamente la unidad, y dejar transcurrir cinco minutos, para que el capacitor se descargue a traves de la resistencia interna de descarga.
- Por seguridad descargar el capacitor a través de un conductor solidamente aterrizado, utilizando una pértiga.
- Para bancos de capacitores no referidos a tierra, una vez librado, se debe conectar solidamente a tierra la estructura soporte del banco.
- Desconectar las terminales del capacitor y limpiar perfectamente las porcelanas, para evitar errores en la medición.

11.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 11.1, se muestran las conexiones para el circuito de prueba de resistencia de aislamiento, para unidades de dos boquillas.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE	VOLTS PRUEBA
	L	G	T		
1	T1, T2	-	Tq	R1 - R2	2500

Tq = TANQUE

Fig. 11.1 CAPACITORES

PRUEBA DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-11-01



11.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

La resistencia de aislamiento medida aplicando 2500 o 5000 volts de C.D. no debe de ser menor de 1000 megaohms para capacitores de dos boquillas. En los capacitores de una sola boquilla que cuenten con resistencia de descarga interna, el valor medido será el de la resistencia de descarga.



11.2 MEDICION DE CAPACITANCIA.

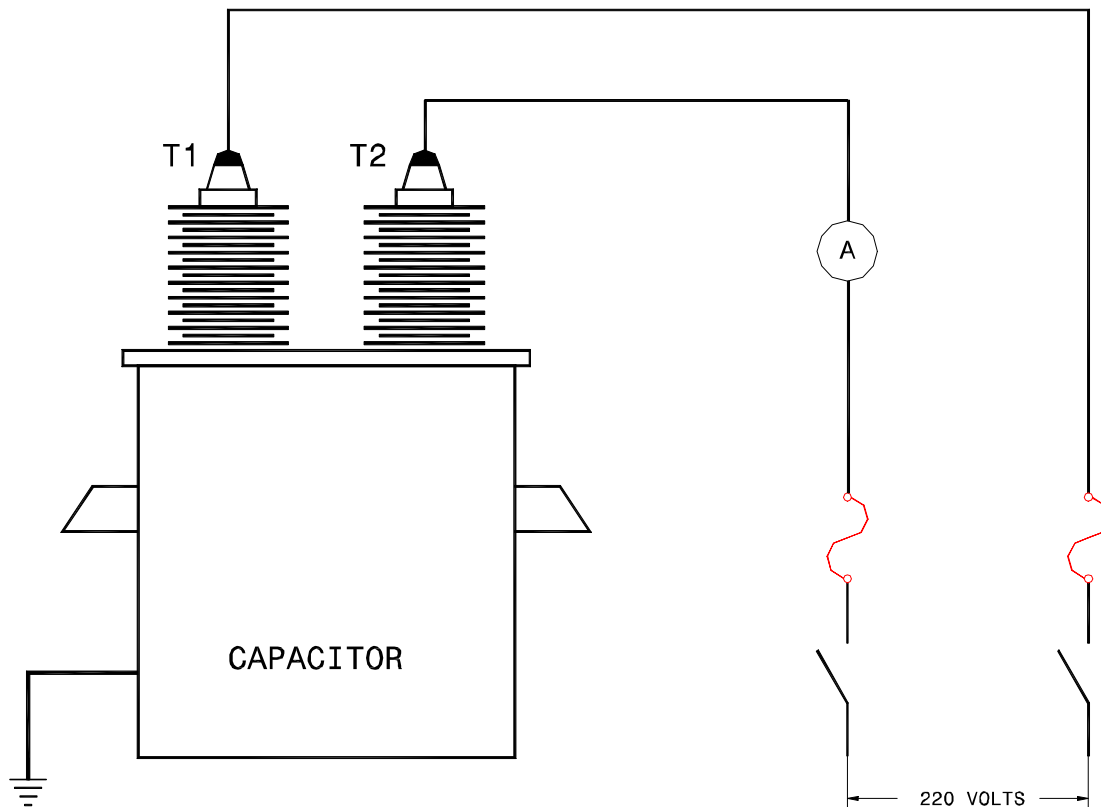
La manera mas simplificada para hacer la medición es directamente mediante un puente o medidor de capacitancias; en el caso que no se disponga de un equipo de tales características en campo, es posible determinar la capacitancia en forma indirecta a través de la obtención de la reactancia capacitiva, midiendo la corriente que toma el capacitor cuando se le somete a un voltaje y frecuencia conocidos (por ejemplo 220 volts a 60 Hz.).

11.2.1 PREPARACION DEL CAPACITOR PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Librar completamente la unidad, y dejar transcurrir cinco minutos para que el capacitor se descargue a través de la resistencia interna de descarga.
- c) Por seguridad descargar el capacitor a tierra utilizando una pértiga.
- d) Para bancos de capacitores no referidos a tierra, se debe conectar sólidamente a tierra a la estructura soporte del banco.
- e) Desconectar las terminales del capacitor y limpiar perfectamente las porcelanas, para evitar errores en la medición.

11.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 11.2, se muestra la conexión para la determinación indirecta de la capacitancia.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE	VOLTS PRUEBA
	FASE A	FASE B		
1	T1	T2	C	220

Fig. 11.2 CAPACITORES

PRUEBA DE MEDICION DE CAPACITANCIA

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-11-02

11.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

La capacitancia calculada por la aplicación de un voltaje conocido a 60 Hz. y la corriente medida; deberá estar en un rango de $\pm 10\%$ de la capacitancia especificada en datos de placa del capacitor.

Las siguientes ecuaciones se utilizan para determinar la capacitancia por el método anterior.

$$I_c = \frac{V_c}{X_c} \quad \text{Además:} \quad X_c = \frac{1}{2\pi \cdot fC} \quad C = \frac{1}{2\pi \cdot fX_c}$$

Donde :

I_c = Corriente medida

V_c = Tensión aplicada

X_c = Reactancia capacitiva

f = Frecuencia

C = Capacitancia

Actualmente se disponen de aparatos que miden en forma directa la capacitancia de los capacitores.

**CAPACITORES**
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTOFECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO PROBADO _____
_____FECHA _____
MARCA _____ TIPO _____
VOLTAJE NOMINAL _____TEMP. AMBIENTE _____ °C
HUMEDAD RELATIVA _____ %
CONDICIONES DEL TIEMPO _____EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____
SERIE No. _____ TIPO _____

EQUIPO		VOLTAJE DE PRUEBA	No. DE PRUEBA	CONEXIONES			LECTURAS 60 SEG.	VALOR MEGAOHMS (MΩ) *
TIPO	No. SERIE			LINEA	GUARDA	TIERRA		

FORMA DE CONEXIÓN
(DIBUJAR)

* CONSIDERADOS

MULTIPLICADOR MEGGER: _____

FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEM: _____

OBSERVACIONES: _____

PROBO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE-11-01

CAPACITORES

PRUEBA DE MEDICION DE CAPACITANCIA

FECHA ULTIMA PRUEBA

REPORTE No.

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION _____
EQUIPO PROBADO _____

FECHA	TIPO
MARCA	

TENSION NOMINAL

TEMP. AMBIENTE °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA

SERIE No.	TIPO

[illegible]

CALCULO DE LA CAPACITANCIA:

$$X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

OBSERVACIONES:

PROBO:

* - ÚNICAMENTE CUANDO SE DISPONGA DE UN PUNTE DE CAPACITANCIAS.

REVISOR: _____

FORMATO SE-11-02

CAPITULO 12

CABLES DE POTENCIA Y ACCESORIOS

TEORIA GENERAL

La función primordial de los conductores eléctricos es transmitir eficientemente la energía eléctrica. Esto puede asegurarse mediante el control de calidad de los cables, a través de las pruebas que se realizan en los laboratorios de los fabricantes que garantiza su confiabilidad durante la operación y con ello la continuidad del servicio; sin embargo, en la mayoría de los casos, el fabricante tiene poco o ningún control sobre las operaciones de transporte, almacenaje, instalación y conexiones, por lo que es recomendable efectuar pruebas eléctricas para tener la seguridad de que el cable se encuentra en buenas condiciones para entrar en servicio. Además, muchos usuarios han detectado que con el tiempo, el cable en operación revela algún daño existente de origen en la fabricación o durante la instalación, los cuales no fueron detectados durante las pruebas de fábrica o de instalación.

Inmediatamente después de que se ha instalado el cable, pero antes de que se coloquen las terminales o los empalmes, es una práctica común hacerle una prueba de resistencia de aislamiento, usando un megóhmmetro. Un valor bajo puede ser provocado por algo simple como suciedad o humedad y puede dar lugar a daño en el aislamiento; sin embargo el problema normalmente se corrige antes de que continúe el trabajo. Se hace otra verificación a la resistencia del aislamiento después de que se han efectuado los empalmes y terminales y de que el sistema de cables esté listo para las pruebas de aceptación.

Antes de poner en servicio un cable de potencia, este deberá probarse para tener la seguridad de que tanto el propio cable como sus accesorios (terminales), soportarán las condiciones operativas a que serán sometidos.

Las pruebas de campo a cables de potencia instalados se pueden dividir en:

Pruebas de aceptación o recepción.- Esta prueba se hace a cables nuevos después de instalados pero antes de energizarse incluyendo accesorios (terminales y empalmes).

Prueba en el periodo de garantía.- Esta prueba se hace durante el primer año de haber adquirido el cable, lo que no necesariamente implica que tenga un año de estar en operación; sin embargo, se entiende que el cable ya ha sido energizado y ha operado durante cierto tiempo.

Prueba de cables viejos.- Aunque un cable de potencia tiene una vida útil del orden de los 30 años, para efecto de pruebas de campo se considera un cable “viejo” todo aquél

que lleva más de un año de estar en operación y se piensa en dos periodos: El primero, cuando el cable tiene entre uno y cinco años y el segundo de cinco años en adelante.

La decisión de emplear pruebas de mantenimiento debe ser evaluada por cada usuario en particular, teniendo en cuenta además del costo de las fallas en servicio y el costo de las pruebas eléctricas, el hecho de que un cable sometido a pruebas con CD (con niveles cercanos o superiores a su tensión nominal), verá reducida su vida útil al someterse a esfuerzos que ocasionan un envejecimiento prematuro de su aislamiento, al inducirse en el mismo “cargas espaciales de alta permanencia”, las cuales al interactuar con la corriente alterna, son fuente de arborescencias y por tanto de descargas parciales. En tal sentido, la norma AEIC CS7-93, eliminó la aplicación de las pruebas de CD a cables de potencia. Los valores de pruebas de aceptación y mantenimiento para cables de potencia con corriente directa aplica para todo tipo de aislamiento hasta 138 kv, y no para cables de comunicación, control, cables especiales, etc. La falla más probable de un cable de potencia es la pérdida del aislamiento entre el conductor y la pantalla electrostática, la cual está aterrizada.

Las pruebas pueden ser efectuadas con corriente alterna o con corriente directa; sin embargo, las pruebas de campo con equipo de corriente directa tienen varias ventajas y, por ello, son las más usadas. El equipo para pruebas con corriente directa es en sí pequeño, ligero y menos costoso que las unidades de corriente alterna; también es menos probable que el cable se dañe al efectuar las pruebas y los resultados son menos ambiguos y más fáciles de interpretar. Aún cuando las pruebas con corriente directa no simulan las condiciones de operación tan bien como las pruebas con corriente alterna, la experiencia en la industria ha ayudado a desarrollar pruebas que reflejan la “salud” de los cables en alto grado.

Es evidente que la tensión de prueba debe estar relacionada con el nivel básico de impulso (BIL) del sistema, más que con el tipo de espesor del aislamiento.

DEFINICIONES

Corriente directa.- Es una corriente unidireccional. El uso de este término en este capítulo se indica prácticamente como corriente no pulsante.

Tension.- Tensión a corriente directa arriba de 5,000 volts suministrada por el equipo de prueba de capacidad limitada.

Campo.- El término “campo” o “en el campo”, se refiere generalmente a los aparatos instalados en posición de operación; sin embargo, esto puede incluir material que no esté instalado o que ha sido retirado de operación.



Accesorios de cables.- Son los componentes de un sistema de cables que no pueden ser desconectados del mismo y por lo cual estarán sujetos a la máxima tensión de prueba aplicada.

Pruebas de aceptación.- Es la prueba que se hace después de que un cable ha sido instalado, pero antes de ponerlo en servicio normal, con el fin de detectar daños en el embarque o instalación, o errores en la mano de obra de los accesorios.

Prueba de mantenimiento.- Es la prueba que se hace durante la vida de operación de un cable, con el fin de detectar deterioro del sistema y evaluar las condiciones en las que se encuentre operando.

Efecto de la temperatura.- La rigidez dieléctrica de algunos aislamientos se reduce a temperaturas elevadas. Esto requiere una reducción de la tensión de prueba a altas temperaturas.

Condiciones atmosféricas.- La humedad excesiva favorece la condensación sobre las superficies expuestas, pudiendo afectar mucho los resultados de las pruebas. La contaminación de la superficie de las terminales puede incrementar considerablemente la corriente de fuga y provocar el arqueo externo. La densidad del aire afecta la medición de la prueba, incrementando la corriente de fuga.

Campos eléctricos externos.- Algunas pruebas de campo en cables son ejecutadas en la vecindad de equipos energizados, originando que sus campos eléctricos influyan sobre los resultados de las pruebas. Debido al esfuerzo y la ionización del aire entre el circuito bajo prueba y la proximidad de circuitos energizados, es posible que pueda ocurrir arqueo. Cuando el espacio es reducido se tomarán las precauciones necesarias para prevenir los dichos arcos.

12.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Para efectuar esta prueba a un cable se usa un probador de resistencia de aislamiento, el cual puede ser manual, eléctrico o digital. Conectando el cable de línea del equipo al conductor por medir y el cable de tierra a la pantalla del conductor y al sistema de tierras.

Los valores mínimos para cables monopares, deben estar basados en la siguiente ecuación:

$$R = K \log (D/d)$$

Donde:

R = Megaohms por cada 300 metros de cable.

K = Constante para el aislamiento del material.



D = Diámetro exterior del aislamiento del conductor.

d = Diámetro del conductor.

Para cables del tipo multipolar, los valores mínimos de resistencia de aislamiento están dados por la siguiente ecuación:

$$R = K \log (D/d)$$

Donde:

D = d + 2c+2b Diámetro sobre el aislamiento del conductor de un cable monopolar.

d = Diámetro del conductor.

c = Película del aislamiento del conductor.

b = Película de la cubierta de aislamiento.

Los valores mínimos a 60 °F (15 °C) para la constante K son:

2,640 para papel impregnado.

50,000 para polietileno-termoplástico.

12.1.1 PREPARACION DEL CABLE PARA LA PRUEBA.

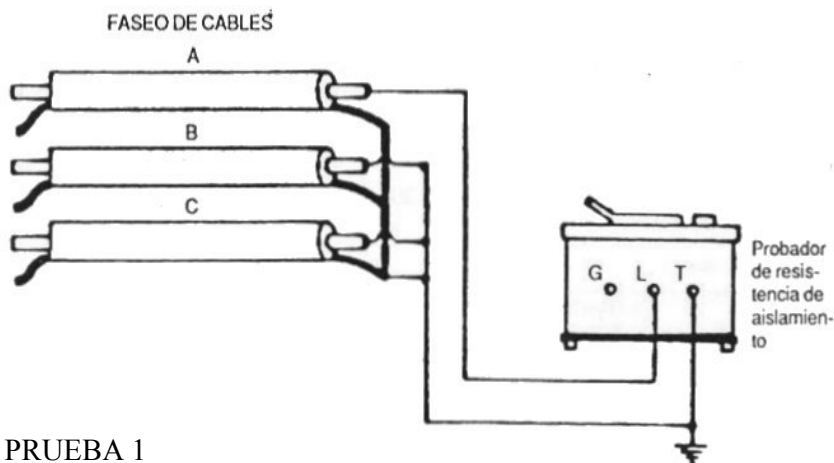
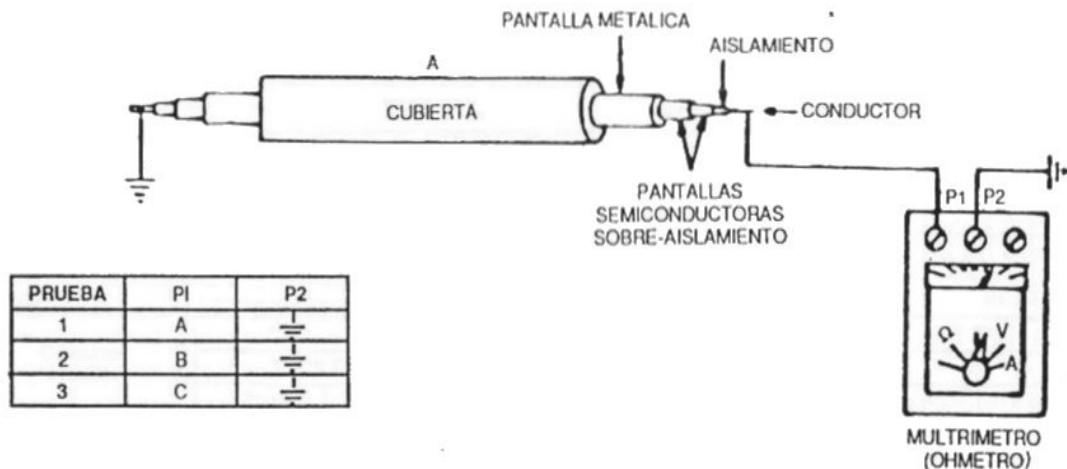
- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Desenergizar completamente el cable y dejar transcurrir cinco minutos para que se descargue, verificar ausencia de potencial con el detector correspondiente.
- c) Por seguridad conectar el cable a traves de un conductor solidamente aterrizado, utilizando una pértiga,
- d) Desconectar las terminales del cable y limpiarlas perfectamente, para evitar errores en la medición.
- e) Antes de efectuar la prueba verificar perfectamente el etiquetado en ambos extremos del cable que se vaya a probar, sin tocar a los otros cables.
- f) Verificar la operación del equipo de pruebas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- g) Al terminar la prueba se debe registrar la temperatura del cable para efectuar la corrección correspondiente.



- h) Al calcular la resistencia del aislamiento se debe efectuar la corrección por longitud ya que esta varía inversamente proporcional con ella.

12.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Las conexiones para realizar la prueba con el equipo se muestra en la FIG. 12.1



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXION DE PRUEBA			
	L	G	T	⏏
1	A	—	B-C	⏏
2	B	—	C-A	⏏
3	C	—	B-A	⏏
4	ABC	—		⏏

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Fig. 12.1 CABLES DE POTENCIA

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-12-01

12.1.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La resistencia del aislamiento de cualquier cable se ve afectada por la temperatura, humedad, suciedad y en general, por las áreas débiles debidas al deterioro por envejecimiento o por daño mecánico. El valor de la resistencia, medido a una tensión y tiempo especificos, representará la influencia de todos esos factores en el aislamiento.

Antes de efectuar la medición es conveniente calcular analíticamente la resistencia del aislamiento del cable, como sigue:

R_i = resistencia del aislamiento en megohms – km

$$R_i = K \log_{10} \left(\frac{D}{d} \right)$$

donde:

R_i = resistencia del aislamiento en megohms – km

K = constante de resistencia del aislamiento (véase tabla 12.1)

D = diámetro sobre aislamiento en milímetros

d = diámetro bajo aislamiento en milímetros

Aislamiento	k (MΩ - km)
Papel impregnado	3 000 a 20°C
SINTENAX	750 a 20°C
Polietileno	15 250 a 15.6°C
VULCANEL XLP	6 100 a 15.6°C
VULCANEL EP	6 100 a 15.6°C

12.1.4 CORRECCION POR TEMPERATURA.

Es necesario corregir la resistencia de aislamiento medida del cable, a la temperatura de referencia y a 1 km de longitud, mediante la siguiente ecuación:

$$R_a = R_m \times f_c \times L$$

En donde:

R_a es la resistencia de aislamiento corregida a la temperatura de referencia de 20 °C y a 1 km de longitud expresada en Megaohms-km

R_m es la resistencia de aislamiento medida en Megaohms



Fc es el factor de corrección a la temperatura de referencia de 20 °C

L es la longitud del cable bajo prueba en km

La resistencia de aislamiento corregida se compara contra la mínima especificada en la norma de producto correspondiente.

Para determinar el factor de corrección (fc) a la temperatura de referencia de 20 °C, se utiliza la tabla 12.1 (Ref. Norma NMX-J-294-1996-ANCE) conociendo la temperatura de medición y el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura por °C, el cual depende del tipo de aislamiento y que generalmente es proporcionado por el fabricante del cable.

**TABLA 12.1 FACTORES DE CORRECCIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
CON LA TEMPERATURA DE REFERENCIA A 20 °C**

Coefficiente de temperatura por °C	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
Temperatura °C	Factores de corrección (Fc)										
0	0.46	0.38	0.31	0.26	0.21	0.18	0.15	0.12	0.10	0.087	0.073
1	0.47	0.40	0.33	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12	0.098	0.083
2	0.49	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.096
3	0.51	0.44	0.37	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
4	0.53	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12
5	0.56	0.48	0.42	0.36	0.32	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14
6	0.58	0.51	0.44	0.39	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
7	0.60	0.53	0.47	0.41	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18
8	0.62	0.56	0.50	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21
9	0.65	0.58	0.53	0.48	0.43	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24
10	0.68	0.61	0.56	0.51	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.29	0.27
11	0.70	0.64	0.59	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.33	0.31
12	0.73	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.47	0.43	0.40	0.38	0.35
13	0.76	0.71	0.67	0.62	0.58	0.55	0.51	0.48	0.45	0.43	0.40
14	0.79	0.75	0.70	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.51	0.48	0.46
15	0.82	0.78	0.75	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59	0.57	0.54	0.52
16	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0.71	0.68	0.66	0.64	0.61	0.59
17	0.89	0.86	0.84	0.82	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
18	0.92	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.78	0.70
19	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
22	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17	1.19	1.21	1.23	1.25	1.28	1.30
23	1.32	1.16	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37	1.40	1.44	1.48
24	1.17	1.22	1.26	1.31	1.36	1.41	1.46	1.52	1.57	1.63	1.69
25	1.22	1.28	1.34	1.40	1.47	1.54	1.61	1.69	1.76	1.84	1.93
26	1.27	1.34	1.42	1.50	1.59	1.68	1.77	1.87	1.97	2.08	2.19
27	1.32	1.41	1.50	1.61	1.71	1.83	1.95	2.08	2.21	2.35	2.50
28	1.37	1.48	1.59	1.72	1.85	1.99	2.14	2.30	2.48	2.65	2.85
29	1.42	1.55	1.69	1.84	2.00	2.17	2.36	2.56	2.77	3.00	3.25
30	1.48	1.63	1.79	1.97	2.16	2.37	2.59	2.84	3.11	3.39	3.71
31	1.54	1.71	1.90	2.10	2.33	2.58	2.85	3.15	3.48	3.84	4.23
32	1.60	1.80	2.01	2.25	2.52	2.81	3.14	3.50	3.90	4.33	4.82
33	1.67	1.89	2.13	2.40	2.72	3.07	3.45	3.88	4.36	4.90	5.49
34	1.73	1.98	2.26	2.58	2.94	3.34	3.80	4.31	4.89	5.53	6.26
35	1.80	2.08	2.40	2.76	3.17	3.64	4.18	4.78	5.47	6.25	7.14
36	1.87	2.18	2.54	2.95	3.43	3.97	4.59	5.31	6.13	7.07	8.14
37	1.95	2.29	2.69	3.16	3.70	4.33	5.05	5.90	6.87	7.99	9.28
38	2.03	2.41	2.85	3.38	4.00	4.72	5.56	6.54	7.69	9.02	10.60
39	2.11	2.53	3.02	3.62	4.32	5.14	6.12	7.26	8.61	10.20	12.10
40	2.19	2.65	3.21	3.87	4.66	5.60	6.73	8.06	9.65	11.50	13.70

**TABLA 12.1 FACTORES DE CORRECCIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
CON LA TEMPERATURA DE REFERENCIA A 20 °C (CONTINUACION)**

Coeficiente de temperatura por °C	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
Temperatura °C	Factores de corrección (Fc)										
0	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.014	0.012
1	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.017	0.014
2	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.018
3	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
4	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
5	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
6	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04
7	0.16	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
8	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
9	0.21	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09
10	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
11	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13
12	0.33	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17
13	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21
14	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.26
15	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33
16	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41
17	0.66	0.64	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.52	0.51
18	0.76	0.74	0.73	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.61
19	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
22	1.32	1.35	1.37	1.39	1.42	1.44	1.46	1.49	1.51	1.54	1.56
23	1.52	1.56	1.60	1.64	1.69	1.73	1.77	1.82	1.86	1.91	1.95
24	1.75	1.81	1.87	1.91	2.01	2.07	2.14	2.22	2.29	2.36	2.44
25	2.01	2.10	2.19	2.29	2.39	2.49	2.59	2.70	2.82	2.93	3.05
26	2.31	2.44	2.57	2.70	2.84	2.99	3.14	3.30	3.46	3.64	3.81
27	2.66	2.83	3.00	3.19	3.38	3.58	3.80	4.02	4.26	4.51	4.77
28	3.06	3.28	3.51	3.76	4.02	4.30	4.59	4.91	5.24	5.59	5.96
29	3.52	3.80	4.11	4.40	4.79	5.16	5.56	5.99	6.44	6.93	7.45
30	4.05	4.41	4.81	5.23	5.69	6.19	6.73	7.30	7.93	8.59	9.31
31	4.65	5.12	5.62	6.18	6.78	7.43	8.14	8.91	9.75	10.70	11.60
32	5.35	5.94	6.58	7.29	8.06	8.92	9.85	10.90	12.00	13.30	14.60
33	6.15	6.69	7.70	8.60	9.60	10.70	11.90	13.30	14.70	16.40	18.20
34	7.80	7.99	9.01	10.10	11.40	12.80	14.40	16.20	18.10	20.30	22.70
35	8.14	9.27	10.50	12.00	13.60	15.40	17.40	19.70	22.30	25.20	28.40
36	9.36	10.70	12.30	14.10	16.20	18.50	21.10	24.10	27.40	31.20	35.50
37	10.80	12.50	14.40	16.70	19.20	22.20	25.50	29.40	33.80	38.70	44.40
38	12.40	14.50	16.90	19.70	22.90	26.60	30.90	35.80	41.50	48.00	55.50
39	14.20	15.80	19.70	23.20	27.30	31.90	37.40	43.70	51.10	59.60	69.40
40	15.40	19.60	23.10	27.40	32.40	38.30	45.30	53.40	52.80	73.90	86.70

12-10



12.2 PRUEBA DE ALTA TENSION (HIGH POT).

Características mínimas del equipo de prueba de alta tensión con corriente directa:

- a) Proveer la máxima tensión de prueba requerida (polaridad negativa) más un pequeño margen.
- b) Tener manera de incrementar la tensión continuamente o por pequeños pasos.
- c) Tener la capacidad de proveer regularización de tensión satisfactoria.
- d) Tener la salida lo suficientemente rectificada como para suministrar una tensión directa aceptablemente pura.
- e) Tener indicadores de tensión y corriente que puedan ser leídos con precisión.
- f) Tener un generador para suministro de potencia con salida constante para el equipo de pruebas.
- g) Debe usarse un resistor con un valor no menor de 10,000 ohms por Kv de tensión de prueba, para descargar el cable después de las pruebas. Este resistor debe estar diseñado para soportar la tensión máxima de prueba sin arquear y además, conducir la energía de descarga sin sobrecalentarse. Debe suministrarse una pértiga aislante y un conductor flexible para conectar el resistor a través de la terminal del cable y tierra.

12.2.1 MÉTODO DE MEDICION.

Todos los elementos requieren desenergizarse antes de la prueba. Se recomienda verificar con un detector de potencial que los cables no están energizados ni cargado capacitivamente y enseguida conectarlos a tierra, la cual deberá permanecer todo el tiempo, excepto cuando se aplique la prueba de alta tensión. Esto se aplica a todas las partes metálicas desenergizadas que se encuentren en la cercanía.

Para reducir la corriente de conducción por lo extremos de las terminales del cable bajo prueba, se debe aislar reduciendo así el grado de concentración de esfuerzos.

12.2.2 CONSIDERACIONES

METODO CONTINUO

El método continuo consiste en aplicar la tensión incrementando aproximadamente 1 kv por segundo o el 75% del valor de la corriente de salida en el equipo. Con algunos equipos de pruebas es imposible alcanzar la tensión máxima en un tiempo específico,

debido a la magnitud de la corriente de carga.

METODO POR PASOS

Este método consiste en aplicar la tensión lentamente en incrementos de 5 a 7 pasos de igual valor, hasta llegar al valor de tensión especificado. Manteniéndose el tiempo suficiente en cada paso para que la corriente de fuga se estabilice. Normalmente esto requiere de sólo unos cuantos segundos, a menos que los cables del circuito tengan capacitancia alta. La ventaja de este método es que permite tomar valores de corriente de fuga en cada paso, para trazar la curva después.

La especificación para cables con pantallas para pruebas de aceptación en campo recomienda que el voltaje de prueba no sea mayor del 80% de la tensión de prueba de fábrica. Esta tensión máxima de prueba debe mantenerse por 15 minutos, durante los cuales se toman valores de la corriente de fuga. La prueba se considera como buena a menos que el interruptor del circuito del equipo de pruebas opere si el cable falla.

Para pruebas subsecuentes con propósito de verificación durante acciones de mantenimiento, el nivel de pruebas debe reducirse al orden del 65% durante 5 minutos.

Los porcentajes expresados anteriormente son con base a la denominada "tensión nominal de prueba", cuyas magnitudes se indican tabla 12.2.

TABLA 12.2 TENSION NOMINAL DE PRUEBA PARA CABLES DE POTENCIA

CLASE DEL CABLE (kV)	TENSION NOMINAL DE PRUEBA (kV CD)	TIEMPO DE APLICACIÓN (MINUTOS)
15	56	5
25	80	5
35	100	5
69	180	5
115	225	5
138	236	5

En la FIG. 12.2 se muestra el diagrama eléctrico equivalente completo de un cable de potencia y en las FIG. 12.3 y 12.4 se tienen su diagrama vectorial y la variación de la corriente de fuga.

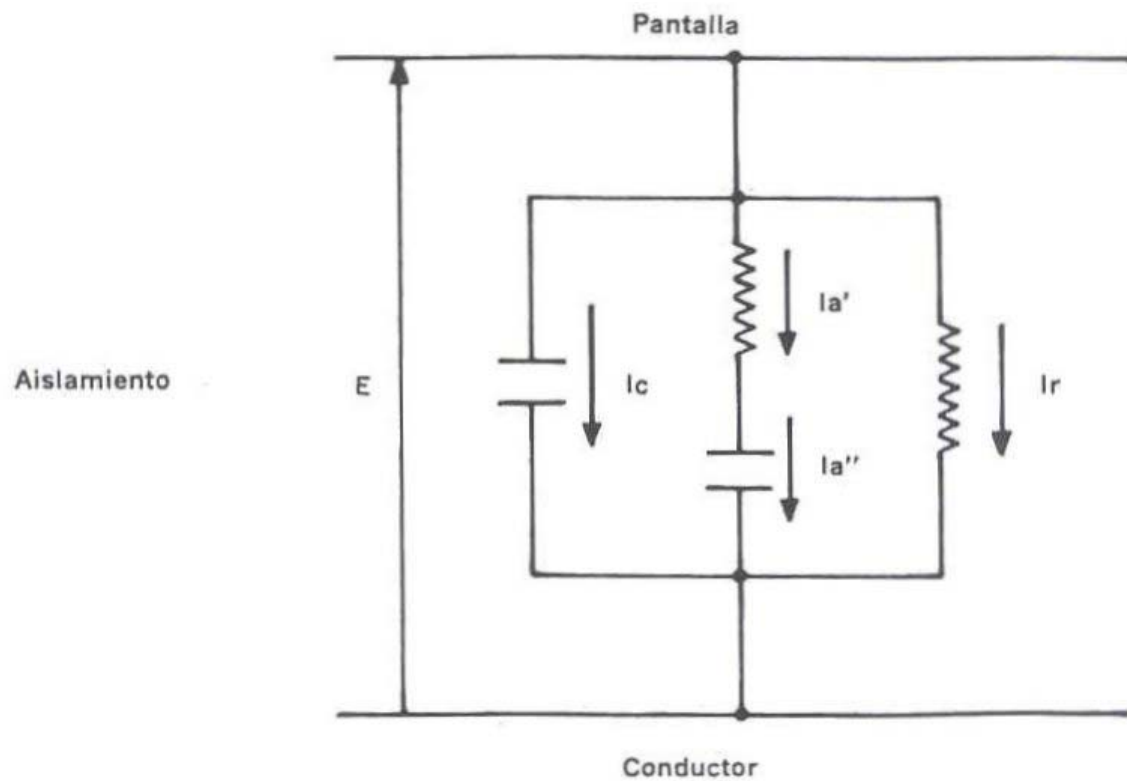


FIG. 12.2 DIAGRAMA ELÉCTRICO EQUIVALENTE COMPLETO DE UN CABLE DE POTENCIA.

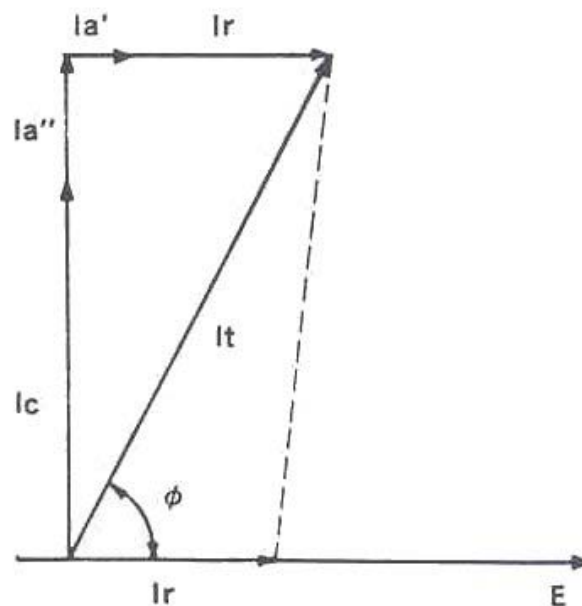


FIG. 12.3 DIAGRAMA VECTORIAL PARA UN CABLE DE POTENCIA

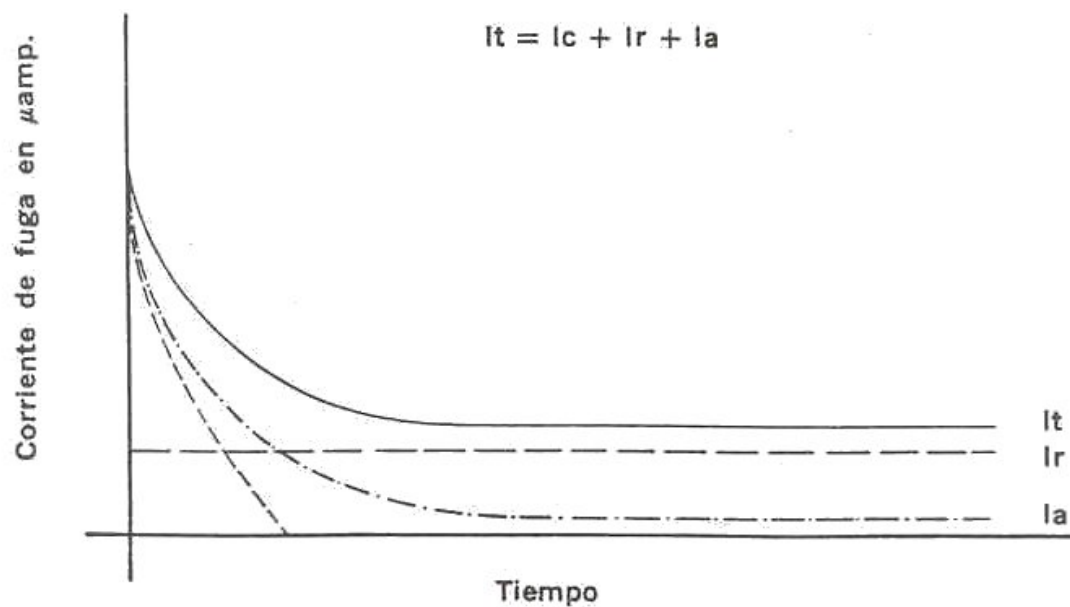


FIG. 12.4 VARIACIÓN DE LA CORRIENTE DE FUGA I_T EN EL TIEMPO, PARA UN CABLE DE POTENCIA

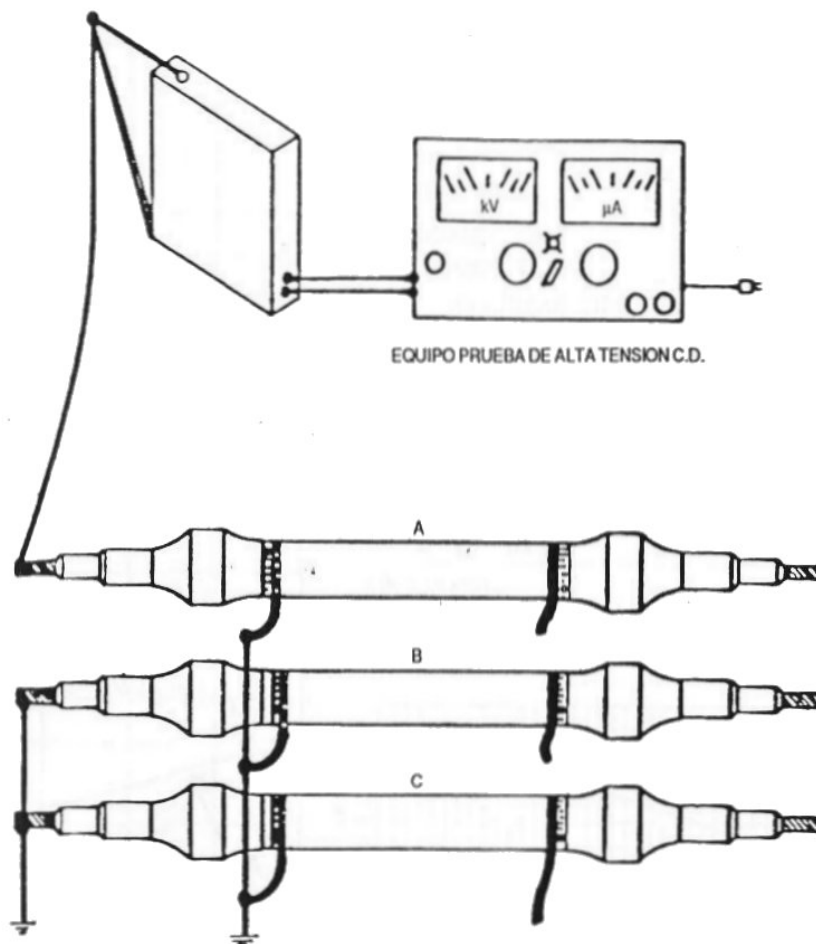


12.2.3 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Desenergizar completamente el cable y dejar transcurrir cinco minutos para que se descargue, verificar ausencia de potencial con el detector correspondiente.
- c) Por seguridad conectar el cable a traves de un conductor solidamente aterrizado, utilizando una pértiga.
- d) Desconectar las terminales del cable y limpiarlas perfectamente, para evitar errores en la medición.
- e) Antes de efectuar la prueba verificar perfectamente el etiquetado en ambos extremos del cable que se vaya a probar, sin tocar a los otros cables.
- f) Verifique la operación del equipo de pruebas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- g) Antes de aplicar la prueba de tensión, el sistema de cables debe estar a temperatura ambiente.
- h) Cada conductor debe ser probado primero con el probador de resistencia de aislamiento antes de iniciar estas pruebas.

12.2.4 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

Las conexiones para realizar la prueba con el equipo se muestran en la FIG. 12.5



EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	LÍNEA	ATERRIZADO
1	A	B,C Y MALLA
2	B	A,C Y MALLA
3	C	A,B Y MALLA

Fig. 12.5 CABLES DE POTENCIA

PRUEBA DE ALTA TENSION C.D.

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-12-02



12.2.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La corriente de prueba se incrementa momentáneamente por cada aumento en la tensión debido a la carga de la capacitancia y a las características de absorción del dieléctrico del cable. Ambas corrientes decaen, la corriente capacitiva en pocos segundos y la corriente de absorción con mas lentitud y por último, la corriente de conducción, de fuga o por corona se agrega a las superficies de las terminales. El tiempo requerido para que la corriente de conducción alcance a estabilizarse depende de la temperatura del aislamiento y del material.

Si la tensión se mantiene constante y la corriente empieza a incrementarse es indicativo de que el aislamiento empieza a ceder en algún punto donde tenga un daño. Probablemente este proceso continuará hasta que el cable falle, a menos que se reduzca la tensión rápidamente.

Si en cualquier momento durante la prueba, ocurre un incremento violento de la corriente, haciendo operar el interruptor del equipo, es probable que el cable haya fallado o se haya presentado un arqueo en alguna terminal. Se puede confirmar la presencia de una falla al intentar aplicar una vez mas la tensión.

Calcular y graficar la corriente de fuga contra la tensión, en conjunto con la prueba de tensión por pasos, constituye una ayuda para evaluar las condiciones de aislamiento.

Se deben guardar las gráficas de las mediciones para compararlas con mediciones futuras.

12.3 PRUEBA DE MEDIA TENSIÓN CON MUY BAJA FRECUENCIA (VERY LOW FREQUENCY – VLF).

La prueba de Media Tensión, es una prueba fundamentalmente de puesta en servicio y tiene por objeto detectar todos aquellos defectos o anomalías que pudieran tener los cables de potencia y dispositivos asociados (accesorios premoldeados, terminales, etc.), antes de entrar en operación y debe aplicarse al sistema completo de canalización subterránea, teniendo cuidado de no incluir los devanados de transformadores de potencia, de servicios propios y de potencial, por lo que al efectuar la prueba de M.T. con VLF, se deben abrir los interruptores, cuchillas, seccionadores o cortacircuitos fusibles de potencia que se encuentren asociados a ambos extremos del cable por probar.

La prueba se realiza por medio de un equipo que genera a una frecuencia de por lo general 0.1 Hz. Típicamente esta unidad comprende una fuente de corriente directa, un circuito desconector de media tensión, un reactor para la inversión de la polaridad y un capacitor de apoyo para compensar muestras bajo prueba de baja capacitancia. El equipo contiene los medidores y métodos de prueba que registran las corrientes de fuga y permiten obtener los resultados de la prueba.

12.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1, sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Verificar que los cables que se van a probar se encuentren desenergizados totalmente y que son exactamente los que se quieren probar.
- c) Desconectar y poner a tierra todos aquellos cables y equipos que no deben entrar en la prueba, igualmente todas aquellas partes metálicas que se encuentren en las cercanías del cable y equipos bajo prueba.
- d) Todos los extremos de los componentes que están bajo prueba, deben protegerse de contactos accidentales, por medio de barreras o con personal que vigile el área de peligro.
- e) Verificar que todo tipo de transformadores que se encuentren conectados al cable bajo prueba esten desconectados del cable, para impedir que la tensión de prueba llegue a sus devanados, ya que a través de éstos quedaría el cable conectado a tierra.
- f) Verificar que todos los accesorios premoldeados conectados al cable bajo prueba se encuentren debidamente puestos a tierra a través del ojillo que para ese efecto tienen, y que la pantalla del cable este debidamente puesta a tierra.



- g) Una vez cubiertos todos los pasos anteriores preparar el equipo de prueba de acuerdo a su instructivo (hay varias marcas de equipo y obviamente cada una tiene sus propias indicaciones para la conexión y operación). Verificar que la consola de control y el módulo de prueba estén debidamente puestos a tierra.
- h) Soportar mediante algún herraje debidamente aislado, el cable de Media Tensión del módulo, para probar el equipo en vacío y verificar su correcta operación.
- i) Algunos equipos tienen un interruptor adicional de seguridad, con el propósito de que el equipo sea inmediatamente descargado y desenergizado cuando se presione este interruptor de emergencia o cuando deje de presionarse según el modelo del equipo.
- j) Si una vez energizado el equipo no trabaja a pesar de encontrarse correctamente conectado, revisar la perilla del reóstato, probablemente no se encuentre en la posición de cero, lo que bloquea el circuito.
- k) Después de verificar el correcto funcionamiento del equipo de prueba, se debe apagar y conectar la salida de Alta Tensión del equipo al cable bajo prueba.
- l) Colocar el amperímetro en la escala de microamperes (si es seleccionable) y el reóstato en cero, iniciar la prueba elevando lenta y suavemente la corriente por medio del reóstato, en pasos, hasta alcanzar el nivel de tensión de prueba requerido (22.9 kV para sistemas de 13.2 kV; 40 kV para sistemas de 23 kV y 60 kV para sistemas de 34.5 kV). La duración de la prueba es de una hora. Reducir el tiempo de prueba puede causar que no se detecte alguna falla en el cable, lo cual pudiera originar un disturbio cuando ya se encuentre en operación.
- m) En el momento que se alcance la tensión de prueba, se debe mantener esta tensión y observar el amperímetro, buscando lecturas irregulares, caídas o incrementos durante la prueba. Incrementos obtenidos después de cargar el cable indican una posible falla en el corto tiempo. Después de terminar los 60 minutos, regresar lentamente el reóstato a cero y esperar que la tensión se reduzca a un nivel abajo del 50 % de la tensión máxima de prueba antes de apagar la unidad completamente.
- n) Si la prueba se completó sin problemas, graficar los valores obtenidos en el formato correspondiente (tiempo-mili amperes), e interpretar la gráfica.
- o) Si el equipo se descarga en el transcurso de la prueba es un signo inequívoco de falla en algún elemento del circuito. Esto es indicado por una luz roja o en una pantalla, señalando la falla del cable durante la prueba.
- p) Si la descarga o falla del cable ocurrió antes de llegar a los 60 minutos del periodo de prueba, no se concluyó con la prueba de VLF. Es necesario entonces registrar



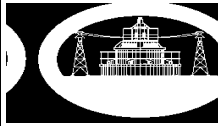
el tiempo transcurrido y continuar con el tiempo restante después de localizar y reparar la falla. Algunos temporizadores están equipados para hacer esto automáticamente.

- q) Si durante el transcurso de la prueba se abate el voltaje y la corriente, revisar la fuente que alimenta al equipo, puede haber fallado o haber tenido una falta de tensión lo que ocasionó que se desenergizara el equipo.
- r) Si fue la fuente que alimenta el equipo la que falló, se debe encender de nuevo el equipo y elevar lenta y constantemente la tensión hasta alcanzar la que se tenía antes de la interrupción y continuar la prueba desde ese punto.
- s) Poner a tierra el equipo y la terminal o terminales bajo prueba, revisar el equipo y la instalación para ver si encuentra algo evidente que haya provocado la falla, en caso de que no se observe nada irregular, retirar las tierras de la terminal bajo prueba y del equipo.
- t) Localizar y reparar la falla mediante alguno de los métodos disponibles.
- u) Continuar la prueba con el tiempo restante.
- v) Se debe esperar a que la tensión vaya decreciendo por sí sola, no tratar de descargar con alambres puestos a tierra, ya que esto podría dañar el cable o el equipo de prueba, en caso de que requiera descargar con mayor rapidez el cable, utilizar el interruptor de emergencia de apagado el cual ya tiene una resistencia integrada de descarga.

12.3.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Una vez concluida la prueba graficar los resultados. En general, si después de la primera lectura a tensión de prueba, la corriente tiende a bajar o se estabiliza en los subsecuentes minutos, el cable está en buenas condiciones.

Si la corriente en lugar de bajar o estabilizarse sube, el cable acusa humedad o contaminantes y por lo tanto es un cable con posibilidades de falla inmediata a pesar de que pase la prueba. En este caso es recomendable extender el tiempo de prueba otros 15 minutos



DIVISION
ZONA

FORMATO PARA TOMA DE LECTURAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y ALTA TENSIÓN DE CABLES DE MEDIA TENSIÓN

CONEXIÓN CABLE _____ A _____

Marca cable		Tensión	

Aislamiento	Calibre

Forro	No. Cond. / fase

Pantalla	Temperatura
1	25.0
2	25.0
3	25.0
4	25.0
5	25.0
6	25.0
7	25.0
8	25.0
9	25.0
10	25.0
11	25.0
12	25.0
13	25.0
14	25.0
15	25.0
16	25.0
17	25.0
18	25.0
19	25.0
20	25.0
21	25.0
22	25.0
23	25.0
24	25.0
25	25.0
26	25.0
27	25.0
28	25.0
29	25.0
30	25.0
31	25.0
32	25.0
33	25.0
34	25.0
35	25.0
36	25.0
37	25.0
38	25.0
39	25.0
40	25.0
41	25.0
42	25.0
43	25.0
44	25.0
45	25.0
46	25.0
47	25.0
48	25.0
49	25.0
50	25.0
51	25.0
52	25.0
53	25.0
54	25.0
55	25.0
56	25.0
57	25.0
58	25.0
59	25.0
60	25.0
61	25.0
62	25.0
63	25.0
64	25.0
65	25.0
66	25.0
67	25.0
68	25.0
69	25.0
70	25.0
71	25.0
72	25.0
73	25.0
74	25.0
75	25.0
76	25.0
77	25.0
78	25.0
79	25.0
80	25.0
81	25.0
82	25.0
83	25.0
84	25.0
85	25.0
86	25.0
87	25.0
88	25.0
89	25.0
90	25.0
91	25.0
92	25.0
93	25.0
94	25.0
95	25.0
96	25.0
97	25.0
98	25.0
99	25.0
100	25.0

RESISTENCIA AISLAMIENTO / MINUTO

Megger No _____ Marc _____ Volts _____ Eescala _____

_____ a _____

[illegible]

AD o DP / HV = ANTES O DESPUES DE PRUEBA DE ALTA TENSION C.D.

PRUEBA DE ALTA TENSION DE C.D.

$$F_O R_{IX} = K_t$$

56 °C

HI POT No.	Marca	Tensión	Escala

[illegible]

Probó : _____ Fecha: _____

Revisó: _____ Fecha: _____

FORMATO SE-12-01



DIVISIÓN
ZONA
**REPORTE DE PRUEBAS DE ALTO POTENCIAL C.D.
CABLES DE POTENCIA Y ACCESORIOS**

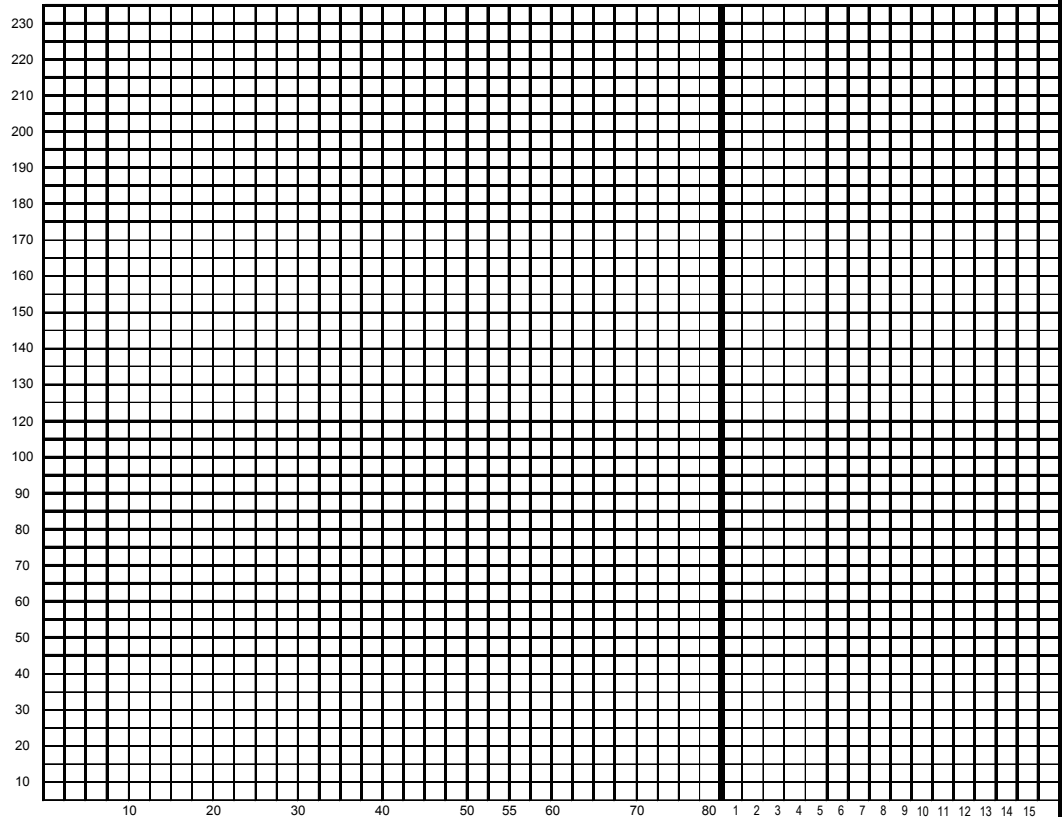
LUGAR: _____ FECHA: _____
CIRCUITO: _____

	F - 1	F - 2	F - 3
HORA INICIO			
% kV	kV	MICRO AMPERES	
	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	55		
	60		
	70		
	80		

USUARIO: _____
CABLE: NUEVO _____ FECHA DE FABRICACION _____
USADO _____ AÑOS _____
MARCA DEL CABLE _____ KV NOM. _____
TIPO DE AISLAMIENTO _____ ESPESOR _____ mm
CALIBRE _____ LONGITUD / FASE _____
CONDUCTOR CU _____ AL _____ H. RELATIVA _____
TEMPERATURA _____ °C EQUIPOS INCLUIDOS _____
TERMINALES / FASE _____ EMPALMES / FASE _____
ACCESORIOS / FASE _____ BOQUILLAS TIPO POZO _____
BOQUILLAS TIPO PERNO _____ BUSHING INSERTO _____
OP. C / C _____ BUSHING INSERTO _____ OP. S / C _____ CODO _____
OP. C / C _____ CODO OP. S / C _____ CODO BASICO 600 A _____
PRUEBA ANTERIOR: _____ SI _____ NO _____ AÑO _____
RESULTADO ANTERIOR: _____
OBSERVACIONES: _____

RESULTADO: _____
Vo. Bo. LAPEM No. _____ VENCIMIENTO: _____

CO
RR
IE
NT
E
DE
FU
GA
EN
MI
CR
O
AM
PE
RE
S



FASE 1 _____
FASE 2 - - - - -
FASE 3 - - - - -

REALIZO PRUEBAS

Vo. Bo. C.F.E.

Nombre y Firma

Nombre y Firma

FORMATO SE-12.2



CAPITULO 14

FLUIDOS AISLANTES

TEORIA GENERAL.

En la industria eléctrica la calidad del fluido aislante se desarrolla de manera simultanea con la evolución de los equipos eléctricos, en busca de optimizar la capacidad refrigerante y aislante de los fluidos se han sintetizado compuestos similares a los aceites aislantes pero con propiedades fisico-químicas superiores, como un incremento en la temperatura de inflamación ó un bajo punto de congelación.

El R-Temp se destaca por su característica de baja toxicidad y su estructura biodegradable, contraria a los bifenilos policlorados que requieren de una incineración a mas de 1000°C en un horno especial y son considerados altamente nocivos para la salud, estos se encuentran en proceso de erradicación.

El hexafloruro de azufre es utilizado como aislante en subestaciones encapsuladas, interruptores de potencia, restauradores, etc, es uno de los fluidos gaseosos en torno al cual se está estudiando más, tanto sus propiedades dieléctricas, así como su efectos adversos para el ambiente.

14.1 ACEITES AISLANTES

El aceite mineral como medio aislante y refrigerante. es el más usado para transformadores de potencia, se han desarrollado nuevas tecnologías para su refinación adaptandose a las necesidades específicas de los equipos de acuerdo a la finalidad y diseño de estos

Los aceites derivados del petróleo, básicamente están formados por carbono e hidrógeno, se consideran parafínicos aquellos de cadena lineal o ramificada conocidos como n-alcanos, estos compuestos debido a su estructura química son más inestables que los nafténicos y aromáticos. Las moléculas nafténicas también conocidos como cicloalcanos, definen la calidad del aceite, se encuentran formados por estructuras ciclicas de 5, 6 ó 7 carbonos y sus propiedades dieléctricas son mejores por tener mayor solubilidad que los n-alcanos; en menor proporción todos los aceites para transformador contienen moléculas aromáticas, estas contienen como mínimo un anillo de seis átomos de carbono, unidos por dobles enlaces, conocido como benceno. Los hidrocarburos aromáticos se distinguen de los demás no solo en su estructura química, también tienen grandes diferencias en sus propiedades físicas y químicas con las moléculas nafténicas y parafínicas. La variedad de hidrocarburos presentes en los aceites aislantes dependerá de los procesos de refinación que se le hagan al petróleo, cuya composición química depende de su origen.

Hasta hace poco tiempo con sólo determinar el tipo básico, indicaba ya la calidad del aceite, con esto se decía que el aceite nafténico era de mejor calidad y por lo tanto se podía usar en equipo de alto voltaje y que el parafínico era de inferior calidad y sólo podía usarse en equipo de bajo voltaje ó en transformadores de distribución.

Se considera que es la forma de destilación y los aditivos aplicados lo que proporciona la calidad del aceite, por lo que el análisis del mismo es el que indicará si es ó no adecuado para el equipo de que se trate. Las características finales deseadas de un aceite aislante han sufrido modificaciones, de acuerdo a la experiencia y conocimientos, en el pasado lo único buscado y que decidía la calidad de un aceite era su estabilidad a la oxidación, por lo tanto se desarrollaron numerosos métodos de prueba, más tarde cambió este criterio en favor de propiedades físico-químicas, tales como el factor de potencia y la tensión de ruptura.

En la actualidad la tendencia es relacionar las características de los aceites con su composición química. De acuerdo a esto se han obtenido muchos procesos para coordinar el uso de materias primas adecuadas con diferentes reactivos y obtener el aceite de mejor calidad. De esta manera el concepto de aceites malos y buenos ha desaparecido ya que las investigaciones actuales nos dicen que la mezcla de hidrocarburos permite un mejor aprovechamiento de las propiedades de cada uno.

La materia prima para la fabricación de aceites aislantes, está constituida por hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos (ver figura 14.1); así mismo se encuentran presentes en concentraciones muy bajas, compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno que son denominados compuestos polares que dan al aceite su inestabilidad a la oxidación.

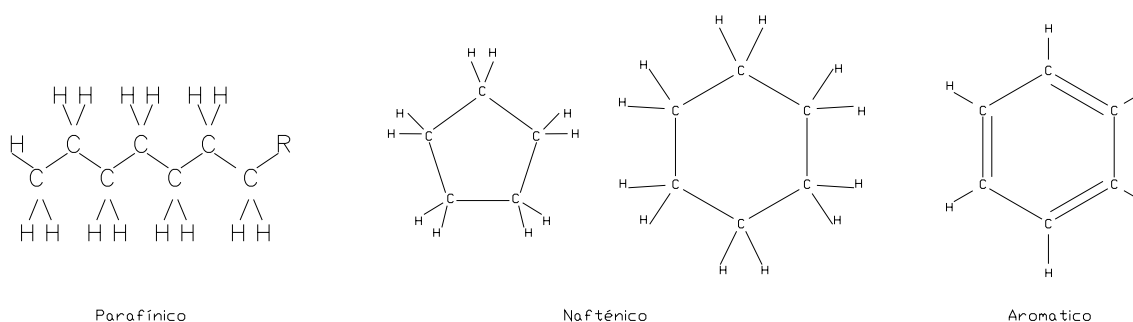


FIG. 14.1 ESTRUCTURAS MOLECULARES DE ACEITES AISLANTES

Los procesos existentes para la obtención de aceites aislantes, se han desarrollado para eliminar los componentes indeseables y conservar los deseables de las materias primas.

En la eliminación de los compuestos indeseables por medio de la extracción con compuestos apropiados, entre los más comúnmente usados están el ácido sulfúrico y el furfural, siendo éste el disolvente más selectivo. Los compuestos aromáticos son también eliminados, pero esto puede controlarse mediante la relación aceite-furfural. De acuerdo a ello se pueden obtener aceites aislantes con diversos contenidos de los componentes antes mencionados; aunque no se han podido establecer las condiciones adecuadas para eliminar solamente los compuestos polares.

Con el objeto de determinar la calidad de un aceite es necesario efectuar análisis al mismo, así como entender que se está midiendo y el criterio a seguir con los resultados obtenidos.

Los aceites aislantes que se utilizan en transformadores e interruptores, cumplen varias funciones importantes. Con respecto a los transformadores, el aceite forma parte del sistema de aislamiento y por otro lado actúa como agente enfriador, transportando el calor del núcleo y bobinas a la zona de disipación final. Por lo que respecta a los interruptores además de ser parte del sistema de aislamiento, su principal función es la de extinguir el arco eléctrico durante la apertura de sus contactos.

Las causas más comunes del deterioro del aceite en los transformadores son entre otras, la contaminación, humedad, la formación de ácidos y la oxidación. La humedad reduce notablemente las propiedades dieléctricas del aceite aislante, en tanto que los ácidos orgánicos además de ser conductores ayudan a retener agua.

El proceso del deterioro del aceite en interruptores es diferente al de los transformadores, cuando el interruptor abre con carga o bajo falla se forma un arco eléctrico a través del aceite, si éste contiene oxígeno, primeramente se formará agua y bióxido de carbono, cuando el suministro de oxígeno se agota, comienza a formarse hidrógeno y partículas de carbón, el hidrógeno se disipa como gas, en tanto que la presencia de partículas de carbón contamina el aceite mucho antes de que el deterioro por oxidación llegue a ser significativo.

14.1.1 PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA O TENSION DE RUPTURA.

Por definición la tensión de ruptura eléctrica de un aceite aislante es una medida de su habilidad para soportar un esfuerzo eléctrico. Esta prueba es frecuentemente realizada la medición nos permite conocer la resistencia dieléctrica momentánea de un aceite al paso de la corriente al aplicarle un voltaje además de la presencia de agua libre, polvo, lodos o cualquier partícula conductora presente en la muestra.

De acuerdo a la ASTM existen dos métodos para las pruebas de rigidez dieléctrica: el establecido por la norma B-877 y la B-1816. El aparato que se utiliza para el método ASTM D-877, consiste en un transformador, un regulador de voltaje, un interruptor, un voltmetro y una copa de prueba. Esta copa de prueba tiene dos electrodos en forma de disco que se separan 2.5 mm con las caras perfectamente paralelas.

14.1.1.1 RECOMENDACIONES Y PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Tanto los electrodos como la copa deben lavarse con aceite aislante en buenas condiciones o con el aceite que se va a probar. Evitar tocar los electrodos y el calibrador con los dedos, en caso de condensación en la copa se deberá calentar ligeramente para evaporar la humedad antes de usarla.
- b) Al iniciar las pruebas se deben examinar los electrodos asegurándose que no existan escoriaciones causadas por el arco eléctrico o acumulación de contaminantes. Si las escoriaciones son profundas se deben pulir. El carbón y la suciedad deben eliminarse calibrando posteriormente la distancia entre los electrodos.
- c) Después de efectuar la limpieza, enjuagar la copa con aceite y efectuar una prueba de ruptura siguiendo las indicaciones que se describen posteriormente.

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

- Limpiar y drenar previamente la válvula de muestreo.
- Enjuagar el recipiente de prueba cuando menos una vez con el aceite que se va a investigar.
- Nunca tomar una muestra si la humedad relativa es mayor de 75%.
- Evitar el contacto del recipiente de prueba con la válvula de muestreo, los dedos y otros cuerpos extraños.

La temperatura del aceite al efectuar la prueba deberá ser a la temperatura ambiente pero en ningún caso deberá efectuar la prueba con temperaturas de menos de 20°C.

El Método ASTM D-1816 es similar al D-877 solo difiere en que los electrodos son semiesféricos en lugar de planos, separados entre sí 1 mm y cuenta con un medio de agitación para proporcionar una circulación lenta del aceite, este método de prueba es más representativo de las condiciones que trabaja el aceite, aún cuando no es de mucha utilización.

Por lo anterior es recomendable contar con un aparato con las siguientes características:

- 1) Rango de voltaje de 0 a 60 kv

2) Electrodos intercambiables para cubrir las necesidades de las normas

3) Que el incremento de voltaje sea automático y cuente con dos velocidades de incremento de voltaje que marcan las normas además, de estar provistos de un agitador.

4) Que sea portátil.

Para el método ASTM D-877 la copa se debe llenar hasta un nivel no menor de 20 mm sobre la parte superior de los dos electrodos, con objeto de permitir que escape el aire, deberá dejarse reposar durante no menos de dos minutos y no más de 3 minutos antes de aplicar el voltaje; después se aplica gradualmente el voltaje a una velocidad aproximada de 3 kV por segundo, hasta que se produzca el arco entre los electrodos, abriendo el interruptor; el operador lee el voltmetro y registra la lectura en kV.

Se efectuará la prueba a dos muestras diferentes, si ninguno de los dos valores es menor al valor mínimo permitido, fijado en 30 kV, no se requerirán pruebas posteriores y el promedio de las dos lecturas se reportará como la rigidez dieléctrica de la muestra. Si cualquiera de los valores es menor que 30 kV, deberán efectuarse una tercera prueba y promediar los resultados.

Para el método ASTM D-1816 las diferencias son las siguientes:

- Se aplica el voltaje gradualmente a una velocidad de 500 volts por segundo.
- Debe haber un intervalo de por lo menos 3 minutos entre el llenado de la copa y la aplicación de la tensión para la primera ruptura y por lo menos intervalos de un minuto entre aplicación de la tensión en rupturas sucesivas.
- Durante los intervalos mencionados como en el momento de la aplicación de la tensión; el propulsor debe hacer llegar el aceite.

14.1.2 RESISTIVIDAD DEL ACEITE.

La Resistividad del Aceite es una medida de sus propiedades aislantes. Una alta resistividad refleja el bajo contenido de iones libres (compuestos polares) y normalmente indica una concentración baja de materiales contaminantes conductores.

La prueba de Resistividad o resistencia específica, es importante cuando se investiga equipo cuya resistencia de aislamiento haya disminuído, pudiendo ser una baja resistividad del aceite una de las causas. La prueba de resistividad da resultados más consistentes que la prueba de rigidez dieléctrica, de tal forma que la reducción de la resistividad con el envejecimiento es una valiosa indicación para determinar la capacidad



de resistencia a la oxidación del aceite. La resistividad de cualquier material está dada por la ecuación:

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

dónde:

ρ - resistividad en ohms. cm.

L.- Longitud en centímetros entre los dos puntos donde se aplica una diferencia de potencial, y

R.- resistencia en ohms, que se opone al flujo de corriente.

14.1.2.1 TECNICA APLICADA.

En la práctica, la Resistividad del Aceite se mide con el Medidor de resistencia de aislamiento el cual cuenta con una celda de prueba diseñada de manera que el aceite quede contenido en el espacio anular entre dos electrodos cilíndricos que tienen una gran área superficial (A) y un pequeño espaciamiento entre sí (L). Se aplica un potencial de corriente directa con el Medidor de resistencia de aislamiento, obteniéndose la resistencia (R), la cual multiplicada por la constante de la celda (A/L) da como resultado la resistividad, en la actualidad existen celdas que el resultado se obtiene en forma directa, es decir sin la necesidad de utilizar un multiplicador o constante.

La Resistividad del Aceite varía con la magnitud del voltaje aplicado, el tiempo de aplicación del voltaje y de la temperatura del aceite. Para que ésta prueba sea comparable con el tiempo, será necesario que se efectúe siempre a las mismas condiciones; se recomienda que éstas sean:

VOLTAJE DE PRUEBA 2500 a 5000 Volts.

TIEMPO DE PRUEBA 1 Minuto.

TEMPERATURA APROXIMADA 20 °C.

En aceites nuevos se obtienen valores de resistividad practicamente de infinito.

Deben tomarse las precauciones necesarias para que la muestra de aceite sea verdaderamente representativa del equipo; para esto debe drenarse aceite de la válvula de muestreo del equipo que se va a probar, para que cualquier suciedad o agua acumulada en esta válvula sea eliminada, antes de tomar la muestra.



14.1.2.2 PROCEDIMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

1) Después de ajustar el Medidor de resistencia aislamiento en forma convencional, se procede a conectar la celda, la cual tiene tres puntos de conexión, la manera de conectar el Medidor de resistencia de aislamiento se indica a continuación.

a) La terminal "LINEA" del Medidor de resistencia de aislamiento se conecta a la terminal vertical superior de la celda.

b) La terminal "GUARDA" del Medidor se conecta a la terminal horizontal intermedia, que está formada por un aro metálico.

c) La terminal "TIERRA" del Medidor se conecta a la terminal horizontal de la celda, que sobresale de una parte aislante. La fig. No. 14.2 muestra la conexión del medidor a la celda de prueba.

d) Se procede a energizar la celda con un voltaje de 2500 a 5000 volts y la lectura será tomada después de que se ha sostenido un minuto el potencial.

El valor obtenido en Megaohms se multiplica por la constante de la celda (1000), en caso de que aplique, con lo que se tendrá la resistividad en Mega-ohms-cm.; en la actualidad existen algunos equipos que el resultado de la prueba es directo inmediatamente después de la prueba deberá registrarse la temperatura del aceite, ya que el valor obtenido se afectará por éste parámetro.

2) Se deberán guardar las mismas precauciones que para las pruebas anteriores y cuando no se encuentre en uso la celda de prueba, ésta debe mantenerse en un recipiente con aceite aislante limpio para prevenir que se contamine con la humedad del ambiente.

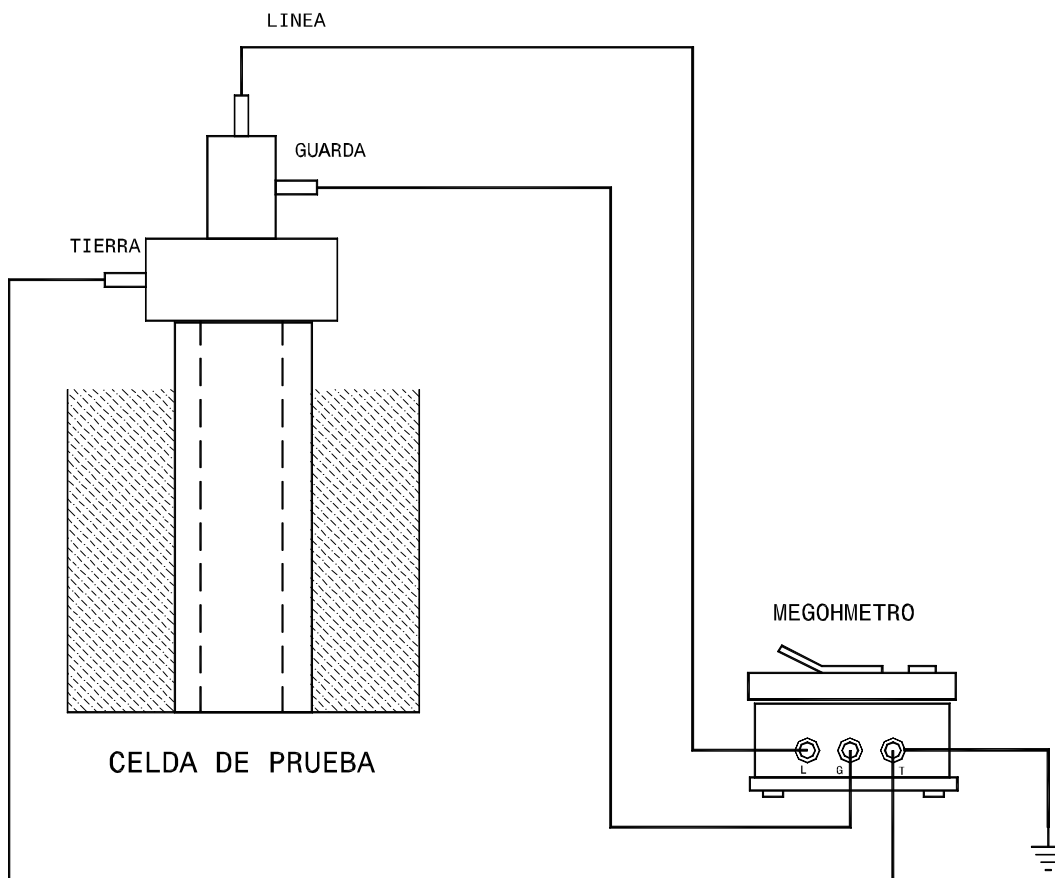


FIG. 14.2 ACEITE AISLANTE

PRUEBA DE RESISTIVIDAD

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-14-01

14.1.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Un valor de 50×10^6 megaohms.cm a 20°C como mínimo se considera como satisfactorio para operación.

Valores menores se consideran como inadecuados por la cantidad de sustancias ionicas en el aceite.

En aceites nuevos el valor debe ser mayor de 250×10^6 megaohms-cm; para aceites en servicio una resistividad de 50×10^6 megaohms-cm es aceptable y finalmente los aceites deben estar sujetos a una investigación más detallada si tienen valores abajo de 50×10^6 megaohms-cm.

Además de la pruebas eléctricas mencionadas existen las siguientes: tendencias a la gasificación, impulso eléctrico, prueba de oxidación acelerada y la prueba de compatibilidad.

14.1.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia es una prueba para evaluar la condición del aceite aislante desde el punto de vista dieléctrico. El Factor de Potencia de un aceite es la relación de la potencia disipada en watts en el aceite, entre el producto del voltaje efectivo y la corriente, expresado en voltampers. Esto es numéricamente equivalente al coseno del ángulo de fase o al seno del ángulo de pérdidas; es una cantidad adimensional, expresada normalmente en porcentaje.

Un requisito que debe cumplir un buen aceite es la ausencia de agua y otros compuestos contaminantes para evitar la degradación y la falta del aislante.

La especificación (CFE D3100-19 vigente) para aceite nuevo es 0.05 % a 25 °C y 0.3 % a 100 °C. Para aceites en servicio el criterio a seguir varía de acuerdo al nivel de aislamiento y capacidad del transformador.

Para efectuar la prueba de Factor de Potencia del aceite, se utiliza el medidor de factor de potencia que cuente con una celda especialmente preparada para ello, la cual es en esencia una capacitor que utiliza el aceite como medio dieléctrico.

14.1.3.1 PREPARACION DE LA MUESTRA.

Deben tomarse las precauciones necesarias para que la muestra sea verdaderamente representativa del equipo, ya sea transformador o interruptor; etc para esto, debe drenarse aceite de la válvula de muestreo del equipo que se va a probar, para eliminar cualquier suciedad o agua acumulada en la válvula.

La muestra se deja reposar durante un tiempo, de 2 a 3 minutos antes de efectuar la prueba, para que el aire atrapado pueda escapar y las partículas de material extraño se depositen en el fondo de la celda.



14.1.3.2 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Se debe tener extrema precaución con las partes vivas tanto para el personal, como para el equipo ya que el voltaje es alto, y la copa de prueba debe estar aislada de tierra
- b) Es importante limpiar perfectamente la celda con el mismo aceite a probar antes de efectuar la prueba pues de ello depende la confiabilidad de los resultados.
- c) Manejar la celda con mucho cuidado, tanto al ser utilizada, como al transportarla, para conservarla en buen estado; ya que las escoriaciones y abolladuras restan confiabilidad a los resultados, se recomienda mantenerla llena de aceite al estar almacenada.

14.1.3.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Primeramente, para efectuar ésta prueba, deberá tenerse listo y en condiciones de operar el equipo, conectandose a el todas las puntas de pruebas o terminales.

El llenado de la celda se efectúa, levantando la cubierta y llenándola con aceite hasta 20 mm del borde exterior. Hecho esto se cubre de nuevo con la tapa, asegurándose que quede ajustada apropiadamente. La celda debe estar sobre una base nivelada, de tal forma que la superficie del aceite quede también nivelada. Posteriormente se harán las conexiones del medidor a la celda, para lo cual, el gancho del cable de alta tensión se conecta a la manija de la celda, la terminal de baja tensión se conecta al cilindro metálico de la celda y el anillo de "Guard" del cable de alta tensión al tornillo de "Guard" de la celda.

El voltaje de prueba, debe aumentarse gradualmente hasta 2.5 ó 10 kV. conforme al equipo que se esté utilizando. Como el espacio entre las placas de la celda es de 4.75 mm, el aceite no debe fallar respecto a su tensión de prueba, a menos que se encuentre en muy malas condiciones. Se registran las lecturas del medidor y se calcula el Factor de Potencia, tomándose la temperatura de la muestra para su corrección a 20 °C. La tabla de corrección por temperatura corresponde a la No. 3.3, y se encuentra en el capítulo 3 de este procedimiento. La fig. No. 14.3 ilustra la conexión de los cables del equipo a la celda. El selector del equipo se posiciona para la prueba UST.

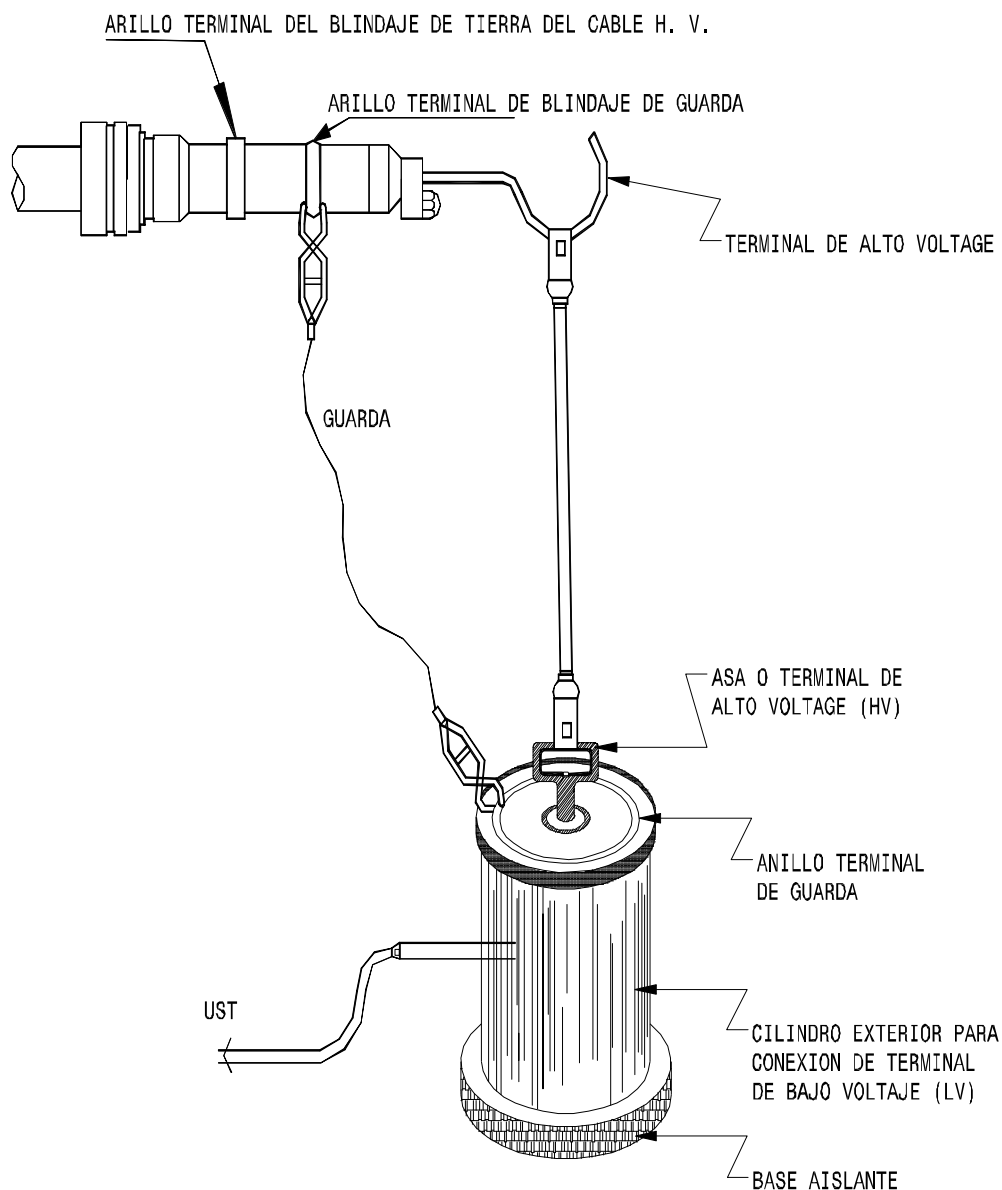


FIG. 14.3 CELDA DE PRUEBAS PARA LIQUIDOS AISLANTES

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA AL ACEITE AISLANTE

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-14-01



14.1.3.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Un aceite con un Factor de Potencia de 0.5 % a 20°C, es usualmente considerado como satisfactorio para operación.

Un aceite con un valor de Factor de Potencia mayor de 0.6 % a 20°C, debe ser considerado como riesgoso, la confiabilidad para seguir operando en éstas condiciones será muy crítica, por lo que deberá ser investigado y complementado su análisis con pruebas físico-químicas, para determinar el estado del aceite.

14.1.4 PRUEBAS FISICAS.

A continuación se describen algunas de estas pruebas, en cuanto a su definición, metodología y resultados.

14.1.4.1 DENSIDAD.

Es la relación del peso de un volumen dado de una sustancia, al peso de un volumen igual de agua, la densidad varía con la temperatura de modo que se debe corregir cuando se mida a una temperatura que no sea la de referencia. La prueba consiste en utilizar un aparato de vidrio que se hace flotar en el líquido, llamado densímetro el cual tiene una graduación interna en la que se lee el valor que coincida con la superficie del líquido. El uso de ésta prueba es para identificación de la muestra; así como para la corrección de la tensión interfacial. Con el resultado se puede determinar el tipo de aceite, ya que el nafténico tiene valores de alrededor de 0.84 a 0.88 y el de tipo parafínico entre 0.86 a 0.89

14.1.4.2 VISCOSIDAD.

La viscosidad es una característica necesaria para conducir el calor generado en el equipo eléctrico y así actuar como refrigerante. La viscosidad del aceite se reporta como Segundos Saybolt Universal. El límite máximo de viscosidad es de 60 SSU., ahora referidos en m^2/s a un valor de $10,4 \times 10^{-6}$ como máximo

La viscosidad es usualmente medida en un aparato llamado viscosímetro Saybolt, se hace pasar una cantidad determinada de muestra y se mide el tiempo que tarda en recorrer un tubo capilar estandarizado; esencialmente el aparato es un baño de aceite conteniendo un cilindro para la muestra, calentándose a la temperatura deseada.

**14.1.4.3 ASPECTO VISUAL.**

Es una prueba sencilla, pero puede ser de gran utilidad ya que fácilmente se determina el estado de un aceite. Este debe ser limpio, transparente y libre de sedimentos.

14.1.4.4 TEMPERATURA DE INFLAMACION E IGNICION.

La temperatura de inflamación es una indicación de los constituyentes volátiles del aceite. Para efectuar esta determinación, se coloca una muestra de aceite en una copa adecuada y se calienta lentamente pasando una pequeña flama por la superficie de la muestra. La temperatura de inflamación será cuando el aceite desprenda vapores y se enciendan en forma rápida. La temperatura de ignición será cuando se produzcan vapores suficientes para mantener encendida la muestra durante 5 segundos cuando menos. La copa abierta Cleveland es el aparato más usual para esta determinación. La especificación para el punto de inflamación es de 145 °C mínimo

14.1.4.5 COLOR ASTM.

La prueba de color no es una prueba muy importante, pero si de fácil determinación. Para aceite nuevo la especificación es de 1.0 máximo. El color de los aceites se incrementa con el uso aunque muchas sustancias encontradas en transformadores, interruptores y reguladores lo incrementan.

14.1.4.6 TEMPERATURA DE CONGELACION.

Es la temperatura a la cual el aceite deja de fluir. Una baja temperatura de congelación es necesario para asegurar que el aceite fluya aún a temperaturas frías. En aceites parafínicos la especificación indica -26 °C como máximo.

14.1.4.7 ANALISIS ESTRUCTURAL.

Es una prueba para determinar la concentración de aromáticos del aceite. Para aceite nacional se ha encontrado la óptima concentración de aromáticos entre 8 % y 12 %.

14.1.4.8 TENSION INTERFACIAL.

El deterioro de los aceites aislantes se debe a los efectos de la oxidación o de la presencia de impurezas disueltas del material con el cual el aceite tiene contacto, también de contaminación externa, esta prueba por lo tanto mide las impurezas polares solubles en el aceite capaces de orientarla en la cara aceite agua. La determinación de la



tensión interfacial se efectúa por dos métodos principales: el de la gota y el del anillo, con un valor mínimo a 25°C de 0.04 N/m.

14.1.4.9 CONTENIDO DE PARTICULAS.

Esta prueba tiene por objeto determinar la cantidad de partículas que contiene una muestra de aceite, este se pasa a través de un filtro calculándose el peso de impurezas detenidas relacionando-las con el volumen previamente determinado.

14.1.5 PRUEBAS QUIMICAS.

De manera similar a los ensayos físicos, a continuación se describen algunas de estas pruebas, en cuanto a su definición, metodología y resultados.

14.1.5.1 NUMERO DE NEUTRALIZACION.

Es la prueba química mas importante y conocida. Se le llama también índice de acidez o simplemente acidez, consiste en determinar la cantidad de material alcalino necesario para neutralizar los ácidos del aceite. El aceite durante su operación normal sufre cambios en su composición química, originándose peroxidos, aldehidos y ácidos orgánicos. La medida del acidez nos indica el nivel de deterioro por oxidación en un aceite. para un aceite nuevo se considera como un buen valor el de 0.03 mgKOH/g. de aceite.

14.1.5.2 NUMERO DE SAPONIFICACION.

Esta prueba mide absolutamente todo el ácido presente. Esta prueba es usada con poca frecuencia por el tiempo necesario y la dificultad para efectuarla.

14.1.5.3 PUNTO DE ANILINA.

Es un método rápido y directo para saber en forma general el contenido de hidrocarburos aromáticos y el grado de refinación de un aceite. Después de calentar y disolver volúmenes iguales de anilina y aceite, se deja enfriar y se toma la lectura cuando se separan totalmente las dos fases. La especificación para aceite nuevo tipo naftenico es de 78 °C y para aceite parafinico esta en estudio.



14.1.5.4 CONTENIDO DE AGUA.

El agua es uno de los enemigos principales del aceite. El método usado mas común para su determinación es el de Karl-Fischer, es importante la manipulación de la muestra ya que el aceite es altamente higroscópico

Otro método para la medición de humedad, es medir el punto de rocío por medio de una celda y calcular el contenido de agua en el aceite con ayuda de las tablas de vapor de agua y la ecuación de solubilidad de Henry. El aceite para equipo eléctrico antes de entrar en operación debe tener una concentración máxima de agua, dependiendo del voltaje de operación del mismo:

Para equipos hasta 115 kV 15 ppm máximo

Para equipos hasta 230 kV 12 ppm máximo

Para equipos hasta 400 kV 10 ppm máximo

14.1.5.5 CONTENIDO DE INHIBIDOR.

Esta prueba tiene por objeto determinar el contenido de inhibidor en aceite ya sea este nuevo o usado. La determinación puede ser cualitativa o cuantitativa. Los inhibidores o antioxidantes tienen como propiedad reaccionar con los peroxidos y así destruirlos, disminuyendo con esto la velocidad de oxidación. Sin embargo si hay corrosivos presentes, los inhibidores no pueden evitar que estos disuelvan el cobre que cataliza la peroxidación, por lo que no debe existir la presencia de inhibidor en el aceite.

14.1.5.6 CLORUROS Y SULFATOS.

Esta determinación es cualitativa y sirve para determinar la presencia de cloruros y sulfatos en aceites nuevos, los cuales son contaminantes y pueden existir en el aceite como resultados de fallas en la refinación. La especificación de CFE D3100-19 indica que no debe haber presencia de ellos.

14.1.5.7 AZUFRE TOTAL.

El azufre es un contaminante en el aceite por lo que se debe determinar y observar que se cumpla con la especificación de un valor máximo de 0.1 %.

14.1.5.8 AZUFRE CORROSIVO.

Como se ha dicho los aceites minerales pueden contener sustancias que causan corrosión bajo ciertas condiciones de uso. Esta prueba utiliza cobre metálico en contacto con aceite bajo condiciones prescritas. La especificación indica que no debe existir azufre corrosivo.

14.1.6 CROMATOGRAFIA DE GASES.

14.1.6.1 TEORIA GENERAL.

Durante la operación del transformador, el aceite aislante y los otros materiales dieléctricos sufren degradación bajo la acción de la temperatura y de las tensiones eléctricas, procesos de descomposición química que dan como resultado la aparición de gases. Cuando ocurren fallas incipientes (como sobre calentamiento, arco o descargas parciales) estas, dan como resultado la generacion de gases, que en algunos transformadores, por diseño, son atrapados en el relévador Buchholz,.

Para esclarecer la naturaleza o la gravedad de la falla, en el caso de la operación del relévador Buchholz, se efectua un análisis del gas recogido. Los gases existentes liberados por el aceite aislante provienen de la falla o descomposición de los materiales aislantes en general.

El analisis más usual del gas recogido es la simple verificación de su combustibilidad, que en caso de ser positiva es alarmante. Además de esta forma, los estudios realizados a lo largo del tiempo indicaron que es posible relacionar la presencia de determinados gases con la naturaleza eléctrica de la falla o con el material afectado por ella. De este modo el relévador Buchholz permite distinguir una eventual falla .

Los gases formados por la descomposición de los materiales aislantes se disuelven total o parcialmente en el aceite, y son transportados a todos los puntos con los que entra en contacto. Ello permite que mediante la recolección de una muestra, se obtenga información sobre todas las partes en contacto con el aceite.

Los métodos anticuados para detectar la presencia de gases combustibles, se basan en pruebas de combustibilidad o en análisis químicos, no tienen sensibilidad y sólo son confiables en casos de deterioro avanzado del aceite y/o materiales aislantes.

La aparición de técnicas modernas de análisis de gases aislantes, entre las que destaca la cromatografía, capaz de procesar pequeñas muestras de aceite con gran sensibilidad y precisión, hace posible un enfoque distinto del problema. Cuando ocurre una falla incipiente, la cantidad de gas que se genera es pequeña. Este gas se disuelve en el aceite, y puede no presentarse en un estado gaseoso que pueda detectarse o analizarse

como se describe anteriormente. En esa etapa, su extracción y análisis a partir de una muestra del aceite aislante, constituye un poderoso instrumento para lograr la identificación oportuna de una falla, o una operación anormal del equipo.

Este método se está desarrollando y utilizando en escala cada vez mayor, y permite un diagnóstico de las condiciones internas de un transformador, según varios criterios que se han publicado en la literatura especializada y que se describe más adelante. Se ha usado con excelentes resultados, para resolver problemas tales como.

- a) Impregnación de aceite en unidades nuevas.
- b) Control del deterioro de materiales aislantes
- c) Control durante el período de garantía.
- d) Detección de fallas incipientes.
- e) Localización de fallas y determinación de su significado.
- f) Anomalías en el cambiador de derivaciones
- g) Optimización del tiempo de servicio.
- h) Desarrollo de materiales dieléctricos.

Además, la literatura indica que este método de detección de fallas incipientes es más sensible y seguro que los métodos eléctricos aplicables, dado que su límite de detección disminuye con el aumento del tiempo de duración de la falla, debido a la acumulación de gases en el aceite.

Con la utilización de esta técnica, y debido a que en la mayoría de los casos se pueden determinar las fallas antes de tener que retirar de servicio la unidad, resulta posible preparar el sistema para reparar el equipo averiado sin interrumpir el servicio. Por tanto, se recomienda incluir el análisis periódico de los gases que contiene el aceite aislante como parte del programa de diagnóstico del equipo ,para obtener una disminución del costo de operación.

14.1.6.2 ANALISIS DE LOS GASES DISUELTOS EN EL ACEITE.

El análisis de los gases disueltos en el aceite aislante puede dividirse en seis etapas:

- 1) **Extracción de la muestra.** Esta etapa consiste en la obtención de la muestra representativa del equipo que esta en estudio, debiendo tener cuidado sobre todo en evitar el contacto o la contaminación con el aire. Normalmente la muestra se debe



tomar por la válvula inferior de muestreo, es recomendable en caso de alarma por gases tomar la muestra de la purga de Bucholz, esto con la finalidad de detectar los gases antes de su total disolución en el aceite.

La obtención de la muestra es uno de los pasos más importantes, de esta depende la confiabilidad de los resultados de la prueba, a continuación se citan los principales puntos de procedimiento de toma de muestra según norma nom-j-308-1983 y ASTM D3613.

- a) La jeringa no debe tener fugas, para verificar esto se hará cerrando la válvula y colocando la jeringa en posición vertical con la punta hacia arriba si se queda fija y el émbolo no se mueve esta tiene hermeticidad.
- b) La limpieza de la válvula de drenado, accesorios y la jeringa es indispensable para evitar la contaminación del aceite aislante, esto se logra desechando dos litros aproximadamente para que arrastre los posibles sedimentos en la válvula y la muestra obtenida sea más significativa, la jeringa se purga llenándose y vaciándose por medio de la válvula de tres vías.
- c) El llenado de los formatos correspondientes y el correcto etiquetado de las jeringas, facilitan la identificación del equipo en cuestión.
- d) Una vez obtenida la muestra debe transportarse al laboratorio en condiciones adecuadas para evitar derrames y la exposición al calor y la humedad.

Los diversos laboratorios que practican estos análisis utilizan varios tipos de recipientes. En todos los casos hay que garantizar que el manejo de muestras no resulte en una pérdida de hidrógeno superior a 2.5 % por semana, puesto que de todos los gases que se analizan éste es el menos soluble y el que más rápido se difunde, lo que puede ocasionar errores por el almacenamiento y transporte.

Normalmente se emplean jeringas de vidrio de 50 ml. equipadas con válvulas de tres vías perfectamente adaptadas en el extremo. Se envían al laboratorio acondicionadas para su transporte en una caja protectora que debe contener una etiqueta con las características del equipo muestreado.

2) Extracción de los gases disueltos. Esta operación es la primera parte del análisis. Consiste en la extracción mediante vacío de los gases disueltos en una pequeña cantidad de aceite aislante. El aparato consta de una probeta para gas con aguja superior calibrada y agrupada con una llave que permite sucesivamente la aplicación de vacío de 10^{-2} Torr, la admisión de la muestra y la compresión de los gases a presión atmosférica.

Se toma una muestra de aceite (normalmente 25 ml.) y se extraen los gases contenidos en el aceite sometiendo la muestra al vacío y a una agitación vigorosa. Los gases que ocupan todo el espacio, se comprimen enseguida por la elevación de un nivel de

mercurio y en la aguja calibrada se efectúa la lectura de los gases extraídos, a presión y temperatura ambiente. Después de la lectura del volumen se retira parte de la mezcla de gases, a través de una membrana, para su inmediata inyección en el cromatógrafo.

Existen equipos que al inyectar la muestra de aceite la extracción de gases se hace internamente en forma automática.

3) Análisis cromatográfico. La cromatografía consiste en un medio físico de separar los componentes de un fluido mediante su distribución en dos fases, una estacionaria y de gran superficie y la otra de un fluido que circula a través de la primera.

La separación ocurre cuando los componentes de la mezcla interactúan con la fase estacionaria o medio, si estas interacciones son diferentes entre sí, también lo serán las velocidades durante el recorrido. El tiempo que tarda un componente en recorrer la fase estacionaria y llegar al detector se le llama tiempo de retención y es diferente para cada componente de acuerdo a sus propiedades químicas. Los gases son detectados por dispositivos establecidos para cada uno de ellos; la medición requiere de un patrón con concentraciones conocidas y se calibran los tiempos de retención para su identificación.

En términos generales un cromatógrafo de gas se divide en tres partes principales: inyectores o vaporizadores, columnas y detectores.

En el inyector, la muestra de gas que se va analizar se diluye en un gas inerte, que la conduce a través de la columna, donde se realiza la separación en un medio adecuado y pasa en seguida al detector que emite una señal proporcional a la señal de cada componente.

El aparato debe ser capaz de controlar con precisión todas y cada una de las siguientes variables: la temperatura de las tres partes principales, la corriente de los detectores y el flujo del gas inerte. Para las columnas se utilizan distintos tipos de detectores y medios, cada uno de los cuales presenta selectividad para un componente o grupo de componentes afines.

La determinación de la concentración de gases extraídos del aceite aislante se hace modelando el instrumento con una muestra de los gases que se analizarán en una proporción conocida, y comparándose el cromatograma patrón con el que se obtiene de la muestra analizada.

4) Cálculo de los resultados. Normalmente se analizan nueve gases, contando los equipos con la siguiente sensibilidad:

GAS SENSIBILIDAD (*)

Hidrógeno (H ₂)	0.5
Oxígeno (O ₂)	0.7
Nitrógeno (N ₂)	1.0
Metano (CH ₄)	2.0
Monóxido de carbono (CO)	3.0
Dióxido de carbono (CO ₂)	3.0
Etileno (C ₂ H ₆)	1.0
Etano (C ₂ H ₄)	2.0
Acetileno (C ₂ H ₂)	3.0

(*) en partes por millón (ppm)

La concentración de los gases disueltos en aceite aislante se expresa en partes por millón (ppm) volumen/volumen de aceite, medidas a una temperatura de 23°C para determinar esta concentración se emplea la siguiente fórmula:

$$ppm_i = N_i \times V_R \times R_i / R_p, \text{ donde:}$$

ppm_i - concentración en partes por millón del componente i.

N_i - constante para el componente i.

V_R - volumen de gases extraídos.

R_i - respuesta del componente i en la muestra.

R_p - respuesta del componente i en el patrón.

La constante N_i se calcula así:

$$N_i = \frac{C_i(V_c + K_i \times V_a) \times 10^4}{V_c \times V_a}, \text{ donde:}$$

N_i - constante para el componente i.

C_i - concentración del gas i en el gas patrón, en porcentaje.

V_c - volumen de la cámara de desgasificación.

K_i - coeficiente de solubilidad del componente i.

V_a - volumen de la muestra de aceite utilizada.

10⁴ - conversión en ppm.

Además de la concentración de cada gas, se calcula también la concentración total de los gases disueltos, así como la de los gases combustibles.

El valor de respuesta del componente, se obtiene del cromatograma por la medida del pico correspondiente. Se puede utilizar la medida de la altura del pico, si bien el área integrada es un indicador más preciso.

Los equipos actuales realizan el proceso en forma automatizada mediante la utilización de integradores electrónicos digitales.

5) Diagnóstico. En la etapa de diagnóstico, dentro del proceso de análisis, se intenta determinar la respuesta a dos preguntas básicas:

1.- ¿Hay alguna irregularidad en el transformador que se examina?

2.- En caso afirmativo, ¿cual es su origen y su gravedad? Para obtener estas respuestas es necesario correlacionar los resultados del análisis con las composiciones gaseosas esperadas o verificadas en transformadores que funcionan de manera normal o anormal.

Durante el funcionamiento normal de un transformador se producen gases por los materiales aislantes que se pueden disolver en el aceite. En las condiciones de equilibrio que prevalecen en la producción lenta de gases, la solubilidad de un gas en un líquido se rige por la ley de Henry.

$$P_i = H_i \times C_i, \text{ donde:}$$

P_i = la presión parcial del componente i en estado gaseoso.

H_i = la constante de Henry a la temperatura del sistema.

C_i = la concentración del componente i en estado líquido.

Cuando la presión total, es decir la suma de las presiones parciales, alcanza a una atmósfera, se considera que el aceite esta saturado de gas.

No siempre prevalecen estas concentraciones de equilibrio. Dependiendo de la cantidad y de la velocidad con que se producen, los gases originados por una falla pueden disolverse totalmente en el aceite o pueden hacerlo parcialmente. Debe tomarse en cuenta que, durante su permanencia en él, habrá cambios en la composición con tendencia a que el aceite absorba los gases más solubles (C_3 , C_4 , C_2H_4) y libere los menos solubles (H_2 , N_2 , CO).

Los gases que sobrepasan el nivel del aceite, en transformadores con respiración, se pierden en la atmósfera debido sobre todo a la expansión y contracción del aceite renovando parcialmente el aire que hay en el conservador.

Esta pérdida de gas ocasiona una atenuación de la tasa de crecimiento de la concentración. En los casos en que disminuye mucho la producción de gases, la concentración de los gases disueltos puede llegar a disminuir.

Niveles normales.- Entre los diversos autores varían mucho los niveles que se consideran normales (niveles patrón) para los gases disueltos en aceite dieléctrico en un transformador, según el diseño, la carga, el tiempo de operación, tipo de mantenimiento, la calidad del aceite, etc.

Los niveles patrón se determinan trazando un gráfico del nivel de cada gas analizado de una población homogénea de transformadores, estadísticamente significativa, contra sus posibilidades acumuladas de ocurrencia

Composición característica.- Los gases que se generan, según el tipo de falla, son disueltos en el aceites dieléctrico y, esos gases tendrán un perfil de composición característico. Estos perfiles que se lograron a partir de comparaciones de análisis de transformadores defectuosos en buen estado y de simulaciones en el laboratorio que constituyen la base del criterio del diagnóstico.

Las principales fallas que hay que considerar, son: sobrecalentamiento, descargas parciales y arco eléctrico

La temperatura tiene un efecto decisivo en la composición de los productos resultantes de la descomposición térmica. Se pueden distinguir dos tipos de fallas, alta y baja temperatura. También debe tomarse en cuenta que en la descomposición, la temperatura actúa en forma exponencial sobre la velocidad de formación de gases y facilita la saturación.

Durante el calentamiento, el aceite se descompone en hidrocarburos de bajo peso molecular. Con elevación de la temperatura, aumenta considerablemente la concentración de etileno en relación con el metano y el etano, por tanto, el etileno es el producto principal para la caracterización de las fallas por sobrecalentamiento. Con respecto al acetileno (el menos saturado) se admite que la temperatura no resulte suficiente para generar su formación a gran escala.

El principal producto de las descargas parciales es el hidrógeno, acompañado de concentraciones menores de metano. Si la falla afecta la celulosa, también habrá la formación de monóxido de carbono.

La producción de acetileno y la de hidrógeno son características del arco; el acetileno es el gas predominante en este caso. Junto con estos dos gases, se encuentran el etileno y otros en menor concentración, resultantes del efecto térmico.

La carbonización de la celulosa comienza a 140°C. Entre los diferentes productos resultantes de la degradación encontramos al monóxido de carbono y al dióxido de carbono. La variación de la relación entre estos dos gases se vincula con el tipo y el tamaño del transformador y con la relación entre el aislamiento de papel y el de aceite.

El hidrógeno también puede formarse por electrólisis, siendo en este caso el único gas combustible de interés.

Relaciones entre gases.- Algunos autores han propuesto sistemas que utilizan la relaciones entre ciertos gases para comparar los perfiles de composición y su vinculación

con ciertos tipos de fallas. Estos cocientes son útiles, por ejemplo, en el caso en que dos o más gases excedan el nivel patrón.

Como ejemplo de estos criterios de diagnóstico Rogers, sugiere la utilización de los siguientes cocientes de niveles de gases como análisis de diagnósticos:

$$\text{a) } \frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2}$$

$$\text{b) } \frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4}$$

$$\text{c) } \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6}$$

$$\text{d) } \frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4}$$

Utilizando los cocientes anteriores se preparó empíricamente la tabla de la fig. No. 14.4.

De este modo vemos que la interpretación de los resultados exige un conocimiento detallado de la composición química de los materiales aislantes y de su aplicación en los equipos, así como datos sobre el transformador, y sobre sus condiciones de funcionamiento.

6) Informe. Con base al procedimiento descrito anteriormente, el laboratorio elabora un informe en el que detalla el nivel de concentración de los gases disueltos y sus diagnósticos, mencionando el método utilizado.

Cuando lo exige la urgencia del caso se procura realizar el análisis en un período de 24 hrs., comunicando el resultado preliminar al usuario.

Como parte del informe, también se formula una recomendación sobre el período al cabo del cuál debe tomarse una siguiente muestra del transformador, período que en caso de operación normal es anual. A veces se recomiendan tomas más frecuentes, en aquellos casos que es conveniente determinar la tasa de formación de los gases que se detectaron, especialmente cuando se carece de información sobre el equipo en cuestión.

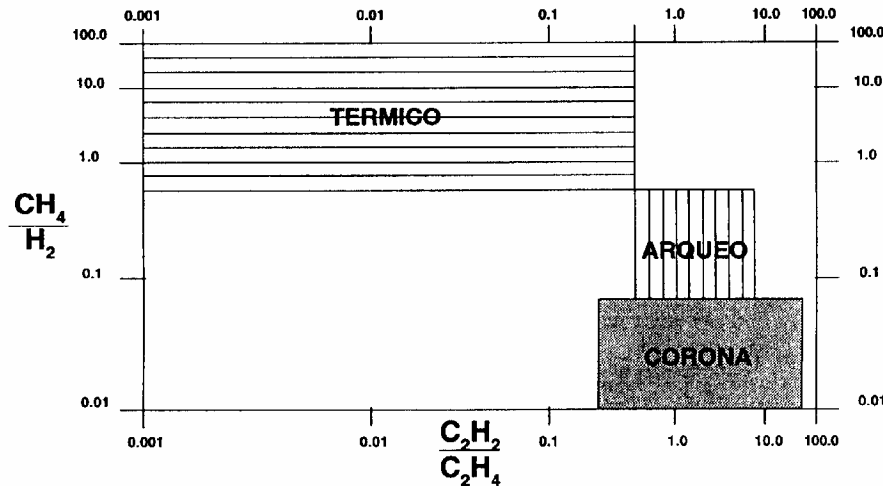
Además del método de Rogers de interpretación del análisis de gases, existe el método de Dornenburg, el método de la Universidad del estado de California en Sacramento (CSUS), el método del triángulo de Duval, método de gases clave y método por nomograma.

En el presente capítulo se incluye un formato para el registro histórico del contenido de gases en transformadores de potencia.

METODO DE DORNENBURG

Consiste en relacionar las cantidades de metano e hidrógeno, así como las de acetileno y etileno. La intersección entre estos dos valores en la gráfica indica el tipo de falla que está ocurriendo en el transformador.

METODO ORIGINAL DORNENBURG



METODO DE ROGERS

Se basa en relacionar los cinco gases primarios de la descomposición del aceite de acuerdo a su aparición según sea la temperatura relativa de la falla.

METODO DE GAS	RANGO	CODIGO
METANO HIDROGENO	< 0.1	5
	> 0.1 y < 1.0	0
	≥ 1.0 y < 3.0	1
	≥ 3.0	2
ETANO METANO	< 1.0	0
	> 1.0	1
ETILENO ETANO	< 1.0	0
	≥ 1.0 y < 3.0	1
	≥ 3.0	2
ACETILENO ETILENO	< 0.5	0
	> 0.5 y < 3.0	1
	≥ 3.0	2

METANO HIDROGENO	ETANO METANO	ETILENO ETANO	ACETILENO ETILENO	DIAGNOSTICO
0	0	0	0	DESCARGA NORMAL
5	0	0	0	DESCARGA PARCIAL
1 ó 2	0	0	0	SOBRECALENTAMIENTO LIGERO (150°C)
1 ó 2	1	0	0	SOBRECALENTAMIENTO (150 A 200°C)
0	1	0	0	SOBRECALENTAMIENTO (200 A 300°C)
0	0	1	0	SOBRECALENTAMIENTO EN NUCLEO Y TANQUE
1	0	1	0	SOBRECALENTAMIENTO EN DEVANADO
1	0	2	0	SOBRECALENTAMIENTO UNIONES NUCLEO Y TANQUE
0	0	0	1	FLASHOVER CON FLUJO BAJO
0	0	2	2	CHISPORROTEO CONTINUO DE POTENCIA VARIABLE
5	0	0	1 ó 2	DESCARGA PARCIAL CON HUELLO
0	0	1 ó 2	1 ó 2	ARCO CON FUERTE FLUJO

METODO DE LA CSUS

(California State University Sacramento). Agrupa las fallas de transformadores en cuatro grupos diferentes, considerando cantidades normales y anormales de cada gas en el aceite.

GAS	NORMAL	ANORMAL	INTERPRETACION
HIDROGENO	< 150 PPM	> 1000 PPM	ARQUEO - CORONA
METANO	< 25 PPM	> 80 PPM	CHISPORROTEO
ETANO	< 10 PPM	> 35 PPM	SOBRECALENTAMIENTO NORMAL
ETILENO	< 20 PPM	> 150 PPM	SOBRECALENTAMIENTO SEVERO
ACETILENO	< 15 PPM	> 70 PPM	ARQUEO
MONOXIDO DE CARBONO	< 500 PPM	> 1000 PPM	SOBRECALENTAMIENTO SEVERO
HIDROXIDO DE CARBONO	< 10000 PPM	> 15000 PPM	SOBRECALENTAMIENTO SEVERO
NITROGENO	1.10 %	NO ANORMAL	
OXIGENO	0.2 - 3.5 %	NO ANORMAL	
	0.03 %	5 %	GASES COMBUSTIBLES

FIG. 14.4 METODOS DE INTERPRETACION DEL ANALISIS DE GASES

14.2 HEXAFLORURO DE AZUFRE (SF₆)

En la figura 14.xx se muestra la composición de una molécula de este gas, cuyas propiedades dieléctricas lo hacen un fluido aislante de gran aplicación en sistemas y equipos.

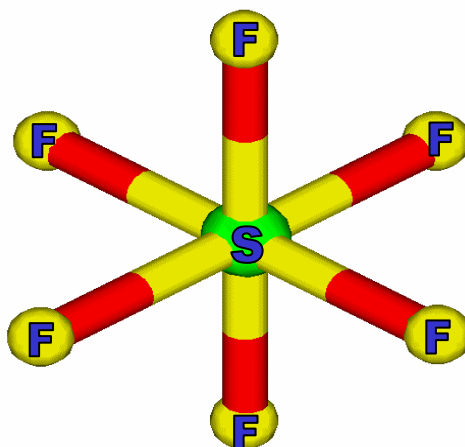


FIG. 14.5 MOLECULA DE HEXAFLUORURO DE AZUFRE

14.2.1 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

El hexafluoruro de azufre es un gas incoloro e inodoro, no tóxico, no inflamable está formado por la unión de elementos químicos muy activos como los son el azufre y el flúor, su estructura química permite que sea un compuesto estable con una gran electronegatividad proporcionada por el flúor, esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene un elemento para aceptar electrones, situación que va de la mano con la capacidad para extinguir arcos eléctricos, puede calentarse hasta 500°C sin sufrir descomposición, normalmente los iones de SF₆ se combinan para formar de nuevo el gas después del arco.

Este gas es uno de los más pesados su densidad a 20 °C es de 6.164 Kg/m³, casi cinco veces más que el aire, su peso molecular es 146.06, es insoluble en agua y poco soluble en alcohol etílico. Debido a su alta densidad su calor específico es 3.7 veces mayor que el aire, teniendo una excelente transferencia de calor, lo que es un importante criterio para su aplicación en alto voltaje.

Quizá la más importante propiedad es su rigidez dieléctrica que es casi tres veces la del nitrógeno a temperaturas elevadas, a 30 lb/in² es la misma que la del aceite aislante. A esta propiedad se le adjudica también su habilidad para extinguir arcos.

Su estructura es de un octaedro (ver figura 14.4) en el cual sus seis esquinas están ocupadas por átomos de flúor, el flúor es el elemento más electronegativo que se conoce. El SF₆ no existe en la naturaleza se produce por reacción directa a 300 ° C.

El SF₆ no reacciona con el hidrógeno, cloro, oxígeno, los ácidos, los álcalis y el amoníaco.

En interruptores de potencia, otra gran ventaja del SF₆ es que al contrario del aceite no deja depósitos de carbón amorfo.

El punto de fusión es de -50.8° C a 2.21 bars y a -63.8° C se sublima.

Aunque su conductividad térmica es un décimo de la de helio, su alto peso molecular y su baja viscosidad permiten la transferencia de calor por convección con mayor efectividad que otros gases comunes.

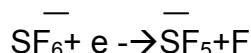
Un sistema eléctrico con ambiente de SF₆ puede ser cargado con diez veces más potencia que un medio ambiente aislado en aire.

14.2.2 COMPORTAMIENTO DEL SF₆ EN ESTADO ESTABLE

Durante la formación y extinción de un arco eléctrico en un interruptor, el SF₆ se ioniza y se recombina para formar de nuevo gas.



O como combinación disociativa:



Sin embargo, en los equipos de desconexión actuales, los vapores metálicos generados en los electrodos al momento de interrumpir el arco eléctrico, reaccionan con el Flúor del gas SF₆ formando gases de descomposición que son muy activos y reaccionan con la humedad en el gas, para formar compuestos altamente tóxicos y corrosivos.

14.2.3 COMPORTAMIENTO DEL SF₆ BAJO FALLA

La formación de los productos de descomposición depende del área, intensidad, duración del arco eléctrico, contenido de humedad, contenido de impurezas y los materiales de fabricación de la cámara del arqueo.

En una cámara de extinción de un interruptor se encuentran normalmente los siguientes materiales: cobre, plata, tungsteno, aluminio, teflón, resina epóxica, alúmina, etc.

Los productos de descomposición iniciales en el interior de la cámara son: fluoruros metálicos, tetrafluoruro de azufre (SF_4) y monofluoruro de azufre (S_2F_2).

El tetrafluoruro de azufre y el S_2F_2 son extremadamente reactivos con el agua y el oxígeno para formar oxifluoruros de azufre.

El (SF_4) reacciona con el oxígeno para formar tetrafluoruro de tionilo SOF_4 ó con el agua para formar el fluoruro de tionilo (SOF_2) los que se identifican rápidamente por su olor a azufre.

El SOF_2 y el SOF_4 pueden reaccionar nuevamente para formar el fluoruro de sulfuro SO_2F_2 .

El monofluoruro de azufre se puede disociar a difluoruro de azufre (SF_2) ó hidrolizarse a fluoruro de tionilo.

El SF_2 se puede transformar a tetrafluoruro de azufre o hidrolizarse a fluoruro de tionilo.

Además hay que observar que por cada reacción de hidrólisis hay la formación de ácido fluorhídrico HF, el cual es ácido extremadamente corrosivo.

En un sistema muy húmedo el SOF_2 se puede hidrolizar nuevamente para formar SO_2

Los fluoruros metálicos son sólidos en forma de polvo blanco que puede ser: hexafluoruro de tungsteno (WF_6), trifluoruro de aluminio (AlF_3) y fluoruro de cobre (CuF_2); los que también pueden hidrolizarse.

Por lo descrito anteriormente se observa la necesidad de evitar la humedad y el oxígeno dentro de un interruptor y de contar con métodos de análisis que nos determinen el contenido de estos compuestos de gas.

Cuando el hexafluoruro se somete a un arco eléctrico, con la presencia de humedad y oxígeno se forman fluoruros de tionilo y fluoruros de sulfurilo, que se identifican por un olor fétido, cuando se detecta un olor fuerte en un equipo fallado, se debe acordonar el área, para evitar el acceso, el personal autorizado deberá usar guantes de hule, mascarillas con filtro y absorbente para polvos, así como ropa y lentes de seguridad.

Si se observa la presencia de polvos blancos se debe evitar el contacto de estos con la piel, durante los trabajos, no debe tocarse la cara, particularmente los ojos, se debe cuidar de la higiene personal para evitar la ingestión accidental del polvo.

La siguiente tabla resume los limites de tolerancia en la atmosfera para una exposición de ocho horas de los productos de la descomposición del gas SF_6

COMPUESTO	VALOR LIMITE DE TOLERANCIA
Fluoruro de tionilo (SOF_2)	0.6 ppm
Tetrafluoruro de Carbono (CF_4)	10 ppm
Fluoruro de sulfurilo (SO_2F_2)	5 ppm
Pentafluoruro de Azufre (SF_5)	0.025 ppm

NOTA : El pentafluoruro de azufre es un gas inodoro, sin embargo es altamente toxico , su presencia después de la descomposición en muy pequeña.

Los productos de descomposición del hexafluoruro de azufre se pueden detectar por distintos métodos analíticos

COMPUESTO	MÉTODO
Tetrafluoruro de azufre SF_4	Cromatografía de gases y resonancia magnética de fluor
Fluoruro de tionilo	Cromatografía de gases
Dióxido de azufre	Cromatografía de gases
Fluoruro de hidrógeno	Fluoruro hidrolizable
Tetrafluoruro de carbono	Cromatografía de gases
Bióxido de carbono	Cromatografía de gases.
Nitrógeno y oxígeno	Cromatografía de gases

El hexafluoruro de azufre puro es considerado un gas no tóxico, los trabajos que impliquen exposición a este gas cuando no ha sido sometido a descargas eléctricas, pueden ser realizado sin cuidados especiales, solo con una buena ventilación cuando este se hace en interiores

14.2.4 LLENADO DE EQUIPOS.

Los aparatos aislados con SF_6 mantienen sus características nominales siempre y cuando sean llenados con este gas nuevo o regenerado, cumpliendo con la norma IEC 376. Los equipos aislados en SF_6 que se instalarán por primera vez se les debe revisar la precarga con la que deben de venir de fábrica, en caso de haberla perdido se les debe realizar un vacío hasta una presión residual de cuando menos 0.1 mm de Hg, con el fin de extraer el oxígeno y humedad que pudieran contener en su interior, todo esto antes de realizar su llenado definitivo.

14.2.5 RECUPERACION DEL GAS SF₆

El gas recuperado en el mantenimiento de equipos aislados en gas SF₆, debe ser filtrado y almacenado en estado líquido antes de volver a utilizarse nuevamente, el equipo utilizado para la recuperación de este gas es el siguiente:

- Bomba de vacío con aspiración hasta por lo menos 0.01 mm de Hg.
- Compresor resistente a la corrosión, con aspiración hasta por lo menos 50 mmHg y entrega mínima de 10 bar
- Batería de filtros de alumina activada, soda, carbono y un filtro antipolvo
- Equipo opcional de refrigeración para acelerar la condensación del gas SF₆ comprimido, o aumentar la capacidad del almacenamiento del equipo portátil.
- Mangueras, conexiones y manovacuómetros adecuados para el filtrado y almacenamiento del gas

La siguiente tabla muestra las normas en las que está basado el uso y pruebas de SF₆

NORMA	NUMERO	TITULO
IEC	376 480	Especificación y aceptación de hexafluoruro de azufre nuevo Guía para verificación de SF ₆ sacado de equipo dieléctrico
ASTM	D 2029-68 D-2284-68 D-2472-71 D 2685-71 D-2477-74	Contenido de vapor de agua en gases aislantes eléctricos por medición de l punto de rocío Acidez del hexafluoruro de azufre Hexafluoruro de azufre Nitrógeno y tetrafluoruro de carbono en el hexafluoruro de azufre por cromatografía de gases. Voltaje de ruptura dieléctrica y resistencia dieléctrica de gases aislantes a frecuencias de energía comercial.
JIS	C2131	Métodos de prueba de SF ₆ para usos eléctricos



14.3 R-TEMP

14.3.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Desde el año 1975, el R-Temp ha sido usado principalmente en el llenado de Transformadores, a la fecha se tienen aproximadamente 80,000 equipos eléctricos conteniendo este aislante en todo el mundo con 50 millones de litros en operación. Su uso se ha generalizado en una amplia gama de equipos eléctricos que por sus necesidades operativas, requieren mejores características aislantes y de enfriamiento además de brindar una mayor seguridad en su operación, como lo son seccionalizadores, reguladores de alto voltaje, rectificadores de potencia, interruptores de potencia, etc.

El R-Temp además de su excelente capacidad dieléctrica cuenta con características lubricantes y de extinción de arco eléctrico que permiten sea usado en equipos de desconexión o que están sometidos a esfuerzos térmicos severos.

El R-Temp es un aceite aislante que ha sido elaborado bajo un estricto control de calidad para brindar un enfriamiento óptimo en los transformadores.

Dicho aislante es catalogado como no flamable, biodegradable, útil en el enfriamiento y aislamiento de equipos eléctricos, se considera como un fluido como no peligroso.

El R-Temp es compatible con otros materiales aislantes y sus propiedades químicas son muy constantes, por lo que difícilmente puede variar en combinación de otros productos diluidos en él, esto debido a su peso molecular; además este aislante puede ser utilizado en equipos que operan a la intemperie o en lugares cerrados, siendo en el primero de los casos una buena elección debido a que prácticamente reduce al mínimo el riesgo de explosión o incendio y más cuando existen áreas habitacionales en los alrededores de la instalación donde va a ser usado.

Según la estadística de la NFPA-USA (Asociación Nacional de Protección de Fuego en los Estados Unidos de América), no se tiene ningún reporte en el cual el R-Temp haya intervenido en una situación de incendio en equipos llenados con este aislante, esto da fe de la resistencia del R-Temp comparado con otros fluidos con similares características.

En muchas pruebas de mayor y menor escala, la resistencia al fuego de los hidrocarburos han demostrado mejor condiciones de resistencia al fuego que otros sustitutos a los askareles (ver figura 14.5).

El R-Temp no es considerado un fluido tóxico, en pruebas de laboratorio donde se ha suministrado en forma oral este producto, no se han reportado reacciones tóxicas en animales, en el caso de los humanos no se ha reportado ningún caso de alteración o daño físico, además de que no está clasificado como no-cancerígeno.

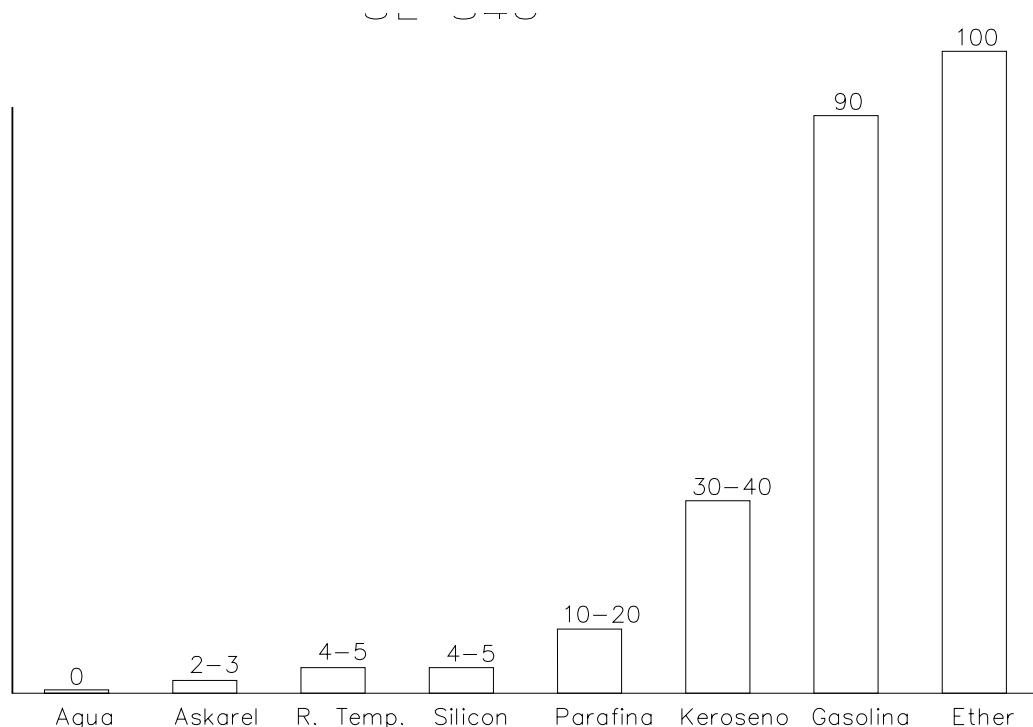


FIG. 14.6 GRAFICA DE PELIGROSIDAD DE FUEGO (REF. UL 340)

14.3.2 PRUEBAS Y CARACTERISTICAS FISICAS.

A continuación se describen algunas de características y pruebas, en cuanto a su definición, metodología y resultados.

14.3.2.1 DENSIDAD.

El uso de ésta prueba es para identificación de la muestra; así como para la corrección de la tensión interfacial. Con el resultado se puede determinar el tipo de aceite, en el caso del R-Temp su valor es de 0.87 a 25 °C

14.3.2.2 VISCOSIDAD.

La viscosidad es una característica necesaria para conducir el calor generado en el equipo eléctrico y así actuar como refrigerante. La viscosidad del R-Temp es de 112 cSt a 40 °C y de 12 cSt a 100 °C (ASTM D-445)



14.3.2.3 ASPECTO VISUAL.

Es una prueba sencilla, pero puede ser de gran utilidad ya que fácilmente se determina el estado de un aceite. Este debe ser limpio, transparente y libre de sedimentos.

14.3.2.4 TEMPERATURA DE INFLAMACION E IGNICION.

La temperatura de inflamación es una indicación de los componentes volátiles del R-Temp. Para efectuar esta determinación, se coloca una muestra de aceite en una copa adecuada y se calienta lentamente pasando una pequeña flama por la superficie de la muestra. La temperatura de inflamación será cuando el aceite desprenda vapores y se enciendan en forma rápida. La temperatura de ignición será cuando se produzcan vapores suficientes para mantener encendida la muestra durante 5 segundos cuando menos. La copa abierta Cleveland es el aparato más usual para esta determinación. La especificación para el punto de inflamación es de 270 °C con la prueba de la copa cerrada (ASTM D-93), 280 °C para la prueba de copa abierta (ASTM D-92) y 312 °C la temperatura de ignición (ASTM D-92).

14.3.2.5 COLOR ASTM.

La prueba de color no es una prueba muy importante, pero si de fácil determinación. Para el R-Temp se considera un valor de 1.5 máximo.

14.3.2.6 TEMPERATURA DE CONGELACION.

Es la temperatura a la cual el R-Temp deja de fluir. Una baja temperatura de congelación es necesario para asegurar que el aceite fluya aún a temperaturas frías en el caso de este aislante de considera una temperatura -22 °C como máximo (ASTM D-97).

14.3.2.7 TENSION INTERFACIAL.

El deterioro del R-Temp se debe a los efectos de la oxidación o de la presencia de impurezas disueltas del material con el cual el aceite tiene contacto, también de contaminación externa, esta prueba por lo tanto mide las impurezas polares solubles en el aceite capaces de orientarla en la cara aceite agua. La tensión interfacial en el caso de este aislante se considera con un valor de 38 nM/m a 25 °C, según ASTM D-971



14.3.2.8 CONTENIDO DE PARTICULAS.

Esta prueba tiene por objeto determinar la cantidad de partículas que contiene una muestra de aceite, este se pasa a través de un filtro calculándose el peso de impurezas detenidas relacionando-las con el volumen previamente determinado.

14.3.3 PRUEBAS Y CARACTERISTICAS ELECTRICAS

14.3.3.1 FACTOR DE POTENCIA

El R-Temp debe cumplir las características dieléctricas según ASTM D-924 en el cual nos marca en la prueba de factor de potencia un valor máximo de 0.02% a 25 °C y de 0.10% a 100 °C. En caso de encontrar valores mayores a los antes mencionados debe complementarse el estudio con todas las pruebas necesarias para dictaminar en forma exacta la condición de este aislante siempre considerando las condiciones y el tiempo de operación del equipo donde se encuentre instalado.

14.3.3.2 RESISTIVIDAD

Según ASTM D-1298 el valor mínimo requerido para la prueba de resistividad del R-Temp debe ser 1×10^{14} w-cm a 25 °C

14.3.3.3 CONSTANTE DIELECTRICA

La constante dieléctrica del R-Temp es de 2.2 a 25 °C (ASTM D-924)

14.3.4 PRUEBAS Y CARACTERISTICAS QUIMICAS.

14.3.4.1 NUMERO DE NEUTRALIZACION.

Es la prueba química mas importante y conocida. Se le llama también índice de acidez o simplemente acidez, consiste en determinar la cantidad de material alcalino necesario para neutralizar los ácidos del aceite. El R-Temp durante su operación normal puede sufrir cambios en su composición química, originándose peroxidos, aldehidos y ácidos orgánicos. La medida del acidez nos indica el nivel de deterioro por oxidación en un aceite, en este caso debe considerarse como un buen valor el de 0.005 mgKOH/g de aceite.

**14.3.4.2 CONTENIDO DE AGUA.**

El R-Temp antes de entrar en operación debe tener una concentración máxima de agua, en este caso se consideran 35 ppm (ASTM D-1533B)

14.3.4.3 CONTENIDO DE INHIBIDOR.

Esta prueba tiene por objeto determinar el contenido de inhibidor en aceite ya sea este nuevo o usado. La determinación puede ser cualitativa o cuantitativa. Los inhibidores o antioxidantes tienen como propiedad reaccionar con los peróxidos y así destruirlos, disminuyendo con esto la velocidad de oxidación. Sin embargo si hay corrosivos presentes, los inhibidores no pueden evitar que estos disuelvan el cobre que cataliza la peroxidación, por lo que no debe existir la presencia de inhibidor en el aceite.

14.3.4.4 CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica del R-Temp (método CPS) se encuentra en un valor de $3.1 \times 10^{-4} \text{ cal/(cm}\cdot\text{seg}\cdot^{\circ}\text{C)}$ a 25°C

14.3.4.5 CALOR ESPECIFICO

El calor específico del R-Temp (ASTM D-2766) se encuentra en un valor de $0.46 \text{ (cal/gm/}^{\circ}\text{C)}$ a 25°C

14.3.5 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS AL R-TEMP

Para los resultados obtenidos en la medición de resistividad referirse al punto 14.3.3.2 de este capítulo, asimismo para los resultados de la prueba de factor de potencia referirse al punto 14.3.3.1, en los cuales se definen los parámetros esperados en las mediciones realizadas a este aislante.



CAPITULO 15

BUSES (BARRAS)

Los buses de la subestación eléctrica están soportados por aisladores, los cuales pueden degradarse debido a la contaminación, defectos de fabricación, materiales de mala calidad y envejecimiento, por lo que se requiere vigilar su estado.

15.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

La prueba de resistencia de aislamiento a los buses de una subestación, se efectúa durante la puesta en servicio.

Cuando sea posible programar libranza sobre el bus, se recomienda efectuar la prueba para detectar fallas incipientes en los aisladores que los soportan.

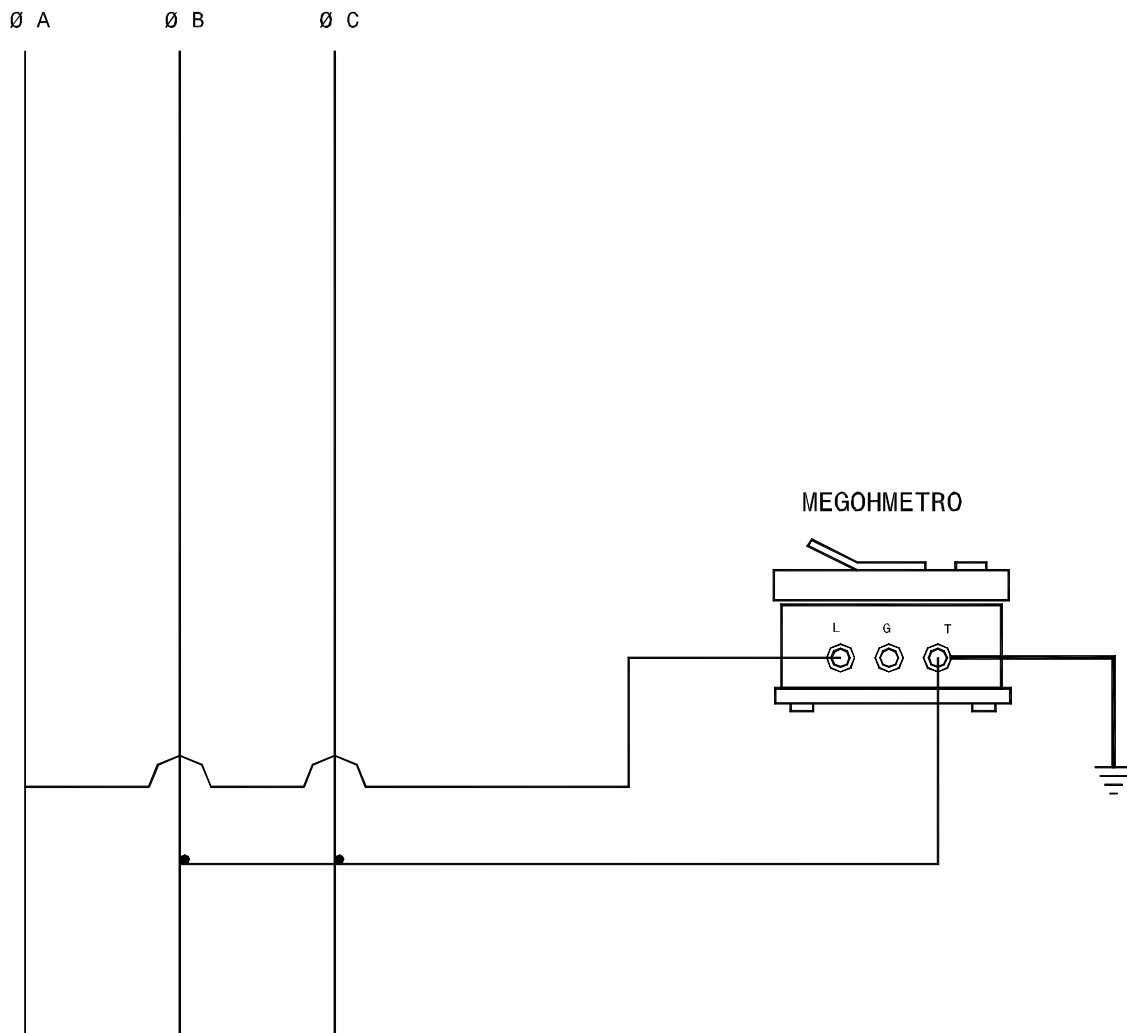
El equipo utilizado para efectuar esta prueba es el medidor de resistencia de aislamiento. El método utilizado es el de tiempo corto, aplicando 2,500 ó 5,000 volts de C.D. durante un minuto.

15.1.1 PREPARACION DEL BUS PARA LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1., sobre recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas al equipo primario.
- b) Abrir todas las cuchillas que conectan al bus, de tal forma que el voltaje de prueba, no se aplique a los interruptores, transformadores de servicios propios, capacitores, reguladores y otros.
- c) Antes de realizar la prueba de resistencia de aislamiento, es conveniente limpiar la superficie de los aisladores, con la finalidad de que la contaminación o suciedad no influya en los resultados de la prueba.

15.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura No. 15.1 se ilustra la manera de realizar esta prueba.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		
	L	G	T
1	A	-	B y C
2	B	-	A y C
3	C	-	A y B

FIG. 15.1 BUSES (BARRAS)

PRUEBA DE RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-15-01

15.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Teóricamente los valores obtenidos en la prueba de resistencia de aislamiento a buses deben ser infinito; sin embargo, partiendo del hecho de que no existen aislamientos ideales, como valor aceptable, se puede considerar un valor superior a los 40 M Ω por cada KV de la tensión máxima de diseño de los aisladores.

En esta prueba es importante tener la referencia del valor obtenido en la puesta en servicio, con el fin de comparar y analizar mas a detalle los resultados.

15.2 PRUEBA DE ALTO VOLTAJE C.D. (HIGH POT).

La prueba conocida como High Pot (alto potencial) consiste en aplicar un voltaje de C.D., igual al voltaje de flameo en seco por un tiempo de tres segundos, normalmente es aplicada a tensiones de 34.5 kV e inferiores.

TENSION NOMINAL DEL BUS	TENSION NOMINAL DE PRUEBA
13.8	70
23.8	100
34.5	125

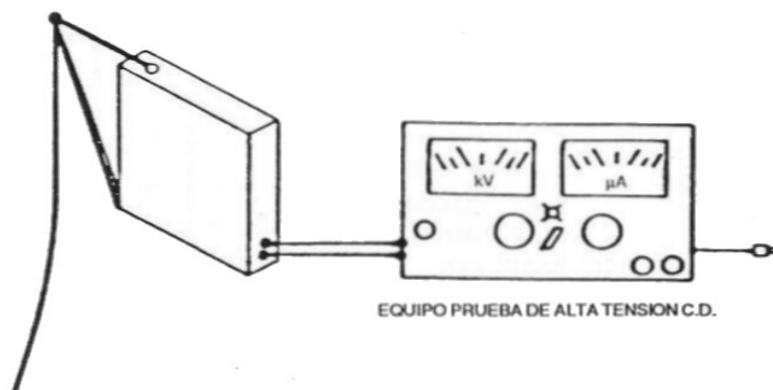
15.2.1 PREPARACION DEL BUS PARA LA PRUEBA.

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1., sobre recomendaciones generales para realizar pruebas eléctricas al equipo primario.
- Se debe aislar perfectamente el bus del equipo que se encuentra conectado al mismo, abriendo todas las cuchillas y cortacircuitos fusibles.
- Momentos antes de realizar la prueba de alto voltaje (High Pot), se deben limpiar perfectamente los aisladores del bus, para descartar corrientes de fuga por contaminación.
- Se debe tomar la lectura de la medición de la corriente de fuga para cada incremento de 5 kv, hasta llegar al voltaje máximo de prueba, una vez llegado a éste se dejará por 1 minuto, registrando los valores de corriente cada quince segundos.

15.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En esta prueba la terminal de alta tensión se conecta directamente al bus y la terminal de tierra a la estructura soporte de los aisladores. La tensión se aplica por separado a cada una de las fases del bus, logrando probar en una sola medición todos los aisladores asociados a la fase bajo prueba.

En la figura No. 15.2 se ilustra la manera de realizar esta prueba.



_____	Ø 1
_____	Ø 2
_____	Ø 3

EJEMPLO: PRUEBA 1

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA	
	L	T
1	Ø 1	ESTRUCTURA
2	Ø 2	ESTRUCTURA
3	Ø 3	ESTRUCTURA

FIG. 15.2 BUSES (BARRAS)

PRUEBA DE ALTO VOLTAJE C.D.

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-15-02



15.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Si los aisladores soportan la tensión máxima aplicada, se debe analizar el comportamiento de la corriente de fuga, la cual no debe exceder de 20 micro-amperes al término de los 60 segundos, por lo tanto el aislamiento del bus se considera aceptable.

Se recomienda considerar la experiencia del operador durante la aplicación de la prueba para determinar la exactitud de los resultados obtenidos, esto debido a la influencia que tiene el medio ambiente, el cual afecta la medición de la prueba reflejándose con variaciones de la corriente de fuga.





CAPITULO 16

RED DE TIERRAS

Los sistemas de tierras como elementos de una subestación, deben inspeccionarse y recibir mantenimiento.

El objetivo de una conexión a tierra es proveer un medio para facilitar el flujo de la corriente del sistema de potencia a tierra en condiciones normales y condiciones de falla; la oposición que se presenta a la circulación de esta corriente se llama resistencia de tierra.

Las características de una conexión a tierra, varían con la composición y el estado físico del terreno, así como de la extensión, calibre del conductor y configuración de la malla de tierras. El terreno puede estar formado por combinaciones de materiales naturales de diferente resistividad, puede ser homogéneo y en algunos casos estar formado por granito, arena o roca; etc.

Consecuentemente, las características de una conexión a tierra (resistencia óhmica), varían con las estaciones del año, y se producen por cambios en la temperatura, contenido de humedad (sales solubles en los estratos) , composición y compactación del terreno.

La construcción de redes de tierra tiene por objeto reducir la resistencia de tierra; la cual está formada por un conjunto de conductores enterrados a una profundidad de 30 a 50 centímetros, formando una configuración cuadriculada y conectados (mediante soldadura cadwell) entre sí y a varillas (electrodos) de 3 metros de longitud. Todo el equipo eléctrico y estructuras metálicas instalados en la subestación debe estar solidamente conectado a esta malla de tierras.

Las funciones de la red de tierras son las siguientes:

- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia, para conducir o drenar a tierra las corrientes producidas por sobretensiones.
- Evitar que durante la circulación de corrientes de falla a tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación que puedan ser peligrosos, y que pongan en riesgo la seguridad del personal.
- Brindar una referencia de potencial "cero" durante la operación del sistema eléctrico, como lo hace para las conexiones de los neutros de equipos eléctricos conformados por devanados, evitando sobrevoltajes que pudieran resultar peligrosos para los mismos y para el personal.

- d) Conexiones a tierra que se realicen temporalmente durante maniobras o mantenimiento de la instalación.
- e) La disponibilidad de una conexión a tierra para protección contra descargas atmosféricas.
- f) Facilitar la operación de los dispositivos de protección para la liberación de fallas a tierra.

16.1 METODO DE CAIDA DE POTENCIAL PARA MEDICION DE RESISTENCIA OHMICA EN UN SISTEMA DE TIERRAS

Las mediciones de resistencia tienen por objeto establecer el valor real de la resistencia de tierra de la red. El medidor de uso común para la prueba de resistencia de tierra es el óhmetro de tierras. Este método involucra la utilización de dos electrodos auxiliares uno de potencial y otro de corriente. El electrodo de corriente se usa para hacer circular una corriente de magnitud conocida a través del sistema de tierra, y medir la influencia de esta corriente en terminos de diferencia de potencial; la relación V/I dará el valor de resistencia.

El medidor consta de 4 terminales (C1, C2, P1 Y P2).

La prueba se efectúa mediante la técnica de los tres puntos, en el cual dos terminales (P1 C1) del aparato de prueba se puentean para conectarse directamente al electrodo de la red de tierras que se pretende probar. La terminal de potencial (P2) se conecta al electrodo de potencial P2 y la terminal de corriente (C2) al electrodo de corriente C2 (ver figura No. 16.1).

Las varillas de prueba P2, C2 deberán clavarse a una profundidad de 50 a 60 cm. aproximadamente.

La distancia (d) del electrodo bajo prueba de la red de tierras al electrodo de potencial (P2) se va variando y en cada punto se toma una lectura de resistencia (R). Se recomienda iniciar con una distancia $d = 5$ mts. Puede aumentarse o disminuirse este valor (3, 6, 10 mts.) de acuerdo con el criterio de la persona que efectúa la prueba, considerando siempre obtener los puntos coordenados (d, R) suficientes para trazar la curva.

La distancia (L) a la que se clavará el electrodo de corriente (C2) es igual a $4D$ y se calcula partiendo del círculo equivalente de la superficie que cubre la red de tierras. Generalmente la superficie es rectangular, por lo que se tiene:



$$A_r = l \times a$$

Donde:

A_r = superficie de la red

L = largo

a = ancho

El área o superficie de un círculo es: $A_c = \frac{(\pi \times D^2)}{4}$

Igualando: $A_r = A_c$ se obtiene: $L \times a = \frac{(\pi \times D^2)}{4}$

despejando se obtiene: $D = \sqrt{\frac{L \times a}{\pi}}$

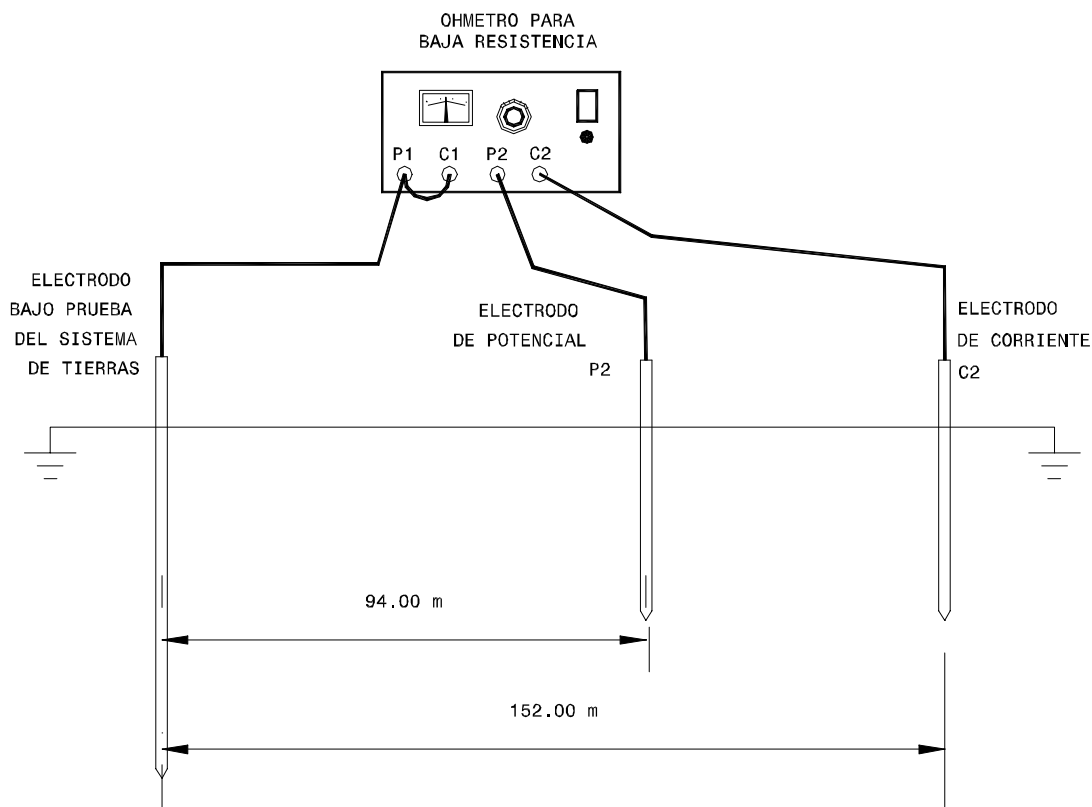
donde: D = diámetro equivalente de la superficie que cubre la red de tierras.

obteniéndose: **$L = 4D$**

Esta distancia es una longitud de referencia, por lo que en la práctica y de acuerdo con la experiencia de campo puede llegar a ser menor o mayor de $4D$.

Para subestaciones al entrar en operación y desenergizadas es recomendable antes de efectuar la medición de la malla de tierra, para verificar que haya continuidad y no se encuentre fracturada la malla o red.

Los valores obtenidos de resistencia se grafican contra la distancia (d), como se muestra en la fig. No. 16.2. En esta curva, la parte plana u horizontal, nos indica la resistencia real (R_t) de la red de tierras que se ha probado. En la práctica no se tiene uniformidad de lecturas de (R) por lo que al graficar los resultados se trazará la curva de tal manera que pase por el mayor número de puntos. En cada punto tendrá sus coordenadas (R , d).



LONGITUD DE LA DIAGONAL DE LA MALLA DE TIERRAS (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE POTENCIAL P2 (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE CORRIENTE P2 (m)
30	94	152
42	113	180
55	132	213

**FIG. 16.1 MEDICION DE RESISTENCIA DE TIERRA
CON ELECTRODOS MULTIPLES (MALLA)**

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA NO. SE-16-01

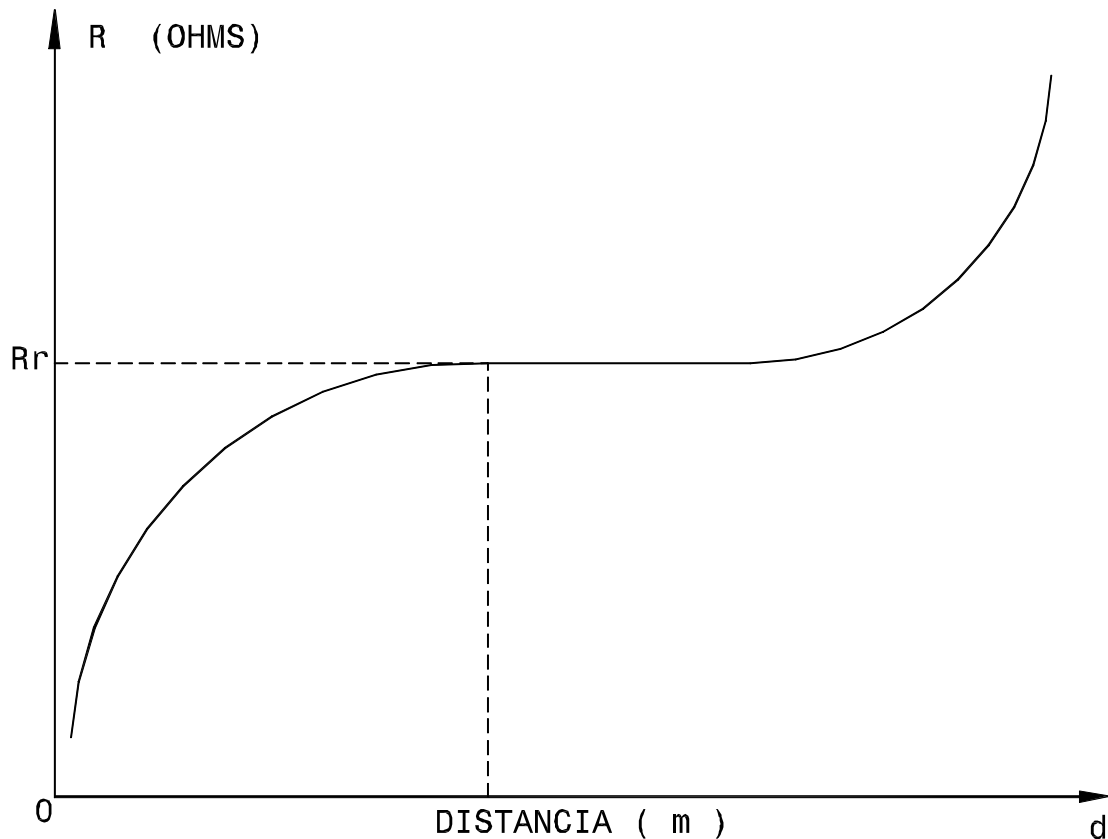


FIG. 16.2 MEDICIONES DE RESISTENCIAS TÍPICAS EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS.

16.2 METODO DEL 62% PARA MEDICION DE SISTEMAS DE TIERRA.

Este método se a adoptado en base a consideraciones gráficas. Es confiable dado su principio de operación, tal como se describe en la figura No. 16.3.

Este método se aplica únicamente cuando los tres electrodos están en línea recta y la "tierra" es un solo electrodo, tubería o placa.

Dependiendo de la longitud del electrodo, se especifica la distancia del electrodo de potencial (P2) el electrodo de corriente (C2). La resistencia real del electrodo de puesta a tierra es igual al electrodo de resistencia medida cuando el electrodo de potencial se localiza al 61.8 %(también conocida como 62%) de la distancia del electrodo de corriente, partiendo del electrodo de tierra.



Generalmente en Comisión Federal de Electricidad se utilizan electrodos (varillas de tierra) de tres metros de longitud y un diámetro de 19 mm. Por lo anterior la distancia del electrodo de prueba al electrodo de potencial es de 18 metros y la distancia del electrodo bajo prueba al electrodo de corriente es de 30 metros.

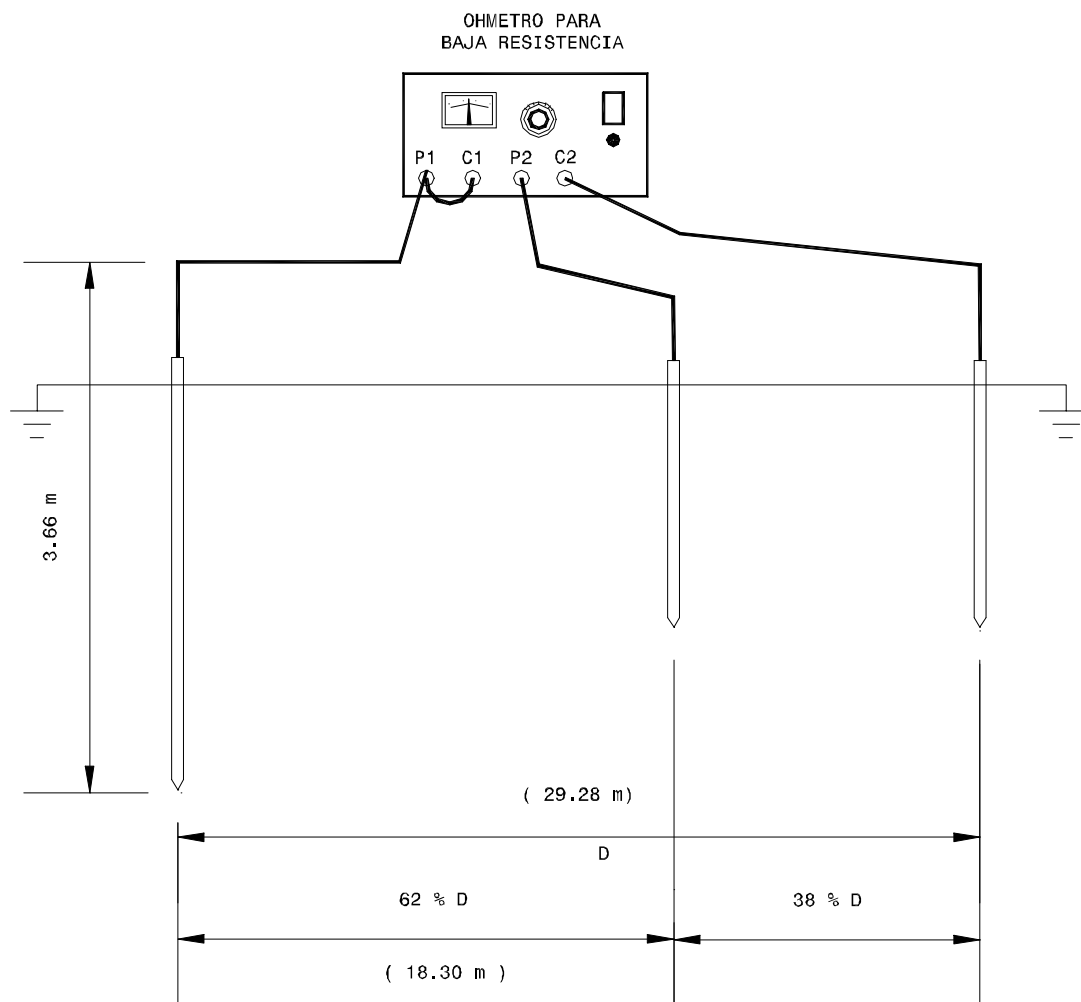
16.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Antes de realizar la prueba es necesario comprobar la correcta operación del equipo, realizando las siguientes actividades:

- a) Ajuste del cero.
- b) Comprobación de batería.
- c) Ajuste eléctrico del cero.
- d) Comprobación de sensibilidad

16.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

El diagrama de conexiones para la medición de resistencia de tierra por el método del 62% se muestra en la fig. 16.3.



LONGITUD DEL ELECTRODO BAJO PRUEBA (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE POTENCIAL P2 (m)	DISTANCIA AL ELECTRODO DE CORRIENTE C2 (m)
1.83	13.72	21.96
2.44	15.23	24.40
3.05	16.77	26.84
3.66	18.30	29.28

NOTA: REALIZAR CUATRO MEDICIONES EN DIRECCIONES OPUESTAS Y OBTENER EL PROMEDIO.

**FIG. 16.3 MEDICION DE UN ELECTRODO DE TIERRAS
(METODO DEL 62%)**

UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA SE-16-02

16.3 METODO DE MEDICION UTILIZANDO PROBADOR DIGITAL DE GANCHO

Este equipo es versatil y practico, para realizar mediciones de resistencia de la red de tierras, obteniendose los valores directamente.

16.4 MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

La resistividad del terreno esta en función del tipo de compactación, contenido de humedad y sales solubles en los estratos. La resistividad es el inverso de la conductividad.

La resistividad es una forma indirecta, rápida y práctica de valorar las condiciones del terreno, que se utiliza tanto para los diseños de redes de tierra y estudios de protección catódica.

Dedido a que existen variaciones en el sentido horizontal y vertical en la composicion del suelo, es conveniente realizar las pruebas de campo en varios lugares del terreno.

Debido a la variación de la humedad del terreno, la lectura de resistividad no es constante, por lo tanto el valor de la resistividad solo es verdadero para el momento de la medicion.

Se calcula la resistividad del terreno (ρ) mediante la fórmula:

$$\rho = 2 \times \pi \times l \times R$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno

R = resistencia medida en ohms

l = separación entre electrodos en cm.

16.4.1 METODO DE WENNER PARA LA MEDICION DE RESISTIVIDAD DE TERRENO

Para medir la resistividad del terreno, normalmente se utiliza el método de Wenner o de los cuatro electrodos, haciendo una cuadrícula del terreno y realizando varias mediciones con separación variable entre los electrodos.

Este método consta de cuatro electrodos de pequeñas dimensiones dispuestos en línea recta, siendo los dos electrodos interiores de potencial y los dos exteriores de corriente.



Las mediciones deben realizarse principalmente sobre las diagonales del terreno, como se muestra en la figura 16.4.

Sobre las líneas trazadas en el terreno (cuadrícula o rectangular) se deberá variar la distancia entre los electrodos, como se muestra en la fig. 16.4 partiendo siempre del centro del terreno.

Es conveniente que la lectura se tomen variando la distancia entre los electrodos, incrementando la separación inicial, en intervalos de 1.6 metros hasta cubrir el área del terreno.

16.4.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Con los datos obtenidos en el punto anterior, se calcula la resistividad con la fórmula antes mencionada.

El valor de la resistividad media del terreno sera el promedio de los valores de resistividad obtenidos. Se recomienda realizar las mediciones en epoca de menor humedad.

16.5 RECOMENDACIONES.

Se recomiendan los siguientes valores límites de resistencia de la red de tierras de una Subestación como valores aceptables en época de estiaje.

CAPACIDAD DE LA S.E. EN k.V.A.	RESISTENCIA DE TIERRA
1,500	15
1,501-10,000	7
MAYORES DE 10,000	2

Para valores superiores a los indicados , se recomienda efectuar una revision minuciosa a las conexiones del sistema de tierras, y con ello determinar si se requiere una mejora en el diseño de la red o la aplicacion algun elemento como bentonita,intensificadores etc .

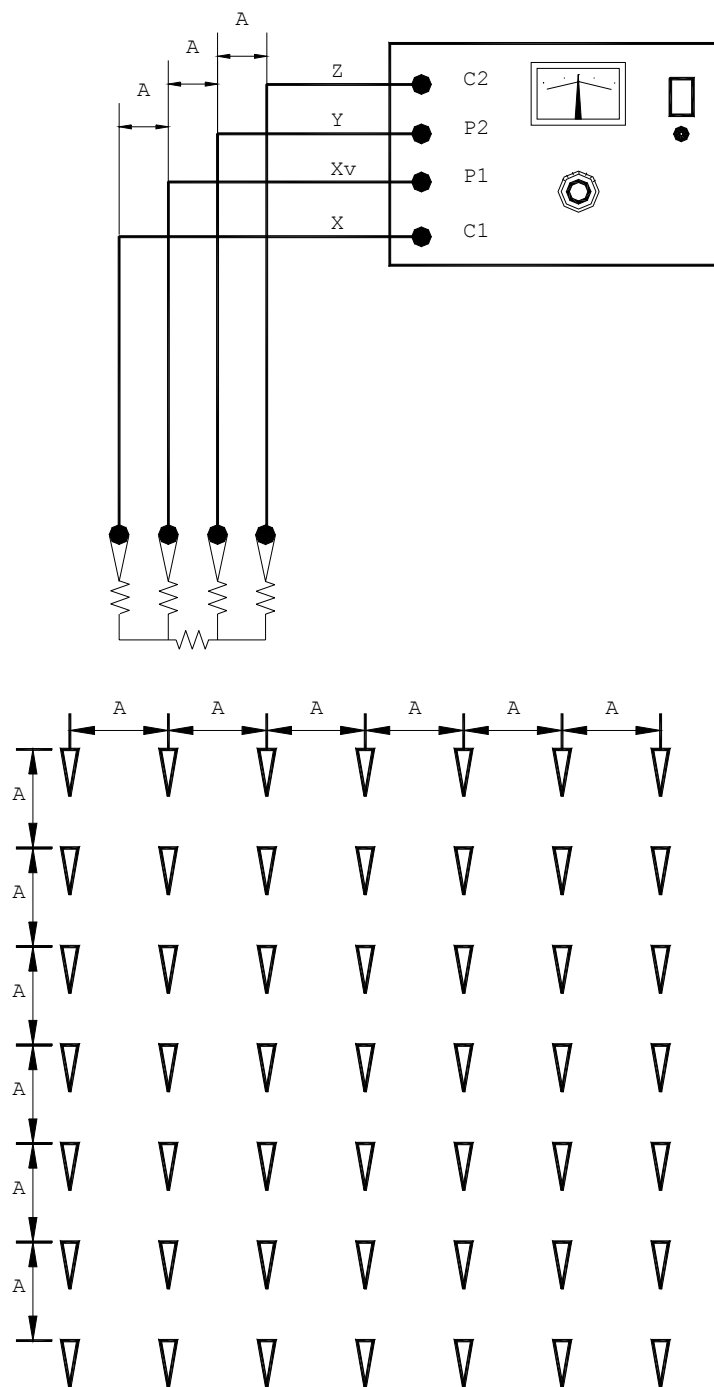


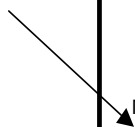
FIG. 16.4 CONEXIONES PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

**RED DE TIERRAS**
MEDICION DE SISTEMA DE TIERRAS (MALLAS)FECHA ULTIMA PRUEBA _____
REPORTE No. _____
DIVISION _____
ZONA _____SUBESTACION _____
EQUIPO DE PRUEBA MARCA _____
TEMP. AMBIENTE _____FECHA _____
TIPO _____ No. SERIE _____
COND. AMBIENT. _____

ELECTRODO No.	LECTURA	MULTIPLICADOR	RESISTENCIA EN OHMS	OBSERVACIONES
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

AREA DE LA SUBESTACION

ELECTRODOS

NOTA:
REFERIRSE A LA FIGURA
DE CONEXIONES 16.1

FORMATO SE-16-01

CAPITULO 17

DETECCION Y MEDICION DE PUNTOS CALIENTES.

TEORIA GENERAL

Uno de los problemas más comunes que se presentan en las instalaciones eléctricas (Centrales Generadoras, Subestaciones, Líneas de Transmisión y Subtransmisión, Redes de Distribución), así como en los diversos equipos donde existe puntos de conexión o contacto en las partes que las integran, son los denominados **"PUNTOS CALIENTES"**; los cuales pueden llegar a ocasionar el daño parcial o total en equipos e instalaciones, con la consiguiente pérdida de la continuidad del servicio eléctrico.

Por tal razón es de suma importancia dedicar recursos y orientar esfuerzos para la detección, medición y corrección oportuna de estos **"PUNTOS CALIENTES"**, las repercusiones o consecuencias producto de los falsos contactos son, perdida de las propiedades en los materiales trayendo como consecuencia el debilitamiento de los elementos, por la acción de las corrientes de sobrecarga y cortocircuito, o bien por agentes externos a la instalación.

La programación de las acciones de detección de puntos calientes, debe estar debidamente fundamentada en las estadísticas de comportamiento de cada instalación, disturbios en el sistema y fallas relevantes, evitando el caer en la práctica errónea de ejecutar dichas actividades de manera rutinaria con base en una supuesta periodicidad, que lejos de dar los resultados requeridos, desvía la atención en muchas ocasiones a instalaciones que no representan problema alguno. Es importante que por la naturaleza, de los puntos calientes se tenga siempre presente, que aún después de realizar un mantenimiento correctivo, no se puede asegurar su eliminación definitivo, estando siempre latente su reaparición en función de las condiciones operativas de cada una de las instalaciones.

Todos los objetos o cuerpos que se hallan por encima del cero absoluto emiten radiación de energía infrarroja, que depende de la temperatura alcanzada por dicho objeto como generador del "punto caliente".

Por la pequeña longitud de onda en el espectro electromagnético, esta radiación no es perceptible al ojo humano, siendo por tanto imposible detectar a simple vista un punto caliente en una línea, dispositivo o equipo eléctrico que se encuentre energizado; sobre todo en las etapas iniciales, que es cuando en forma oportuna puede corregirse sin ningún riesgo para la instalación. Obviamente, cuando el punto caliente es perceptible a simple vista, es porque se encuentra ya en un proceso acelerado de crecimiento,

CAPÍTULO 18

SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN SF6

18.1 TEORIA GENERAL

En los sistemas eléctricos de potencia las subestaciones de distribución son las que suministran a través de sus circuitos la energía eléctrica a los centros de consumo y estas pueden ser del tipo convencional o encapsuladas en SF6.

En este capítulo particularmente se trata con las subestaciones encapsuladas en SF6, para conocer sus condiciones operativas y así poder reducir cualquier posibilidad de falla, mejorando así la continuidad del servicio.

Estas subestaciones difieren de las convencionales en sus dimensiones, ya que en estas todos los equipos (cuchillas, T.P's, T.C's e interruptores) se encuentran dentro de una envolvente metálica y presurizada con gas SF6 como medio aislante, esto hace que las distancias entre fases y fase a tierra sean muy reducidas por lo cual se logra economizar en el área del terreno, el lugar donde se instalan estas subestaciones se evita la contaminación visual del entorno.

Otra de las características de estas subestaciones es que son modulares, lo que permite realizar todos los arreglos necesarios en la construcción de subestaciones, estos módulos normalmente se fabrican de aluminio fundido o bien como construcción soldada de aluminio, cada módulo es sometido a una prueba de hermeticidad aplicando una presión con gas o agua.

Los módulos son de diseño compacto monopolar o tripolar, en los límites de los módulos los conductores están unidos a través de contactos de acoplamiento o contactos deslizantes.

Para la correcta operación de este tipo de subestaciones es de suma importancia que durante la instalación de estas subestaciones se considere preferentemente antes de iniciar el montaje, la instalación del equipo de presión positiva en el área de montaje, esto con el fin de evitar la penetración de partículas que puedan contaminar los compartimientos, así mismo tomar todas las medidas preventivas de limpieza e higiene durante el montaje, esto dará mayor confiabilidad y redundará en la vida útil del equipo. Un aspecto relevante de estas instalaciones es la vigilancia de las presiones de gas SF6 en los diferentes compartimientos que forman una sección, esto se puede hacer de diversas formas, dependiendo del fabricante pueden ser simples presostato, con carátulas de agujas y contactos auxiliares para alarmas por control supervisorio o dispositivo que utilizan el principio del control de la presión para alarmas remotas e indicaciones locales a través de manómetros ya que las pérdidas de gas SF6 de estas



instalaciones por norma deben ser menores al 1 % y con estos sensores garantizamos indicaciones inmediatas para pérdidas mayores a las de norma.

El llenado de gas SF₆ se lleva a cabo después de haber verificado que la estación ya no tenga ningún problema de ensamblado y que todas sus partes estén operando correctamente. Se debe efectuar un vacío a la estación durante un periodo de cuando menos seis horas para extraer toda humedad que pudiera haber penetrado durante los trabajos de armado y que los elementos absorbentes de cada modulo se hayan reemplazado.

Sin dejar de hacer vacío se procederá a introducir Sf₆ para darle una deshumidificada y hacerle una prueba de humedad residual al gas Sf₆ antes de proceder a introducirlo a la estación dependiendo del fabricante y el tipo de aparato de prueba utilizado serán las características a medir. Uno de los equipos a utilizar es el medidor de punto de rocío del gas para cuantificar el porcentaje de humedad . Un valor aceptable para el punto de rocío es de -10 grados centígrados ó su equivalente + 14 grados Fahrenheit.

Un valor límite crítico de punto de rocío del gas Sf₆ es de -5 grados centígrados o su equivalente +23 grados Fahrenheit.

Con las condiciones idóneas del gas se procede al llenado de la estación manteniendo el vacío en la misma, hasta alcanzar las presiones nominales de operación de cada compartimiento.

18.2 PRUEBAS

Los criterios para las pruebas de puesta en servicio, operación y mantenimiento de subestaciones encapsuladas en gas SF₆ se dividen en tres tipos:

- De prototipo
- Puesta en servicio
- De mantenimiento

Para este documento el enfoque es únicamente a las pruebas de mantenimiento.

18.2.1 COMPROBACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CALEFACCION

Se debe verificar la correcta operación de las calefacciones, las cuales pueden estar instaladas en los siguientes compartimentos:

- Compartimento del accionamiento hidráulico del interruptor.
- Accionamiento del motor.
- Unidad de mando.
- Tableros de mando local.

18.2.2 SECCIONADORES, INTERRUPTORES DE PUESTA A TIERRA E INTERRUPTORES RÁPIDOS DE PUESTA A TIERRA

Dentro del marco de la puesta en servicio de seccionadores, interruptores de puesta a tierra e interruptores rápidos de puesta a tierra, deben comprobarse los accionamientos por motor, tiempos de maniobra y los cambios de estado por maniobra, esto mismo debe verificarse durante los trabajos de mantenimiento o maniobras.

18.2.3 PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Las pruebas a efectuarse a los transformadores de corriente serán las convencionales para este tipo de equipo, tales como son: pruebas de polaridad, relacion, saturacion y resistencia de aislamiento, para estas pruebas referirse al capitulo No. 5 transformadores de instrumento.

18.2.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LAS PRUEBAS A T.C'S.

Considerar lo establecido en el punto 2.3.1.

Retirar placas donde se encuentran ubicados los bornes de conexión del los devanados secundarios de los T.C's.

Para efectuar las pruebas de relación y polaridad a TC's, es importante retirar unas laines localizadas en las secciones de las cuchillas de puesta tierra del bus, líneas y acometida de la subestación encapsada en SF6, ahí se cuenta con unos bornes de conexión donde se realizan la conexión de los equipos de prueba de acuerdo a diagramas. Es importante que el equipo se encuentre desenergizado en la sección donde se pretende trabajar.

En la figura 18.1, se muestra un ejemplo donde se representa con un asterisco el lugar donde se localizan estas laines para mayor referencia al respecto.

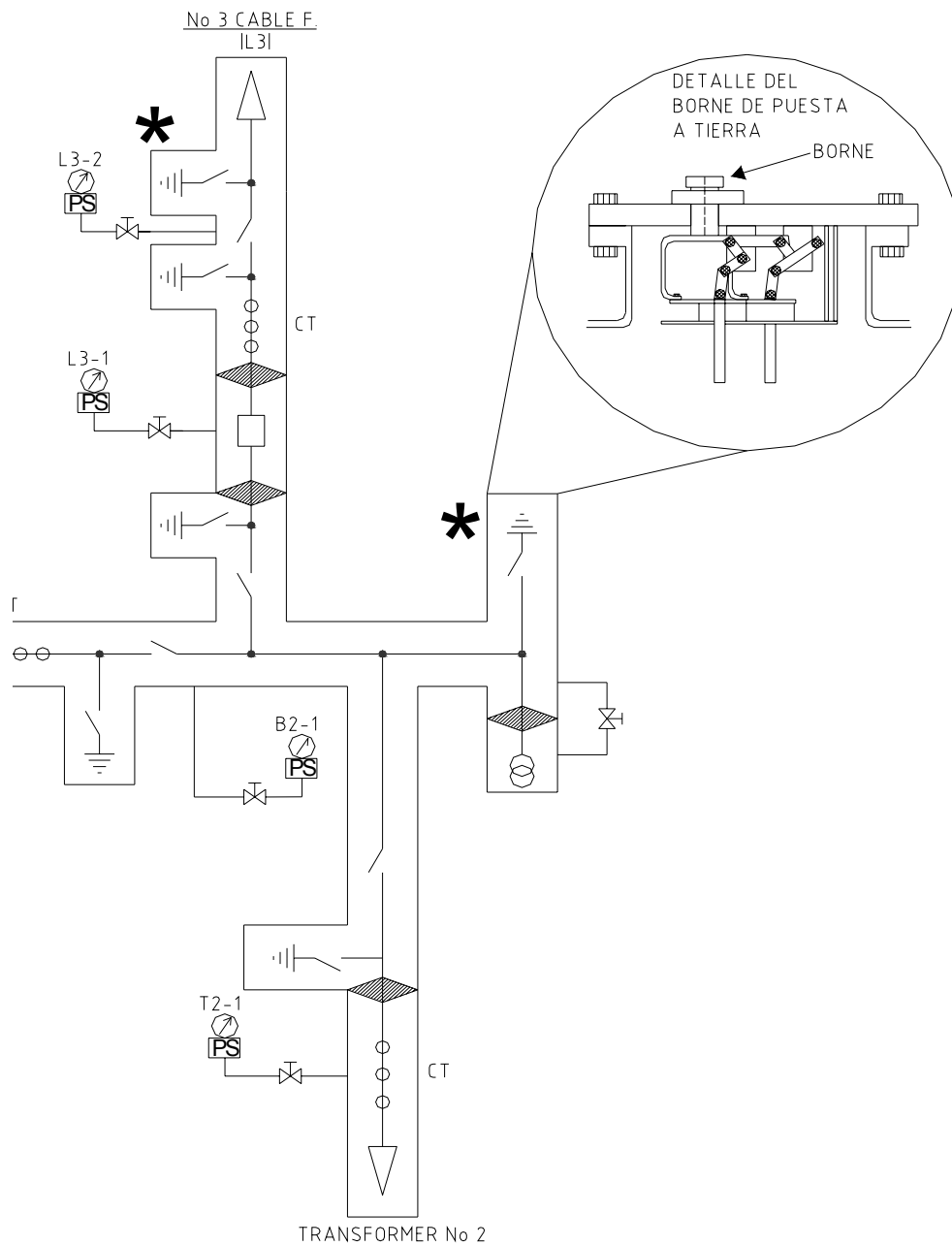


FIG. 18.1 ESQUEMA DE SECCION DE SUBESTACIÓN ENCAPSULADA



18.2.4 PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

Esta prueba se realiza para determinar las condiciones de las conexiones efectuadas durante el montaje y dependerá del arreglo que se tenga ya que se deberán comparar los resultados entre las barras de cada una de las celdas, así mismo dependerá de los valores de diseño del fabricante.

A lo largo de las partes de conducción de la subestación existen puntos de conexión como son contactos deslizables a presión de los seccionadores, interruptores y buses.

Los puntos que presentan alta resistencia a la conducción originan caídas de voltaje, generación de calor y pérdidas de potencia.

Para medir las deficiencias de las conexiones se recomienda el uso de ohmetro aplicando una corriente monofásica constante de 100 Amp.

18.2.4.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Considerar lo establecido en el punto 2.3.1.

El equipo bajo prueba debe estar des-energizado y en la posición de cerrado (trayectoria que se desea medir), las cuales deben ser las mas cortas posibles para poder identificar contactos deficientes.

Uno de los parámetros de comparación deben ser los valores obtenidos en puesta en servicio.

Se debe aislar el equipo en lo posible contra inducción electromagnética, ya que esta produce errores en la medición y puede dañar el equipo de prueba.

Se debe asegurar la limpieza de los conectores donde se van a colocar el equipo.

Para realizar la prueba de resistencia de contactos en el punto de conexión de la terminal de prueba, se debe retirar la cintilla de aterrizamiento del seccionador de la trayectoria que se desea medir.

18.2.4.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 18.2, se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de la resistencia de contactos a subestaciones encapsuladas.



FIG. 18.2 SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF6
PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS

18.2.5 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

la prueba de resistencia de aislamiento en subestaciones encapsuladas son importantes para conocer las condiciones de su aislamiento.

En las subestaciones encapsuladas se tienen elementos de material higroscópico que intervienen en los soportes de barras, seccionadores, cuchillas e interruptores; en la operación del interruptor se generan productos de descomposición del SF6 que ocasionan contaminación que se deposita en los envoltentes de los equipos, lo cual genera una reducción en la resistencia del aislamiento.

Esta prueba se realiza con la subestación ensamblada, sin embargo puede realizarse a cada uno de los compartimientos durante la etapa de montaje, lo anterior con el objeto de verificar las condiciones del aislamiento del circuito principal y cada una de las barras en el aislamiento soporte. Esta prueba es mas cualitativa que cuantitativa, ya que nos indica el estado general de la subestación, que no presente fallas de aislamiento.

18.2.5.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Para la ejecución de esta prueba, se debe considerar lo establecido en el punto 2.3.1.

Aplicar 1000 volts máximo derivado de que el aislamiento en los bornes de las cuchillas de tierra esta aislado para soportar máximo esta tensión.

La estación de maniobra debe estar desenergizada y los seccionadores e interruptores cerrados con cuchillas de puesta a tierra abiertas.

18.2.5.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 18.3, se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de la resistencia de aislamiento a subestaciones encapsuladas.

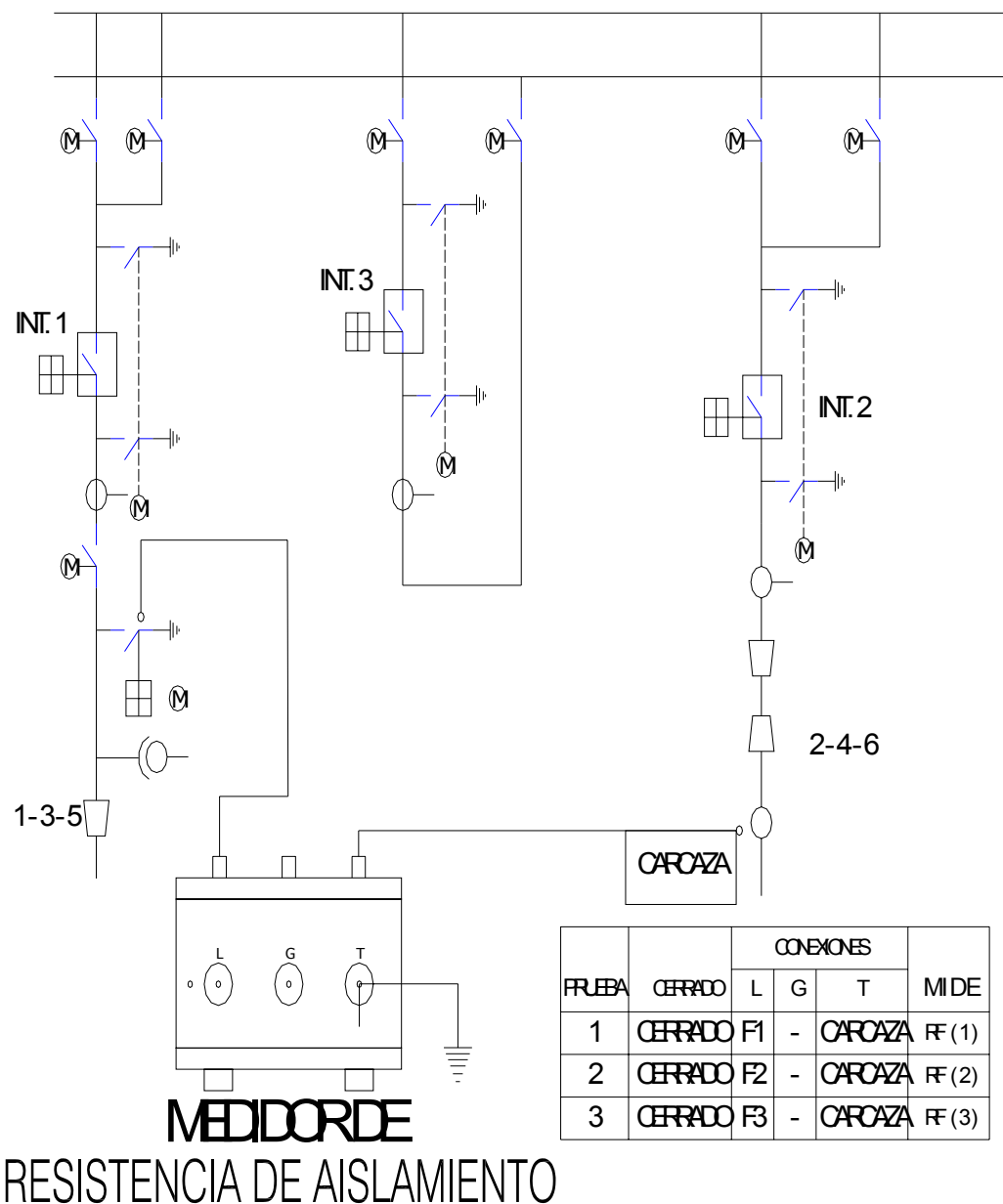


FIG. 18.3 SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN SF6
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO



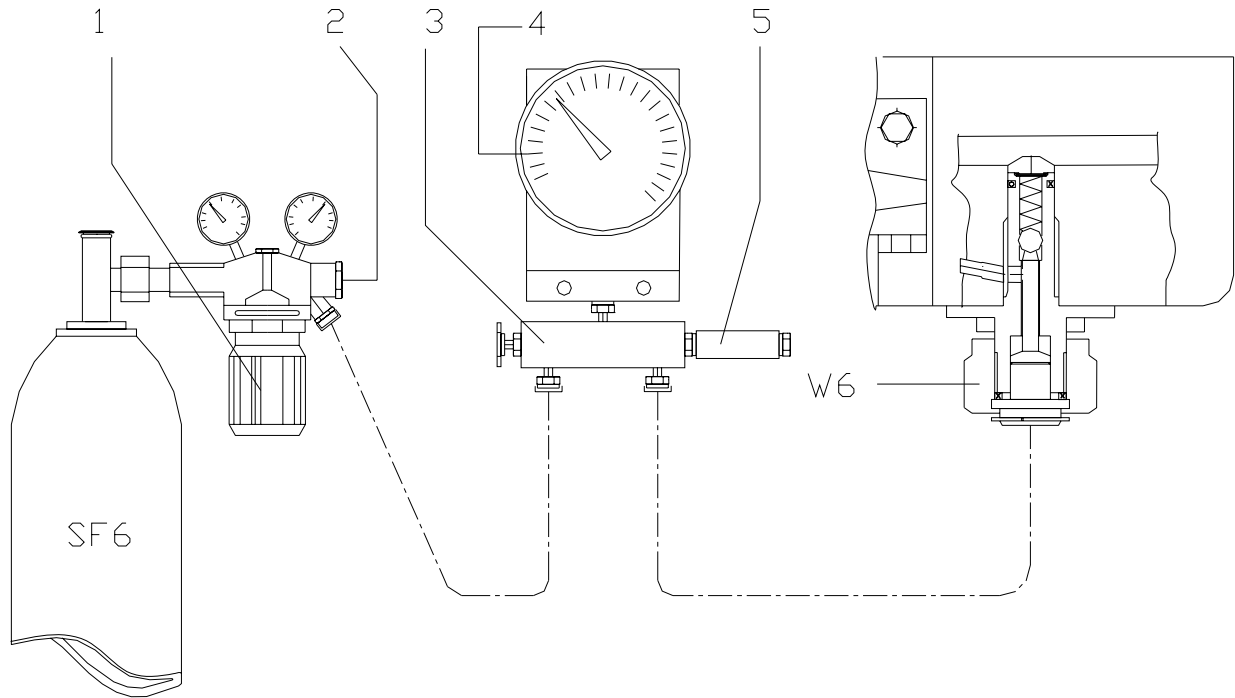
18.2.5.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Esta prueba se realiza con un probador de resistencia de aislamiento aplicando 1000 V y esperando un valor satisfactorio de 1000 megahoms.

18.2.6 PRUEBA AL SISTEMA DE GAS

Esta prueba consiste en verificar las condiciones de operación de los manómetros de presión y de contactos auxiliares de alarma integrados a estos manómetros con el fin de verificar las presiones a las cuales han sido calibrados para su operación. Para la ejecución de esta prueba será necesario la utilización de un equipo recuperador de gas SF6 como se muestra en la figura 18.4.

La prueba consiste en extraer el gas SF6 por debajo de las presiones nominales de operación y de alarma para verificar su correcta operación y garantizar que se tendrá una señalización cuando se presente una fuga en los compartimientos de gas cuando alcanzan las presiones de alarma calibrados de acuerdo al fabricante que se trate.



- 1 Reductor de presión, válvula reguladora.
- 2 Reductor de presión, válvula de salida.
- 3 Distribuidor con válvula de salida (para comprobación del vigilador de densidad).
- 4 Manómetro de presión.
- 5 Válvula de seguridad.
- 6 Empalme para comprobación.

FIG. 18.4 EQUIPO RECUPERADOR DE GAS SF6

18.2.7 PRUEBA DE ALTA TENSION

Esta es la prueba mas significativa de la subestación, se realiza previa a la energización de la misma ya que con esta prueba garantizamos al cien por ciento las condiciones de aislamiento, esta prueba es relevante ya que se aplica un porcentaje de sobretensión a la instalación de acuerdo a la especificación.

18.2.7.1 RECOMENDACIONES.

Es importante que en esta prueba los transformadores de intensidad estén en cortocircuito y puestos a tierra por el lado secundario.

Que exista un adaptador puesto a tierra vía dos puntos de aislamiento, entre la sección a comprobar de la instalación y cada parte de la instalación que se encuentra en puesta en servicio.

Que se tengan instalados apantallamientos si es preciso desconectar partes de la instalación para la prueba.

Al realizar la prueba de alta tensión, los transformadores de tensión, los descargadores de sobretensión y, en caso dado, otros elementos de servicio (por ejemplo transformadores, cables de potencia) deben estar desconectados de la sección a comprobar de la instalación.

Después de la prueba se debe aterrizar y cortocircuitar la instalación durante cinco minutos para eliminar posibles cargas residuales,

La prueba de alta tensión tiene que hacerse con un voltaje aplicado de un 180 a 300 %, de la tensión de diseño.

18.3 PRUEBAS DE MANTENIMIENTO

A continuación se presentan tablas de actividades de mantenimiento a las subestaciones encapsuladas en base a estas se deben programar los trabajos a dichas instalaciones, así mismo se deben considerar las recomendaciones del fabricante correspondiente de acuerdo a la marca de la subestación.

	Fenómenos	Causa Estimada	Contador de Mediciones
Interruptor	- Bloqueo de la operación remota	- Baja corriente eléctrica - Fallo en el sistema de mando eléctrico - Fallo en las unidades de tendencia o en las partes del sistema del gas	- Confirmar la fuente de poder - Inspección de los controles auxiliares y terminales - Reglaje y reparación
Desconector Cuchillas de Tierra	- Bloqueo de la operación manual	- Mala condición de rollo de endavamiento - Alambre roto en rollo de endavamiento - Fallo en las unidades de tendencia o en las partes del sistema del gas	- Reparar la condición de endavamiento - reemplazo del rollo - Reglaje y reparación
	- Bloqueo de la operación remota	- Mala condición de endavamiento - Baja corriente eléctrica - Fallo en el sistema de mando eléctrico - Fallo en las unidades de tendencia o en las partes del sistema del gas	- Reparar la condición de endavamiento - Confirmar la fuente de poder - Inspección en los contactos auxiliares y terminales - Reglaje y reparación
El sistema del gas	- Alarma para fuga de gas	- Error de densidad de gas del interruptor - Fuga de gas - Deterioro, ruptura e inserción imperfecta de las ranuras de las juntas	- Si está dañado, reemplazar y ajustar - Acompletar gas y detección de fugas. - Verificar el torque - Cambiar los empaques



Servicios de mantenimiento necesario Pasados / según			En relación con	Observaciones
	años	desgaste		
Control visual	5		módulos de la instalación de Maniobra, interruptores de potencia, seccionador bajo carga	La instalación de maniobra sigue en servicio; las distintas celdas deben irse desconectando y aislando sucesivamente Los compartimientos de gas no se abren.
Control visual extenso	10	6,000 maniobras mecánicas	Seccionadores, interruptores de puesta a tierra, interruptores de potencia.	La instalación de maniobra sigue en servicio; las distintas celdas deben irse desconectando y aislando sucesivamente. Los compartimientos de gas no se abren.
	10	6,000 maniobras mecánicas	Interruptores rápidos de puesta a tierra	
	10	6,000 maniobras mecánicas	Seccionador bajo carga	
Control visual	15		módulos de la instalación de maniobra, interruptores de potencia, seccionador bajo carga	La instalación de maniobra sigue en servicio; las distintas celdas deben irse desconectando y aislando sucesivamente. Los compartimientos de gas no se abren.
Control visual extenso	20		módulos de la instalación de maniobra, interruptores de potencia, seccionador bajo carga	La instalación de maniobra sigue en servicio; las distintas celdas deben irse desconectando y aislando sucesivamente. Los compartimientos de gas no se abren.
Revisión	25	10.000 maniobras mecánicas	Seccionadores, interruptores de puesta a tierra, interruptores de potencia.	Dependiendo de su extensión y de su ejecución es preciso poner fuera de servicio total o parcialmente la instalacion de maniobra ES PRECISO ABRIR LOS COMPARTIMENTOS DE GAS.
	25	10,000 maniobras mecánicas	Interruptores rápidos de puesta a tierra	
	25	10,000 maniobras mecánicas	Seccionador bajo carga	
Control del sistema de Contactos (interruptor de potencia)		Número máximo de maniobras bajo cortocircuito (interruptores de potencia) [=>2450]		Debe desconectarse y aislarse el interruptor de potencia. Es preciso abrir el compartimiento de gas del interruptor de potencia.
Control del sistema de contactos (seccionador bajo carga)		Número máximo de maniobras bajo cortocircuito (Seccionador bajo carga)		Las distintas celdas deben irse desconectando Es preciso abrir el compartimiento de gas del seccionador bajo carga.
Control Visual	30	El programa de mantenimiento vuelve a empezar de nuevo		





presentándose incluso el deterioro o degradación de los elementos de la instalación involucrados.

La elevación de temperatura en los puntos de contacto es producida por varios factores, entre ellos se pueden citar principalmente:

- a) Alta resistencia de contacto, ocasionada por deficiente apriete de partes de la unión.
- b) Corrosión producida por la unión de materiales de diferentes características (cobre con aluminio, "par galvánico").
- c) Reducida área de contacto para la conducción.
- d) Baja calidad de los materiales en algunos equipos.

Un falso contacto en un equipo o instalación, produce calentamiento excesivo, al grado de fundir los materiales.

Los materiales más comúnmente usados como conductores, conectores y herrajes en la industria eléctrica, son el cobre y el aluminio.

El cobre se funde a una temperatura de 1080°C.

El aluminio se funde a una temperatura de 560°C.

Las aleaciones para algunos conectores están constituidas de varios materiales en diferentes proporciones, las temperaturas de fusión, son del orden de los 600°C.

La termografía es una técnica usada para detectar radiaciones infrarrojas invisibles (emisión de calor), sin necesidad de tener contacto con la instalación o con los equipos. El principio de funcionamiento de los dispositivos utilizados para propósito, es este la conversión de la energía calorífica en luz visible.

17.1 TECNICA DE MEDICION.

El principio para la detección de puntos calientes, se basa en utilización de un equipo termovisor, cuyas características son las de convertir la emisión de energía térmica radiada en temperatura, que se produce por alta resistencia de contactos.

Esta captación es realizada a través de un sensor microbolométrico especial, cuya función es la de convertir la energía radiada en una señal electrónica transformada a una imagen térmica infrarroja o señal de video, la cual puede ser observada y analizada.



El beneficio de utilizar un equipo termovisor es la medicion sin contacto con los elementos inspeccionados, no interferir con la continuidad del servicio de energia electrica, la observacion, analisis y prevencion de problemas potenciales por fallas por puntos calientes en instalaciones o equipos, mediante un mantenimiento predictivo.

El equipo debe ser operado principalmente por personal técnico capacitado; por estar construido con elementos, dispositivos electrónicos delicados y frágiles.

17.2 REGISTRO Y REPORTE DE INSPECCIONES PARA LA DETECCION DE PUNTOS CALIENTES.

Para el registro de los puntos calientes detectados en una instalación eléctrica se han utilizado diversos formatos simplificados, hasta los sofisticados reportes fotográficos, en videocassette, disco flexible, termograficos, software e impresión multicromática con voz.

17.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

En la detección de puntos calientes además de medir la temperatura registrada, se debe considerar la corriente circulante a la hora de la medición, la temperatura ambiente y las condiciones de operación del equipo, y con estos parametros se pueden evaluar como criticos, programables o por investigar. Se recomienda considerar como crítico un valor mayor a 100 °C.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

REPORTE DE INSPECCION DE PUNTOS CALIENTES

FECHA DE
INSTALAÇÃO
HORA

DIVISIO
ZONA
TEP.
AMB.

EQUIPO DE
MARCA
MODELO[illegible]

INSPECCION

Vo.

A	CRITICO	>
B	PROGRAMABLE	60 -
C	INVESTIGAR	<

FORMATO SE-17-01

17-4



REPORTE DE INSPECCION DE PUNTOS CALIENTES

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION: _____
LINEA DE SUBTRANSMISION: _____
CIRCUITOS: _____

FECHA: _____

TEMP. AMBIENTE _____ °C

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____

HORA: _____

SERIE No. _____ TIPO _____

NO	PUNTO CALIENTE	TEMPERATURA	CORRIENTE	DIAGNOSTICO
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
15				
17				
18				
19				
20				

OBSERVACIONES : _____

DIAGNOSTICO

- * CRITICO
- * PROGRAMAR
- * INVESTIGAR

INSPECCIONO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE-17-01



CAPITULO 19

TABLEROS METAL CLAD

TEORIA GENERAL

Un tablero Metal Clad esta conformado por varios gabinetes metálicos o secciones firmemente ensambladas y autosoportadas con divisiones metálicas aterrizadas, conteniendo en su interior el equipamiento requerido para cumplir su función operativa.

Estos tableros cuentan con el equipo para poder operar en condiciones de servicio normal, instalación interior y servicio continuo; son utilizados predominantemente en subestaciones de distribución que por su ubicación geográfica requieren de espacios reducidos para su operación, enclavados principalmente en zonas densamente pobladas. Este diseño es de una alta confiabilidad y seguridad en su operación además de ofrecer un mejor aspecto visual al medio.

Esto no limita que los tableros Metal Clad se utilicen en otras áreas, donde la influencia de agentes externos (animales, vandalismo, etc) puedan ocasionar daños irreversibles al equipo que convencionalmente es instalado a la intemperie.

El equipo primario que conforma este tipo de tableros es el mismo que el de una subestación convencional; solo que este es diseñado (interruptores, aisladores soporte, etc) con un nivel básico de aislamiento menor debido al servicio de tipo interior al que opera.

19.1 INTERRUPTORES

Los interruptores utilizados en tableros Metal Clad son de tipo removible, intercambiables, con un mecanismo para introducirlo y extraerlo manualmente, en tres posiciones definidas desconectado, conectado y prueba. El desplazamiento hacia cualquiera de estas posiciones se realiza con la puerta cerrada.

En posición de prueba los interruptores tienen los contactos principales desconectados de la línea y de la carga y debido a los bloqueos mecánicos con que cuenta éste, no puede ser insertado al tablero cuando esta en la posición de cerrado

Los interruptores instalados en un tablero Metal Clad no cuentan con boquillas y se encuentran alojados dentro de celdas independientes aisladas entre sí, según las características particulares de cada equipo pueden operar por diferentes medios de extinción (vacío, gas SF₆, soplo magnético y pequeño volumen de aceite).

Por las ventajas que ofrecen y las necesidades operativas actuales los interruptores con medio de extinción en vacío son los de uso más generalizado.

19.1.1 PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Las pruebas de resistencia de aislamiento en estos interruptores son importantes para conocer las condiciones de los aislamientos que los conforman.

Los aislamientos soportes del interruptor tienen la función mecánica de fijar y asegurar las cámaras de extinción del interruptor que a su vez se interconectan con las barras de enganche del tablero, además que eléctricamente aíslan estos elementos de tierra (gabinete del interruptor).

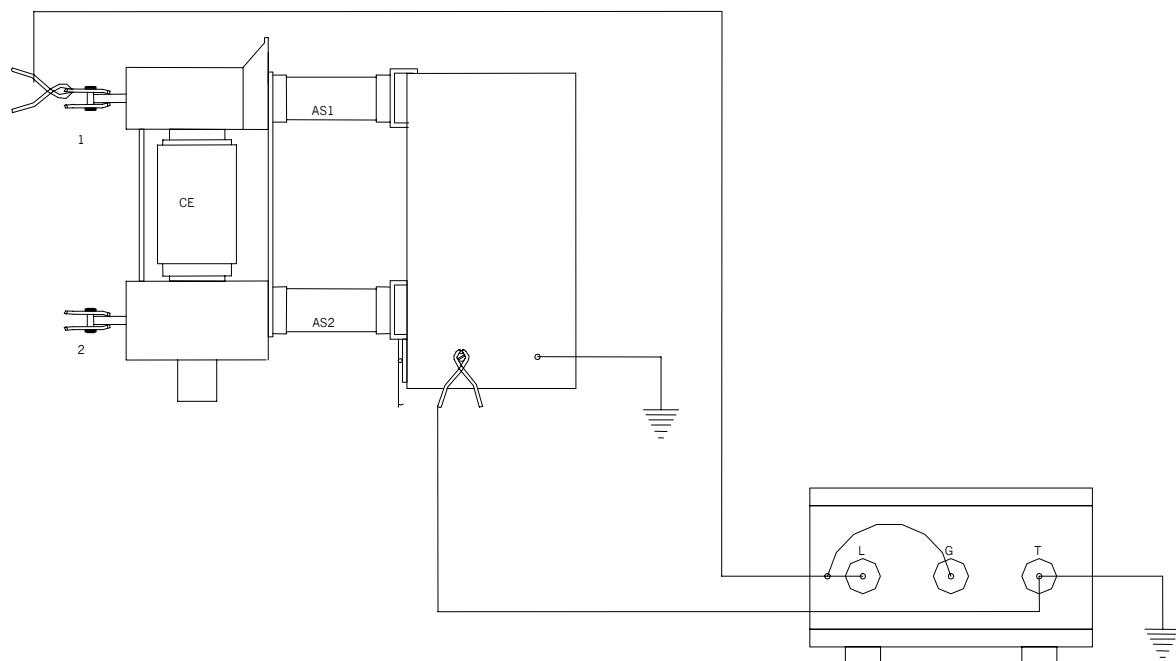
El aislamiento adicional varía dependiendo de la marca y tipo de cada interruptor siendo los más comunes los elementos separadores entre fases y los aislamientos de las barras de accionamiento cuya finalidad es la de asegurar el aislamiento entre fases y a tierra, en la parte interna del interruptor.

19.1.1.1 RECOMENDACIONES PARA HACER LA PRUEBA

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar la prueba
- Extraer el interruptor del interior del tablero Metal Clad
- Retirar polvo o agentes contaminantes de los elementos aislantes
- Conectar la estructura del gabinete del interruptor a la tierra física y a la terminal de tierra del medidor
- Efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor del 75%
- Para efectura la prueba se aplican 2500 o 5000 volts

19.1.1.2 CONEXIONES PARA HACER LA PRUEBA

En la figura 19.1 se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de resistencia de aislamiento para interruptores en tableros Metal Clad



EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	POSICION DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		L	G	T	
1	ABIERTO	1	-	E	AS1, ES
2	ABIERTO	2	-	E	AS2,ES,BA
3	ABIERTO	3	-	E	AS3,ES
4	ABIERTO	4	-	E	AS4,ES,BA
5	ABIERTO	5	-	E	AS5, ES
6	ABIERTO	6	-	E	AS6,ES,BA
7	CERRADO	1-2	-	E	AS1,ES,AS2,BA
8	CERRADO	3-4	-	E	AS3,ES,AS4,BA
9	CERRADO	5-6	-	E	AS5,ES,AS6,BA

AS.- AISLAMIENTO SOPORTE
ES.- ELEMENTO SEPARADOR

BA.- BARRA DE ACCIONAMIENTO
E.- ESTRUCTURA

FIG. 19.1 INTERRUPTORES DE VACIO, GAS SF6, ACEITE Y SOPLO MAGNETICO

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-19-01

19.1.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las lecturas en los valores de resistencia de aislamiento en esta clase de interruptores por lo general son altas, así que una lectura baja es indicativo de un deterioro de alguno de sus aislamientos o presencia de humedad.

En los interruptores de vacío, gas SF₆, aceite y soplo magnetico los valores de resistencia de aislamiento deben de ser superiores a los 100,000 mega ohms, para bajos valores obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento se requiere complementar con pruebas segmentadas a cada uno de los elementos que componen el interruptor para determinar exactamente cual es el aislamiento que origina la reducción en la medición y complementar con lo resultados de las pruebas de factor de potencia al interruptor.

En los interruptores de pequeño volumen de aceite los bajos valores en la medición de resistencia de aislamiento pueden ser originados por contaminación del aceite aislante derivado por la presencia de productos generados en la extinción del arco o deterioro en algun elemento soporte o barras de accionamiento

Verificar siempre que las resistencias calefactoras en cada una de las celdas del tablero esten funcionando correctamente, dado que esto puede ser una causa que origine un bajo valor de la resistencia de aislamiento.

19.1.2 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

Con esta prueba se analiza la condicion dieléctrica de los aislamientos que conforman al interruptor como son: los elementos de soporte y los aislamientos internos, según el diseño de cada fabricante.

El método para realizar la prueba de factor de potencia consiste en aplicar potencial a cada uno de los brazos o terminales del interruptor refiriendo las mediciones a tierra en el método gst-ground.

En este tipo de interruptores las pérdidas registradas por el equipo de medición de factor de potencia tienden a ser relativamente bajas debido al poco aislamiento que conforma al interruptor.

19.1.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

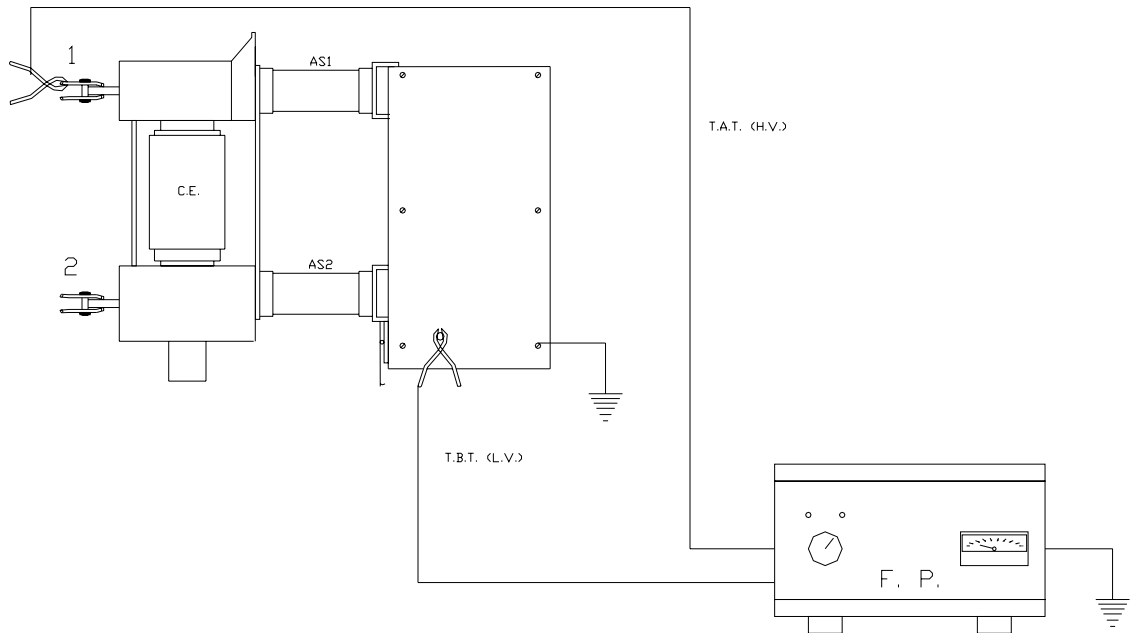
- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar la prueba
- Extraer el interruptor del interior del tablero Metal Clad



- c) Retirar polvo o agentes contaminantes de los elementos aislantes
- d) Conectar la estructura del gabinete del interruptor a la tierra física y a la terminal de tierra del medidor
- e) Efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor del 75%
- f) Esta prueba se puede realizar aplicando 2.5 ó 10 KV

19.1.2.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

En la figura 19.2 se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición del factor de potencia para interruptores en tableros Metal Clad.



EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	POSICION DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	
1	ABIERTO	1	E	GROUND	AS1, ES
2	ABIERTO	2	E	GROUND	AS2,ES,BA
3	ABIERTO	3	E	GROUND	AS3,ES
4	ABIERTO	4	E	GROUND	AS4,ES,BA
5	ABIERTO	5	E	GROUND	AS5, ES
6	ABIERTO	6	E	GROUND	AS6,ES,BA
7	ABIERTO	1	2	UST	CE
8	ABIERTO	3	4	UST	CE
9	ABIERTO	5	6	UST	CE

AS.- AISLAMIENTO SOPORTE
ES.- ELEMENTO SEPARADOR
E.- ESTRUCTURA

BA.- BARRA DE ACCIONAMIENTO
CE.- CAMARA DE EXTINSION

Fig. 19.2 INTERRUPTORES DE VACIO, GAS SF₆, ACEITE Y SOPLO MAGNETICO
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-19-02

19.1.2.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Para la interpretación de resultados de factor de potencia en interruptores de vacío, gas SF6 y sople magnético se recomienda analizar y comparar las pérdidas dieléctricas con las pruebas anteriores o bien contra las realizadas a interruptores del mismo tipo o marca.

Para interruptores de bajo volumen de aceite, un aumento en las pérdidas dieléctricas puede ser originado por un deterioro del aceite aislante en la cámara interruptiva a causa de los productos generados en el proceso de extinción de arco eléctrico.

19.1.3 PRUEBA DE RESISTENCIA ENTRE CONTACTOS

Los puntos con alta resistencia en partes de conducción, originan caídas de voltaje, generación de calor, pérdidas de potencia y por tanto puntos calientes

Esta prueba se realiza con el interruptor cerrado inyectando una corriente (que varía de acuerdo al equipo que se este utilizando) y la oposición que esta encuentra a su paso se considera como la resistencia entre contactos

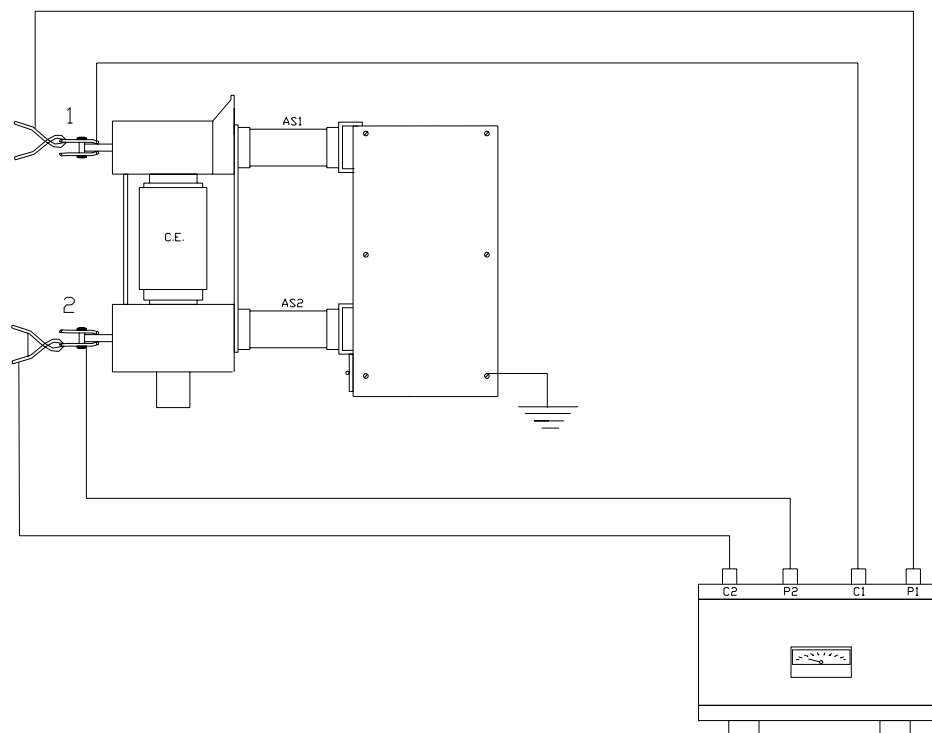
En los interruptores de vacío, gas SF6, sople magnético y aceite se utiliza el mismo procedimiento para realizar la prueba, la cual consiste en efectuar la medición entre los dedos de contacto por fase, considerando que si se obtiene algún valor fuera de rango se deben efectuar pruebas segmentadas para determinar la sección del polo en donde se encuentra la alta resistencia.

19.1.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar la prueba
- Extraer el interruptor del interior del tablero Metal Clad
- Retirar polvo o agentes contaminantes
- Conectar la estructura del gabinete del interruptor a la tierra física y a la terminal de tierra del medidor
- Al realizar esta prueba deben conectarse las terminales del medidor al punto mas cercano a los dedos de contacto.

19.1.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

En la figura 19.3 se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de la resistencia entre contactos para interruptores en tableros Metal Clad



EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	POSICION DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES				MIDE
		C1	P1	C2	P2	
1	CERRADO	1	1	2	2	RESIS. CONTACTOS FASE A
2	CERRADO	3	3	4	4	RESIS. CONTACTOS FASE B
3	CERRADO	5	5	6	6	RESIS. CONTACTOS FASE C

FIGURA 19.3 INTERRUPTORES DE VACIO, GAS SF6, SOPLO MAGNETICO Y ACEITE

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS
UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-19-03

19.1.3.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Esta prueba permite detectar problemas por alta resistencia entre contactos, que puede ser ocasionada por uno o varios elementos que conforman al interruptor que van desde las barras de ensamble hasta los contactos fijos y móviles de la cámara interruptiva.

Los valores de las mediciones obtenidas pueden variar de acuerdo al tipo y diseño del equipo, debiendo cumplir la norma correspondiente o en su caso los instructivos de los fabricantes. Para interruptores de vacío, gas SF₆ y soplo magnético los valores de resistencia entre contactos por fase no deberá exceder de 120 microhms y en los casos de bajo volumen de aceite no se deberán exceder valores de 150 microhms considerando siempre las características particulares de cada equipo.

19.1.4 TIEMPO DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD DE CIERRE Y APERTURA

El objetivo de la prueba es determinar los tiempos de operación de los interruptores instalados en Tableros Metal Clad en sus diferentes formas de maniobra, así como verificar la simultaneidad de los polos o fases.

Existen varios tipos y marcas de equipos de prueba que pueden ir desde los de operación motorizada hasta automáticos y digitales.

19.1.4.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

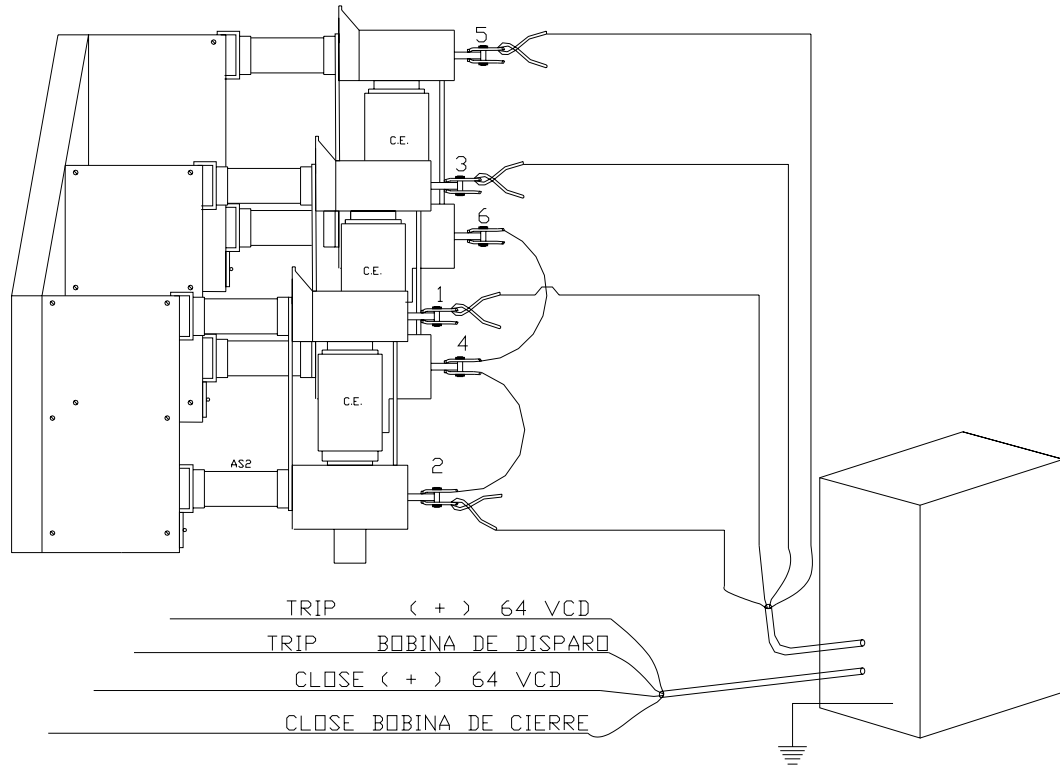
- Considerar lo establecido en el punto 2.3.1. sobre las recomendaciones generales para realizar la prueba
- Extraer el interruptor del interior del tablero Metal – Clad
- Retirar polvo o agentes contaminantes
- Conecte a la estructura del gabinete la terminal de tierra del medidor

19.1.4.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

Las conexiones entre el equipo de prueba y el interruptor por probar, están determinadas en el instructivo de cada equipo de prueba en particular y el diseño físico de cada interruptor, así como del arreglo del circuito de control para el cierre y apertura.

Para realizar la prueba se debe contar con los diagramas de control de apertura y cierre del interruptor para identificar los puntos de conexión en el cual se conectarán las terminales de prueba.

En la figura 19.4 se ilustran las conexiones de los circuitos de prueba para la medición de la velocidad de operación y simultaneidad de contactos utilizando un medidor microprocesado.



EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	TIPO DE PRUEBA	CONEXIONES				MIDE
		A	B	C	N	
1	DISPARO	1	3	5	2, 4, 6	VELOCIDAD APERTURA, DISPARIDAD POLOS
2	CIERRE	1	3	5	2, 4, 6	VELOCIDAD CIERRE, DISPARIDAD POLOS
3	RECIERRE	1	3	5	2, 4, 6	VELOCIDAD RECIERRE, DISPARIDAD POLOS
4	DISPARO LIBRE	1	3	5	2, 4, 6	VELOCIDAD DISPARO LIBRE, DISPARIDAD POLOS

Fig. 19.4 INTERRUPTORES DE VACIO, GAS SF6, SOPLO MAGNETICO Y ACEITE
PRUEBA DE VELOCIDAD DE OPERACIÓN Y SIMULTANEIDAD CONTACTOS
 UTILIZAR FORMATO DE PRUEBA No. SE-19-04



Las conexiones de control se conectan de la siguiente manera :

Una de las terminales identificada con "abrir" ó "trip" se conecta a un punto positivo de 64 vcd y la otra al circuito de disparo

Una de las terminales identificada con "cierre" ó "close" se conecta a un punto positivo de 64 vcd y la otra al circuito de cierre

19.1.4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Tiempo de apertura : Es el intervalo de tiempo que tarda el interruptor en abrir, desde que recibe la señal de apertura estando el interruptor cerrado hasta que hay la separación de contactos de cada una de las fases. Este no debe exceder de 50 milisegundos

Tiempo de cierre : Es el intervalo de tiempo que tarda el interruptor en cerrar, desde que recibe la señal de cierre estando el interruptor abierto hasta que cierra, midiendo éste en cada una de las fases. Este no debe exceder de 80 milisegundos

Para evaluar la simultaneidad entre fases, es necesario considerar la máxima diferencia entre los instantes que se tocan los contactos durante el cierre o cuando se separan durante la apertura y no debe exceder de ½ milisegundo.

19.2 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Debido a los diferentes diseños de transformadores de potencial y corriente se requiere que se analice con detenimiento los diagramas en particular de cada uno de estos, para determinar las conexiones que convengan seguir y las resistencias que están bajo prueba. Esta conexión deberá quedar asentada en el reporte de prueba del equipo. Invariablemente en fechas posteriores se harán pruebas con conexiones iguales, a fin de tener datos de comparación.

Las conexiones y pruebas deben basarse en lo establecido en el capítulo 5 de este procedimiento.



19.2.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

19.2.1.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Al probar un transformador de potencial se determina la resistencia de aislamiento entre los devanados primario y secundario y contra tierra. Para la prueba del primario contra tierra, se utiliza el rango de mayor voltaje del medidor, dependiendo de su tipo; y para la prueba del secundario contra tierra, se usa el rango del medidor para un voltaje aproximado al voltaje nominal del lado secundario del equipo a probar, es decir de 500 volts.

En los transformadores de potencial conectados en estrella, una terminal del devanado primario está conectada a tierra, al probar este tipo de equipos es necesario desconectar la terminal P2 de tierra con objeto de efectuar la prueba de este devanado contra tierra.

19.2.1.1.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Extraer el módulo de transformadores de potencial del gabinete
- c) Desconectar cables de las terminales primaria y secundaria del transformador o dispositivo.
- d) Cortocircuitar terminales del devanado primario y secundario en forma independiente.
- e) Limpiar el aislamiento externo.

19.2.1.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

Para la prueba de transformadores de instrumento se tomarán las medidas de seguridad y se seguirán las instrucciones para el uso del probador de resistencia de aislamiento descritas en las secciones respectivas.

Todas las pruebas se harán a 1 minuto aplicando el voltaje de prueba adecuado, conforme a lo descrito anteriormente.



19.2.1.2 FACTOR DE POTENCIA

Con la prueba de factor de potencia se determinan las pérdidas dieléctricas de los aislamientos de los devanados primario y secundario que integran a los transformadores de instrumento.

Para realizar la prueba de factor de potencia a transformadores de potencial de baja tensión (14.4, 24.0 o 34.5 KV) se recomienda realizar las tres pruebas que se indican en la figura 5.6. del capítulo 5 además de las denominan "cruzadas" y determinan si algún problema está cercano a la terminal P1 o P2 (en el caso de conexión delta abierta); de manera similar pueden probarse los T.P's. para esas mismas tensiones con conexión fase-tierra.

Por el tipo de servicio de estos transformadores (interior) no aplica la prueba de collar caliente a las boquillas.

19.2.1.2.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

- a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.
- b) Se debe limpiar el aislamiento externo.
- c) Para el devanado primario utilizar el rango mayor de voltaje del medidor, y para el devanado secundario aplicar un voltaje no mayor de 500 volts.
- d) La terminal P2 del devanado primario está conectada directamente a tierra. Al probar este tipo de TP's es necesario desconectar la terminal P2 de tierra con objeto de efectuar la prueba del devanado primario a tierra, teniendo el cuidado de limpiar perfectamente la terminal P2 y de no aplicar más de 2500 V, debido a que ésta terminal es de aislamiento reducido.
- e) En caso de no contar con acceso para la desconexión de la terminal P2, la prueba de factor de potencia no podrá ejecutarse.

Cuando se realizan pruebas cruzadas, un extremo del devanado de alta tensión está a potencial cero y el otro extremo al máximo potencial, por lo que la distribución de tensión será de forma lineal decreciente, esto hace que la capacitancia que está a potencial cero no se mida, midiéndose alternadamente la capacitancia que tiene el potencial máximo y una porción del devanado primario. Este procedimiento se puede usar para transformadores en cascada, así como para transformadores de potencial convencionales.



19.2.1.3 RELACION DE TRANSFORMACION Y POLARIDAD

Con el medidor de relación de transformación convencional (manual), se pueden medir relaciones de transformación hasta 130 para transformadores de potencial con relación hasta 14400/120. Para relaciones mayores se debe utilizar el accesorio del medidor o acoplar un segundo TTR. Si se dispone del medidor trifásico no se tiene ningún problema ya que éste puede medir relaciones de hasta 2700.

19.2.1.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

a) Considerar lo establecido en el punto 2.3.1 sobre las recomendaciones generales para realizar pruebas.

19.2.1.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la figura 19.5 se muestran las conexiones para realizar esta prueba.

19.2.2 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Los transformadores de corriente utilizados en este tipo de tableros, según lo marca la especificación, deben ser del tipo ventana.

En la actualidad operan tableros blindados que por su tiempo en operación cuentan con transformadores de corriente tipo barra ó tipo boquilla, que realizan la misma función que los arriba mencionados solo que el nivel básico de aislamiento y su ubicación dentro del tablero varían dependiendo de cada tipo y marca.

19.2.2.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba de resistencia de aislamiento recomendada para los transformadores de corriente del tipo ventana y boquilla es la de secundario contra tierra aplicando un voltaje de prueba de 1,000 volts, esto debido a la constitución propia de estos equipos y a su característica de aislamiento.

Es importante señalar que antes de realizar la prueba se deben desconectar los cables secundarios referidos a este devanado con el fin de evitar aplicar un sobrevoltaje a los dispositivos asociados a los mismos (equipos de protección y medición)

En la prueba de resistencia de aislamiento a los transformadores de corriente tipo barra, se debe considerar la dificultad que implica acceder a estos y el hecho de realizar la



desconexión de las barras de conducción asociadas a los mismos, sobre todo lado bus, que en algunos casos por el tipo de compartimientos con que cuenta cada una de las celdas del tablero resulta una actividad laboriosa y delicada. En caso que este tipo de transformadores se encuentre instalado a la salida de cualquier circuito de distribución del tablero, basta con realizar las maniobras pertinentes para desenergizar desde el primer punto de seccionamiento hacia la subestación y ya con esto se puede intervenir directamente en el equipo.

NOTA: ESTO APLICA TAMBIEN PARA F.P.

19.3. BUSES Y BARRAS

Los buses o barras de un tablero Metal Clad estan soportados por aisladores a base de resina epóxica moldeada, otros materiales aislantes moldeados o mangas termocontráctiles que son materiales que evitan la propagación de incendios, resistentes a la erosión por esfuerzos dieléctricos (descargas parciales) y libres de mantenimiento para toda la vida útil del tablero, las partes del circuito primario, tales como interruptores, transformadores de potencial, acometidas, cubículo de control, etc, estan confinadas completamente por medio de barreras metálicas conectadas a tierra.

La celda o seccion del interruptor, esta dotada de una cortina metálica para prevenir la exposición de las partes vivas del circuito cuando el interruptor removible esta en la posición de prueba o fuera del tablero. Cabe señalar que existen tableros que por su año de fabricación no cumplen con estos requerimientos y deben tomarse las consideraciones especiales para su revisión y mantenimiento.

19.3.1 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba de resistencia de aislamiento a las barras de un tablero Metal Clad se efectúa durante la puesta en servicio así como también en forma rutinaria para detectar fallas incipientes en los aisladores que lo soportan.

Cabe mencionar que ya estando en servicio los tableros Metal Clad, deben de extremarse las medidas de seguridad antes de efectuar este tipo de pruebas, considerando siempre que el tablero debe de estar desenergizado por completo (lado fuente y lado carga).

El equipo para realizar estas pruebas es el medidor de resistencia de aislamiento , el método utilizado es el de tiempo corto aplicando 5,000 volts durante un minuto.



19.3.1.1 PREPARACION PARA REALIZAR LA PRUEBA

Antes de realizar la prueba de resistencia de aislamiento es necesario limpiar la superficie de los aisladores, con la finalidad que la contaminación o suciedad no influya en los resultados de la prueba.

Es necesario desconectar, hasta donde sea posible, los cortacircuitos, apartarrayos y extraer de sus celdas los carros de los gabinetes de los interruptores, transformadores de servicios propios y transformadores de potencial para que no influyan en la medición tomada durante la prueba.

19.3.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA

En la figura 19.7, se ilustra la manera de realizar dicha prueba.

19.3.1.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

En esta prueba se considera como aceptable un valor superior a $40 \text{ M}\Omega$ por cada KV de la tensión máxima de diseño de los aislamientos.



GERENCIA DE DISTRIBUCION

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

INTERRUPTORES METAL - CLAD

VACIO, GAS SF6 Y SOPLO MAGNETICO

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION _____

EQUIPO (CLAVE) _____

VOLTAJE NOMINAL _____ KV

CORRIENTE NOMINAL _____ AMP

CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA

FECHA _____

MARCA _____ TIPO _____

SERIE No. _____

TEMP. AMBIENTE _____ °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES DEL TIEMPO _____

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____

SERIE No. _____ TIPO _____

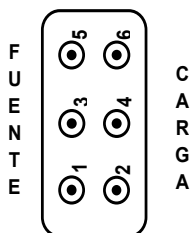
VOLTAJE DE PRUEBA _____ VOLTS.

MULTIPLICADOR MEGGER: _____

F A S E	R U E B A	POSICION INTERRUPTOR	CONEXIONES (MEGGER)			LECTURAS 60 SEG.	MEGAOHMS (MΩ) 60 SEG.
			LINEA	GUARDA	TIERRA		
1	1	ABIERTO	1	2	E		
	2	"	2	1	E		
2	3	"	3	4	E		
	4	"	4	3	E		
3	5	"	5	6	E		
	6	"	6	5	E		
1	7	CERRADO	1-2	-	E		
2	8	CERRADO	3-4	-	E		
3	9	CERRADO	5-6	-	E		

E= ESTRUCTURA

NUMERACION DE FASES



OBSERVACIONES: _____

PROBO: _____

REVISO: _____

FORMATO SE



GERENCIA DE DISTRIBUCION

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

INTERRUPTOR TABLERO METAL CLAD
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION _____

EQUIPO (CLAVE) _____

VOLTAJE NOMINAL _____ KV

CORRIENTE NOMINAL _____ AMP

CORRIENTE DE INTERRUPCION _____ KA

FECHA _____

MARCA _____ TIPO _____

SERIE No. _____

CAPACIDAD INTERRUPTIVA _____ MVA

BOQUILLAS: MARCA _____ TIPO _____

TEMP. AMBIENTE _____ °C

HUMEDAD RELATIVA _____ %

CONDICIONES AMBIENTE _____

EQUIPO DE PRUEBA : MARCA _____

SERIE No. _____ TIPO _____

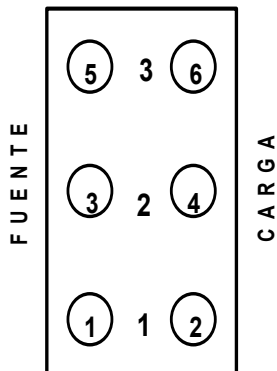
TIPO

☐ ACEITE☐ SOPLO MAGNETICO☐ VACIO☐ SF6

F A S E	P R U E B A	POSICION	BOQUILLAS	CONEXIONES			APLICANDO			2.5 KV			% FACTOR		CONDIC. DE
		RESTAURADOR	SERIE No.	DE PRUEBA			MILIVOLTAMPERES			MILIWATTS			DE POTENCIA		
				T.A.T.	T.B.T.	SELECTOR	LECT.	MULT.	MVA	LECT.	MULT.	MW	MEDIDO	CORR. 20 °C	AISLAMIENTO
1	1	ABIERTO		1	E	GROUND									
	2	ABIERTO		2	E	GROUND									
	3	ABIERTO		3	E	GROUND									
2	4	ABIERTO		4	E	GROUND									
	5	ABIERTO		5	E	GROUND									
	6	ABIERTO		6	E	GROUND									
3	7	ABIERTO		1	2	UST									
	8	ABIERTO		3	4	UST									
	9	ABIERTO		5	6	UST									

NUMERACION DE FASES Y BOQUILLAS

E = ESTRUCTURA



OBSERVACIONES: _____

PROBO: _____

REVISO: _____

CONDICIONES DEL
AISLAMIENTO
B = BUENO
D = DETERIORADO
I = INVESTIGAR
M = MALO

FORMATO SE

**INTERRUPTORES TABLERO METAL CLAD****PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS Y TIEMPO DE OPERACIÓN**

FECHA ULTIMA PRUEBA _____

REPORTE No. _____

DIVISION _____

ZONA _____

SUBESTACION _____ FECHA _____

EQUIPO (CLAVE) _____ MARCA _____ TIPO _____

No. DE SERIE _____ CAPACIDAD _____ MVA VOLTAGE (KV) _____

TEMP. AMB. _____ °C H.R. _____ % COND. METEOROLOGICAS _____

1.- RESISTENCIA DE CONTACTOS

MICROOHMS ENTRE TERMINALES DE POLO

POLO.1 (1-2)

POLO.2 (3-4)

POLO.3 (5-6)

OHMETRO: TIPO _____

MARCA: _____

SERIE No. _____

2.- TIEMPOS DE OPERACIÓN☐ CICLOS Ó ☐ MILISEGUNDOS POR POLO

CIERRE

APERTURA

CRONOGRAFO: _____

POLO.1

POLO.2

POLO.3

POLO.1

POLO.2

POLO.3

MARCA _____

TIPO _____

SERIE No. _____

EQUIPO.- MARCA _____ TIPO _____ SERIE _____

3.- SIMULTANEIDADDIFERENCIA: ☐ CICLOS ó ☐ MILISEGUNDOS

CIERRE

APERTURA

POLO 1-2

POLO 2-3

POLO 3-1

POLO 1-2

POLO 2-3

POLO 3-1

OBSERVACIONES .-

PROBO _____

REVISO _____

CAPITULO 20

INSPECCION DE SUBESTACIONES

Las subestaciones eléctricas de potencia son las instalaciones que suministran la energía eléctrica, estas instalaciones son de gran importancia en los sistemas eléctricos y por ello se requiere contar con mecanismos y herramientas que nos permitan la toma de decisiones para llevar a cabo acciones, siendo una de ellas la **INSPECCIÓN**.

Esta nos ofrece periódicamente un panorama general del estado de las subestaciones, con el propósito de programar con oportunidad la corrección de fallas potenciales, para mantener la confiabilidad, conservación y seguridad de la instalación.

La inspección de subestaciones se debe realizar con personal operativo de distribución, de mantenimiento a subestaciones, y todo el personal relacionado con la operación de las mismas.

20.1 INSPECCION.

La inspección se define como la observación del estado físico y funcionamiento de las instalaciones y equipos instalados en las subestaciones, y se debe llevar a cabo con una periodicidad mensual para la inspección minuciosa.

La inspección no es limitativa, por lo que, si la persona que la realice detecta alguna parte o equipo con alguna anomalía deberá de informar de inmediato y estar disponible para actuar en consecuencia en forma adecuada y oportuna.

Esta inspección consiste en la observación y verificación a detalle de los diferentes componentes de la subestación considerando obra civil, electromecánica, parámetros operativos, estado y condiciones físicas del equipo de la subestación.

20.1.1 RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LAS INSPECCIONES.

- a) El personal que realice las inspecciones debe estar capacitado para realizarlas.
- b) Debe contar con el equipo de seguridad personal.
- c) Conocer las medidas de seguridad del Reglamento interno de Seguridad e Higiene en su sección "Trabajos en Subestaciones".
- d) Contar con equipo de comunicación.



e) Estar facultado para la toma de licencias, permisos y libranzas.

20.1.2 GUIA DE LLENADO DE FORMATO DE INSPECCION DE SUBESTACIONES (FORMATO SE-20-01)

Información y criterios útiles para el llenado del formato.

1) DIVISION	Nombre de la división correspondiente.
2) ZONA	Nombre de la zona.
3) SUBESTACION	Nombre de la subestación inspeccionada.
4) AÑO	Año en que se realizó la inspección.
5) MES	Mes en que se realizó la inspección.
6) DIA	Día en que se realizó la inspección.
7) INSPECCION	Nombre de la persona que ejecutó la inspección.
8) REVISO	Nombre de la persona que revisó la inspección.

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

9) INSPECCION VISUAL	Se refiere solo a la observación que se realiza a los equipos.
10) VERIFICAR	Se debe efectuar a la instalación y equipos que es necesario comprobar su estado o condición operativa.
11) EJECUTAR	Se refiere a una acción específica a realizar en el equipo indicado.

20.1.3 ALCANCE CONTEMPLADO EN LAS ACTIVIDADES.

Existen candados y llaves.	Verificar su existencia y estado en que se encuentran.
Existe maleza.	Inspeccionar si existe maleza en el área de equipo eléctrico y predio.



Existen letreros preventivos de seguridad.

Confirmar la existencia de letreros de seguridad adecuados y en buen estado en los lugares marcados en el formato.

Existen materiales extraños en equipos.

Inspeccionar la existencia de materiales extraños a los equipos, estructuras, buses y en la subestación y aplique su criterio de atención según el caso.

Piezas faltantes.

Inspeccionar por faltantes en la estructura y piezas dañadas.

Cables y puentes firmes.

Inspeccionar la condición de cables y puentes, Previniendo posibles calentamientos u otra anomalía.

Porcelana en buen estado.
(Aisladores y boquillas)

Inspeccionar las condiciones físicas de los aisladores y boquillas de los equipos que se encuentran indicados en el formato.

Conexiones de tierra completa.

Inspeccionar el correcto estado de las conexiones a tierra de los equipos, cerca perimetral, etc.

Pintura en buen estado.

Inspeccionar la condición de la pintura en general de la subestación.

Resistencia calefactora.

Esta verificación consiste en cerciorarse de la correcta operación de las resistencias calefactoras ubicadas en los gabinetes de los equipos indicados en el formato.

Alimentación VCA/VCD existe.

Esta verificación consiste en asegurarse que exista alimentación de CA y CD.

Nivel de aceite correcto.

Esta verificación consiste en asegurarse que el nivel de aceite de los equipos indicados en el formato.

Existen fugas de aceite, aire, y SF6.

Esta verificación se refiere a la revisión de presencia de fugas en los equipos indicados en el formato.

El equipo tiene nomenclatura.

Se refiere a la verificación de la nomenclatura en buen estado y correcta de acuerdo al reglamento de operación.

Operación de alumbrado y alumbrado de emergencia.

Esta verificación refiere a la revisión de la operación del alumbrado normal y de emergencia .



Operación de ventiladores.	Verificación del correcto funcionamiento de los ventiladores del sistema de enfriamiento del transformador de potencia en todos sus pasos.
Presión nitrógeno.	Se requiere la inspección de la presión de nitrógeno del sistema de preservación del aceite.
Temperatura de aceite.	Realizar la inspección de la operación del indicador de temperatura del aceite y restablecer las agujas.
Temperatura de devanados.	Inspección del indicador de temperatura de devanados o el indicador de por ciento de carga térmica y restablecer las agujas.
Color normal del preservativo Sílica gel	Esta inspección se refiere a la revisión del color de la sílica gel y su condición como conservador en los equipos
Existen indicios de plagas.	Es verificar la existencia de plagas.
Nivel de electrolito.	Esta verificación se refiere a la inspección del correcto nivel de electrolito en las celdas.
Estado de bornes de conexiones.	Verificación de la condición que guardan los bornes y puentes de conexión de los bancos de baterías
Lámparas detectoras de falla a tierra encendidas.	Observar que la lampara indicadora este encendida.
Lámparas de señalización (Roja-Verde) fundidas.	Se refieren a la verificación de la condición operativa de las lámparas de señalización.
Materiales no útiles.	Debe inspeccionarse que la subestación se encuentre libre de materiales no útiles o ajenos.
Tapas de trincheras completas y buen estado.	Verificación del buen estado y colocación de todas las tapas de trincheras en la subestación.
Existen extintores.	Se realizará la verificación de la existencia de extintores de acuerdo a su vigencia y carga.
Diagrama unifilar de la subestación.	Inspección de la existencia de diagrama actualizado de la subestación.



Sistema de ventilación extracción y aire acondicionado.

Se requiere verificar la correcta operación de extractores y unidades de aire acondicionado.

Drenaje pluvial.

Realizar la inspección para conocer el estado que guarda el sistema de drenaje pluvial para evitar encharcamientos e inundaciones en las subestaciones.

Alambre de púas helicoidal.

Inspeccionar las condiciones del alambre de púas de las cercas o bardas perimetrales.

Condiciones de barda y/o Malla ciclónica.

Inspeccionar el estado de las bardas y cercas perimetrales, con el fin de asegurar que la instalación cuente con las condiciones para evitar actos inseguros o de vandalismo.

Filtraciones de agua.

Inspeccionar techos de las casetas de control con el fin de detectar filtraciones.

Estado de ventanas.

Inspeccionar el estado de las ventanas con el fin de asegurar que la caseta cuente con las condiciones para evitar actos inseguros o de vandalismo.

Purga de compresor.

Ejecutar durante la inspección la purga de los compresores y sistema neumatico que cuenten con estos equipos.

Relevador buchholtz.

Inspeccionar la presencia de burbujas en el buchholtz.

Protección anti-fauna.

Verificar que la protección anti-fauna sea la adecuada, y este correctamente instalada.

Verificación de mecanismo.

Verificar la condición de los resortes, presión neumática e hidráulica de operación y necesidad evidente de mantenimiento y empaques de puertas.

Existe oxidación.

Inspeccionar que no existan muestras de oxidación en estructuras y equipo de la subestación.

Torre de comunicaciones en buen estado

Inspeccionar condiciones generales de la torre y antena de comunicación

Retenidas en buen estado.

Inspeccionar las condiciones generales de las retenidas en la torre de comunicaciones.



Anclas y tensores en buen estado.

Inspeccionar las condiciones generales de anclas y tensores de la torre de comunicaciones.

Prueba de radio de voz aceptable.

Ejecutar prueba de comunicaci3n en la frecuencia



REPORTE DE INSPECCION DE SUBESTACIONES

DIVISION: _____ ZONA: _____ SUBESTACION: _____
AÑO: _____ MES: _____ DIA: _____
INSPECCION: _____ REVISO: _____

ACTIVIDADES A DESARROLLAR		OBSERVACIONES											
I INSPECCION VISUAL		EQUIPO DE COMUNICACIONES											
V VERIFICAR		RED DE TIERRAS											
E EJECUTAR		BANCO Y CARGADOR DE BATERIAS											
LOS CUADROS DEBERAN LLENARSE CON LAS LETRAS: (SI SI ; (NO) NO ; (-) NO APLICA		TABLERO DE CONTROL											
V EXISTEN CANDADOS Y LLAVES		CASETA											
I EXISTE MALEZA		BANCO DE CAPACITORES											
V EXISTEN LETREROS PREVENTIVOS DE SEGURIDAD		REGULADORES											
I EXISTEN MATERIALES EXTRAÑOS EN EQUIPOS		PREDIO											
I PIEZAS FALTANTES		AREA DE EQUIPO ELECTRICO											
I CABLES Y PUENTES FIRMES		TRANSFORMADORES DE SERV. PROPIOS											
I PORCELANA EN BUEN ESTADO (AISLADORES, BOQUILLAS)		ESTRUCTURA											
I BAJADA A TIERRA COMPLETA		APARTARRAYOS											
I PINTURA EN BUEN ESTADO		BUSES O BARRAS											
V RESISTENCIA CALEFACTORA OPERA CORRECTAMENTE		CUCHILLAS											
V ALIMENTACION VCA Y VCD EXISTE		TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO											
V NIVEL DE ACEITE CORRECTO		GABINETES											
V EXISTEN FUGAS DE ACEITE, AIRE O SF6		INTERRUPTORES											
V EL EQUIPO TIENE NOMENCLATURA		TRANSFORMADOR DE POTENCIA											
V OPERACION DE ALUMBRADO Y ALUMB. DE EMERGENCIA													
V VENTILADORES OPERAN SATISFACTORIAMENTE													
I PRESION DE NITROGENO													
I TEMPERATURA DE ACEITE													
I TEMPERATURA DE VANADOS													
V COLOR NORMAL DEL PRESERVATIVO (SILICA GEL)													
V EXISTEN INDICIOS DE PROBLEMAS DE PLAGAS													
V NIVEL DE AGUA DESTILADA													
V ESTADO DE BORNES DE CONEXIONES													
V LAMPARAS DETECTORAS FALLA A TIERRA ENCENDIDAS													
V LAMPARAS SEÑALIZADORAS (ROJA - VERDE) FUNDIDAS													
I MATERIALES NO UTILES													
V TAPAS DE TRINCHERAS COMPLETAS Y EN BUEN ESTADO													
V EXISTEN EXTINGUIDORES													
V DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACION													
V SISTEMA DE VENTILACION, EXTRACCION Y AIRE ACOND.													

FORMATO SE-20-01

Hoja 1 de 2



REPORTE DE INSPECCION DE SUBESTACIONES

DIVISION: _____ ZONA: _____ SUBESTACION: _____

AÑO: _____ MES: _____ DIA: _____

INSPECCION: _____ REVISO: _____

ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- I INSPECCION VISUAL
- V VERIFICAR
- E EJECUTAR

LOS CUADROS DEBERAN LLENARSE CON LAS LETRAS: (S) SI (NO) NO (I) NO APLICA

- I DRENAJE PLUVIAL
- V ALAMBRE DE PUAS HELICOIDAL
- I CONDICIONES DE BORDA Y/O MALLA CICLONICA
- I FILTRACIONES DE AGUA
- I ESTADO DE VENTANAS
- E PURGA DE COMPRESOR
- I RELEVADOR BUCCHOLTZ
- V PROTECCION ANTI-FAUZA
- V INSPECCION DE MECANISMO
- I EXISTE OXIDACION
- I TORRE DE COMUNICACION EN BUEN ESTADO
- I RETENIDAS EN BUEN ESTADO
- I ANCLAS Y TENSORES EN BUEN ESTADO
- E PRUEBA DE RADIO DE VOZ ACEPTABLE

COMENTARIOS: