

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL

Inv. No. POT-004

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

---

**“ Pruebas Eléctricas a realizarse en sitio  
para Recepción de Sub-Estaciones ”**

TESIS DE GRADO  
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

PRESENTADA POR:

**Luis A. Aguirre Abad**

1981

GUAYAQUIL

ECUADOR

RESUMEN

La presente Tesis de Grado es un resumen de las pruebas de comportamiento de equipo eléctrico. Los resultados de estas pruebas a las que se somete el equipo, nos dan a conocer la calidad de su estado físico y su capacidad para soportar las condiciones de trabajo para las que fue diseñado y para realizar el trabajo para el que está programado.

La Tesis se desarrolla en tres capítulos que abarcan la introducción, en la que se analiza el proceso para realizar en forma eficiente y segura las pruebas; las bases teóricas y procedimientos de las pruebas recomendadas; y, finalmente se describen las pruebas específicas a las que debe someterse cada equipo en particular, los equipos necesarios y, los procedimientos y orden que deben seguirse para obtener eficiencia, economía de tiempo y seguridades.

## INDICE GENERAL

	Fág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE FIGURAS .....	IV
I. INTRODUCCION .....	1
1.1. PROPOSITO.....	1
1.2. GENERALIDADES .....	2
1.3. PERSONAL DE PRUEBAS .....	3
1.4. PROCEDIMIENTO GENERAL .....	4
1.5. SEGURIDADES .....	6
1.6. EQUIPOS DE PRUEBAS .....	7
II. PROCEDIMIENTOS Y METODOS DE LAS PRUEBAS ELECTRICAS .....	9
2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON EQUIPO MEGGER .....	9
2.1.1. Introducci3n .....	9
2.1.2. Objetivos .....	9
2.1.3. Bases Te3ricas .....	10
2.1.4. Factores que afectan a la prueba .....	13
2.1.5. Equipo "MEGGER".Descripci3n y uso.....	25
2.1.6. M3todos de medici3n .....	35
2.1.7. Aplicaciones de prueba de resistencia de aisla- miento .....	38

	Pág.
2.2. PRUEBA DE ACEITE AISLANTES.....	66
2.2.1. Generalidades .....	66
2.2.2. Naturaleza y función de los aceites aislantes.	66
2.2.3. Prueba de rigidez dieléctrica .....	67
2.2.4. Prueba de factor de potencia .....	82
2.2.5. Prueba de la Resistividad .....	83
2.2.6. Prueba de la Tensión Interfacial por el método de la gota de agua .....	85
2.2.7. Prueba de acidez en aceites aislantes .....	86
2.3. PRUEBA DE SINCRONISMO Y TIEMPOS DE OPERACION DE INTE- RRUPTORES.....	89
2.3.1. Objetivos .....	89
2.3.2. Principio de la prueba .....	90
2.3.3. Definiciones .....	91
2.3.4. Equipo de Prueba .....	92
2.3.5. Aplicación .....	97
2.3.6. Pruebas .....	98
2.3.7. Valores de pruebas .....	114
2.3.8. Diagramas y conexiones .....	122
- 2.4. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRA .....	122
2.4.1. Generalidades .....	122
2.4.2. Definiciones Básicas .....	123
2.4.3. Factores que pueden cambiar el valor mínimo de resistencia a Tierra .....	126

2.4.4. Factores que influncian los requerimientos para un buen sistema de tierra.....	127
2.4.5. Naturaleza de un electrodo de tierra .....	129
2.4.6. Principios de la prueba de resistencia de tierra. ....	132
2.4.7. Métodos Básicos de prueba de resistencia de tierra .....	136
2.4.8. Efectos de las diferentes ubicaciones de las referencias de prueba .....	141
2.4.9. Método de la caída de potencial simplificado	144
2.4.10. Reglas para separar $P_2$ y $C_2$ .....	144
2.4.11. Métodos para mejorar la resistencia de tierra .....	145
2.4.12. Medición de un sistema de electrodo de tierra cubriendo una gran área .....	152
2.5. PRUEBA DE ALTA TENSION .....	159
2.5.1. Generalidades .....	159
2.5.2. Prueba de Alta Tensión C.A. ....	164
2.5.3. Prueba de Alta Tensión C.C. ....	165
2.5.4. Precauciones .....	168
2.5.5. Interpretación de resultados .....	171
2.5.6. Ventajas .....	174
2.5.7. Limitaciones .....	175

	Pág.
2.6. PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DE TRANSFOR MADORES DE POTENCIA .....	175
2.6.1. Generalidades .....	175
2.6.2. Métodos de pruebas .....	177
2.7. PRUEBA DE POLARIDAD DE TRANSFORMADORES DE PODER. DE POTENCIAL Y DE CORRIENTE .....	190
2.7.1. Generalidades .....	190
2.7.2. Procedimientos .....	194
2.8. PRUEBA DE SATURACION DE TRANSFORMADORES DE CO- RRIENTE .....	201
2.8.1. Generalidades .....	202
2.8.2. Equipo.....	203
2.8.3. Procedimiento .....	204
2.8.4. Evaluación y Recomendaciones .....	208
2.9. PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO DE SECCIONADO- RES Y DISYUNTORES .....	211
2.9.1. Generalidades .....	211
2.9.2. Equipo .....	212
2.9.3. Procedimiento .....	213
2.10. PRUEBA DE BATERIAS TIPO PLOMO-ACIDO .....	214
2.10.1. Generalidades .....	214
2.10.2. Llenado de batería .....	216
2.10.3. Carga inicial, ciclos y pruebas .....	218

	Pág.
2.10.4. Pruebas de Capacidad de las Baterías .....	227
2.10.5. Recomendaciones .....	247
2.10.6. Carga de igualación .....	252
2.10.7. Carga de flotación .....	258
~ III. PRUEBA DEL EQUIPO ELECTRICO Y SISTEMAS .....	259
3.1. GENERALIDADES .....	259
3.2. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA .....	260
3.2.1. Generalidades .....	260
3.2.2. Prueba Preliminar .....	261
3.2.3. Medición de la resistencia de puesta a tierra .....	262
3.3. SERVICIOS AUXILIARES .....	265
3.3.1. Generalidades .....	265
3.3.2. Transformadores de servicio .....	265
3.3.3. Paneles de Distribución CA y CC .....	266
3.3.4. Cables de control, bajo voltaje y media tensión .....	267
3.3.5. Sistemas Auxiliares de Control .....	271
3.3.6. Motores y Componentes Eléctricos .....	272
3.3.7. Iluminación C.A. y emergencia C.C. ....	274
3.3.8. Alarmas de Servicios Auxiliares .....	274
3.3.9. Baterías y cargadores .....	275
3.3.10. Regulador de Voltaje .....	278

	Pág.
3.4. EQUIPO DE ALTA TENSION .....	279
3.4.1. Generalidades .....	279
3.4.2. Transformadores de Poder .....	279
3.4.3. Interruptores en Gas SF6 .....	286
3.4.4. Seccionadores y cuchillas de puesta a tierra .....	289
3.4.5. Transformadores de potencial y divisores - capacitivos de potencial .....	291
3.4.6. Apartarrayos .....	292
3.4.7. Trampa de ondas .....	293
3.4.8. Barras y conexiones de poder .....	293
3.5. SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCION .....	295
3.5.1. Generalidades .....	295
3.5.2. Panel de Control .....	297
3.5.3. Calibración y ajuste de relés .....	298
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	302
B I B L I O G R A F I A .....	304



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1. PROPOSITO

El presente trabajo trata sobre pruebas eléctricas que deben realizarse en sitio para la Recepción de Subestaciones. Este trabajo tiene la intención de resumir las bases teóricas, los procedimientos y métodos para la ejecución de pruebas eléctricas en equipos de potencia.

La idea de este tema, surge de mi participación directa en las pruebas de Recepción de la Subestación Salitral, la cual es una instalación de 150 MVA de capacidad a 138 KV y es parte del Sistema Nacional Interconectado que construye INECEL. Es por esta razón, que constituye un trabajo práctico, basado en una gran cantidad de manuales de pruebas, instructivos de equipos de pruebas, instructivos y manuales de los equipos a probarse, normas técnicas internacionales y también mi experiencia ganada por mi participación en las pruebas de la Subestación Salitral.

Las pruebas que se analizan en este trabajo son las que se ejecutaron en la recepción de la Subestación Salitral.

Existen algunas otras pruebas a las que deben someterse los equipos, pero que no se efectuaron por falta del equipo apropiado. Estas pruebas serán mencionadas sólo en forma general en el desarrollo del presente trabajo, a modo de información.

## 1.2. GENERALIDADES

Para la recepción o aceptación de cualquier equipo eléctrico, es necesario someterlo a pruebas que nos garanticen tanto la calidad de los materiales como su buen funcionamiento y correcto montaje.

Esto es importante debido a los altos costos de los equipos, y a que su buen funcionamiento y vida útil da una producción segura y óptima económicamente, y asegura la generación y estabilidad en el caso de Sistemas de Generación y Transmisión Eléctrica.

Es por esta razón, que el personal que participa en la ejecución de pruebas, debe conocer de antemano todas las pruebas a las que debe someterse cada equipo en particular, los procedimientos y las normas internacionales para la construcción y para el comportamiento de los equipos. También es importante conocer la experiencia acumulada por otras personas en la ejecución de pruebas, puesto que muchas veces los procedimientos son muy generales y no dan mayores detalles acerca de las distintas alternativas que pueden presentarse en la práctica.

### 1.3. PERSONAL DE PRUEBAS

Para la realización de pruebas de recepción de equipo eléctrico, debe formarse un grupo de personas que trabajen en forma coordinada y eficiente. Este grupo estará organizado de la siguiente manera:

- a) El coordinador de pruebas quien será el responsable directo de las inspecciones y pruebas y, coordinará los trabajos del personal de pruebas y de apoyo.

Además el coordinador supervisará y dirigirá el programa de pruebas; preparará los reportes de prueba; será responsable de las seguridades para el personal y el equipo involucrado en las pruebas.

- b) Supervisores de montaje, quienes son los representantes de las empresas que suministran y/o montan el equipo. Son responsables de revisar los programas de pruebas para asegurar que sean compatibles con las instrucciones de los fabricantes; deben avisar al coordinador cuando el equipo está listo para las pruebas; deben supervisar las pruebas; y recomendarán pasos a seguir en caso de que la prueba falle.

- c) Personal de Pruebas, que comprende a ingenieros y técnicos quienes deben estar debidamente preparados con anticipación acerca de los procedimientos y métodos de pruebas; además deben -

conocer los valores normalizados internacionales que deben cumplir o soportar los equipos para cada prueba en particular. Serán responsables de realizar y llevar el control de las pruebas tomar mediciones, calibrar y ajustar los medidores, relés, instrumentos y aparatos de protección. El personal de pruebas - realizará su trabajo bajo la supervisión del Coordinador de Pruebas.

d) Personal de apoyo, quienes ayudarán a realizar todo tipo de trabajo que sea necesario para la ejecución de las pruebas.

#### 1.4. PROCEDIMIENTO GENERAL

Las inspecciones y pruebas deben ser realizadas de acuerdo con las normas internacionales y con las instrucciones de los fabricantes. Las pruebas deben comenzar con una inspección visual completa, para asegurarse que el equipo a probarse ha sido instalado de acuerdo a los planos y especificaciones y que está terminado su montaje.

Con respecto a las mediciones de voltaje, corriente, resistencia, temperatura, etc., deben tomarse como mínimo tres lecturas y en lo posible por varias personas. Para un mismo Parámetro, debe sacarse la media aritmética de todas las lecturas tomadas.

Las mediciones deben hacerse con el instrumento más adecuado, procurando usar una escala de tal manera que las lecturas se tomen lo más cercano al centro de la escala de lectura. Además, las mediciones deben ser hechas en el sistema de unidades que corresponda con los procedimientos de pruebas recomendados por los fabricantes de los equipos ó por las normas internacionales.

Es importante que las pruebas sean registradas en forma clara, tanto los datos de las mediciones, como un informe de las novedades presentadas y la forma como se solucionaron; para crear las bases de un historial para referencia futura.

En los registros de pruebas deben incluirse las especificaciones para cada tipo y los valores con los cuales debe cumplir.

Finalmente se puede decir que es de gran utilidad usar un código de colores para registrar los cambios realizados en los diseños durante el montaje e instalación de los equipos. Los colores que podrían usarse son los siguientes:

VERDE:	ANULADO
ROJO:	CAMBIO
AMARILLO:	REALIZADO DE ACUERDO A DISEÑO, FUNCIONAMIENTO CORRECTO.
AZUL:	NO EJECUTADO

El Coordinador de Pruebas debe elaborar un procedimiento que permita un seguro y ordenado proceso de pruebas del equipo.

### 1.5. SEGURIDADES

Durante la realización de las pruebas deben observarse diversas medidas de seguridad, para evitar daños tanto al personal como a los equipos.

Cuando alguna prueba involucra energización de alguna parte del equipo, por ejemplo en la prueba de Megger, se debería tener especial cuidado con la seguridad del personal y con algunas partes del equipo que podrían verse sometidas a esfuerzos eléctricos o mecánicos mayores que los que el fabricante permite.

Todo panel de control que incluya pulsadores, disyuntores y aparatos de control, los cuales podrían producir la energización de cualquier parte de la instalación, debe ser bloqueado y señalizado con una tarjeta amarilla o roja, y de esta manera evitar la operación, con excepción de la persona autorizada para realizar la prueba. Esta tarjeta debe ser removida solamente por la persona que la colocó ahí.

Es conveniente, como una regla general de seguridad, que no menos de dos personas deben estar presentes todo el tiempo que dure una

prueba que involucre energización de conductores, o en cualquier actividad peligrosa.

Deben tomarse medidas de seguridad muy estrictas cuando se realicen pruebas de alta tensión, donde pueden existir descargas entre el conductor y el aislamiento. Inmediatamente después de terminar una prueba de alta tensión, los conductores deben ser descargados y puestos a tierra. Debe tenerse cuidado de aislar el equipo que está siendo sometido a pruebas, de las partes a las cuales un alto potencial no es recomendado.

Deben observarse precauciones para asegurarse de que no existan realimentaciones, desde los secundarios de los transformadores, que producirían altos voltajes en las conexiones primarias. También se debe tener cuidado de no dejar abiertos los secundarios de los transformadores de corriente.

Una condición básica de seguridad que debe observarse antes de comenzar y durante toda la operación de prueba, es la limpieza del Area circundante y de los equipos mismos.

#### 1.6. EQUIPOS DE PRUEBAS

Con el equipo de prueba es necesario tener mucho cuidado, puesto que en su mayoría son instrumentos de precisión. Deben almacenarse

Los equipos en un lugar seco, limpio y protegido. Durante su uso es necesario tener mucho cuidado para evitar daños y para mantener su precisión. Es recomendable siempre seguir las instrucciones del fabricante para su almacenamiento y uso.

La precisión de los instrumentos de medición (voltímetros, amperímetros, osciloscopios, etc.) debería ser revisada en un laboratorio antes de las pruebas, para evitar mediciones erróneas.

Los voltímetros deben ser comprobados para C.A. y C.C., con los rangos completos de las diferentes escalas. Los amperímetros deben ser comprobados por medio de una carga resistiva variable y amperímetros patrón para la misma carga y rango. Los ohmetros deben ser comprobados con resistencias patrón de 1 % de precisión.

Los instrumentos de medición deben ser revisados después de cada cuarenta horas de trabajo, o inmediatamente después de cualquier golpe o sobrecarga eléctrica.

Los instrumentos que se les encuentra con una desviación o error de más de 5 % deben ser reajustados y calibrados.



## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTOS Y METODOS DE LAS PRUEBAS ELECTRICAS

#### 2.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON EQUIPO MEGGER

##### 2.1.1. Introducción

Este capítulo describe los procedimientos recomendados para la resistencia de aislamiento en máquinas rotatorias, transformadores de potencia, transformadores para instrumentos, apartarrayos e interruptores.

Además se expone en forma general las características de la resistencia de aislamiento de los diferentes medios aislantes y los procedimientos de prueba más usuales para obtenerla. Estos procedimientos están dirigidos al equipo de potencia, pero con los criterios adecuados se pueden hacer extensivos los equipos menores, como son los motores fraccionarios y transformadores de distribución.

##### 2.1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es el de resumir los elementos necesarios para la determinación de las condiciones que guardan los materiales que integran los aislamientos de los equipos eléctricos, mediante la prueba llamada resistencia

de aislamiento.

Para ello se describe y definen en forma general la resistencia de aislamiento, se estudian los efectos que la afectan o la cambian y se explican los métodos y conexiones para medirla y las precauciones necesarias para evitar resultados erróneos.

### 2.1.3. Bases Teóricas

#### 2.1.3.1. Definición:

La resistencia de aislamiento se define como la resistencia (en megaohms) que ofrece un aislamiento - al aplicarse un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo; como referencia se utilizan los valores de 1 a 10 minutos.

#### 2.1.3.2. Corriente de Aislamiento:

A la corriente resultante de la aplicación del voltaje de corriente directa a un aislamiento, se le denomina corriente de aislamiento y consiste en los componentes principales:

- a) La corriente que fluye dentro del volumen del aislamiento, compuesta de:

- a<sub>1</sub>) Corriente Capacitiva: Es una corriente de magnitud comparativamente alta y corta de duración, que decrece rápidamente a un valor depreciable (generalmente en un tiempo máximo de 15 seg.) 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 en cables de potencia de grandes longitudes.
- a<sub>2</sub>) Corriente de Absorción Dieléctrica: Esta corriente decrece gradualmente con el tiempo desde un valor relativamente alto hasta un valor cercano a cero, siguiendo una función exponencial. Generalmente los valores de resistencia obtenidos en los primeros minutos quedan en gran parte determinados por la corriente de absorción. Dependiendo del tipo y volumen de aislamiento, esta corriente tarda desde unos cuantos minutos a varias horas en alcanzar un valor depreciable; sin embargo, para pruebas de Megger puede depreciarse el cambio que ocurra después de 10 minutos.

a<sub>3</sub>) Corriente de conducción irreversible: Esta corriente fluye a través del aislamiento y es prácticamente constante y predomina después que la corriente de absorción se hace insignificante.

b) La corriente que fluye sobre la superficie del aislamiento y que se conoce como corriente de fuga. Esta corriente al igual que la de conducción permanece constante y ambas constituyen los factores más importantes para juzgar las condiciones de un aislamiento.

#### 2.1.3.3. Absorción Dieléctrica:

La resistencia 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 contratiempo, se obtiene la denominada curva de absorción dieléctrica y su pendiente indica el grado

relativo de secado o suciedad del aislamiento. Si el aislamiento está húmedo o sucio, se alcanzará un valor estable en uno o dos minutos después de haber iniciado la prueba y se obtendrá una curva con baja pendiente.

#### 2.1.3.4. Índices de Absorción y Polarización:

La pendiente de la curva de absorción dieléctrica 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 seg. a 30 seg. se le conoce como índice de absorción y a la relación de 10 minutos a 1 minuto como índice de Polarización.

El índice de Polarización es muy útil para la evaluación del estado del aislamiento de devanados de generadores y transformadores y es indispensable que se obtenga justamente antes de efectuar una prueba de alta tensión en máquinas rotatorias.

#### 2.1.4. Factores que afectan a la prueba

Las mediciones de resistencia y absorción dieléctrica deben

realizarse con sumo cuidado, porque de lo contrario se presentarán importantes fluctuaciones provocadas por diferentes factores que afectan a las pruebas. Cada uno de estos factores puede ser causa de grandes errores, los cuales no deben considerarse como problemas del aparato de medición.

#### 2.1.4.1. Efecto de la condición de la superficie de aislamiento:

Los contaminantes tales como carbón, polvo o aceite depositados en las superficies aislantes pueden bajar la resistencia de aislamiento. El polvo que está sobre las superficies aislantes ordinariamente no es conductor cuando está seco, pero cuando se expone a la humedad se vuelve parcialmente conductor y baja la resistencia de aislamiento; por esta razón se debe limpiar bien el aislamiento antes de realizar la prueba.

#### 2.1.4.2. Efecto de la Humedad:

Una gran parte de los materiales utilizados en los sistemas de aislamiento como son el aceite, el papel, el cartón y algunas cintas, son higroscópicos y por tanto pueden absorber humedad y reducir la resistencia de aislamiento.

Si la temperatura de un devanado alcanza un valor igual o menor a la del punto de rocío, se puede formar una película de humedad sobre la superficie del aislamiento y así reducir su valor de aislamiento. El mismo fenómeno se presenta en las porcelanas de las boquillas de los transformadores e interruptores cuando se tiene alta temperatura en el ambiente, y el problema es más grave si la superficie está contaminada. Es importante por esta razón efectuar mediciones de bulbo húmedo y bulbo seco para determinar el punto de rocío y la humedad relativa.

#### 2.1.4.3. Efecto de la Temperatura:

La resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura en la mayor parte de los materiales aislantes. Para comparar apropiadamente las mediciones periódicas de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma base. La conversión se efectúa con la siguiente ecuación:

$$R_C = K_t \times R_t$$

$R_C$  = resistencia de aislamiento (megaohmios) corregida a la temperatura base.

$R_t$  = resistencia de aislamiento a la temperatura en que se efectuó la prueba.

$K_t$  = Coeficiente de corrección por temperatura.

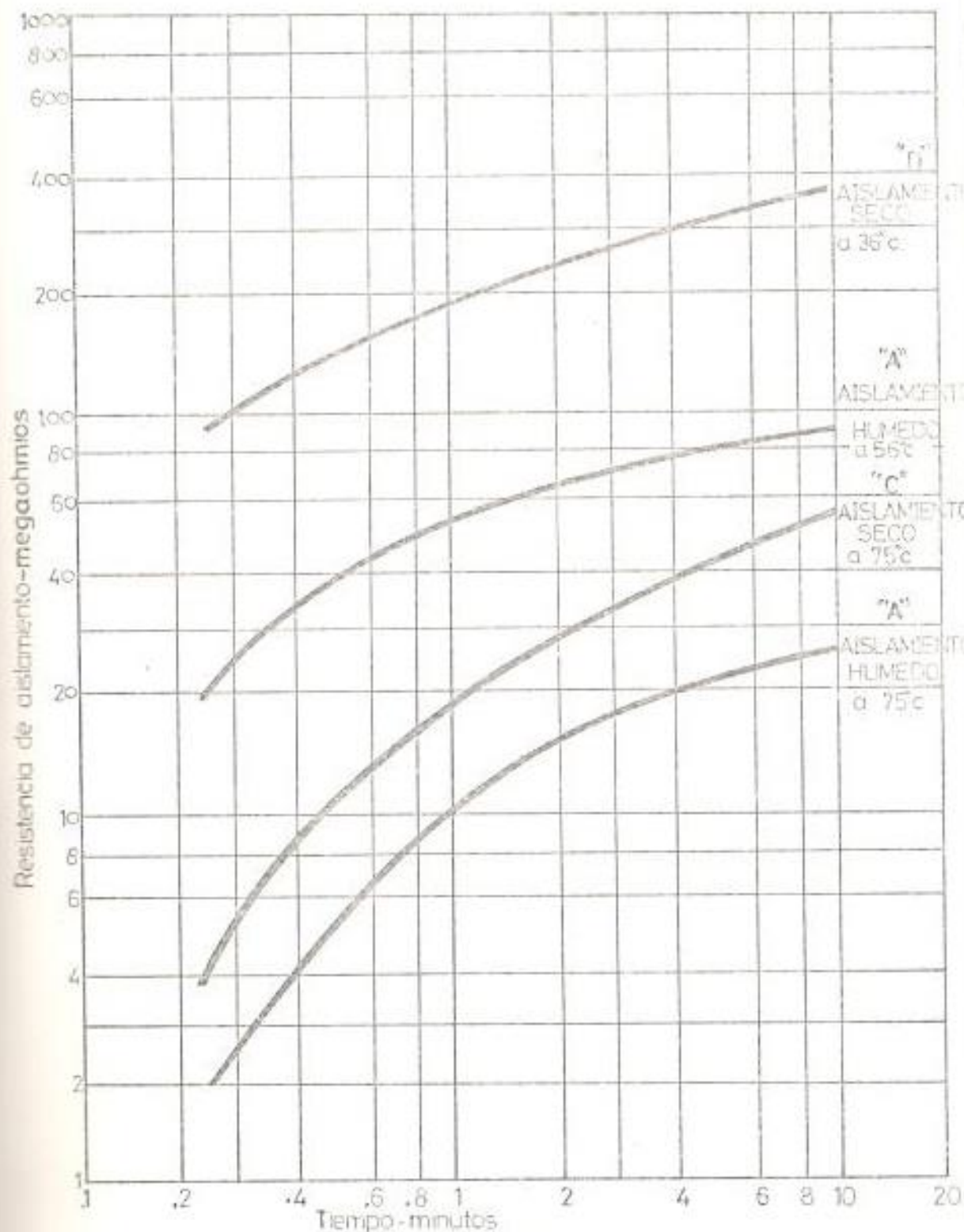
Las bases de temperatura recomendadas por los comités de normas son de 40°C para máquinas rotatorias, 20°C para los transformadores y 15,6°C para cables.

Para los demás equipos, como interruptores, aparta rayos, hoquillas, etc., no existe temperatura base ya que la variación de la resistencia de aislamiento con respecto a la temperatura no es notable.

Debido a que las características de temperatura de los materiales aislantes varían con el tipo de combinación de los materiales, cada equipo tiene sus propios factores de corrección por temperatura, los cuales se pueden obtener efectuando dos pruebas sucesivas de absorción a dos diferentes temperaturas (Fig. 2.2-a).

La primera prueba se puede efectuar poco después de poner el equipo fuera de servicio y la segunda después de que el equipo se ha enfriado a una tem





CURVAS DE ABSORCION DIELECTRICA ANTES Y DESPUES DEL SECADO DE UN GENERADOR

peratura considerablemente menor.

Utilizando una gráfica con escala logarítmica para la resistencia de aislamiento y escala lineal para la temperatura, se anotan los dos valores obtenidos a los 10 minutos en las pruebas mencionadas y se unen mediante una línea recta (Fig.2.2-a).

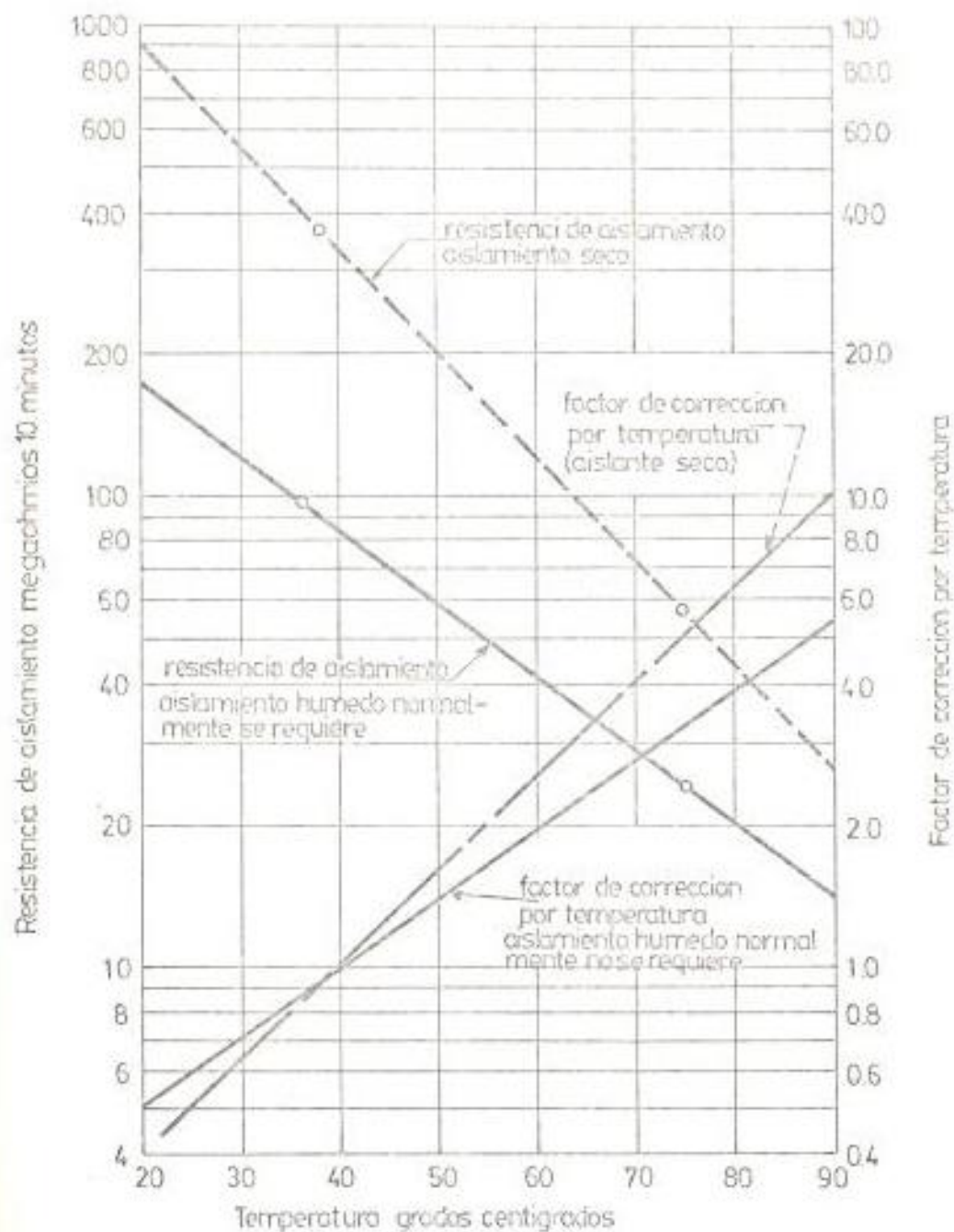
La intersección de esta línea con la temperatura base es el valor  $R_c$  de la ecuación (2.1.), con este valor y otro valor de resistencia a cualquier otra temperatura se puede obtener el factor de corrección  $K_t$ . Para esa temperatura utilizando la misma ecuación (2.1). Con el valor obtenido de  $K_t$  y tomando en cuenta que el valor de  $K_t$  es 1 para la temperatura base, se definen dos puntos en la gráfica, los que al unirlos por una línea recta nos proporcionan la curva de corrección por temperatura para el equipo en cuestión.

Una vez que se establece esta curva de corrección para un equipo dado, se podrá usar durante toda su vida a menos que se efectúen reparaciones mayores en el mismo que impliquen cambios en el siste

ma de aislamiento.

En el caso de que no se cuenta con la curva de corrección particular para el equipo, se pueden utilizar los factores de corrección aproximados que se indican en la figura 2.2-b.

Al realizar pruebas de resistencia de aislamiento es muy importante la medición de la temperatura; en el caso de máquinas rotatorias con detectores de temperatura por resistencia, deberá utilizarse el promedio de las lecturas de todos ellos; cuando no existen detectores se deberán tomar el promedio de lectura de varios termómetros localizados estratégicamente. El tiempo que transcurre mientras se baja carga, se desconecta del equipo asociado y se prepara la prueba, ayudará a disminuir el gradiente de temperatura entre el aislamiento y el dispositivo de medición de temperatura, pero el tiempo no deberá ser mayor de una hora para los generadores. Para los transformadores se recomienda un retraso de una hora después de ponerlos fuera de servicio para reducir el gradiente de temperatura. En todos los casos deberá ponerse fuera de servicio cualquier tipo de ventilación forzada al mismo



RESISTENCIA DE AISLAMIENTO Y FACTOR DE CORRECCION CONTRA TEMPERATURA

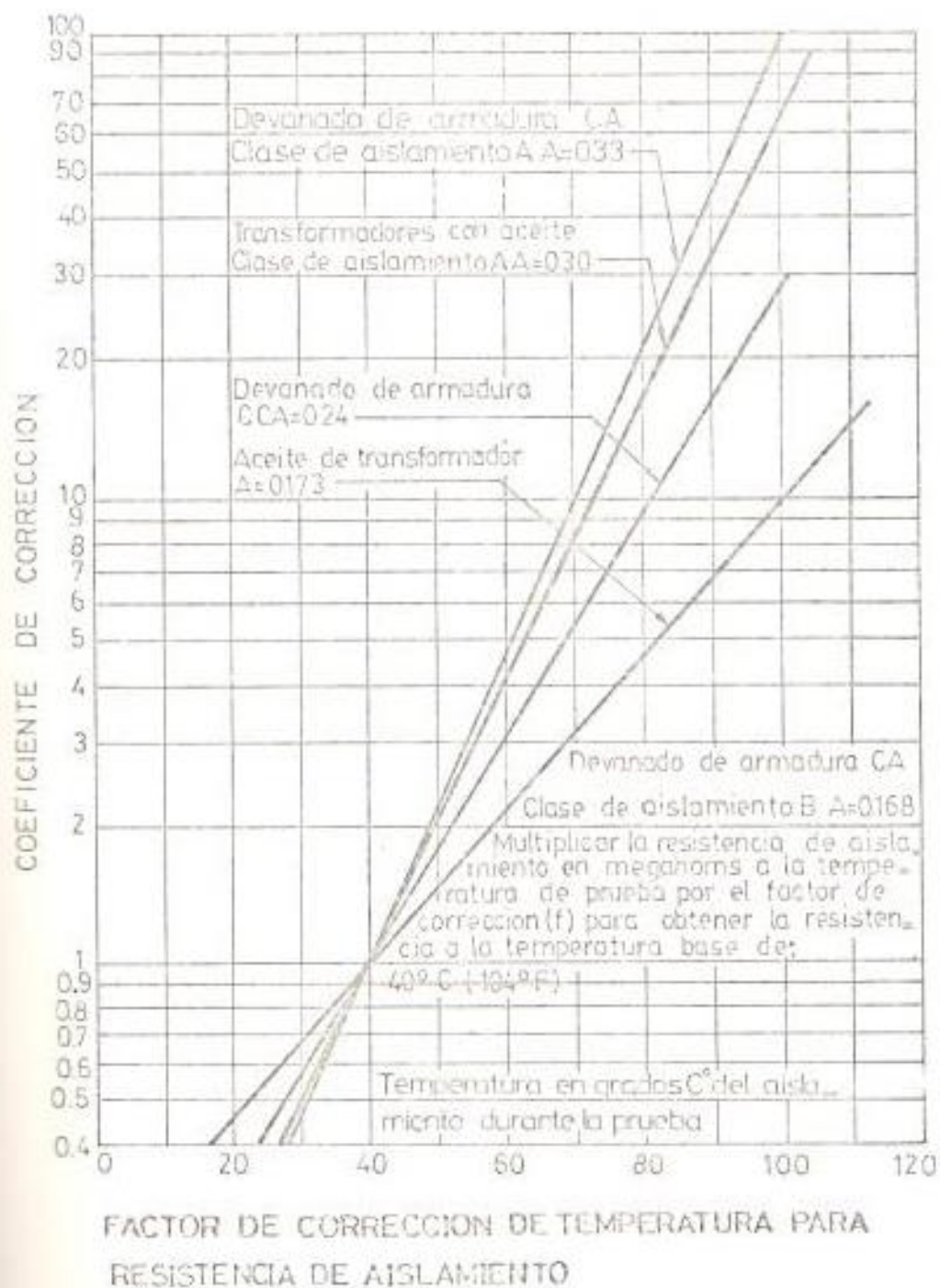


Fig No 2.2-b

tiempo que se elimina la carga.

En el caso de máquinas rotatorias, el efecto por temperatura en el índice de polarización generalmente es pequeño si la temperatura de la máquina no cambia apreciablemente, durante el tiempo que se efectúan las lecturas. Pero, cuando la temperatura es alta y por las características del sistema aislante, con cualquier variación de temperatura se puede obtener un índice de Polarización bajo, en cuyo caso se recomienda una prueba abajo de los  $-40^{\circ}\text{C}$  como una comprobación de la condición real del aislamiento.

#### 2.1.4.4. Potencial de Prueba:

La tensión de prueba que debe aplicarse a un equipo depende de la tensión nominal de operación del mismo y de las condiciones en que se encuentre su aislamiento. Si la tensión de prueba es alta, se puede provocar fatiga al aislamiento.

Los potenciales de prueba más comúnmente utilizados son tensiones de corriente directa de 500 a 5.000 volts.

A continuación se indican algunos valores seguros o normalmente permisibles:

---

VOLTAJE NOMINAL DEL PROBADOR	VOLTAJE NOMINAL DE CORRIENTE ALTERNA DEL EQUIPO
100 y 250 Volts.	Hasta 100 Volts. incluye algunos tipos de equipo de señalización y control.
500 Volts.	De 100 Volts. en adelante.
1000Volts.	De 400 Volts. en adelante.
2500Volts.	De 1000 Volts. en adelante.

---

Las lecturas de resistencia disminuyen normalmente al utilizarse potenciales más altos; sin embargo - para aislamientos en buenas condiciones y perfectamente secos, se obtendrán valores muy próximos para diferentes tensiones de prueba, siempre que no pase del valor nominal de operación del equipo que se está sometiendo a prueba.

Si al aumentar el potencial de prueba se reducen significativamente los valores de resistencia de aislamiento, esto nos puede indicar que existen im

perfecciones o fracturas en el aislamiento, o también que hay suciedad o humedad.

#### 2.1.4.5. Efecto de la duración de aplicación del voltaje de prueba:

Este efecto tiene gran importancia en el caso de grandes máquinas rotatorias y transformadores de potencia con aislamiento en buenas condiciones; - sin embargo, en el caso de los interruptores, apar-  
tarrayos y cables de pequeña longitud, este efecto carece de importancia y por lo tanto sólo es necesario efectuar pruebas con duración de un minuto.

#### 2.1.4.6. Efecto de la Carga Residual:

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



#### 2.1.4.7. Efecto del envejecimiento:

Algunos tipos de aislamientos presentan un proceso de "curado" con el tiempo, el cual provoca un aumento de la corriente de absorción que toma el aislamiento y por lo mismo un decremento de la resistencia de aislamiento. Además con la edad de algunos aislamientos pueden desarrollar fracturas, lo cual aumenta la corriente de fuga.

#### 2.1.4.8. Tratamientos Especiales:

Cuando los cabezales de una máquina se tratan con material semiconductor, para eliminación de efecto corona, normalmente se presenta una disminución en los valores de resistencia de aislamiento. También se obtienen valores de resistencia de aislamiento muy reducidos en los generadores que están enfriados interiormente con agua.

#### 2.1.5. Equipo "MEGGER", Descripción y Uso

Basicamente existen tres formas de medir la resistencia de aislamiento:

- a) Mediante un ohmímetro (MEGGER) de indicación directa,
- b) Mediante un voltímetro y un amperímetro, utilizando una

fuente de potencial de corriente directa.

- c) Mediante un puente de resistencia con batería y galvanómetro autocontenido.

Los siguientes párrafos se dedican al instrumento de indicación directa conocido como Megger, que es el instrumento más práctico y común para medir la resistencia de aislamiento.

#### 2.1.5.1. Descripción:

Existen básicamente tres tipos de instrumentos, los accionados manualmente, los accionados por motor y los de tipo rectificador.

El primer tipo es satisfactorio para efectuar pruebas de tiempo corto, pero no es recomendable para pruebas de absorción dieléctrica, puesto que es difícil mantener la velocidad adecuada durante los 10 minutos que dura la prueba. Para estas pruebas se debe usar cualquiera de los otros dos tipos.

Es recomendable usar un mismo instrumento para efectuar pruebas periódicas en el equipo, ya que

la diferencia en las características de salida - pueden afectar las curvas de absorción dieléctrica, especialmente en los valores iniciales.

#### 2.1.5.2. Principio de Operación:

La gran mayoría de los instrumentos utiliza el elemento de medición de bobinas cruzadas, cuya principal característica es que su exactitud es independiente del voltaje aplicado en la prueba. El megaohmetro consiste fundamentalmente de dos bobinas A y B (Fig. 2.3) 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.

Adicionalmente al elemento de medición, el megaohmetro tiene un generador de corriente directa, el cual proporciona el voltaje necesario para efectuar la medición.

Debido a que los cambios en el voltaje afectan a las dos bobinas en la misma proporción, la posición del sistema móvil es independiente del voltaje.

#### 2.1.5.3. Uso de la Guarda:

Generalmente todos los aparatos MEGGER con rango mayor de 1000 megohms están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es el de contar con un medio para efectuar mediciones en mallas de tres terminales, en tal forma que puede determinarse directamente al valor de una de las dos trayectorias posibles. (Ver figura 2.3.)

La corriente de fuga de toda componente de un sistema de aislamiento conectada al terminal de guarda no interviene en la medición.

#### 2.1.5.4. Instrucciones Generales para el uso del MEGGER:

En forma general las instrucciones para el uso del MEGGER son las siguientes:

- a) No se debe usar un probador cuyo voltaje en terminales sea superior al que se considera seguro aplicar al equipo que se va a probar.
- b) Colocar el instrumento en una base firme bien nivelada. Si es posible, usar un nivel de bur

# DIAGRAMA ELEMENTAL DEL MEGGER

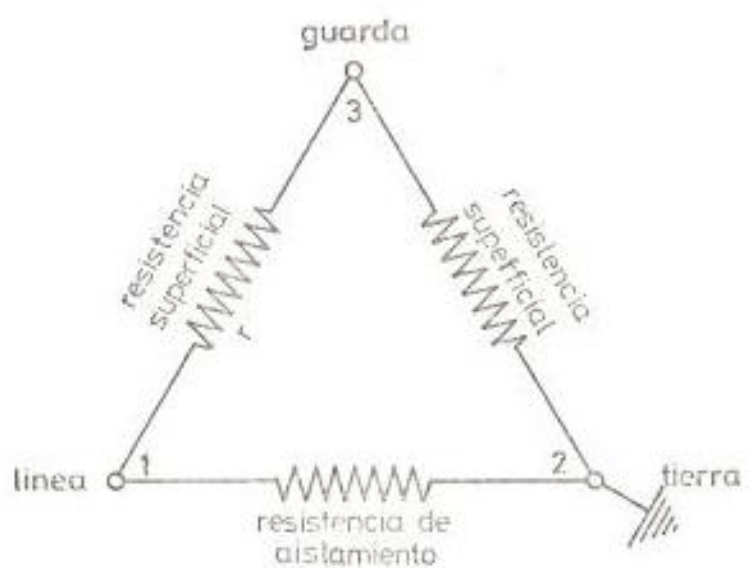
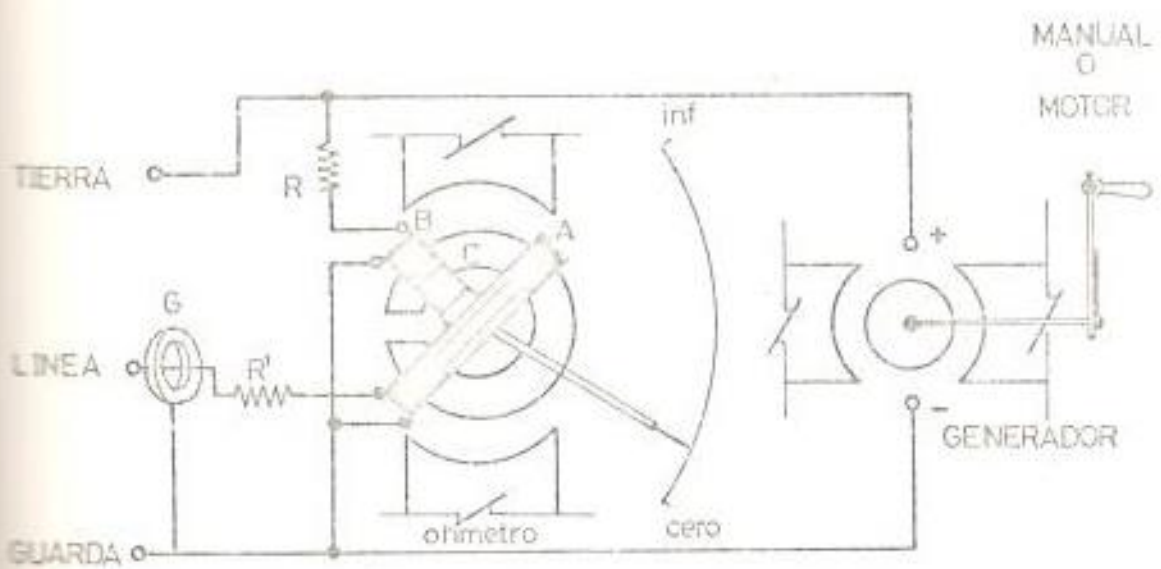


Fig No 2.3

buja.

Evitar las grandes masas de hierro y los campos magnéticos fuertes.

- c) Si el aparato es de voltaje múltiple girar el selector de voltaje hasta el valor que se requiere para efectuar la prueba.
- d) Verificar el infinito del aparato operando el MEGGER. En caso de que el aparato tenga interruptor de descarga, colocarlo en la posición "PRUEBA".
- e) Con el objeto de evitar errores introducidos por el aislamiento de los cables de prueba, - cuando sea posible conviene usar alambre de cobre desnudo.

En caso de que se haga necesario usar cables aislados deberá seleccionarse unos con alta calidad y duración. Es recomendable usar cables de un solo conductor, calibre 14 AWG, con aislamiento de hule natural resistente al aceite.

La cubierta exterior debe ser lisa, sin cubierta trenzada y se deben evitar los empalmes. - Cuando se efectúen pruebas con MEGGER de alto rango, se requiere usar cable de prueba blindado en la terminal de línea y conectar su blindaje a la terminal de guarda, para evitar medir la corriente de fuga en las terminales o a través del aislamiento del cable.

Es necesario verificar el "infinito" con los cables conectados al MEGGER antes de conectarlos al equipo que se va a probar. Luego se conectan entre sí los terminales de los cables de prueba (Línea - Tierra) y se observa si la aguja marca cero, verificando que los cables no están abiertos.

- f) Asegurar de que el equipo que se va a probar no esté energizado y aterrizarlo durante 10 minutos para eliminar toda carga capacitiva que pueda afectar la medición.
- g) Tomar nota de los componentes que intervienen adicionalmente en el equipo que se va a probar en algún formato de prueba.

h) Conectar adecuadamente las terminales de prueba al equipo que se va a probar, operar el aparato, girar en caso de que exista el interruptor de descarga, a la posición "Test" y tomar las lecturas en los tiempos requeridos, anotando los resultados en la hoja de prueba correspondiente.

i) Al terminar la prueba poner fuera de servicio el instrumento, regresar el interruptor de descarga a la posición "Discharge" y aterrizar nuevamente la parte del equipo probado, durante un tiempo cuando menos igual al de la prueba.

Con el interruptor de descarga en posición "DISCHARGE" se completa, a través de conexiones internas del instrumento, un circuito de descarga para la parte probada.

j) Registrar la temperatura del equipo bajo prueba y anotarla en la hoja de prueba correspondiente.

k) En el caso de que se pruebe equipo con grandes



superficies de dispersión como son las armaduras y campos de las máquinas rotatorias, conviene medir el % de humedad relativa en la atmósfera.

Una vista general del MEGGER se muestra en la figura 2.4.

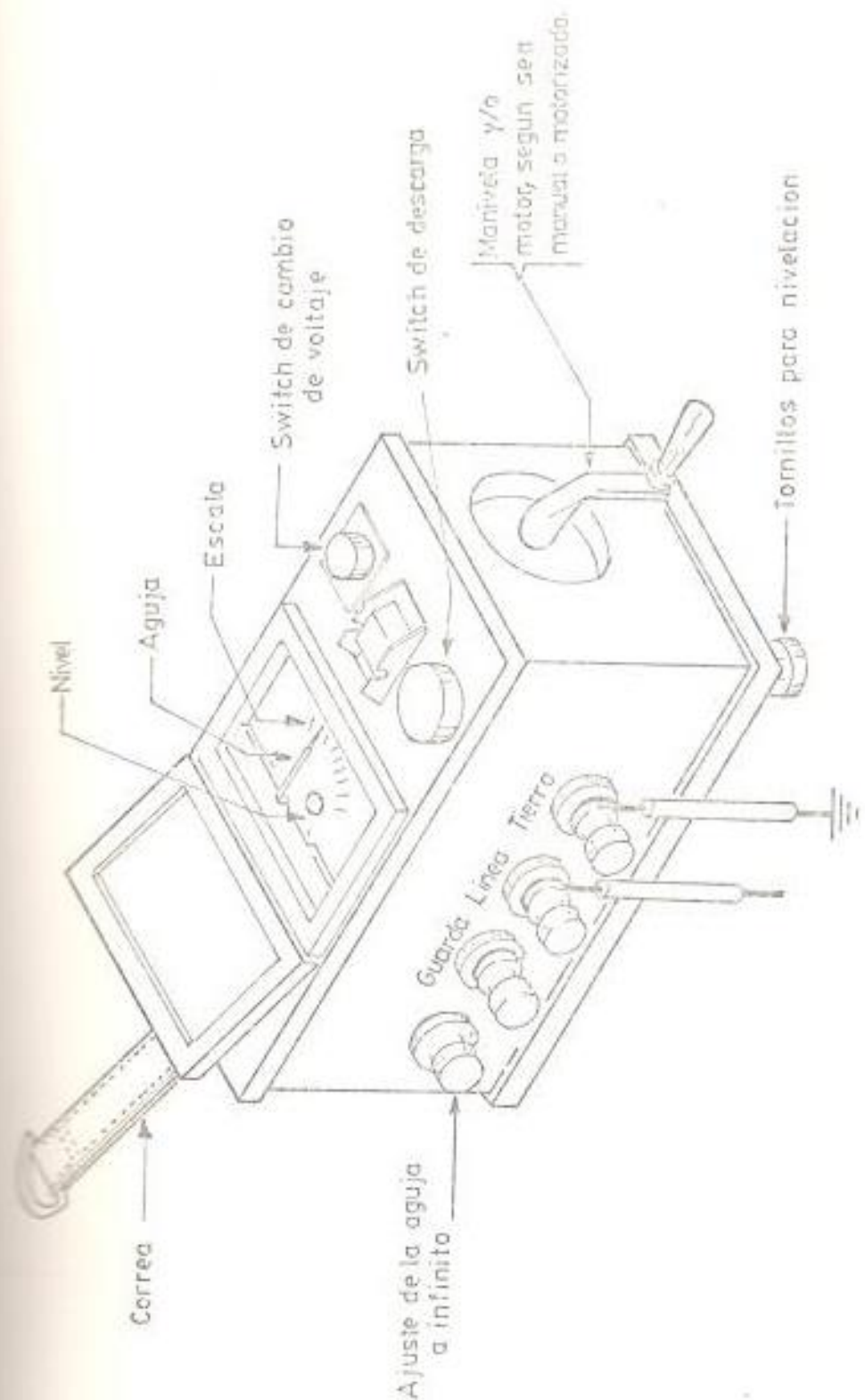
#### 2.1.5.5. Medidas de Seguridad al utilizar el MEGGER:

Antes de retirar cualquier equipo para efectuar pruebas, se deberá contar con el permiso respectivo. Se deberán tomar las precauciones necesarias para asegurar que no se pueda energizar el equipo bajo prueba.

Se deberán efectuar pruebas para verificar que no hay voltajes inducidos. Se deben conectar las tierras.

Si es necesario desconectar el neutro o alguna otra conexión a tierra, asegurarse de que no lleve corriente.

Al conectar las terminales del MEGGER y al operarlo, se deberá usar guantes aislados.



VISTA GENERAL DEL MEGGER

Al efectuar pruebas de absorción en equipos con un volumen grande de aislamiento, se deberá tomar la precaución de descargarlo de toda corriente capacitiva y de absorción después de la prueba y antes de remover las terminales de prueba.

#### 2.1.6. Métodos de Medición

Existen tres métodos para medir la resistencia de aislamiento mediante un MEGGER:

- a) Método de tiempo corto o lectura única.
- b) Método tiempo-resistencia o absorción dieléctrica.
- c) Método de voltajes múltiples.

##### 2.1.6.1. Método de Tiempo corto:

Consiste en realizar la prueba durante un tiempo corto y ver la lectura final. Para fines de normalización se recomienda aplicar el voltaje de prueba durante 60 seg., con el objeto de poder efectuar comparaciones bajo la misma base con datos de prueba existentes y futuras.

Este método tiene su principal aplicación en equi

pos pequeños y en aquellos que no tienen una característica notable de absorción, como son los interruptores, cables, apartarrayos, etc..

#### 2.1.6.2. Método tiempo-resistencia o absorción dieléctrica:

Consiste en aplicar el voltaje de prueba durante un período de 10 min. tomando lecturas a intervalos de 1 min.

Su aplicación se basa en las características de absorción del aislamiento y proporciona una buena referencia para evaluar el estado de los aislamientos en aquellos equipos con características de absorción notable, como son las grandes máquinas rotatorias y transformadores de potencia, sobre todo cuando no existe historial de pruebas anteriores.

#### 2.1.6.3. Método de Voltajes Múltiples:

Tiene su principal aplicación en la evaluación del aislamiento de las máquinas rotatorias y en menor grado para el de los transformadores.

Su aplicación requiere el uso de un instrumento

con varios voltajes para aplicar dos o más voltajes en pasos por ejemplo con 500 volts, y después con 1.000 volts.

De preferencia los voltajes aplicados deben estar en relación de 1 a 5 o mayor (por ejemplo 500 y 2.500 volts.). Un cambio de 25 % en el valor de la resistencia de aislamiento para una relación de voltajes de 1 a 5 generalmente se debe a la presencia excesiva de humedad en otros contaminantes.

Este método contempla tres técnicas para realizar la prueba:

- a) Aplicar cada paso de voltaje durante el tiempo necesario para que desaparezca la corriente de absorción, descargando completamente el aislamiento en cada paso.
- b) Aplicar los pasos de voltaje durante un minuto sin descargar el aislamiento entre cada paso.
- c) Aplicar los pasos de voltaje durante un minuto, descargando completamente el aislamiento entre cada paso.

La interpretación es sencilla en el caso (a), ya que se considera que el aislamiento está en buenas condiciones si la relación entre resistencia y voltaje permanece constante. En los casos (b) y (c) se debe tomar en cuenta la energía absorbida en cada paso.

### 2.1.7. Aplicaciones de prueba de Resistencia de Aislamiento

#### 2.1.7.1. Máquinas Rotatorias:

GENERALIDADES.- Esta prueba es de gran ayuda para determinar la presencia de humedad, aceite, polvo, corrosión, daños o deterioros del aislamiento. Se aplica también para el control del proceso de secado de las máquinas rotatorias.

A pesar de ser esta prueba una guía útil en la evaluación de las condiciones de los aislamientos, no debe tomarse como criterio exacto, ya que tiene varias limitaciones entre las cuales tenemos las siguientes:

- a) La resistencia de aislamiento de un devanado - no tiene una relación directa con su rigidez - dieléctrica y por lo tanto es muy difícil pre

decir el valor de la resistencia al que falla el aislamiento.

- b) Aún cuando se han definido valores mínimos recomendables, existen máquinas que tienen una superficie de aislamiento extremadamente grande, que pueden tener valores de resistencia inferiores a estos, por más que sus devanados estén en buenas condiciones.
- c) Una medición aislada de resistencia de aislamiento a un voltaje deseado, no indica si la materia extraña responsable de la baja resistencia está concentrada o distribuida.

PREPARACION DE LA MAQUINA PARA LA PRUEBA: Los siguientes puntos deben considerarse para efectuar las pruebas:

- a) Cuando se requiere información sobre la condición interna del aislamiento, sin que el valor sea afectado por la condición superficial, deberá limpiarse y secarse el aislamiento, especialmente en ambientes húmedos.

- b) La temperatura del devanado debe estar por encima del punto de rocío.
- c) No es necesario que la máquina esté parada para efectuar la prueba MEGGER; en ocasiones es deseable que la máquina esté girando para que el devanado se sujete a las fuerzas centrífugas que ocurren en servicio.
- d) Descargar toda carga residual antes de efectuar la prueba, conectando los devanados a tierra cuando menos 10 minutos antes.
- e) Es conveniente que la medición de la resistencia de aislamiento abarque exclusivamente los devanados de la máquina, para lo cual es necesario desconectar todo el equipo externo de la misma.
- f) En las máquinas enfriadas por agua, deberá expulsarse el agua y secarse completamente el circuito interno.

CIRCUITOS DE PRUEBA: Se recomienda que siempre que sea posible y práctico, se separen las fases y se prueben separadamente, ya que con ello se

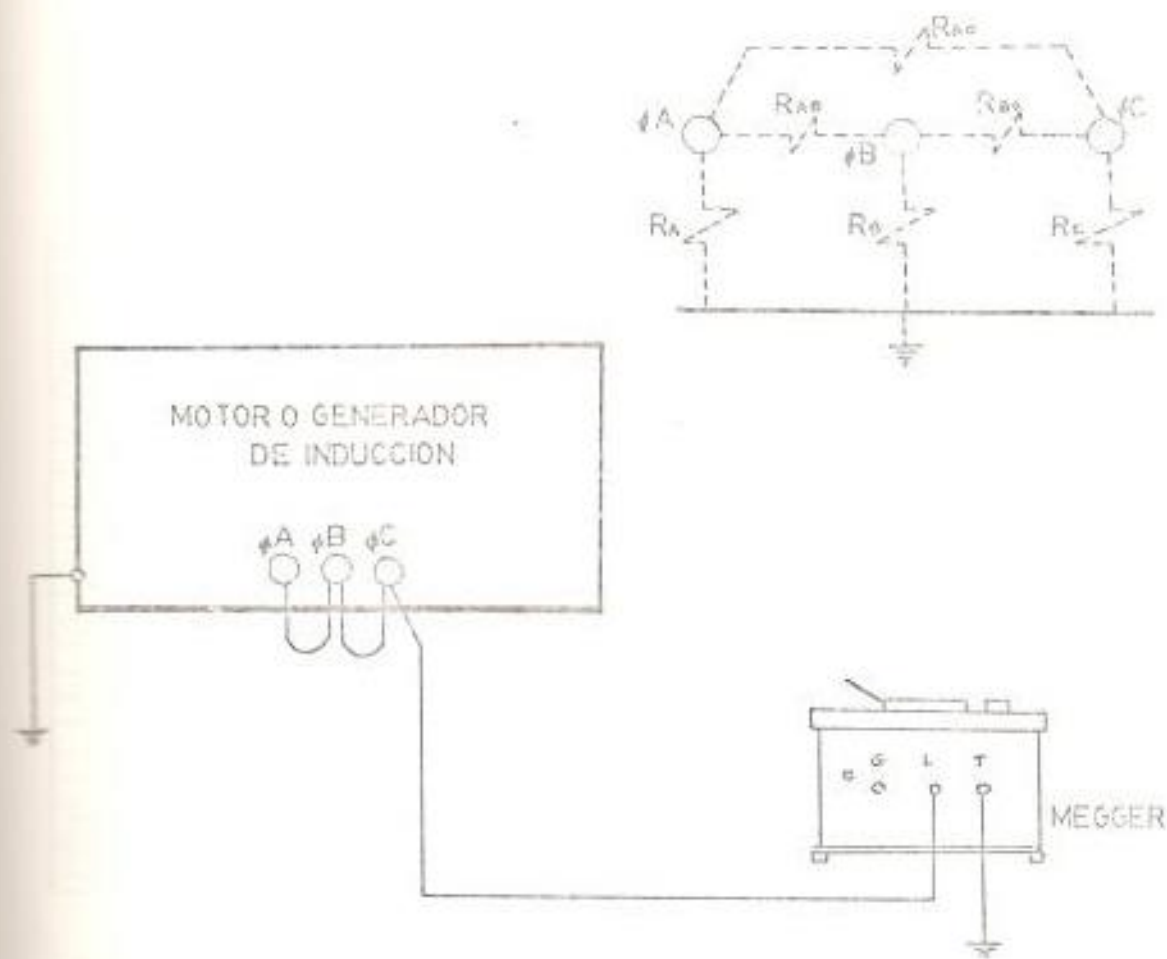


puede establecer una comparación entre las mismas que es muy útil para la evaluación presente y futura del devanado. Por otro lado la prueba de todas las fases a la vez tiene el inconveniente de que únicamente se prueba el aislamiento a tierra y se omite la prueba del aislamiento entre fases. Ver figura 2.5. y Tabla 1.

2.1.7.2. Transformadores de Potencia:

GENERALIDADES.- Esta prueba es de gran ayuda para la detección de humedad, condiciones del aceite, y daños en los elementos aislantes, y es de gran utilidad para dar una idea rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total del transformador bajo pruebas.

Las pruebas se efectúan con MEGGER, con tensión mínima de 1.000 voltios, operando con motor, rectificador, o bien con MEGGER transistorizado. Para transformadores con voltajes mayores de 69KV, o capacidades mayores de 10 MVA, utilizar siempre MEGGER motorizado con escala máxima de 50.000 Megohms. Para transformadores menores de 69 KV se puede utilizar el MEGGER transistorizado con esca



PRUBA	CONEXION DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	A, B, C	—	↓	$R_A$ EN PARALELO CON $R_B$ Y $R_C$

PRUEBAS MOTOR O GENERADOR DE INDUCCION

# PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE GENERADORES

## DATOS DEL GENERADOR

Clave de la instalación \_\_\_\_\_  
 Nombre de la instalación \_\_\_\_\_  
 Clave del equipo \_\_\_\_\_  
 Generador probado \_\_\_\_\_  
 Marca \_\_\_\_\_  
 N. de serie \_\_\_\_\_  
 Capacidad nominal MVA \_\_\_\_\_ MW \_\_\_\_\_  
 Factor de potencia \_\_\_\_\_  
 Tensión nominal \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_  
 Corriente nominal \_\_\_\_\_ AMP \_\_\_\_\_  
 Conexión de neutro \_\_\_\_\_  
 Clase de aislamiento \_\_\_\_\_  
 Conexión del aislamiento (limpia, sucia) \_\_\_\_\_

## DATOS DE LA PRUEBA

Fecha de la prueba \_\_\_\_\_  
 Temperatura ambiente \_\_\_\_\_ Campo \_\_\_\_\_  
 Temperatura ambiente \_\_\_\_\_  
 Equipo incluido en la prueba \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Megger motorizado No \_\_\_\_\_  
 Marca \_\_\_\_\_  
 Rango \_\_\_\_\_

Prueba No.	II	II	II	II	II	
Tensión de Prueba						
Conexión	A Línea	FASE A	FASE B	FASE C	FASES A B y C	Desconecta campo
	A Tierra	FASES B y C	FASE A y C	FASE A y B		
Tiempo minutos	1/4					
	1/2					
Lectura K/Megohms	1					
	2					
Lectura K/Megohms	3					
	4					
Lectura K/Megohms	5					
	6					
Lectura K/Megohms	7					
	8					
Lectura K/Megohms	9					
	10					
Indice de Absorción						
Indice de Polarización						

### INSTRUCCIONES GENERALES

- 1-Descargar a tierra la fase por probar durante 5 minutos antes de la prueba.
- 2-Los cables de prueba no deben tocarse entre si, ni tocar ningún otro elemento de la instalación.
- 3-En todas las pruebas se conectará a tierra efectiva, la terminal GROUND del megger.
- 4-Cuando una lectura se repite más de tres veces, puede darse por terminada la prueba.
- 5-En caso de usar cable de prueba blindado, conectar la carcasa del cable a la terminal de guarda del megger.
- 6-En todas las pruebas se conectará a tierra la carcasa del estator.
- 7-En la prueba N° 5 se conectaran carbonos y se probará el campo desde los anillos colectores, puntas de los y poniendo la terminal del rotor a tierra.
- 8-Las devanadas se probarán solo, uniéndose los terminales de la línea y de neutro y solo en casos especiales se incluirá en la prueba otro equipo, el cual se reportará.

### OBSERVACIONES

#### CONDICIÓN DEL AISLAMIENTO

Buena \_\_\_\_\_ mala \_\_\_\_\_ dudosa \_\_\_\_\_

PRUEBA EFECTUADA POR \_\_\_\_\_

NOMBRE Y FIRMA

la de 2.000 Megaohms. Se debe tener la precaución de utilizar siempre el mismo tipo de MEGGER para un determinado equipo, a fin de que los resultados de prueba puedan ser comparables.

#### PREPARACION DEL TRANSFORMADOR PARA LAS PRUEBAS.-

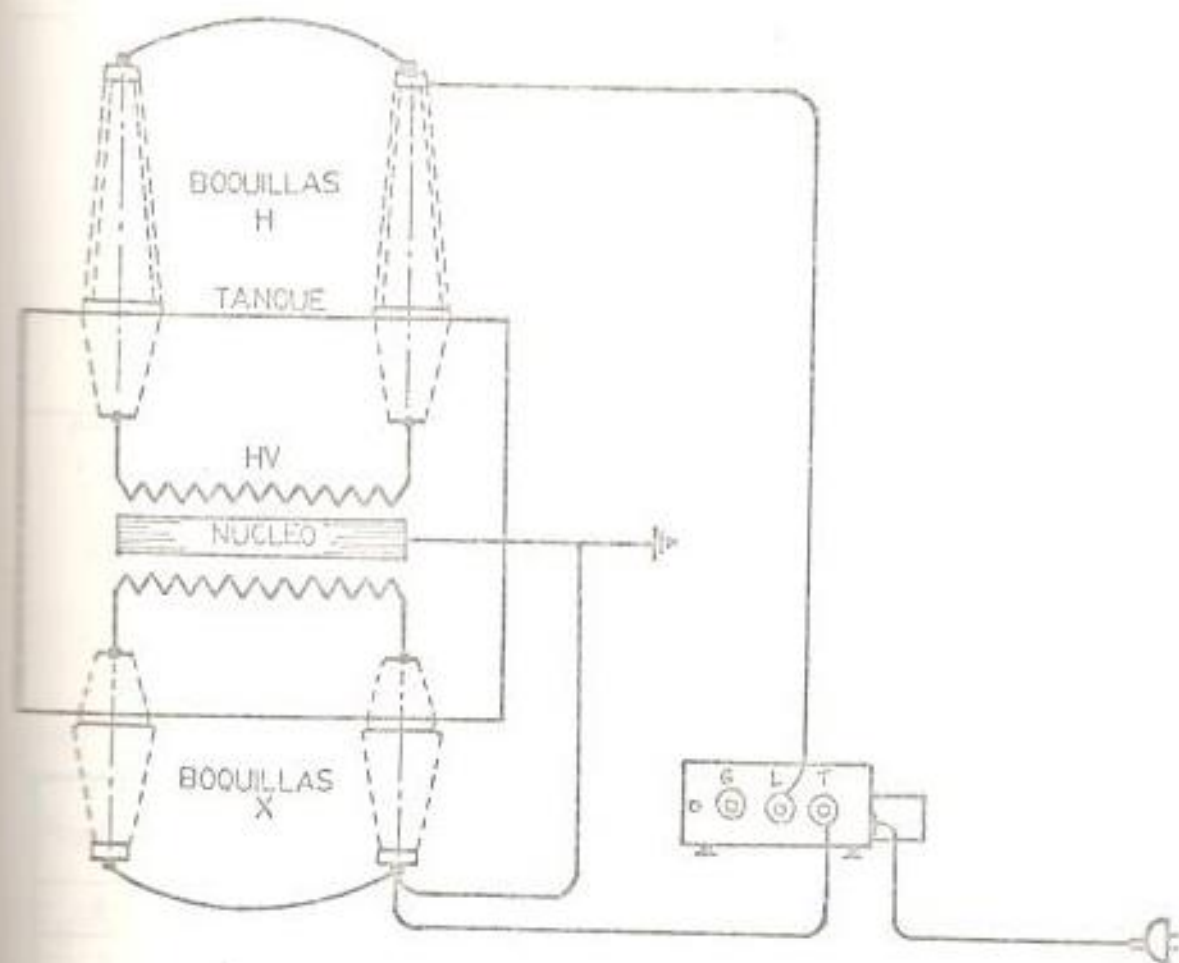
Es conveniente preparar el transformador para las pruebas y observar las precauciones que se indican a continuación:

- a) Desconectar todas las terminales de boquillas. En caso de que el transformador tenga salidas con cables subterráneos, se recomienda efectuar la prueba con cable y todo, desde el transformador hasta el interruptor, pero tomando las precauciones necesarias. Sólo en caso necesario desconectar para probar por separado el cable y el transformador.
- b) Asegurarse de que el tanque del transformador este sólidamente aterrizado
- c) Drenar todas las cargas estáticas que pueden estar presentes en los devanados al inicio de cada una de las pruebas.

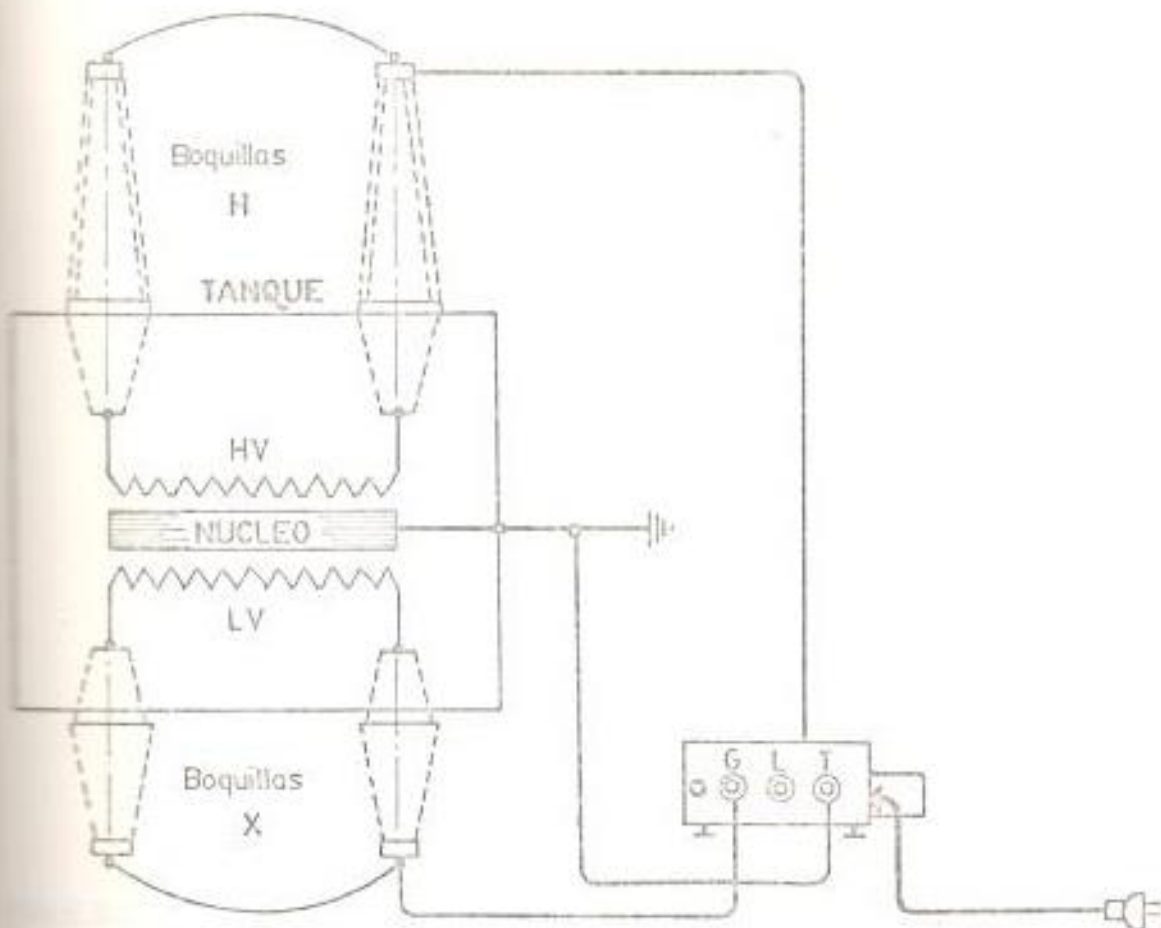
- d) Desconectar los neutros de los devanados.
- e) Limpiar la porcelana de las boquillas quitando el polvo, suciedad, etc.
- f) Poner especial cuidado en que no haya cambios bruscos de temperatura mientras dure la prueba.
- g) De preferencia efectuar las pruebas si la humedad relativa es menor de 75 %.

PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS.- Al efectuar las pruebas con MEGGER en los transformadores, hay diferentes criterios en cuanto a la terminal de - guarda. Aquí se incluyen pruebas con y sin guarda, y quedaría a juicio de la persona responsable el seleccionar las que sean de utilidad, de acuerdo con las pruebas efectuadas con anterioridad.

Para cada una de las conexiones que se indican en las figuras 2.6, 2.7, 2.8, se deben efectuar las pruebas con una duración de 10 minutos, y se deben registrar las lecturas de 15, 30, 45 y 60 segundos. Así como a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos (Ver tablas II y III). Se deberá usar el má



CONEXION PARA PRUEBA DE TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS



Prueba	CONEXIONES			Mide
	L	T	G	
1	H	⚡	X	RH
2	H	X	⚡	RHX
3	X	⚡	H	RX
4	H	X ⚡	-	RH RHX
5	X	H ⚡	-	RX RHX
6	HX	⚡	-	RH RX

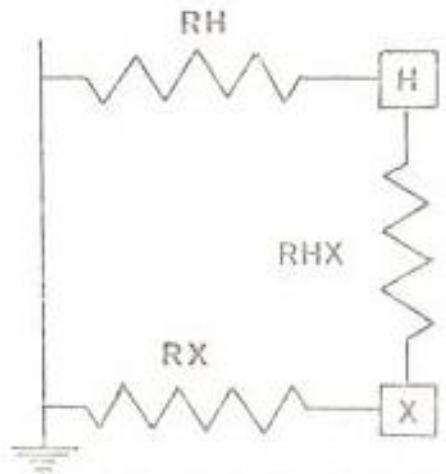
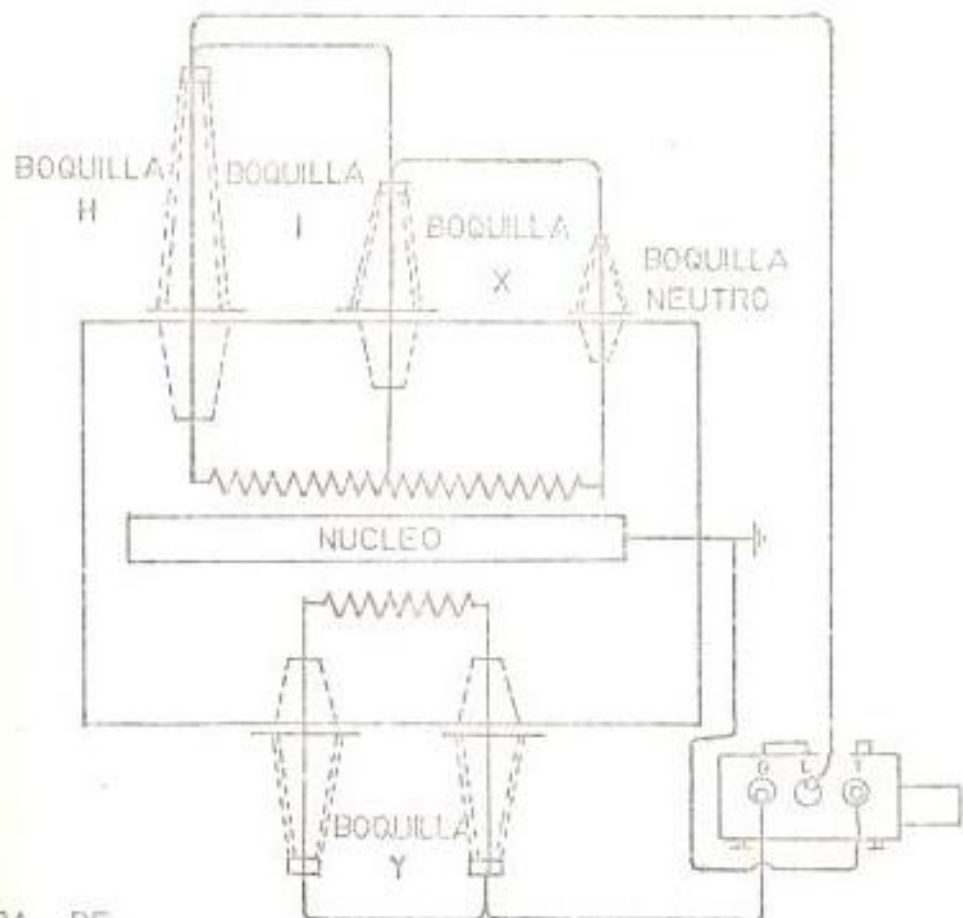


Fig No 2.7

PRUEBA DE TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS USANDO LINEA DE GUARDA



PRUEBA DE AUTOTRANSFORMADOR

PRUEBA	CONEX. DE PRUEBA			MIDE
	L	T	G	
1	H	$\text{---}\text{---}\text{---}$	Y	RH
2	H	Y	$\text{---}\text{---}\text{---}$	RHY
3	Y	$\text{---}\text{---}\text{---}$	H	RY
4	H	Y $\text{---}\text{---}\text{---}$	H	RH -- RHY
5	Y	H $\text{---}\text{---}\text{---}$		RY -- RHY
6	H X	$\text{---}\text{---}\text{---}$		RH -- RY

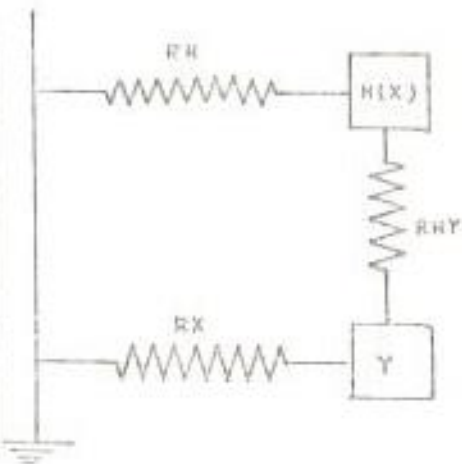


Fig No 2.8



# RESISTENCIA DE AISLAMIENTO TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS

## DATOS DEL TRANSFORMADOR

Clase de la instalación \_\_\_\_\_  
 Nombre de la instalación \_\_\_\_\_  
 Clase del voltage \_\_\_\_\_  
 Transformador \_\_\_\_\_  
 Marca \_\_\_\_\_ No. de serie \_\_\_\_\_  
 No. de serie \_\_\_\_\_  
 Tension AT \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_ BT \_\_\_\_\_ KV \_\_\_\_\_  
 Conexión AT \_\_\_\_\_ BT \_\_\_\_\_  
 Capacidad OA \_\_\_\_\_ KVA \_\_\_\_\_

## DATOS DE LA PRUEBA

Fecha de la prueba \_\_\_\_\_  
 Temperatura Normalizada aceite \_\_\_\_\_  
 Temperatura ambiente \_\_\_\_\_ (con humedad)  
 Equipamiento para prueba \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 Medios motorizados de \_\_\_\_\_  
 Marca \_\_\_\_\_  
 RANGO \_\_\_\_\_

Prueba No. (orden de prueba)	I		II		III		IV		V	
	A línea	BT	BT	AT	AT	BT	BT	AT	BT	BT
A tierra	TANQUE		TANQUE		BT					
tiempo minutos	lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura	K. Megohms lectura
1/4										
1/2										
3/4										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Indice										
Observaciones										
Indice										
Observaciones										

### INSTRUCCIONES GENERALES

- 1. PUENTEAR ENTRE SI TODAS LAS TERMINALES DE UN MISMO DEVANADO
- 2. LOS DEVANADOS DEBEN DESCARGARSE A TIERRA DURANTE 10 - 15 MINUTOS ANTES DE CADA PRUEBA
- 3. LA TERMINAL GROUND DEL MEDIDOR SE CONECTARA A TIERRA DIRECTAMENTE EXCEPTO EN LA PRUEBA No. 3
- 4. LOS CABLES DE PRUEBA NO DEBERAN TOCARSE ENTRE SI NI TOCAR NINGUN OTRO ELEMENTO DE LA INSTALACION
- 5. CUANDO UNA LECTURA SE REPITA MAS DE TRES VECES CONSECUTIVAS PUEDE DARSE POR TERMINADA LA PRUEBA
- 6. EN CASO DE USAR CABLE DE PRUEBA BLINDADO CONECTAR LA CAPAZA DEL MISMO A LA TERMINAL DE GUARDA
- 7. EL TRANSFORMADOR SE PROBARA DESCONECTANDO TODAS SUS TERMINALES EN AQUELLOS CASOS ESPECIALES EN QUE NO SEA POSIBLE SE PROBARA SIEMPRE EN LAS MISMAS CONDICIONES REPITIENDO EL EQUIPO QUE SE INCLuye EN LA PRUEBA

### OBSERVACIONES

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

CONDICION DEL AISLAMIENTO  
 BUENO \_\_\_\_\_ MALO \_\_\_\_\_ DUDOSO \_\_\_\_\_  
 PRUEBA EFECTUADA POR \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 NOMBRE Y FIRMA

**TABLA No. II**



ximo voltaje de prueba del MEGGER tomando en consideración el voltaje nominal del devanado del transformador sometido a prueba. Se deberán tomar las lecturas de temperatura del aceite, temperatura ambiente y humedad relativa y se registrarán en la hoja de pruebas.

#### 2.1.7.3. Transformadores para Instrumentos:

GENERALIDADES.- Puesto que existen gran variedad de diseños de transformadores de instrumentos, solo es posible describir las pruebas en forma general, y la persona que realice la prueba deberá analizar los diagramas en particular. Esta conexión debe quedar asentada en el reporte de prueba del equipo.

Al probar un transformador de instrumentos es necesario determinar las condiciones del aislamiento entre los devanados primario y secundario contra tierra. Para la prueba del primario contra tierra, se debe usar el mayor voltaje del aparato dependiendo de su tipo; tomando en cuenta que en muchas ocasiones el primario está puesto a tierra a través de su carcasa, la prueba debería hacerse antes de montarlo en su respectiva es

estructura. Al efectuar la prueba del secundario con tierra se deberá usar la escala más cercana a su voltaje nominal, siendo la de 500 voltios el máximo.

A partir de 34,5 KV, la gran mayoría de los transformadores de potencial son de aislamiento reducido. Un terminal del primario está conectado directamente a tierra y es necesario desconectarlo para efectuar la prueba de éste devanado a tierra.

#### PREPARACION DEL TRANSFORMADOR PARA LA PRUEBA.-

Hay que revisar los siguientes pasos:

- a) Desconectar los cables de los terminales primarios y secundarios del transformador o dispositivo.
- b) Drenar todas las cargas estáticas.
- c) Cortocircuitar terminales del devanado primario y secundario.
- d) Limpiar la porcelana.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA .- Todas las pruebas deben hacerse a un minuto y con el voltaje adecuado para el devanado a probar.

Las conexiones de prueba para los transformadores más comunes se muestran en las figuras 2.9 y 2.10.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS .- Es difícil aplicar criterios exactos en cuanto a que valores en megohms se deben obtener al efectuar las diferentes pruebas a transformadores de instrumentos.

Ningún fabricante de estos equipos ofrece datos comparativos por marcas y voltajes.

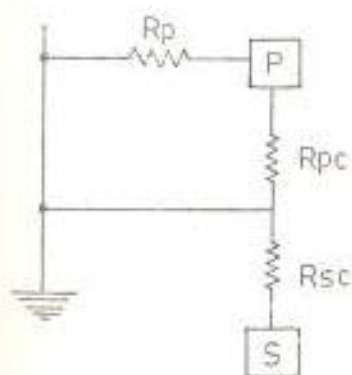
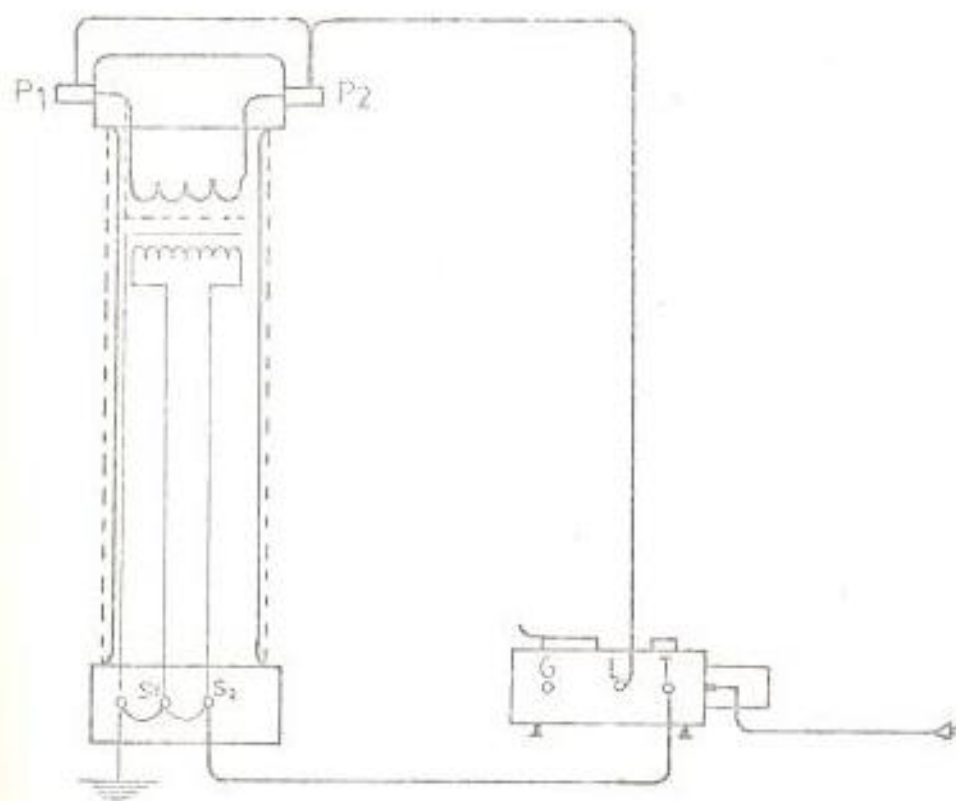
A continuación se dan datos obtenidos de pruebas de algunos transformadores de instrumentos.

EQUIPO	MEGADHMS A 1 MIN. y 2500 V.
T.C. 400 KV	50.000
T.P. 400 KV	50.000
D.C.P. 400 KV	50.000
T.C. 230 KV	50.000
T.P. 230 KV	50.000
T.P. 115 KV	45.000
T.C. 115 KV	40.000

#### 2.1.7.4. Interruptores:

GENERALIDADES.- Las pruebas de resistencia de aislamiento son muy importantes, sobre todo un interruptor de gran volumen de aceite y un interruptor de soplo magnético del tipo de los usados en tableros "METAL CLAD", ya que son susceptibles de humedecerse.

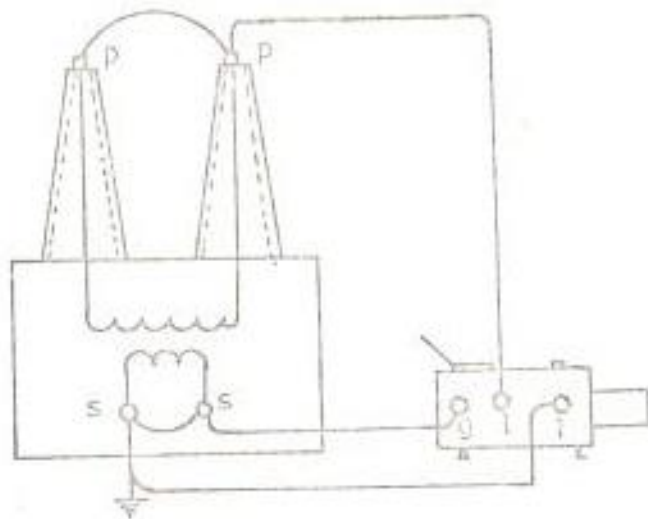
En estos interruptores se tienen elementos aislantes de materiales higroscópicos como son el aceite, la barra de operación y la cámara de arqueo; la carbonización causada por las operaciones del interruptor también ocasiona contaminación y con esto una reducción de la resistencia de aislamiento.



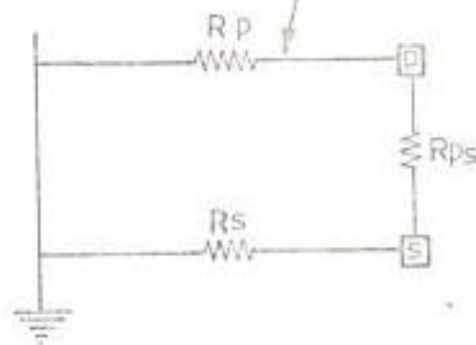
CONEXIONES DE PRUEBA

Prueba	L	T	G	Mide
1	P	S $\downarrow$ $\downarrow$	—	Rg Rpc
2	S	P $\downarrow$ $\downarrow$	—	Rsc

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE  
 CONEXIONES DE PRUEBA  
 T.C. HERMETICO



CIRCUITO EQUIVALENTE



PRUEBA	CONEXIONES			MIDE
	L	T	G	
1	P	⊥	S	Rp
2	P	S	⊥	Rps
3	S	⊥	P	Rs

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL  
 CONEXIONES DE PRUEBA  
 T.P. AISLAMIENTO PLENO.



PREPARACION PARA LA PRUEBA.- Se deben considerar los siguientes pasos:

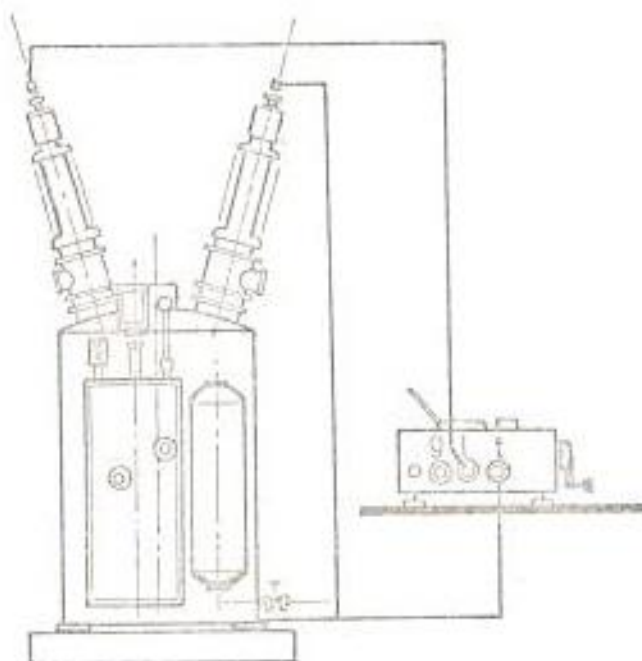
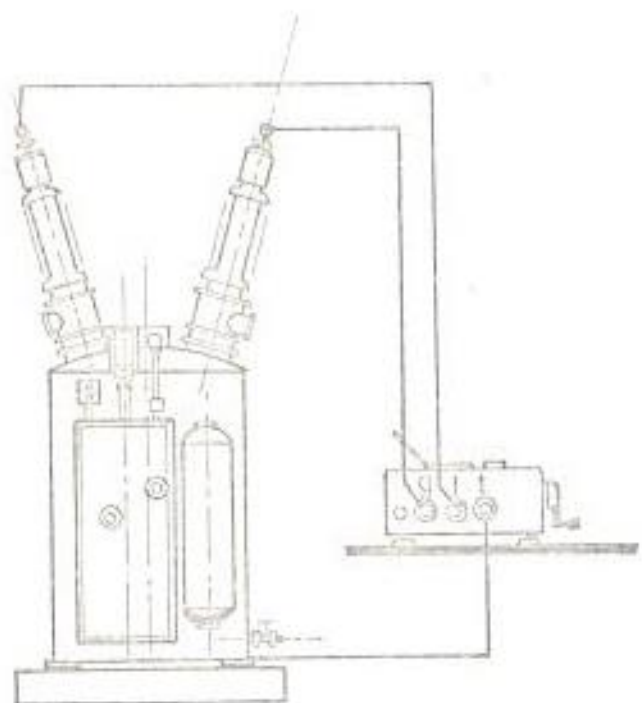
- a) Librar el interruptor completamente, asegurándose de que se encuentran abiertas las cuchillas seccionadoras correspondientes y desconectar todos los terminales de las boquillas.
- b) Asegurarse de que el tanque del interruptor - esté solidamente aterrizado.
- c) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas, quitando polvo, humedad o agentes - contaminantes.
- d) Conectar el tanque a la tierra del probador.
- e) Procurar efectuar la prueba cuando la humedad relativa sea menor de 75 %.

CIRCUITOS DE PRUEBA.- A continuación se muestran cuatro diferentes pruebas que se pueden hacer - a los interruptores.

PRUEBA	POSICION INTERR.	BOQUILLA ENERG.	BOQUILLA A GUARDA	BOQUILLA A TIERRA	PARTE MEDIDA
1	abierto	1	2		BOQ. 1
2	abierto	1		2	BOQ. 1 en paralelo con guías.
3	abierto	1 y 2			BOQ.1 y 2 en paralelo.
4	cerrado	1 y 2			BOQ.1 y 2 en paralelo.

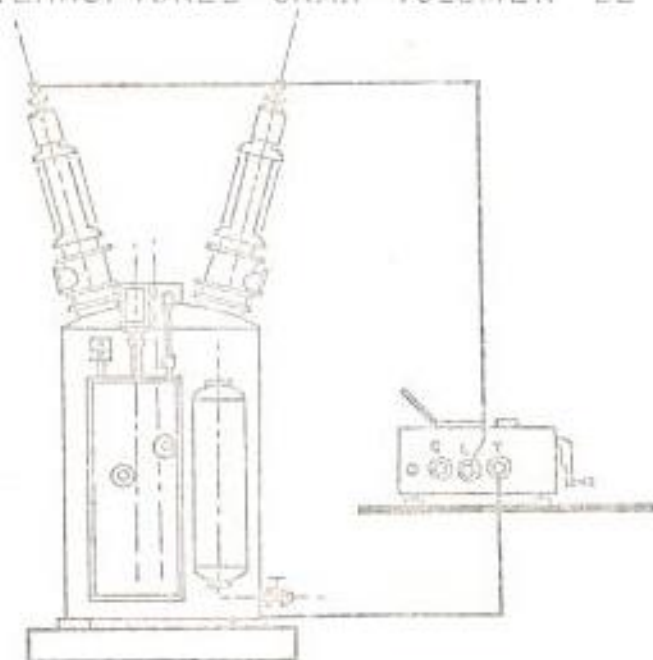
EVALUACION DE AISLAMIENTOS.- Si los valores de prueba de cualquiera de los cuatro tipos de prueba de la tabla, registran cifras de resistencia de aislamiento menores de 10.000 megohms a una temperatura de 20°C., se deberá efectuar una prueba de resistividad al aceite aislante para verificar si estos valores bajos no son ocasionados por estar humedo o contaminado el aceite, en cuyo caso, se deberá tratar el aceite aislante. Si después de corregir las condiciones aislantes del aceite, sigue habiendo valores bajos, se deberá retirar el aceite aislante y efectuar una inspección interna del interruptor. Las figuras 2.11 y 2.12 muestran las conexiones necesarias para las pruebas.

INTERRUPTORES GRAN VOLUMEN  
DE ACEITE

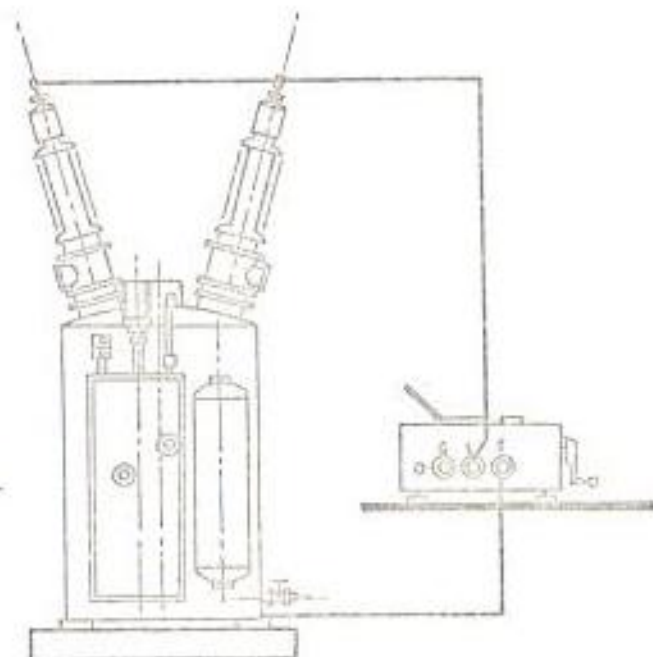


INTERRUPTORES GRAN VOLUMEN DE ACEITE

ABIERTO



CERRADO



#### 2.1.7.5. Aparterrayos:

Mediante esta prueba es posible determinar el probable deterioro o contaminación en aparterrayos de una sección o unidades de varias secciones. Esta prueba en conjunto con las pruebas dieléctricas dan los elementos para evaluar las condiciones de los aparterrayos bajo prueba.

PROBLEMAS MAS COMUNES DETECTADOS CON EL MEGGER.-  
Los problemas más comunes se indican a continuación:

- a) Contaminación por humedad y/o suciedad en las superficies internas de la porcelana.
- b) Entrehierros corroídos.
- c) Depósitos de sales de aluminio, causados por interacción entre la humedad y los productos resultantes de la corona.
- d) Porcelana rota.

#### PREPARACION DEL APARTARRAYOS PARA LA PRUEBA.-

Los pasos a seguir son:

- a) Se debe desconectar de la línea tomando todas las medidas de seguridad.
- b) Drenar cargas estáticas.
- c) Limpiar la porcelana.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.- El procedimiento a seguir es:

- a) Preparar el MEGGER y conectar los terminales.
- b) Efectuar la prueba con el máximo voltaje del MEGGER y tomar lecturas a un minuto, anotándolas en la hoja de pruebas.
- c) En apartarrayos compuestos de varias secciones se debe utilizar la terminal de guarda - para efectos de corriente de fuga por la superficie de la porcelana.

EVALUACION DE LAS PRUEBAS.- Los valores de resistencia de aislamiento en apartarrayos son

variables; dependiendo de la marca y tipo, los hay desde los 500 a 50.000 megaohms. Esto hace necesario la comparación entre apartarrayos de la misma marca, tipo y voltaje.

Es importante hacer notar que para la comparación de los valores de MEGGER, estos deben de ser los resultados de prueba de las unidades individuales, aunque tales unidades se encuentren agrupadas en varias secciones de un mismo apartarrayos.

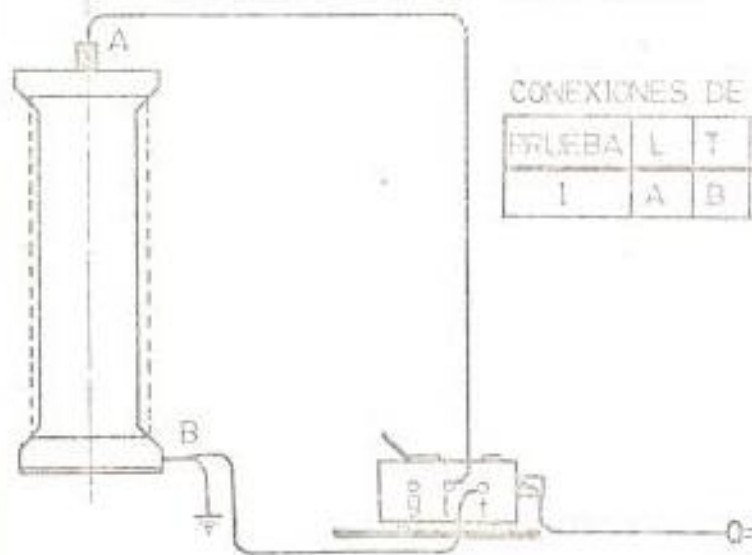
Las conexiones típicas se muestran en la figura 2.13

#### 2.1.7.6. Interpretaciones de lecturas para la Evaluación de Aislamientos:

En general las lecturas de resistencias de aislamiento deberán considerarse como relativas, a menos que el único interés sea el de comprobar que los valores se mantengan por arriba de los mínimos recomendados.

Debido a la relatividad de las lecturas únicas,

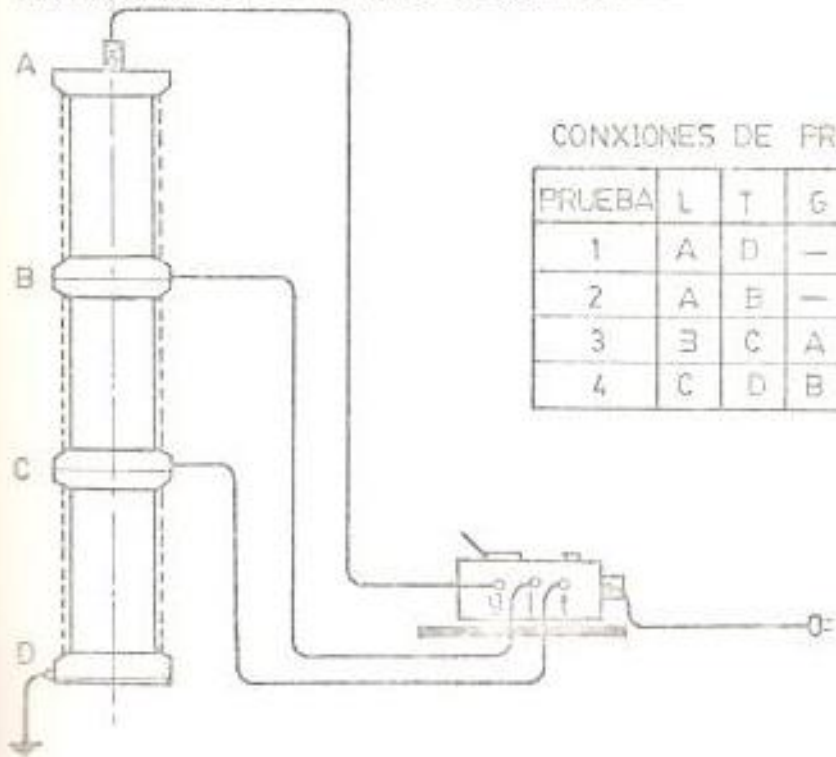
—APARTARRAYOS DE UNA SECCION—



CONEXIONES DE PRUEBA

PRUEBA	L	T	G	MIDE
1	A	B		RAB

—APARTARRAYOS DE VARIAS SECCIONES—



CONEXIONES DE PRUEBA

PRUEBA	L	T	G	MIDE
1	A	D	—	RAD
2	A	B	—	RAB
3	B	C	A	RBC
4	C	D	B	RCB

Fig. No 2.13



la única forma de evaluar con cierta seguridad las condiciones del aislamiento de un devanado, es mediante el análisis de la tendencia de los valores obtenidos en pruebas periódicas. Para que el análisis de comparación sea efectivo; todas las pruebas deberán hacerse al mismo potencial, las lecturas deberán corregirse a una misma base (40°C) y en lo posible bajo las mismas condiciones.

A continuación se dan algunas indicaciones que deben tomarse como ayuda en la interpretación de los valores obtenidos de las pruebas periódicas efectuadas en el equipo.

- a) Si los valores son altos o regulares y sostenidos, no hay porque preocuparse.
- b) Si los valores son regulares o altos, pero tienden a bajar, deberá localizarse y eliminarse la falla.
- c) Si los valores son bajos, pero sostenidos, es posible que todo este correcto, pero debe investigarse la causa.

- d) Si los valores son demasiados bajos, deberá reacondicionarse el equipo antes de ponerlo en servicio.
  
- e) Si los valores son regulares o altos en un principio, pero muestran una caída repentina, conviene investigar la causa y retirar el equipo de operación.

## 2.2. PRUEBA DE ACEITES AISLANTES

### 2.2.1. Generalidades

En este capítulo se definen y describen en términos generales las diversas características físicas y químicas de los aceites aislantes, se revisan las causas que los afectan o cambian y se estudian métodos de pruebas y las precauciones necesarias para evitar resultados erróneos.

### 2.2.2. Naturaleza y función de los Aceites Aislantes

Los aceites aislantes son productos de la destilación del petróleo crudo, obtenidos de tal manera que deben reunir ciertas características físicas especiales como son viscosidad, temperatura de escurrimiento, etc., y propiedades eléctricas que sean adecuadas para su utilización en los diver-

tos equipos.

Existen fundamentalmente dos tipos de crudos básicos para su obtención, los de base nafténica y los de base parafínica. Puesto que el aceite aislante es una mezcla de hidrocarburos, se le llama de base parafínica al que contenga más de un 50 % de hidrocarburos parafínicos.

Los tres grupos principales de compuestos de que está formado un aceite aislante son los parafínicos, nafténicos y aromáticos, variando cada uno de ellos dependiendo del crudo básico y del proceso de refinación.

El aceite dentro de los equipos eléctricos cumple con varias funciones principales, como medio aislante, como medio refrigerante (disipación del calor) en el caso de transformadores y como medio extintor del arco en los interruptores de potencia durante la apertura con corrientes de carga y falla.

### 2.2.3. Prueba de Rigidez Dieléctrica

2.2.3.1. Usando electrodos de disco plano (Norma ASTM-D877):  
GENERALIDADES.- Este método cubre dos variantes según se trata de determinar el valor de rigidez dié

létrica de un aceite nuevo o regenerado al iniciar o reiniciar su servicio, a las cuales deben llamarse Pruebas de Referencia; o bien se trata de determinar la rigidez dieléctrica de un aceite en operación como parte de un programa de mantenimiento preventivo, llamándose a estas pruebas de rutina.

La determinación del valor de la rigidez dieléctrica de un aceite aislante tiene importancia como una medida de su capacidad para soportar esfuerzos eléctricos sin fallar. Es el voltaje al cual se presenta la ruptura dieléctrica del aceite entre dos electrodos, bajo determinadas condiciones. También sirve para indicar la presencia de agentes contaminantes tales como agua, suciedad o partículas conductoras en el aceite, una o más de las cuales pueden estar presentes cuando se encuentran valores bajos de rigidez durante una prueba. Un alto valor no indica sin embargo la ausencia de todos los contaminantes.

APARATOS Y EQUIPOS.- Para la realización de la Prueba, en general se puede usar cualquier probador de rigidez dieléctrica en el cual sus componentes fundamentales como son el transformador, equipo de in

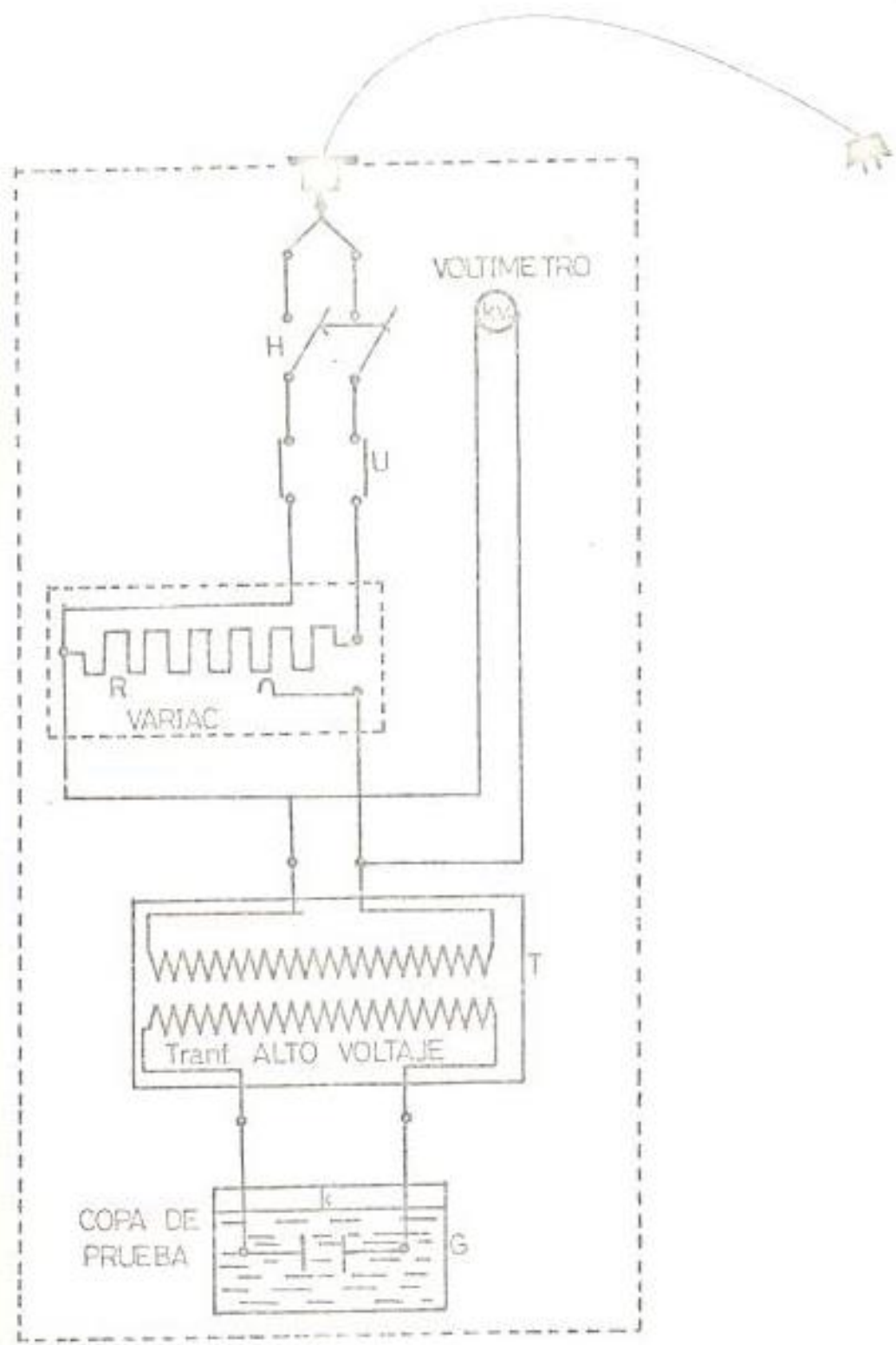
terrupción, voltímetro, electrodos y copa de pruebas cumplen con lo establecido en la norma ASTM - D877, sin embargo dentro de los equipos que cumplen con estos requisitos es preferible utilizar a los operados con motor, sobre todo cuando el aceite que se va a probar corresponde a equipos de extra alta tensión (de 230 KV en adelante). En la figura 2.14 se muestra un esquema del equipo probador de rigidez dieléctrica.

#### AJUSTE Y CUIDADO DE LOS ELECTRODOS Y COPA DE PRUEBA.-

A continuación se indican el ajuste y los cuidados que deben tenerse con la copa y los electrodos de prueba:

a) Separación de los Electrodos.- La separación de los electrodos durante la prueba deberá ser de 2.4 mm. (0,100 pulgadas) y se deberá determinar con el calibrador que trae el probador. Esta separación deberá verificarse al efectuar la primera prueba del día o cuando se modifica el ajuste de los electrodos al desarmar la copa para efectuar la limpieza y/o pulido de los mismos.

b) Limpieza.- Tanto los electrodos como la copa de-



ESQUEMA DEL EQUIPO PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA

berán limpiarse frotando con papel sedoso seco y libre de peluza o con gamuza limpia y seca. Durante la limpieza se deberá evitar tocar los electrodos y el calibrador con los dedos o con porciones de papel gamuza que han estado en contacto con las manos. Después de ajustar la distancia de los electrodos, deberá de enjuagarse la copa con un solvente seco derivado de hidrocarbonos, tal como Thiner o Gasolina blanca. No deberá usarse un solvente de bajo punto de ebullición puesto que su rápida evaporación puede enfriar la copa causando condensación de humedad (éter, alcohol, etc.). En caso de presentarse este problema, deberá calentarse la copa ligeramente para evaporar la humedad antes de usarla; deberá tenerse especial cuidado de no tocar los electrodos o el interior de la copa después de haberlos limpiado. Después de efectuar la limpieza se debe enjuagar la copa con aceite nuevo y seco, y efectuar una prueba de ruptura en una muestra del mismo. Si el valor de ruptura es inferior a 35 KV, deberá efectuarse nuevamente la limpieza de la copa y repetir la prueba.

c) USO.- Al iniciar una serie de pruebas deberá de

examinarse los electrodos asegurándose de que no existan escoriaciones causadas por el aseo o acumulación de contaminantes. Si las escoriaciones son profundas deberá efectuarse una operación de pulido. Tanto el carbón como la suciedad deberán eliminarse frotando con papel sedoso o con gamuza y posteriormente se procederá a verificar la distancia entre los electrodos. Finalmente se enjuagará y llenará la copa con aceite nuevo y seco.

MUESTREO.- El valor de la rigidez dieléctrica del aceite puede ser afectado seriamente por la migración de impurezas a través del mismo, por lo cual es necesario invertir y girar suavemente el depósito que contiene la muestra, antes de llenar la copa de prueba, para efectuar la prueba en una muestra representativa que contenga impurezas. Se debe evitar una rápida agitación puesto que con ello se puede introducir una cantidad excesiva de aire en el aceite.

Inmediatamente después de agitar deberá de usarse una pequeña porción de la muestra para enjuagar la copa, posteriormente llenarla lentamente



en tal forma que se evite el atrapamiento de aire.

Deberá llenarse a un nivel no menor de 20 mm. sobre la parte superior de los electrodos. Con el objeto de permitir que escape el aire, deberá de mantenerse el aceite en reposo durante no menos de dos minutos y no mas de tres minutos antes de aplicar voltaje.

Para obtener una muestra representativa del total del aceite, debe tomarse las precauciones siguientes:

- a) Preparar debidamente los recipientes de prueba, es decir que están limpios y secos.
- b) Limpiar y drenar previamente la válvula de muestreo. Drenar lentamente 1 litro de aceite antes de tomar la muestra.
- c) Enjuagar el recipiente de prueba cuando menos una vez con el aceite que se va a investigar.
- d) Nunca tomar una muestra si la humedad relativa es mayor de 50 %.

e) Evitar el contacto del recipiente de prueba con válvula de muestreo, los dedos y otros elementos extraños. Es aconsejable enjuagarse las manos con el aceite antes de manipular la copa de pruebas.

TEMPERATURA DE PRUEBA.- La temperatura de la muestra al efectuar la prueba deberá ser la ambiente, pero en ningún caso deberá ser menor de 20°C.

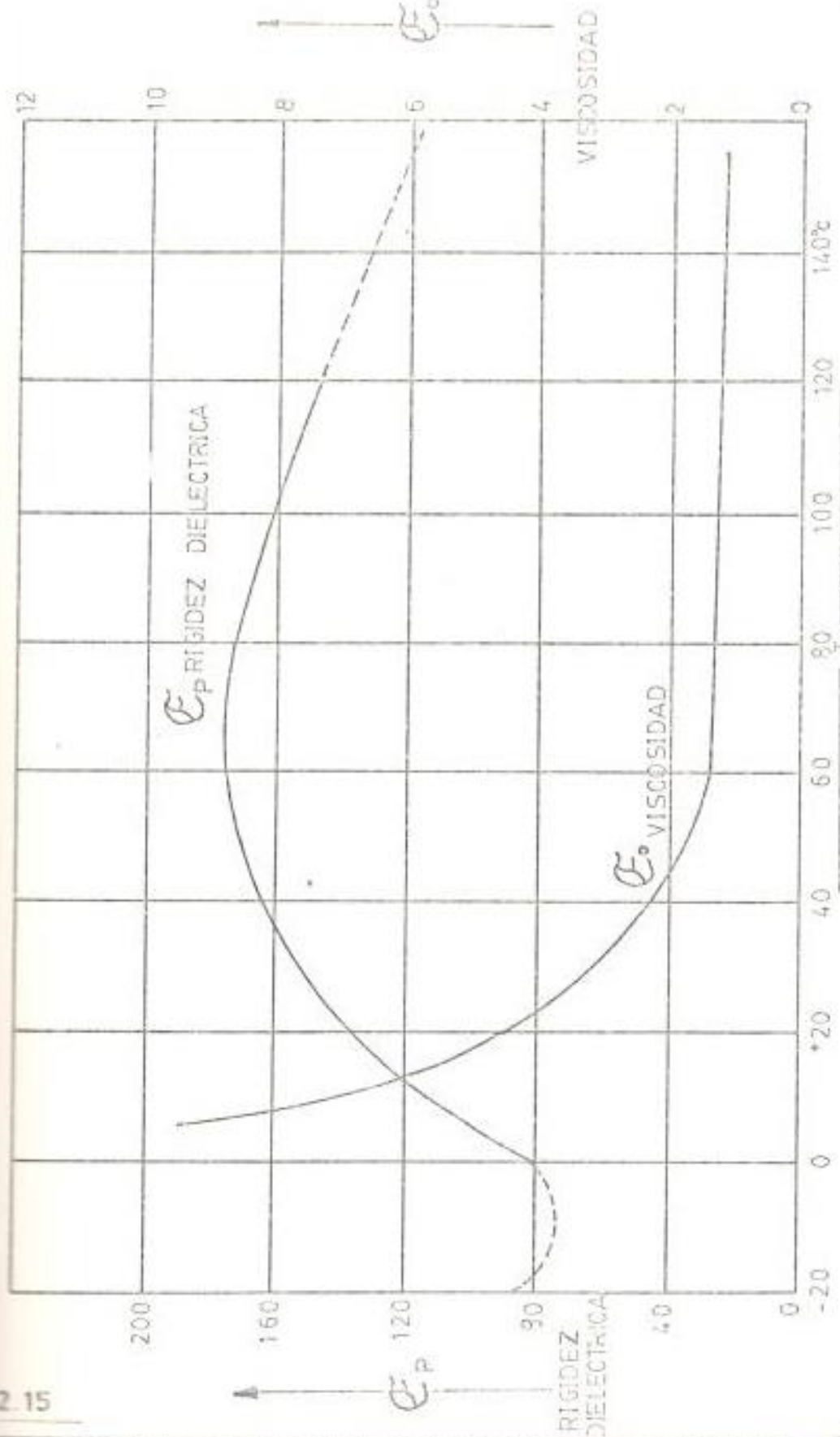
Las pruebas a temperaturas menores de la de ambiente darán resultados variables y no satisfactorios.

Se recomienda que al mismo tiempo y por separado se tome la temperatura de prueba, puesto que la rigidez dieléctrica varía con la temperatura. En la figura 2.15, se muestra una gráfica elaborada para un determinado aceite.

Es recomendable que de preferencia la prueba se efectue alrededor de los 20°C y en pruebas periódicas tratar de hacerlo a temperaturas semejantes.

VELOCIDAD DE ELEVACION DEL VOLTAJE.- El voltaje se deberá aplicar partiendo de cero a una velocidad -

COMPORTAMIENTO DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA Y LA VISCOSIDAD  
 DE LOS ACEITES AISLANTES EN FUNCION DE LA TEMPERATURA



de 3KV/Seg.  $\pm$  20 %, hasta que ocurra la ruptura del aceite, lo cual produce la operación del interruptor; este valor deberá quedar registrado y tomado en cuenta para la determinación de la rigidez dieléctrica de la muestra. No deberán tomarse en cuenta las descargas ocasionales momentáneas que no provoquen la operación del interruptor.

En el caso de que llegue al valor máximo de voltaje de ruptura del probador y no opere el interruptor, se deberá reportar este valor máximo precedido del signo (> ) o (+) y para efectos de determinación de la rigidez dieléctrica se usará dicho valor haciendo caso omiso del signo utilizado.

PROCEDIMIENTO.- Es importante observar los siguientes criterios sobre el procedimiento de pruebas:

- a) Pruebas de Referencia: Cuando se desea determinar la rigidez dieléctrica de un aceite nuevo o regenerado para efectos de referencia, deberá efectuarse una prueba de ruptura en cada una de cinco copas llevadas sucesivamente.

Cada valor de ruptura así obtenido deberá suje-

tarse al criterio estadístico indicado en el párrafo (c). Si los cinco valores cumplen con este criterio se deberá promediar y este promedio se reportará como el valor de la rigidez dieléctrica de la muestra. En caso de que no cumpla este criterio, se deberá efectuar otras cinco pruebas de cinco llenados de copas diferentes y el promedio de los diez valores de ruptura se deberá reportar como la rigidez de la muestra. No se deberá desechar ninguno de los valores de ruptura obtenidos.

b) Pruebas de rutina.- Cuando se requiere determinar la rigidez dieléctrica de un aceite en forma rutinaria, se efectuará una prueba de ruptura en los llenados sucesivos de la copa de prueba.

Si ninguno de los dos valores es menor del valor mínimo aceptable especificado, fijado en 26 KV, no se requerirán pruebas posteriores y se reportará el promedio de los dos valores de ruptura como la rigidez dieléctrica de la muestra. Si cualquiera de los valores es menor que 26 KV, deberá efectuarse tres pruebas adicionales entre

llenados diferentes de la copa de prueba y analizar los resultados obtenidos de acuerdo a lo indicado en el párrafo (a).

- c) Criterio de consistencia estadística.- Se deben realizar seis pruebas de cada muestra y eliminar la primera lectura; de los cinco valores restantes se saca la media aritmética que es el valor aceptado de rigidez dieléctrica.

Se calcula el rango de los cinco valores de ruptura (valor máximo - valor mínimo) y se multiplica este rango por tres. Si el valor así obtenido es mayor que el inmediato superior al valor mínimo, es probable que la desviación estándar de los cinco valores de ruptura sea excesivo y en consecuencia el error probable del promedio también sea excesivo.

2.2.3.2. Usando electrodos semiesféricos (Norma ASTM D-1816 :

APARATOS Y EQUIPOS.- Los mismos usados en el método anterior, con las siguientes excepciones:

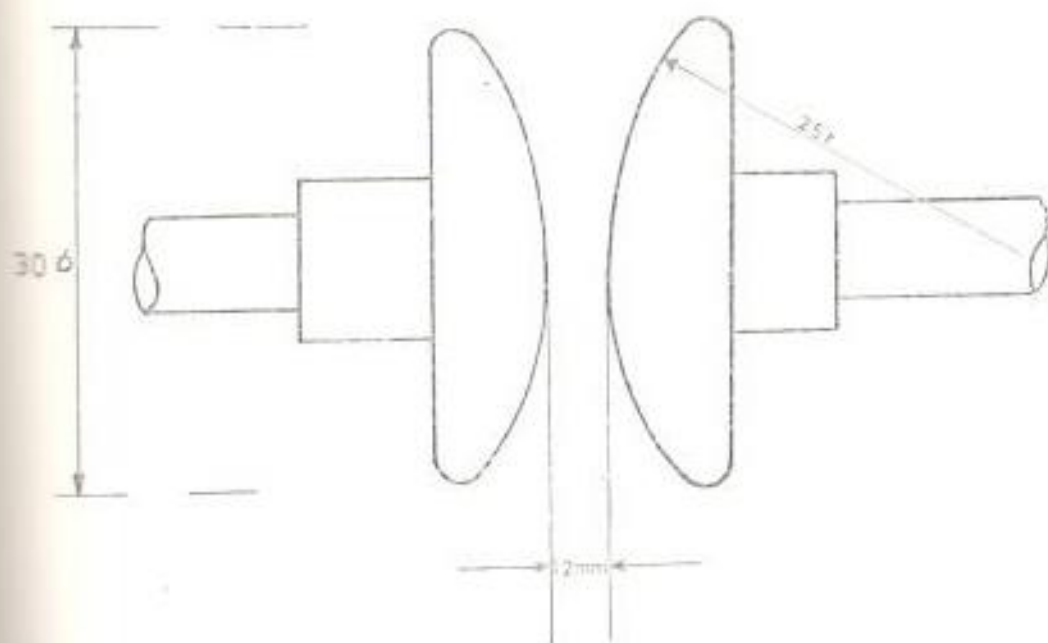
- a) Equipo de control para la tensión.- La relación de elevación debe ser de 500 voltios/Seg.  $\pm 20\%$ .
- b) Electrodo.- Los electrodos deben ser semiesféricos de bronce pulido, como se muestra en la figura 2.16.
- c) Celda de Prueba.- La celda para esta prueba es cúbica y de mayor capacidad (1 litro) y prevista con agitador.
- d) Calibrador.- El calibrador para verificar la separación de los electrodos debe ser de 1.02 mm. (0,04"). Puede usarse un calibrador plano "pasa" - "no pasa" de un espesor de 0.99 mm. y 1.04 mm., respectivamente.

Los pasos siguientes son iguales al procedimiento ASTM- D-877 con excepción del procedimiento.

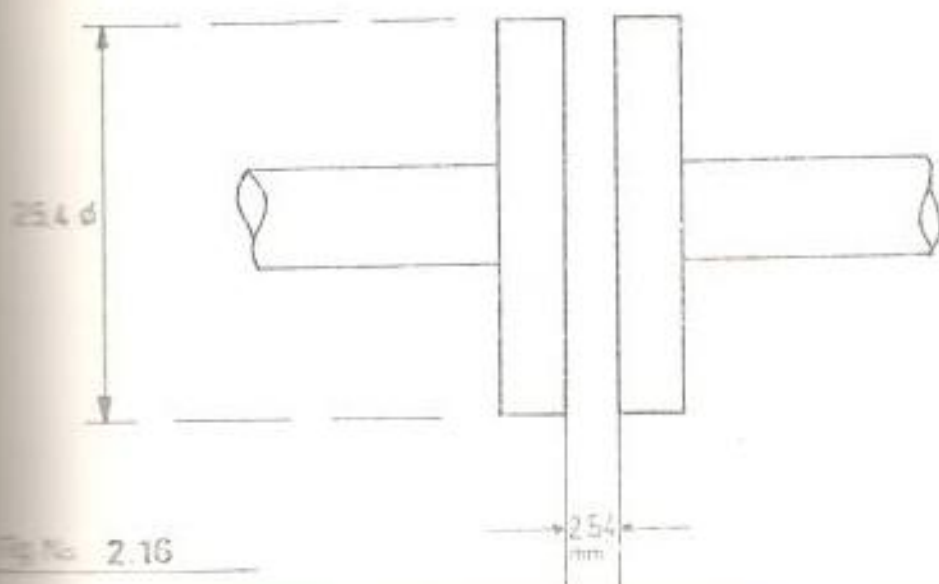
PROCEDIMIENTO.- Las diferencias son las siguientes:

ELECTRODOS USADOS EN LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

ELECTRODOS SEMIESFERICOS  
(NORMA ASTM-D 1616)



ELECTRODOS DE DISCO PLANO  
(NORMA ASTM-D 877)





- a) La relación de elevación de la tensión.- En este caso se aplica a razón de 500 voltios/Segundos.
- b) Debe haber un intervalo de por lo menos tres minutos entre el llenado de la copa y la aplicación de la tensión para la primera ruptura, y por lo menos intervalos de 1 minuto entre aplicación de la tensión para rupturas sucesivas.
- c) Durante los intervalos mencionados como en el momento de la aplicación de la tensión, el propulsor debe hacer circular el aceite.

RECOMENDACIONES GENERALES.- Se recomienda usar electrodos planos (ASTM-D-877) para aceites en operación (pruebas de rutina) y electrodos semi-esféricos (ASTM D-1816) para aceites nuevos y regenerados.

Por lo anterior es recomendable contar con un aparato de las siguientes características:

- a) Rango de voltaje de 0 a 60 KV.

- b) Electrodo intercambiables para hacer cubrir las necesidades de las dos normas.
- c) Que el incremento de voltaje sea automático y cuente con las dos velocidades de incremento de voltaje que marcan las normas antes mencionadas. Además deberá estar provisto de un agitador.
- d) Que sea portátil.- Se puede sugerir un probador de rigidez dieléctrica de aceites aislantes marca "Hipotronics" modelo OC-60-A, tipo BS-14-603 o similar.

Adicionalmente existen otras pruebas que deben hacerse a los aceites aislantes, pero como estas no fueron realizadas en la subestación Salitra no serán tratadas aquí. Estas pruebas son las siguientes:

#### 2.2.4. Prueba de Factor de Potencia

GENERALIDADES.- Este método para factor de potencia se aplica a aceites aislantes nuevos y en servicio y previene un procedimiento para pruebas referidas a una frecuencia

comercial de aproximadamente 60 HZ. Esta es una de las pruebas más importantes a efectuarse en los aceites aislantes.

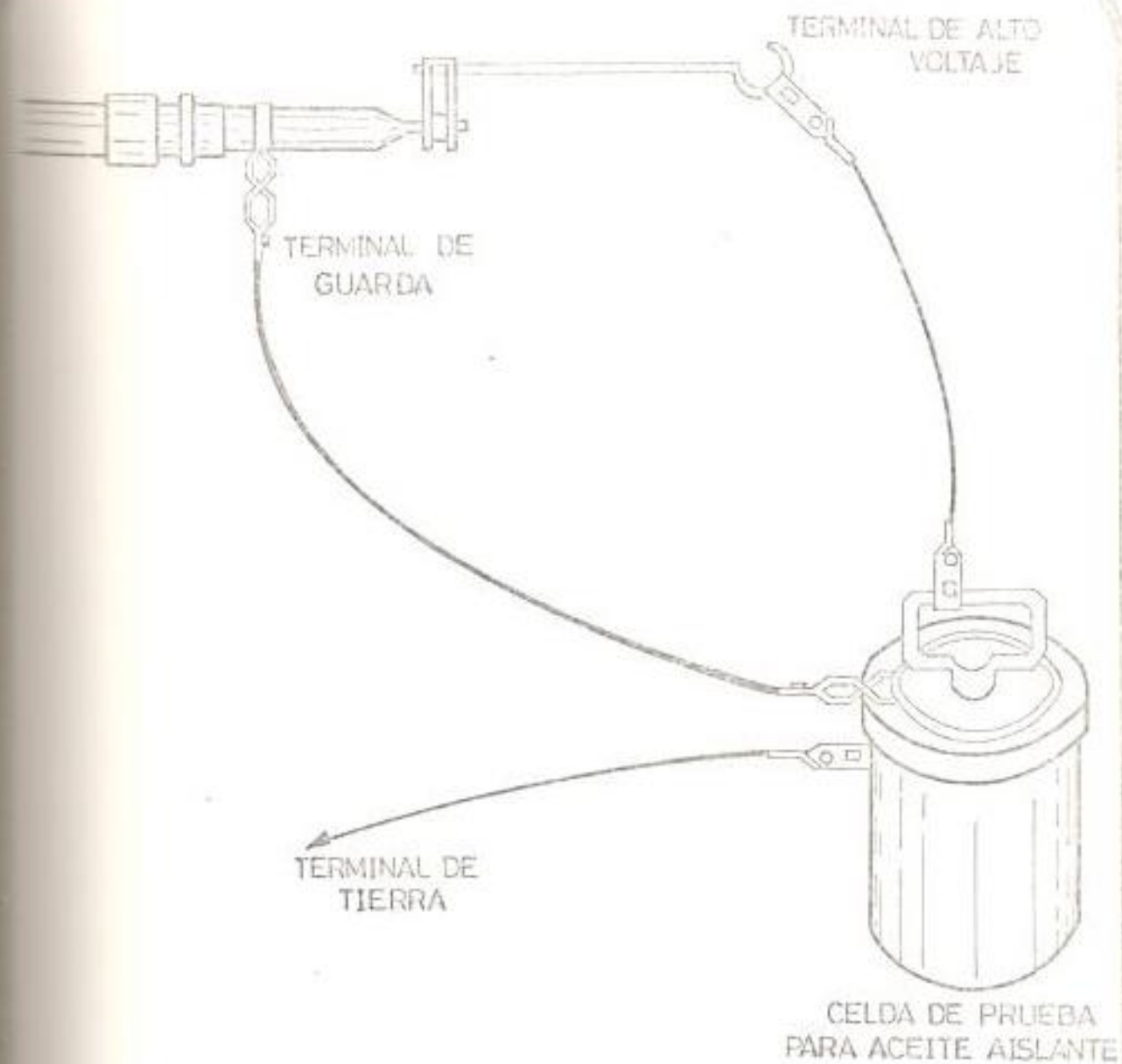
**SIGNIFICADO.-** El factor de potencia de un aceite es la relación de la potencia disipada en WATTS en el aceite al producto del voltaje efectivo y la corriente expresado en Voltamperes. Esto es numéricamente equivalente al Coseno del ángulo de fase o al Seno del ángulo de pérdidas. Es una cantidad adimensional normalmente expresada en porcentajes.

El factor de potencia es una indicación de los cambios en el aceite, resultantes de la influencia del deterioro y contaminación.

**APARATOS Y EQUIPOS.-** Los aparatos de uso más general utilizados son los de la Cia. "DOBLE", en sus diferentes tipos y modelos, los cuales traen como accesorios una celda especial que es esencialmente un capacitor en el cual el aceite es el dieléctrico. Ver figura 2.17.

#### 2.2.5. Prueba de la Resistividad

**GENERALIDADES.-** Con esta prueba se determina la resistivi



CONEXIONES DE PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA EN ACEITES AISLANTES UTILIZANDO LA COPA "DOBLE"

dad de un aceite aislante aplicando un potencial de corriente directa.

La resistividad de un aceite es una medida de sus propiedades aislantes eléctricas. Una alta resistividad refleja el bajo contenido de iones libres y partículas formadas de iones.

APARATOS Y EQUIPOS.- Hasta el momento esta generalizado el uso de una celda de prueba para resistividad marca "BIDDLE", en combinación con un "MEGGEK" motorizado de la misma marca y con un rango hasta 50.000 megohms y aplicándole a la celda 2.500 voltios. Esta celda está calibrada de fábrica con un multiplicador de 1.000. Ver figura 2.18.

#### 2.2.6. Prueba de la Tensión interfacial por el método de la Gotita de agua

GENERALIDADES.- Esta prueba consiste en medir la tensión interfacial de aceites aislantes eléctricos derivados del petróleo, relativa al agua.

La tensión interfacial es la fuerza de atracción entre diferentes moléculas en un interfase y se expresa en  $dy$

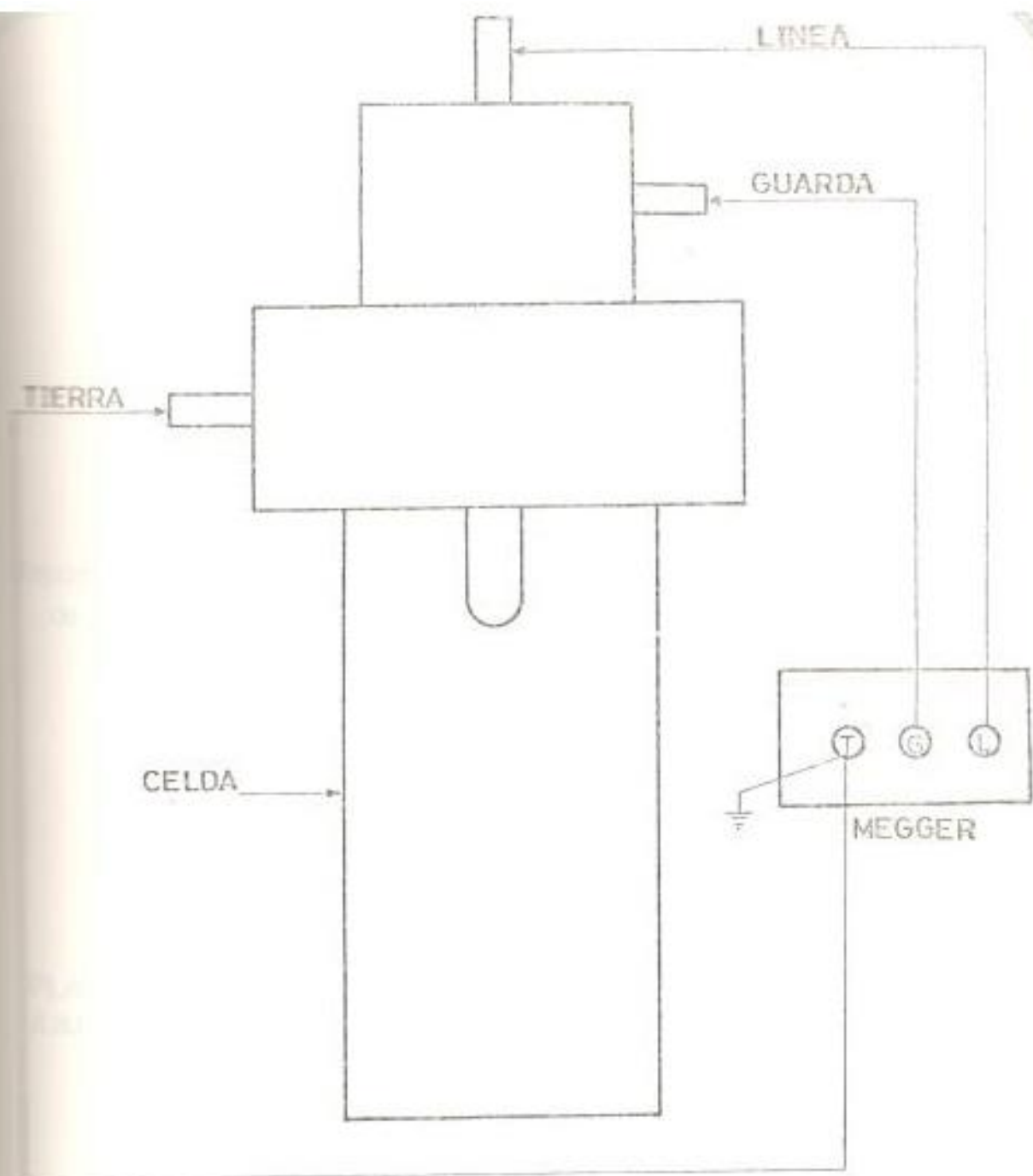
nas/centímetros. El significado básico es el hecho de - que provee medios sensitivos de la detección de pequeñas concentraciones de contaminantes polares solubles y otros productos de oxidación. Bajo ciertas condiciones, cuando la tensión interfacial está por debajo de cierto valor, - puede ser indicativo de que es irminente o se ha iniciado la precipitación de lodos.

APARATOS Y EQUIPOS.- En este método se hace uso de una bu<sup>re</sup>ta micrométrica, un recipiente tal como un cristaliza-  
dor para contener la muestra y un soporte para fijar la bureta y que a la vez sirva para sostener el recipiente - que contiene la muestra. Es recomendable usar una micro bureta marca "Gilmont" modelo S-1200 A o similar. Ver figura 2.19.

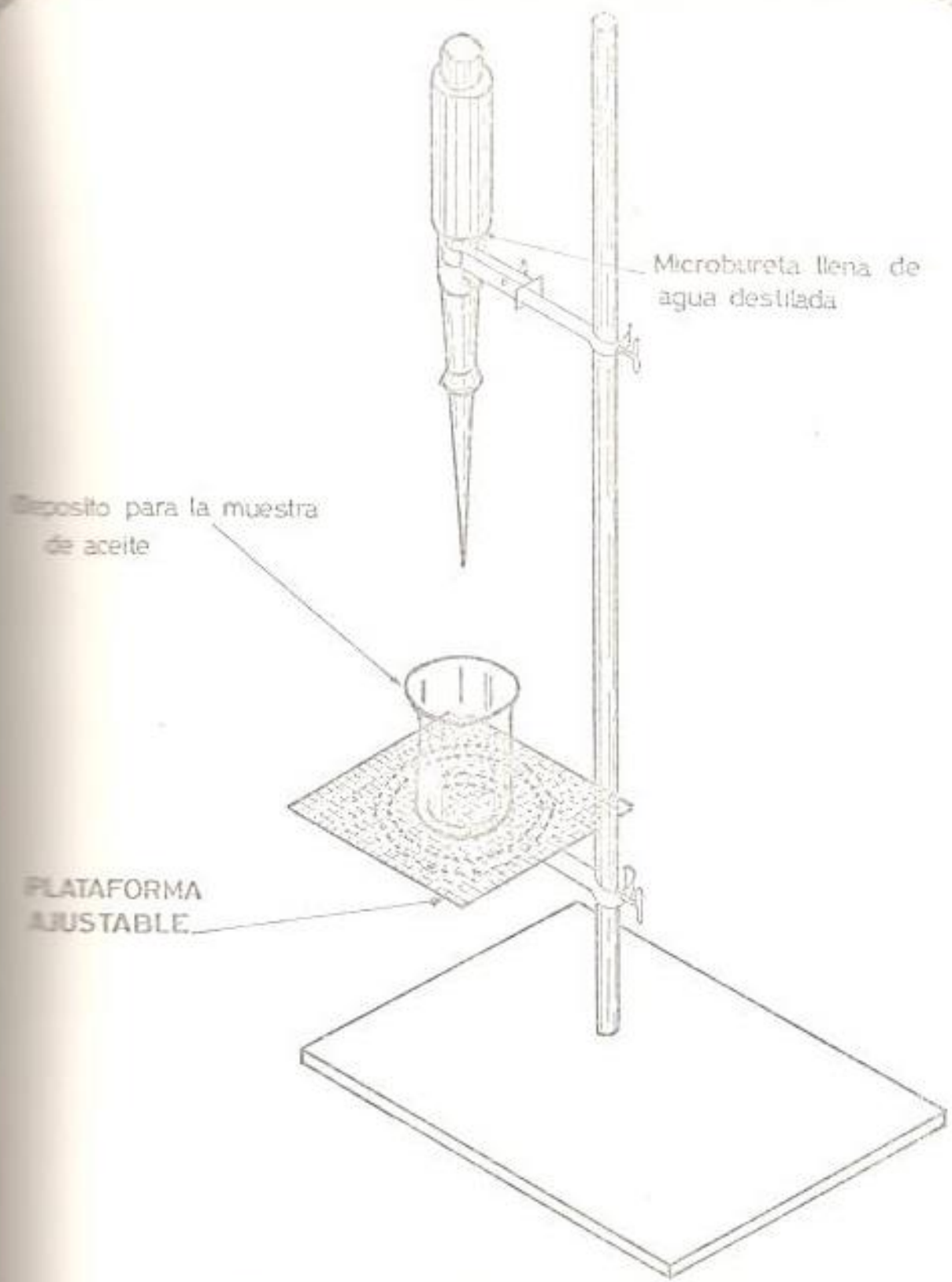
#### 2.2.7. Prueba de acidéz en aceites aislantes

GENERALIDADES.- Existen varios métodos para la determinación de la acidez en aceites aislantes, los cuales corresponden a las normas ASTM.

Si se desea un método de fácil ejecución y apropiado para el campo se puede recurrir a la norma ASTM D1534-64. Si se requiere una determinación exacta deberán usarse los



CONEXIONES DE PRUEBA DE RESISTIVIDAD DE ACEITE AISLANTE UTILIZANDO MEGGER Y COPA BIDDLE



MEDIDOR DE TENSION INTERFACIAL  
DE ACEITES AISLANTES

Fig No 2.19



métodos ASTM-D974 y ASTM-D664, especiales para laboratorio.

La determinación de la acidez en aceites aislantes usados y su comparación contra valores de aceites nuevos o regenerados, es útil como una indicación de cambios químicos en el propio aceite o bien en sus aditivos, como consecuencia de la reacción con otros materiales o sustancias con las que ha estado en contacto.

El incremento del valor de la acidez puede utilizarse como guía para determinar cuando se debe cambiar o regenerar un aceite aislante y prevenir una mayor descomposición y posiblemente la formación de lodos.

## 2.3. PRUEBA DE SINCRONISMO Y TIEMPOS DE OPERACION DE INTERRUPTORES

### 2.3.1. Objetivo

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

Esto permite comprobar si estas características se mantienen durante su operación, dentro de los límites permiti-

dos o garantizados por el fabricante o bien dentro de los establecidos por las normas correspondientes. Estas comprobaciones deberán efectuarse en forma periódica a todos los interruptores de potencia, siguiendo lo establecido en manuales y guías de mantenimiento del equipo.

### 2.3.2. Principio de la Prueba

En base a una referencia conocida de tiempo trazada sobre el papel del equipo de prueba, se obtienen los trazos de los tiempos 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 de los interruptores, estas señales de mando también son registradas sobre la gráfica, la señal de referencia permite entonces medir el tiempo y secuencia de eventos anteriores.

Existen dos tipos básicos de instrumentos de prueba los que utilizan dispositivos electromecánicos, en los cuales una señal eléctrica sobre una bobina actúa mecánicamente sobre agujas que marcan un trazo sobre papel especialmente tratado en su superficie, y los que utilizan galvanómetros que al accionar varían el punto de incidencia de un rayo luminoso sobre papel fotosensible; en algunos equipos la velocidad puede ser ajustada a distintos valores.

La señal de referencia puede ser en base a la frecuencia del sistema o bien puede ser tomada de la salida de un oscilador incluido en el equipo de prueba, de una frecuencia conocida.

### 2.3.3. Definiciones

Es necesario definir algunos conceptos de las variables que se presentan en la operación de interruptor.

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

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 arqueo en todos sus polos.

En el caso de interruptores dotados de resistencias de inserción, por lo general existe una diferencia entre los tiempos de cierre ó apertura hasta el momento en que los contactos primarios de arqueo se tocan o separan y el tiempo hasta el momento en que los contactos auxiliares

en serie con las resistencias se tocan o separan.

TIEMPO DE ARQUEO EN UN POLO.- Es el intervalo de tiempo entre el instante de la iniciación del arco hasta el instante de su extinción final en ese polo.

TIEMPO DE ARQUEO EN UN INTERRUPTOR.- Es el intervalo de tiempo entre el instante en que se inicia el primer arco y el instante de la extinción final del arco en todos los polos.

TIEMPO DE INTERRUPCION.- Es el intervalo de tiempo entre el inicio del tiempo de apertura y el final del tiempo de arqueo.

TIEMPO DE CONEXION.- Es el intervalo de tiempo entre el inicio del tiempo de cierre y el instante en que la corriente completa empieza a fluir en el circuito principal.

En la figura 2.20, se muestran algunos de los tiempos anteriores, durante una operación de apertura e interrupción de una corriente de cortocircuito.

#### 2.3.4. Equipo de Prueba

Existen varios tipos y marcas de equipos para la prueba -

de tiempos de operación en interruptores, entre los cuales se distinguen dos grupos principales que son los del tipo cronógrafo y los del tipo oscilógrafo. Las características generales de los equipos más comúnmente usados se muestran en la tabla IV, en la que constan algunas observaciones sobre su aplicación así como sus ventajas y desventajas.

Entre las características deseables para cualquiera de estos equipos se pueden mencionar las siguientes:

a) Velocidad del papel:

Se considera que como mínimo debe ser de 1 mt/segundo, a fin de poder apreciar o medir con precisión tiempos de pocos milisegundos, si un equipo ofrece la ventaja de poder seleccionar varias velocidades es mejor.

b) Número suficiente de canales:

Dependiendo del tipo de interruptores por probar, se requiere de más o menos canales, el número deberá ser suficiente para poder probar por lo menos un polo completo; un equipo con pocos canales obliga a efectuar muchas maniobras de disparo o cierre del interruptor para poder medir el tiempo de todos sus contactos o

# EVENTOS Y TIEMPOS DE OPERACION DURANTE LA INTERRUPCION DE UNA FALLA DE CORTO CIRCUITO

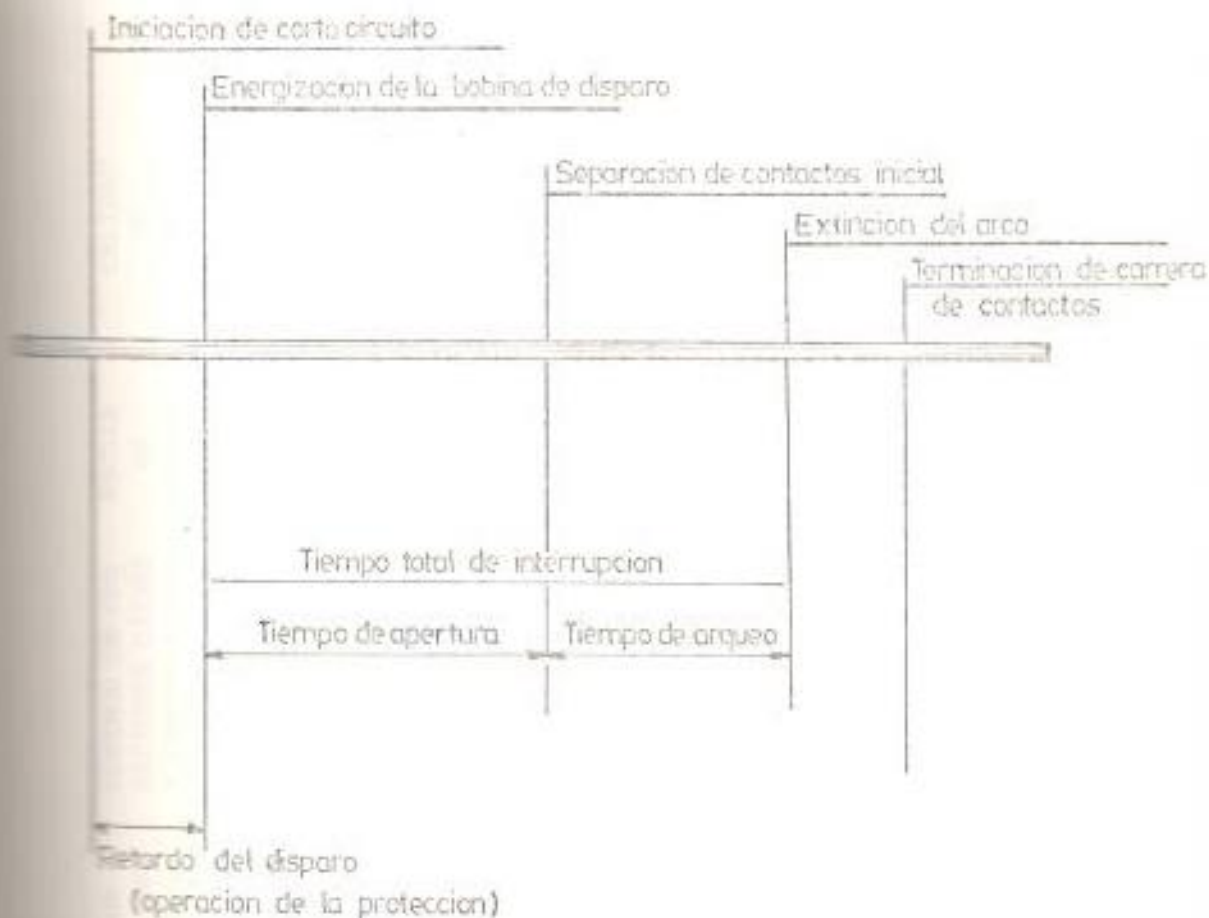


Tabla IV:

EQUIPO	VELOCIDAD DE GRAPICADO	NÚMERO DE CANALES DE REGISTRO.	CONTROL DE OPERACIONES CIERRA Y APERTURA.	ESCALA DE TIEMPO	CALIDAD DE GRAPICADO	OBSERVACIONES
FAVAG mod. 17.5120.009	300mm/seg	4	No	ms (1ms=C.3mm)	Buena	Uso limitado por su baja velocidad reducido número de canales. No control para las operaciones del tor.
FAVAG Mod. 17.5120.001	1000mm/seg	4	No	ms (1ms=1mm)	Buena	Reducido número de canales. No control para las operaciones de ruptor.
AEG	1000mm/seg	5	Si	ms (1ms=1mm)	Buena	Reducido número de canales de
MILLIGRAPH 2V-12C	Variable	10 (4bobinas) (6contactos)	Si	ms (variable)	Buena	Velocidad variable debido a que el movimiento del papel es manual. P tanto lo es también la escala de
MILLIGRAPH 2V-12C	Variable	14 (2bobinas) (12contactos)	Si	ms (variable)	Buena	Mayor número de canales. Velocidad variable debido a que el movimiento del papel es manual.
DOBLE	25.4mm/seg hasta 3225 .8mm/seg.	21 (18contactos) (3 eventos).	Si	ms (1ms=3.22mm) ajustable.	(sensible a la luz)	Alta velocidad y excelente precisión suficiente de canales para instrumentos multicámara de tensiones a tate con aditamentos para funciones como es el análisis de
HONEYWELL ACB-1-828	2.54mm/seg hasta 3048 mm/seg.	28 (24contactos)	Si	(1ms=3.05mm) ajustable	(sensible a la luz)	Alta velocidad y excelente precisión # suficiente de canales para instrumentos multicámara de tensiones. Costo elevado con relación a otros por. Delicados, no adecuados para uso en el campo.

cámaras; lo cual no es deseable y representa pérdida de tiempo, operación de compresores, etc. sobre todo en interruptores de 230 KV o 400 KV multicámaras y - más aún si están dotados de resistencias de inserción en los cuales el número de contactos por polo puede llegar a 8 en serie, además de los auxiliares.

c) Calidad del Graficado:

Es una característica sumamente necesaria a fin de poder analizar los resultados de prueba, el trazo debe ser nítido y durable a fin de poder observar algunos fenómenos que ocurren en los interruptores, como es - el caso de rebotes en los contactos.

d) Control integrado de las operaciones del interruptor:

Si el equipo contiene los elementos necesarios para efectuar desde el sitio de prueba las maniobras de - apertura o cierre del interruptor, será mucho más fa - cil la preparación y ejecución de la prueba y no re - querirá de la coordinación entre dos o más personas.

e) Tamaño compacto y resistencia al uso:

Tratándose de pruebas de campo el equipo deberá tener un tamaño adecuado para su fácil transporte y una re -



sistencia adecuada para este tipo de uso; los aparatos para laboratorio por lo general no cumplen con esta condición.

f) Fácil manejo y mantenimiento reducido:

Estas características se requieren por tratarse de equipos que deberán ser empleados por diferente personal a cargo de diversas instalaciones; igualmente se requiere que el número de refacciones necesario sea el mínimo.

g) Bajo costo:

Debe hacer un equilibrio entre las características deseables del equipo y el costo que no debe ser alto.

### 2.3.5. Aplicación

Esta prueba es aplicable exclusivamente a interruptores de potencia y en particular a interruptores de alta tensión en todos sus tipos y diseños como sigue:

- Gran volumen de aceite
- Poco volumen de aceite
- Aire comprimido
- Soplo magnético

- Vacío / gas - SF 6

La prueba adquiere mayor importancia en el caso de equipo sofisticado, como es el de interruptores modulares - con cámaras múltiples, con mecanismos de operación independiente por polo, dotados o no de resistencias de inserción, debido a que en estos es más probable la pérdida de sincronismo entre polos o contactos de un polo, así como la variación en servicio de los tiempos de cierre, o apertura de todas o cada una de las fases.

#### 2.3.6. Pruebas

##### 2.3.6.1. Condiciones Generales:

Las condiciones de carácter general convenientes para la mejor ejecución de las pruebas y una mayor seguridad son las siguientes:

- a) El equipo por probar deberá estar con libranza o permiso de salida concedida por el área de operación correspondiente.
- b) El interruptor se probará totalmente desenergizado o sea sin potencial de línea o barra - en sus terminales.

- c) Por seguridad deberán mantenerse abiertas las cuchillas seccionadoras en ambos lados del interruptor.
- d) Cada una de las pruebas que se indican a continuación como pruebas normales, deberán hacerse de preferencia a los valores nominales del interruptor en lo que se refiere a presiones de operación en sus cámaras y mecanismos (acumuladores de presión), y voltaje de control para cierre o disparo.

Conviene eventualmente y por excepción efectuar las mismas pruebas, pero a los valores mínimos de presión y/o voltaje de control a fin de determinar si esta condición afecta o no y en que grado, los tiempos de operación y sincronismo del equipo en prueba.

- e) En el caso de instalaciones con estación y red centralizada de aire comprimido, deberán tomar las precauciones necesarias a fin de no poner en riesgo durante la prueba, la correcta operación de los demás interruptores.

- f) Al devolver la libranza, es decir dar permiso de trabajo al equipo probado, asegurarse que los valores de presión y tensión de control estén dentro de su rango nominal.

#### 2.3.6.2. Pruebas Normales:

Las pruebas que se indican a continuación 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 de 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 antibombeo.
- d) Determinación del sincronismo entre contactos de una misma fase, tanto en cierre como en apertura (interruptores multicámaras).

e) Determinación de la diferencia de tiempo entre los contactos principales y contactos auxiliares de resistencia de absorción, ya sean estos para apertura o cierre.

f) Determinación de los tiempos de retraso en operación de recierre si el interruptor está previsto para este tipo de operación, ya sea recierre monofásico o trifásico.

Las tres primera pruebas son aplicables a todo tipo de interruptor, mientras que las tres últimas son aplicables a tipos específicos, la prueba (d) a interruptores multicámaras, la (e) a interruptores dotados de resistencias de inserción y la (f) a equipos aplicados en recierre.

Dependiendo del interruptor a probar, en lo que a número y arreglo 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 en una sola operación.

DETERMINACION DEL TIEMPO DE APERTURA.- Se efect-

túa 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 también registrada.

Esta prueba es general e independiente del número de cámaras o contactos en serie por fase puesto que se mide la fase completa; debe tenerse en cuenta sin embargo, que en el caso de varios contactos en serie, se registra en la gráfica el instante en que se abre el primer par. De esta misma prueba puede obtenerse además la simultaneidad entre fases del interruptor en la apertura.

En la figura 2.21, se muestra una gráfica típica que se obtiene en la determinación del tiempo de apertura.

DETERMINACION DEL 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, la cual también se registra.

Esta prueba es general e independiente del número de cámaras o contactos en serie por fase, ya que se miden las fases completas.

Debe tenerse en cuenta que en el caso de varios contactos en serie por fase, se registra en la gráfica el instante en que se cierra el último par de contactos. Se obtiene además la simultaneidad entre fases en el cierre.

La figura 2.22, muestra una gráfica típica que se obtiene en la determinación del tiempo de cierre.

DETERMINACION DEL TIEMPO CIERRE-APERTURA EN CONDICIONES DE DISPARO LIBRE (TRIP-FREE).- Disparo libre significa el prenomio de una señal de apertura sobre una de cierre, además el interruptor no deberá abrir y cerrar repetidamente (bombeo) mientras se estén aplicando señales de apertura y cierre simultáneamente; para este caso debe contar con dispositivo de antibombeo.

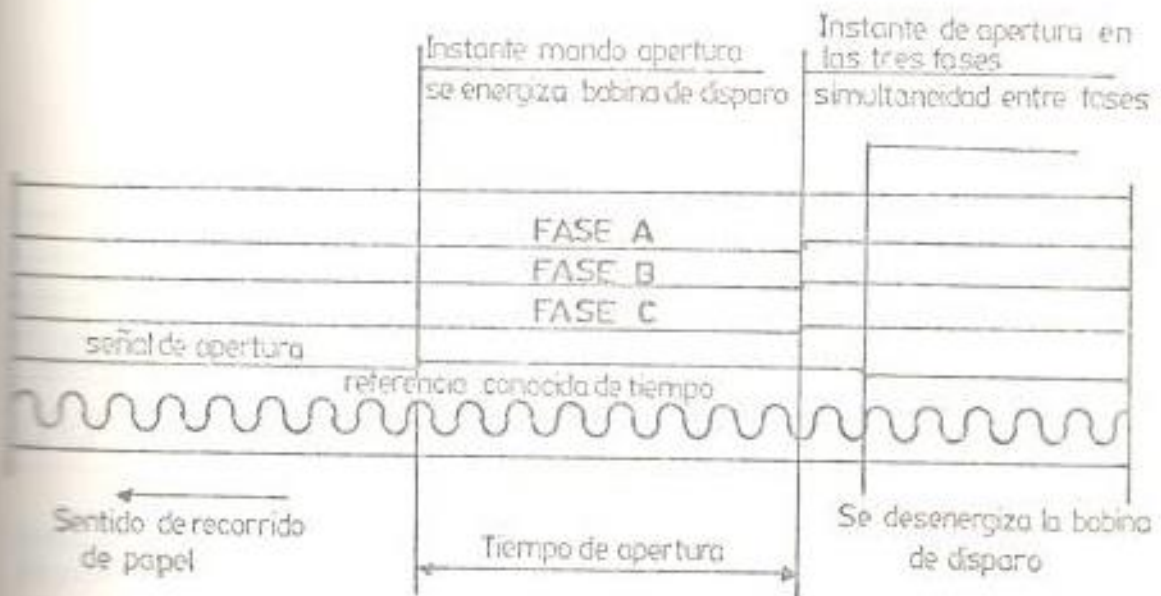
Esta prueba se efectúa al interruptor completo y consiste en dar al interruptor estando en posi

ción abierta una orden de disparo, la cual debe mantenerse mientras se da orden de cierre, el interruptor en estas condiciones debe responder a la orden de cierre e inmediatamente después - abrir otra vez obedeciendo a la orden de disparo puesta y permaneciendo en esta posición, de la cual no podrá moverse aunque la señal de cierre persista, a menos que esta última se interrumpa y vuelva a darse nuevamente.

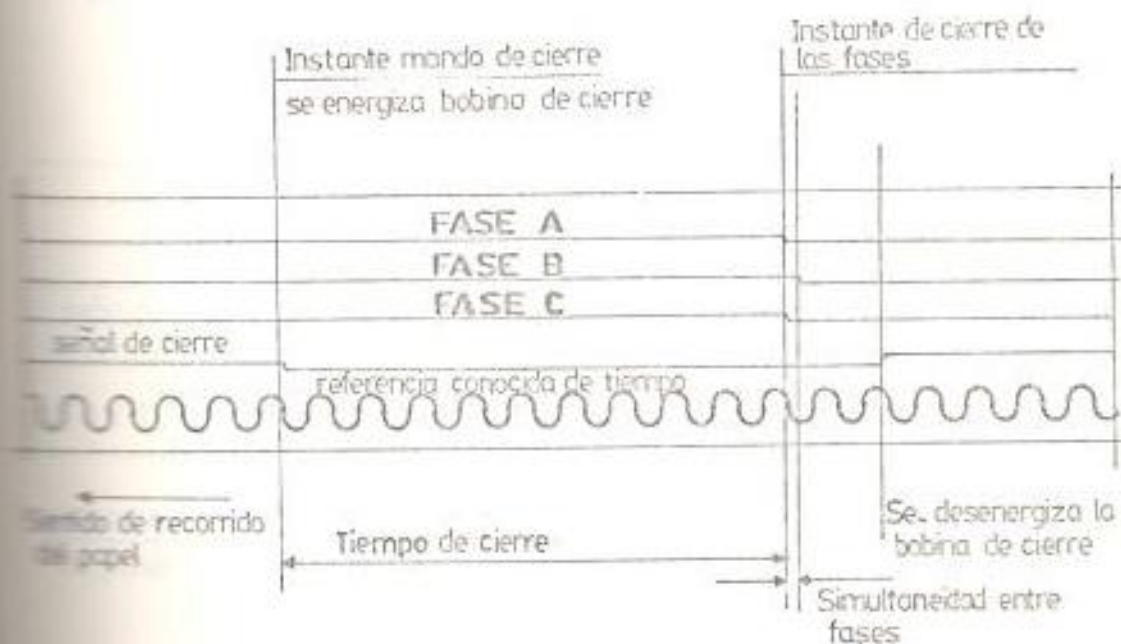
El tiempo a medir en este caso es, el intervalo entre la orden de cierre inicial hasta la apertura de las tres fases que sigue al cierre. Este tiempo es característico del interruptor y da una idea del retardo que por inercia propia tiene el interruptor de gran volumen de aceite con piezas más grandes y pesadas incluso en su mecanismo, tendrán un retardo mayor que un interruptor de aire comprimido.

La figura 2.23, registra además de las señales de los mandos de cierre y apertura, los instantes de cierre y apertura en cada una de las rases.



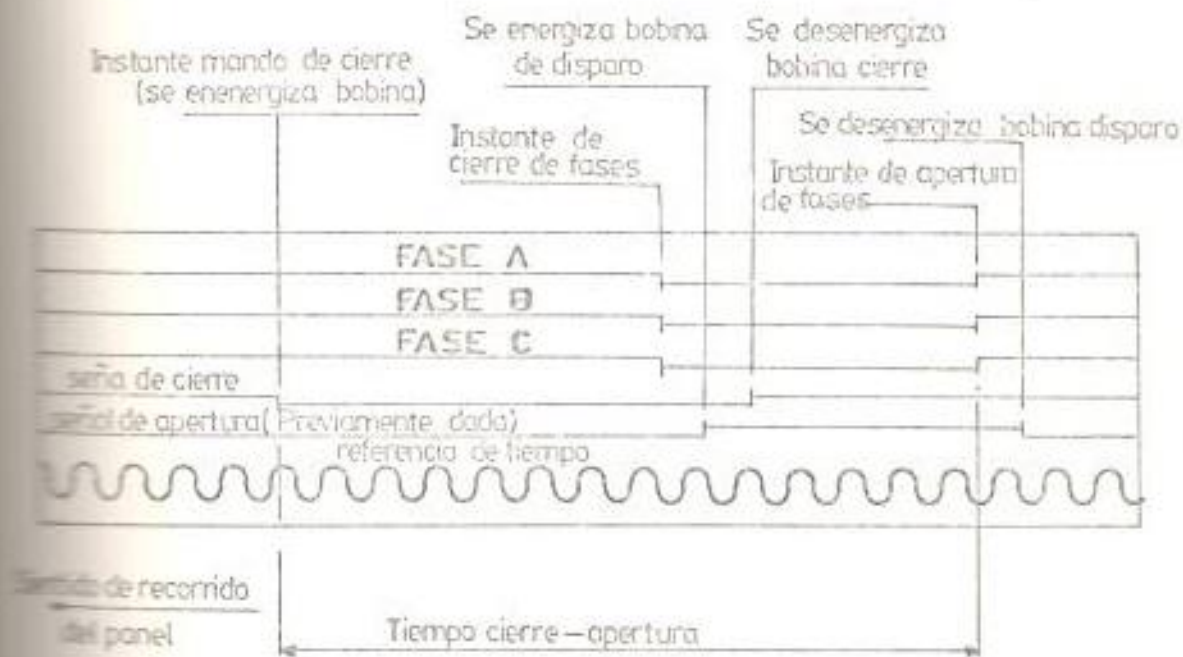


DETERMINACION DEL TIEMPO DE APERTURA



**DETERMINACION DEL TIEMPO DE CIERRE**

Figura 2.22



### DETERMINACION DEL TIEMPO CIERRE-APERTURA

Fig No 2.23

DETERMINACION DE LA SIMULTANEIDAD ENTRE CONTACTOS DE UNA MISMA FASE EN OPERACION DE CIERRE Y APERTURA.- Se aplica a interruptores multicámara con varios contactos en serie por fase, la prueba se efectúa por lo general fase por fase e incluyen cada uno de los juegos de contactos en serie.

Se registra en la gráfica el instante en que se tocan o separan cada uno de los juegos de contactos en serie de las fases, en operación de cierre y aperturas, respectivamente.

Se debe determinar el período de tiempo entre los instantes en que el primer y último juego de contactos de la misma fase abren o cierran, teóricamente estas operaciones deben ser simultáneas, lo cual en la práctica difícilmente se cumple.

El propósito de la prueba es determinar si esta diferencia está dentro de los límites que establecen las normas y los propios fabricantes.

Si el interruptor se prueba fase por fase y se

cuenta con dispositivos de cierre y apertura - en cada polo, pueden efectuarse operaciones monopolares en lugar de tripolares reduciendo el tiempo de recuperación de presiones en el mecanismo de operación y por lo tanto de la ejecución de las pruebas.

La figura 2.24 muestra un registro típico de este tipo de medición.

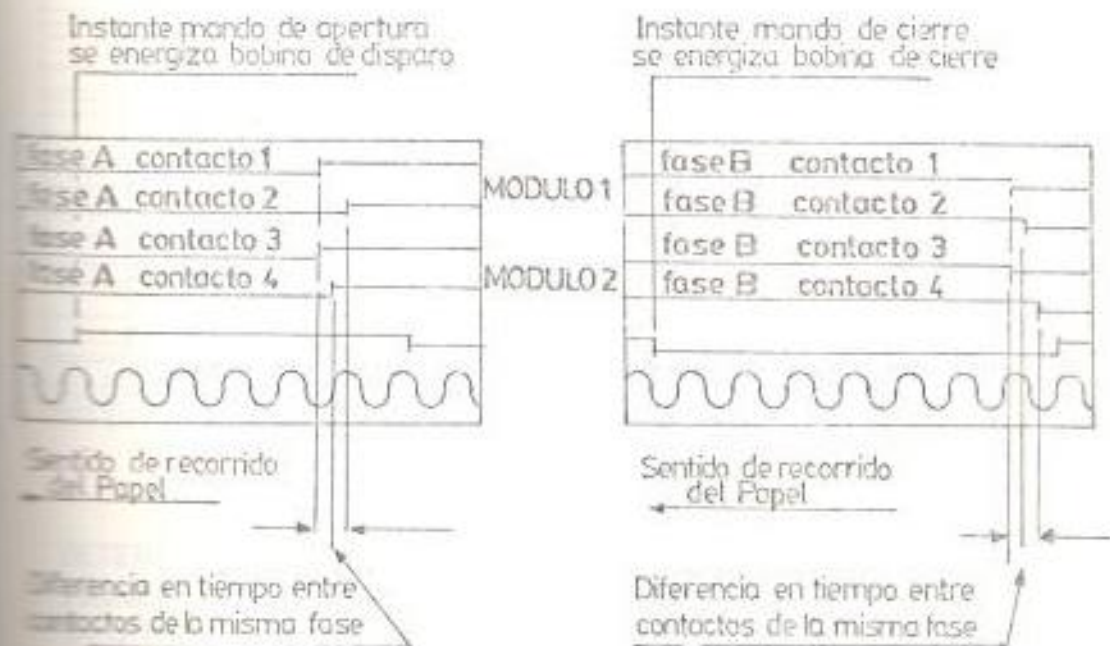
DETERMINACION DE LOS TIEMPOS DE OPERACION ENTRE CONTACTOS PRINCIPALES Y CONTACTOS AUXILIARES DE RESISTENCIAS Y TIEMPOS DE INSERCIÓN.- Esta prueba se aplica exclusivamente a interruptores dotados de resistencias de inserción. Las resistencias normalmente utilizadas operan en paralelo con los contactos principales y se emplean en la apertura, para mejorar la capacidad interruptiva mediante una mejor distribución de los esfuerzos durante la interrupción entre todas las cámaras o bien durante el cierre para reducir las sobretensiones de maniobras, en la red. Se tienen casos en los cuales las mismas resistencias operan tanto en el cierre como en la apertura logrando ambos objetivos.

En serie con las resistencias, se dispone de contactos auxiliares que son los responsables de efectuar la inserción en el momento requerido, la operación de estos contactos auxiliares con relación a los principales depende del diseño del interruptor, la secuencia de operación entre ambos es una característica muy importante para el cumplimiento de la función que del arreglo se espera.

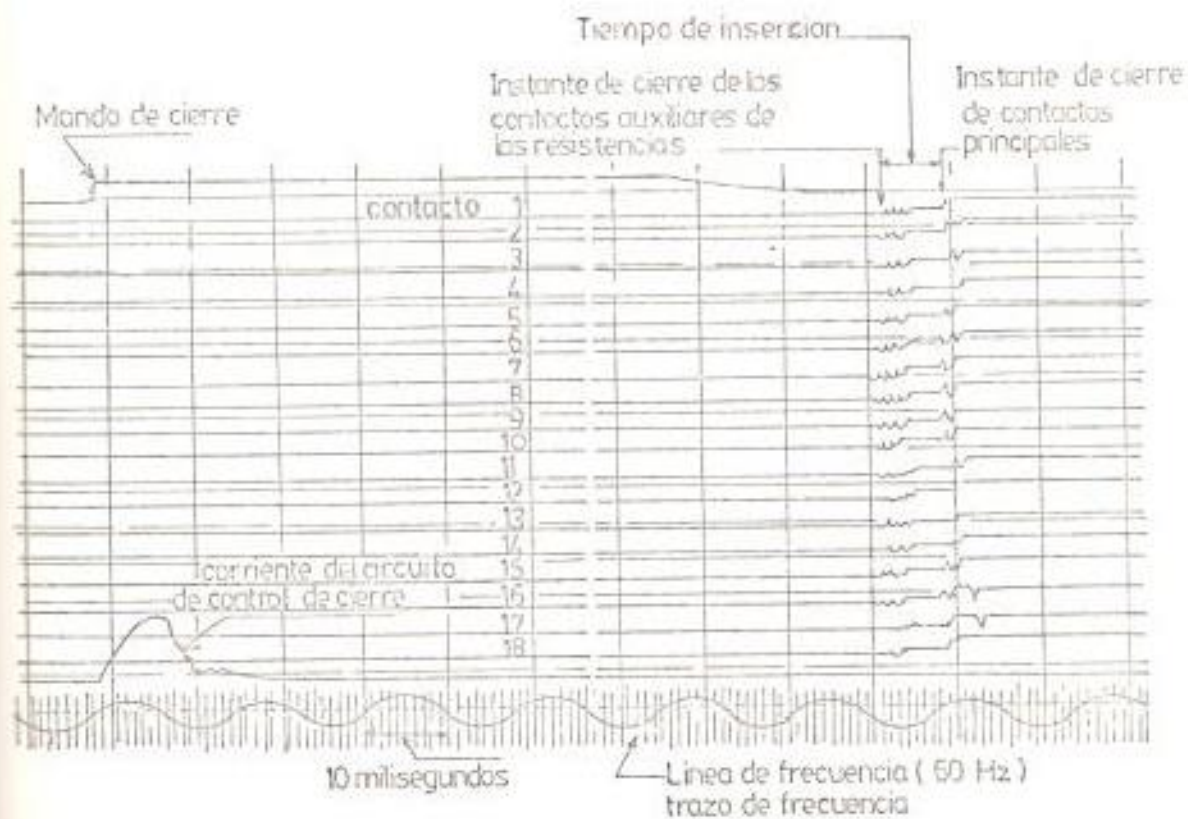
La prueba puede efectuarse al interruptor completo, fase por fase o modulo por modulo dependiendo del equipo de prueba en lo que respecta al número de contactos por registrar y canales disponibles.

En la gráfica se registran los instantes en que se tocan o separan los contactos principales y auxiliares, se determinan los tiempos y la secuencia con que lo hacen, así mismo, se determina el tiempo de inserción de la resistencia, está se comparará contra lo que establece el fabricante.

La figura 2.25 muestra un registro típico obte



**DETERMINACIÓN DE LA SIMULTANEIDAD ENTRE CONTACTOS DE UNA MISMA FASE EN OPERACION DE APERTURA Y CIERRE**



**DETERMINACION DE LOS TIEMPOS DE OPERACION ENTRE CONTACTOS PRINCIPALES Y CONTACTOS AUXILIARES DE RESISTENCIAS DE INSERION Y TIEMPOS DE INSERION**

Fig. No 2.25



nido en este tipo de prueba.

DETERMINACION DE LOS TIEMPOS DE RETRASO EN OPERACION DE RECIERRE.- Esta prueba es aplicable únicamente en interruptores utilizados en operación de recierre, ya sea éste monopolar o tripolar; se puede probar el interruptor completo o fase por fase en el caso del monopolar.

El recierre puede ser instantáneo o con retraso intencional, por lo tanto el tiempo de recierre es muy variable y puede ser desde unos cuantos - ciclos hasta el orden de segundos (en el caso de distribución se emplean ciclos de varios recierres con intervalos escalonados en cuanto a duración, con tiempos cada vez mayores); en el caso de tiempos largos mayores a un segundo puede ser impráctico efectuar esta prueba con los equipos aquí descritos, por la cantidad de papel necesario para registro.

En la gráfica obtenida se registran los instantes en que los contactos de las fases abren y recierren, determinándose el tiempo transcurrido entre estas operaciones, el cual puede ser verifi

cado con respecto al retardo deseado y ajustado en caso de ser necesario.

### 2.3.7. Valores de Prueba

A continuación se hace referencia respecto a los valores de los tiempos anteriormente descritos para establecer un cierto criterio ya que los valores particulares para cada tipo de interruptor es una característica propia que generalmente da el fabricante en sus instructivos.

#### 2.3.7.1. Tiempo de Apertura:

Los interruptores están clasificados en lo que se refiere a su tiempo de interrupción en interruptores de 8 ciclos, 3 ciclos y actualmente ya existen aparatos de 2 ciclos nominales, estos rangos están dados en base a las pruebas de prototipo - que efectúan los fabricantes y es el tiempo máximo dentro de toda la gama de pruebas efectuadas.

El tiempo de interrupción está compuesto por el tiempo de apertura o separación mecánica de los contactos más el tiempo de arqueo, entonces se puede establecer que los tiempos de apertura medidos en el campo deben ser menores a los tiempos

pos de interrupción nominales indicados en general son uno o dos ciclos menores que estos.

#### 2.3.7.2. Tiempo de Cierre:

Son generalmente más largos que los de apertura y su importancia es relativamente menor; pueden variar mucho dependiendo del tipo de interruptor, su mecanismo y lo voluminoso de sus partes en movimiento. Es necesario por estas razones basarse en los tiempos dados por el fabricante para cada modelo en particular o bien en base a comparación entre interruptores similares.

#### 2.3.7.3. Tiempos Cierre-Apertura:

Los valores que deben obtenerse en el campo son - prácticamente similares a los de la suma del tiempo de cierre más el de apertura. Las variaciones pueden deberse a que en este caso la señal de - apertura está dependiendo de que se complete primero la operación de cierre previamente dada.

#### 2.3.7.4. Simultaneidad entre fases y entre contactos de una misma fase:

Los fabricantes deben dar información sobre las

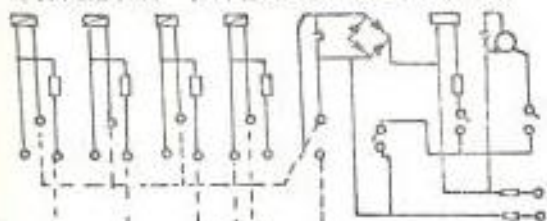
diferencias máximas en tiempo permitidas en sus interruptores para considerar que sus contactos están operando simultáneamente..

Es posible dar como referencia las normas que rigen en la Comisión Federal de Electricidad de México.

Cuando no se establece un requerimiento especial en lo que a simultaneidad entre polos se refiere, la máxima diferencia entre los instantes en que se tocan los contactos durante el cierre o entre los instantes en que se separan durante la apertura no deberá exceder de  $1/2$  ciclo en base a la frecuencia nominal.

La operación de los contactos de un polo (disyuntores multicámara) debe ser prácticamente simultánea. Esta condición se considera cubierta si la apertura o cierre de los contactos de la última unidad que opera se lleva a cabo un cuarto ( $1/4$ ) de ciclo o menos (en base a la frecuencia nominal) después de la apertura o cierre de los contactos de la unidad que opera primero.

CIRCUITO INTERNO DEL FAVAG



A B C

INTERRUPTOR

FAVAG

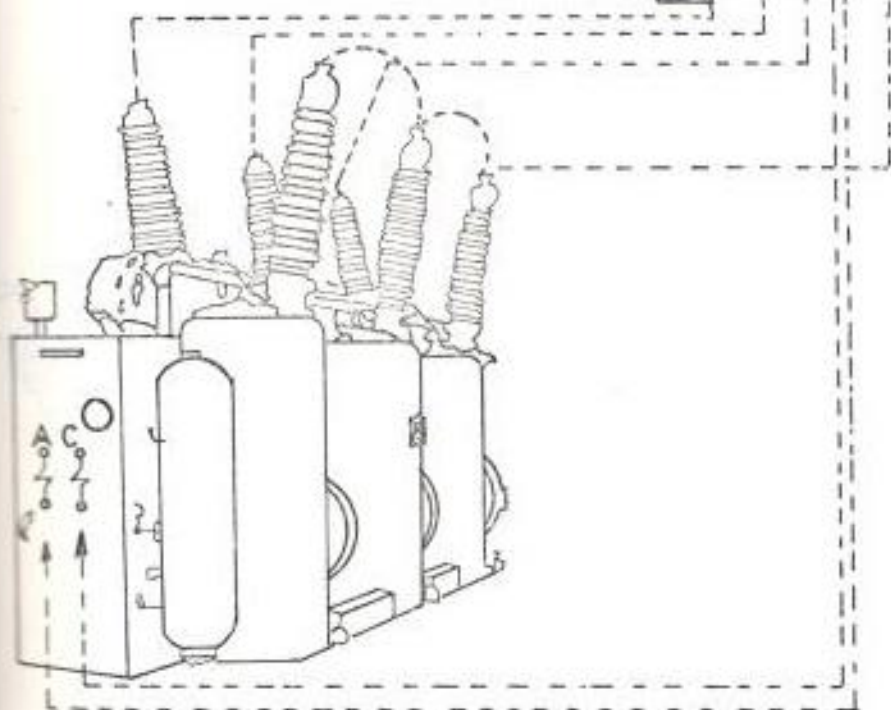
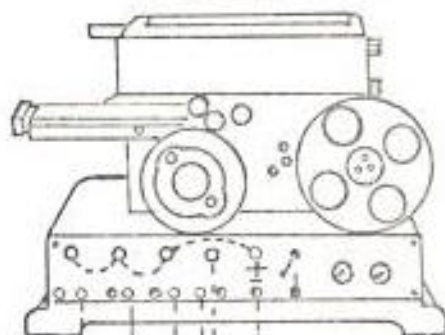


DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL CRONOGRFO FAVAG  
CON UN INTERRUPTOR DE GRAN VOLUMEN DE ACETTE

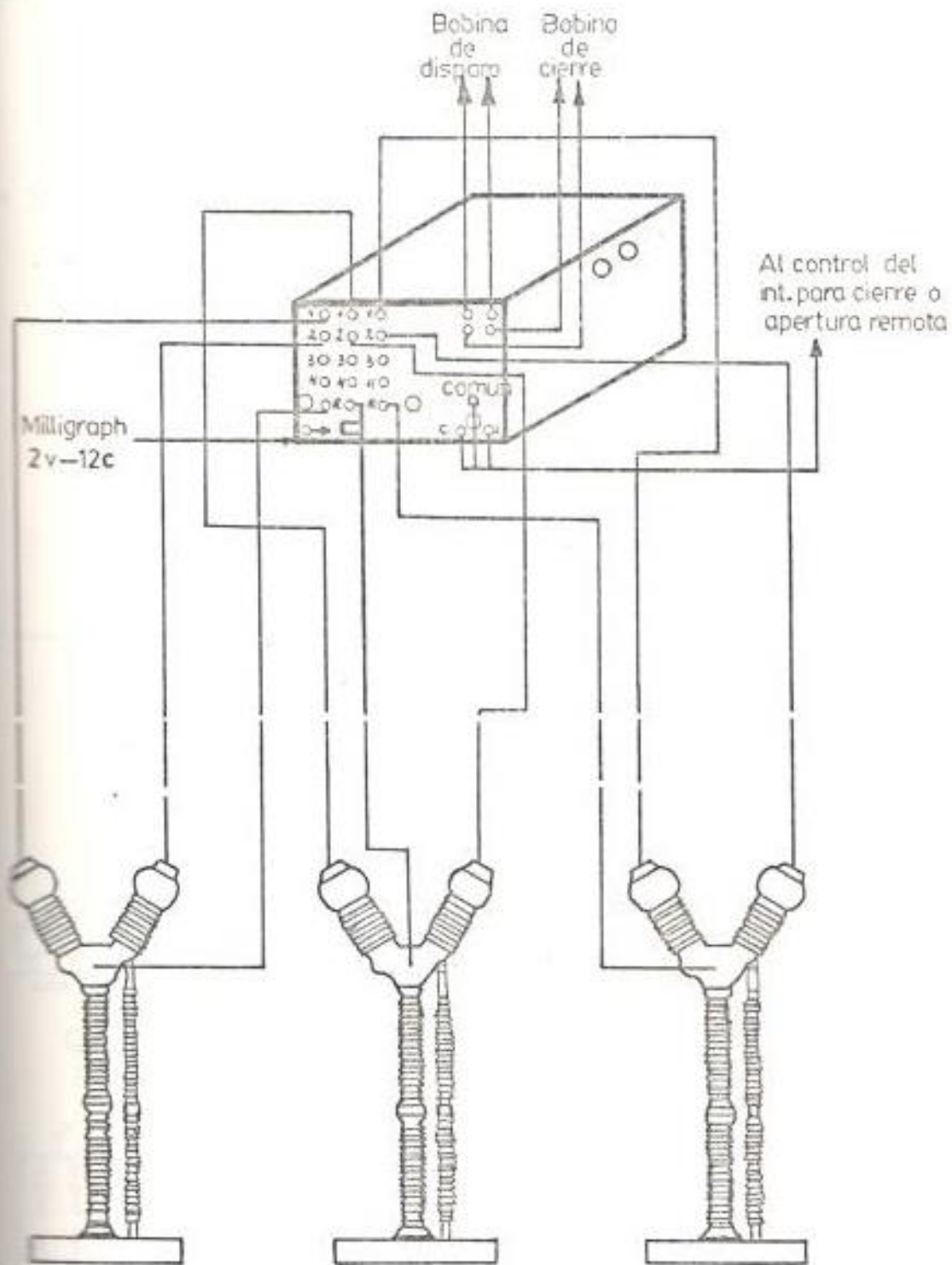
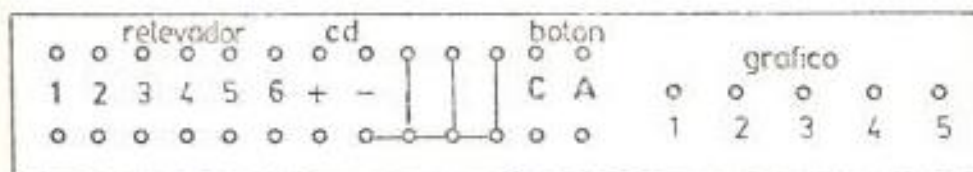


DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN EQUIPO MILLIGRAPH  
A UNA FASE DE UN INTERRUPTOR MULTICAMARA



\* DETALLE

TABLILLA DEL CRONOGRAFO

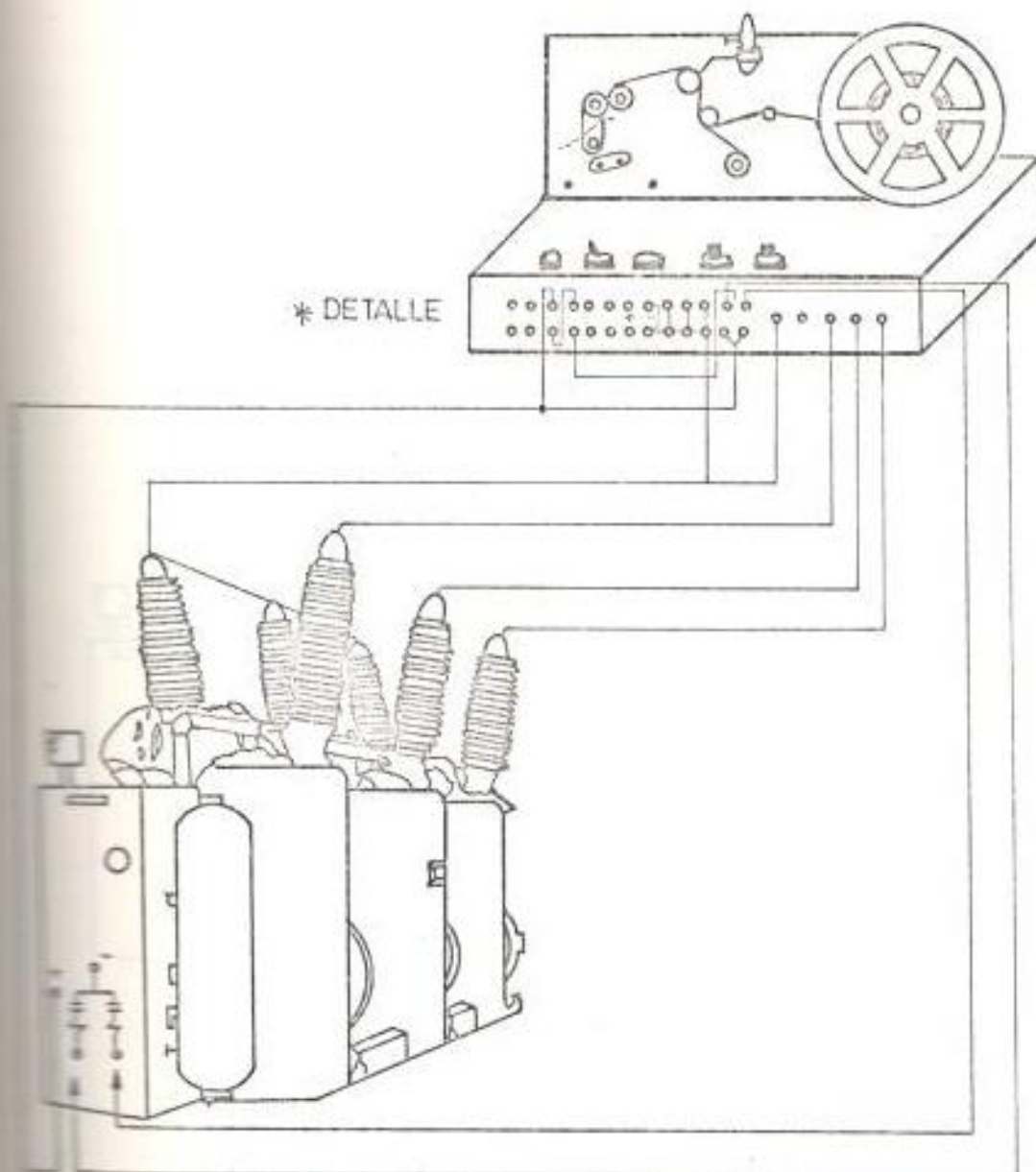


Diagrama de conexiones de un equipo **AEG** con un interruptor de gran volumen de aceite

Fig No 2.28

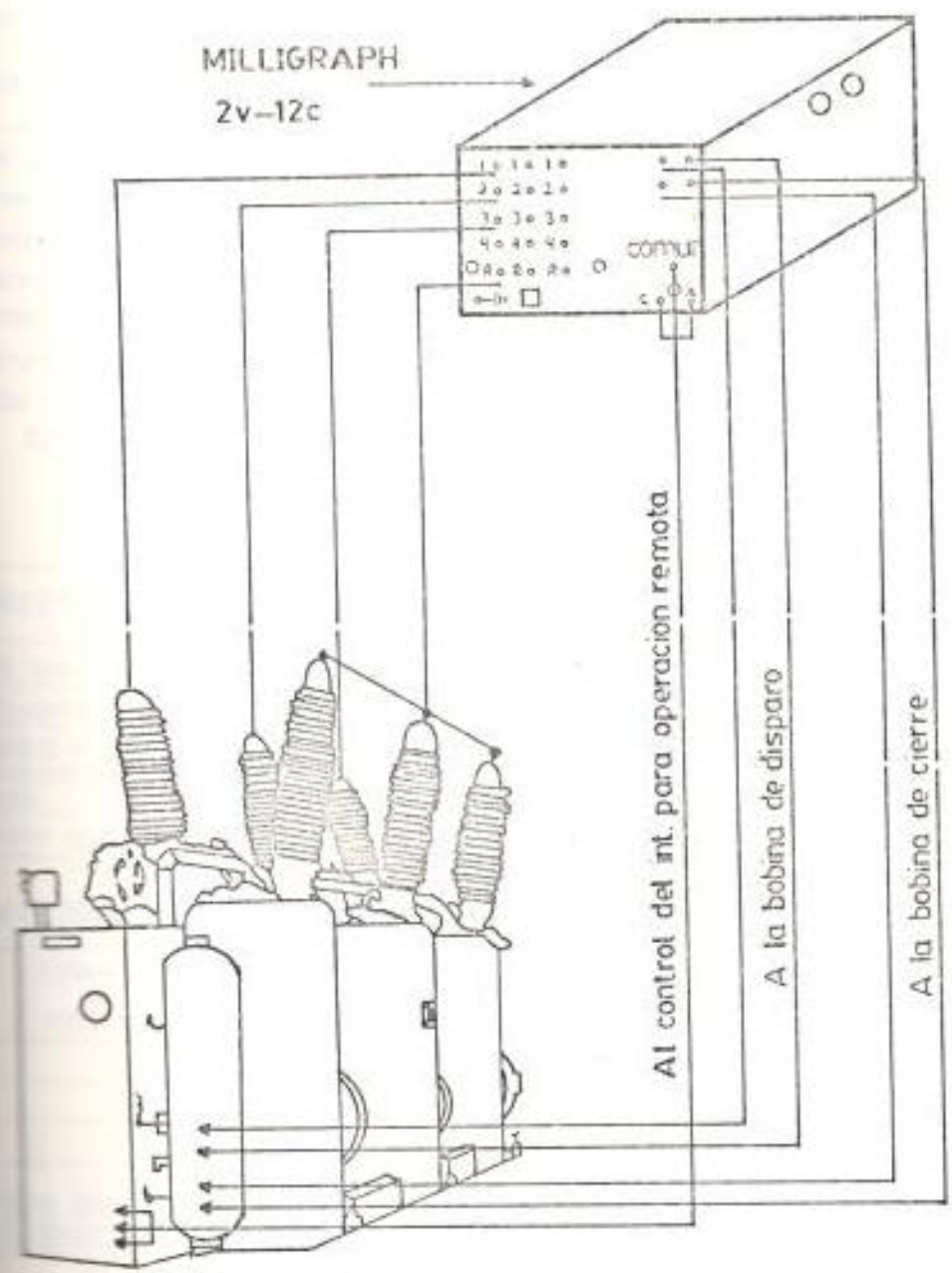


DIAGRAMA DE CONEXIONES DE UN EQUIPO MILLIGRAPH  
A UN INTERRUPTOR DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE



## SINCRONISMO Y TIEMPOS DE OPERACION DE INTERRUPTORES

Datos del interruptor

Datos de la prueba

Nomenclatura del sistema \_\_\_\_\_  
 Marca \_\_\_\_\_ tipo \_\_\_\_\_  
 No de serie \_\_\_\_\_  
 Tensión nominal \_\_\_\_\_ Kv  
 Corriente nominal \_\_\_\_\_ A  
 Corriente nominal de interrupción \_\_\_\_\_ KA  
 Tipo de interrupción \_\_\_\_\_  
 Tiempo nominal de interrupción \_\_\_\_\_ Hz  
 Resistencias de inserción si no \_\_\_\_\_  
 Apertura \_\_\_\_\_ Cierre \_\_\_\_\_

Región \_\_\_\_\_  
 Área \_\_\_\_\_  
 Nombre instalación \_\_\_\_\_  
 Fecha de la prueba \_\_\_\_\_  
**EQUIPO DE PRUEBA**  
 Marca \_\_\_\_\_ Tipo \_\_\_\_\_  
 No de serie \_\_\_\_\_  
 Gráficas anexas si no \_\_\_\_\_

### RESULTADOS DE PRUEBAS

CONCEPTO	Tiempo Medido Ms	Medido en fase (s)	OBSERVACIONES
Tiempo de apertura			
Tiempo de cierre			
Simultaneidad entre fases	A		
Diferencia entre primera y última fases	C		
Tiempo cierre apertura			

### SIMULTANEIDAD ENTRE CONTACTOS DE UNA MISMA FASE (INT. MULTICAMARA)

FASE	Diferencia máxima entre contactos Ms	Medida entre contactos	OBSERVACIONES

### DIFERENCIA EN TIEMPO ENTRE CONTACTOS PRINCIPALES Y CONTACTOS AUXILIAR DE RESISTENCIAS DE INSERCIÓN

FASE	EN APERTURA Ms						EN CIERRE Ms					
	MODULO 1		MODULO 2		MODULO 3		MODULO 1		MODULO 2		MODULO 3	
	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	C-2

RESERVACIONES \_\_\_\_\_

RESULTADO DE LAS PRUEBAS  
 BUENO \_\_\_\_\_ MALO \_\_\_\_\_ DUDOSO \_\_\_\_\_  
 PRUEBA EFECTUADA POR \_\_\_\_\_

### 2.3.8. Diagrama de Conexiones

Las conexiones entre el equipo de prueba y el interruptor por probar son en términos generales simples y requieren de un cierto criterio de la persona que va a ejecutar las pruebas y conocimientos del arreglo físico de los contactos y cámaras del interruptor, así como del equipo de prueba y sus terminales de conexiones.

Las figuras 2.26 a 2.29, muestran a modo de ejemplo las conexiones entre algunos de los equipos de prueba más comunes y el interruptor por probar. En la tabla V, se mostran un ejemplo de como se tabulan los resultados de las pruebas.

## 2.4. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA MALLA DE TIERRA

### 2.4.1. Generalidades

La tierra tiene una propiedad eléctrica que es la conductividad o baja resistencia, la cual es usada en forma práctica en toda clase de plantas industriales.

La "resistencia de tierra" es la resistencia del suelo al paso de la corriente. La tierra es relativamente mala conductora comparada con conductores tales como el cobre;

pero, si el área para la trayectoria de la corriente es suficientemente larga, la resistencia puede ser bastante baja y la tierra puede ser un buen conductor.

La idea más simple que se tiene de una puesta a tierra en un sistema eléctrico es una sección de hierro enterrado y conectado con un conductor al sistema eléctrico. Esta puede ser o no una adecuada trayectoria de baja resistencia para la corriente eléctrica; para proteger al personal y equipo. Ver figura 2.30.

Los principios y métodos de prueba de "resistencia a tierra" son aplicables a los sistemas que requieren conexiones a tierra de baja resistencia. Estas pruebas deben ser realizadas en Plantas generadoras, sistemas de distribución eléctrica, plantas industriales y sistemas de Telecomunicaciones.

#### 2.4.2. Definiciones Básicas

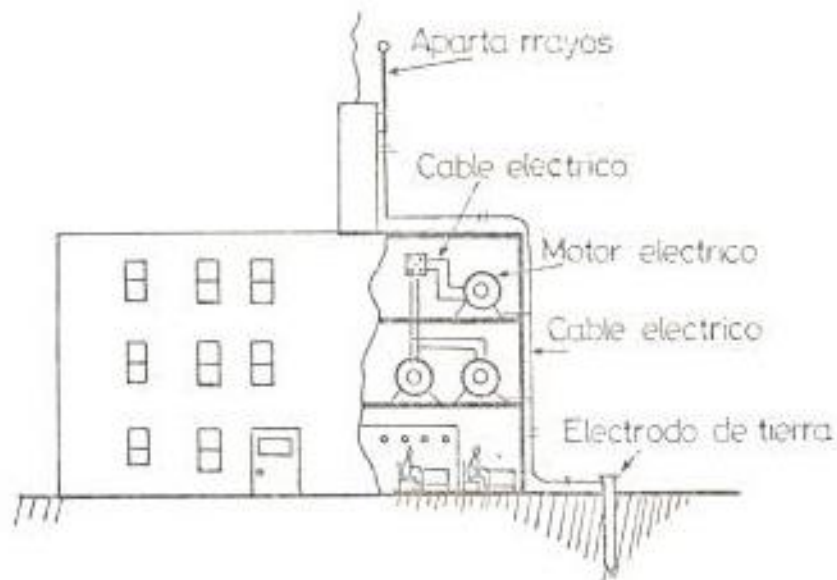
Los términos tierra, tierra permanente y conexiones a tierra, significan conexiones eléctricas hechas intencionalmente entre cuerpos eléctricos (o cuerpos conductores en cercanía de circuitos eléctricos) y cuerpos metálicos en la tierra, tal como varillas, tuberías de agua, etc.

Un cuerpo metálico en la tierra es a menudo referido como un electrodo aunque este puede ser una tubería de agua, vigas enterradas, planchas metálicas o cables. Tal combinación de cuerpos metálicos es llamada "MALLA". La resistencia de tierra, es la resistencia a la corriente desde el electrodo hacia la tierra que lo rodea.

Para apreciar porque la resistencia de tierra debe ser baja, debe usarse la ley de Ohm:  $E = R \times I$ . Donde E es voltios; R es la resistencia en Ohms; I es la corriente en amperios. Asumiendo que se tiene un suministro de 4.000 voltios (2.300 voltios a tierra) con una resistencia de 13 Ohms. (Ver figura 2.31). Asumiendo que un cable expuesto toca la armadura del motor la cual está conectada al sistema de tierra el cual tiene una resistencia a tierra de 10 Ohms.

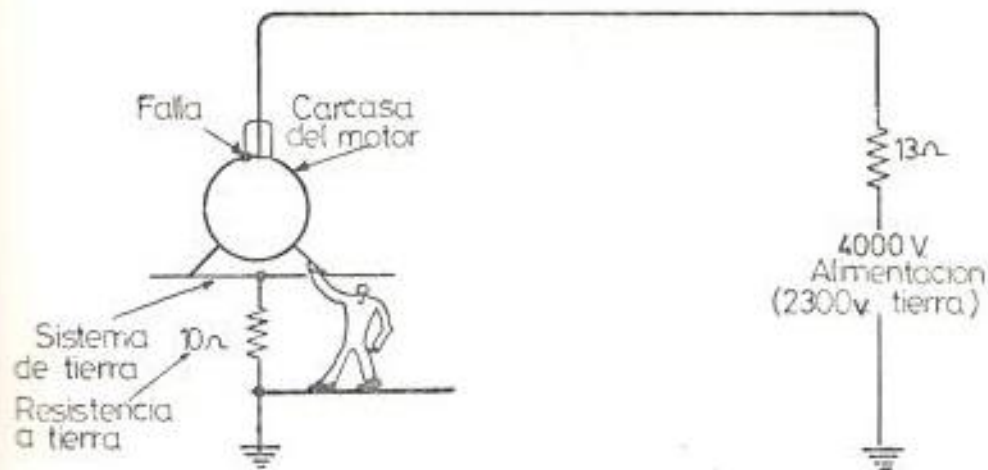
De acuerdo a la ley de Ohm, existirá una corriente de 100 amperios a través de la falla desde la armadura del motor a la tierra ( $I = E/R = \frac{2.300}{10 + 13} = 100$  amperios).

Si alguien toca la armadura del motor y está solidamente aterrizado (por ejemplo estando en una poza), podría ser sometido a 1.000 voltios (10 Ohmios x 100 amperios).



SISTEMA DE TIERRA SIMPLIFICADO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL

Fig: N° 2.30



EJEMPLO DE UN CIRCUITO CON ALTA RESISTENCIA DE TIERRA

Fig N° 2.31

Este voltaje puede ser más que suficiente para matar a una persona instantáneamente. Si como generalmente sucede la resistencia de tierra es menor que un Ohm, el voltaje producido será menor que 100 voltios, lo cual probablemente no causará la muerte.

Los equipos también pueden ser dañados por sobrevoltajes causados por alta resistencia del sistema de puesta a tierra.

#### 2.4.3. Factores que pueden cambiar el valor mínimo de Resistencia de tierra

Los valores de resistencia de aislamiento que son apropiados dependen de cada caso y no es una regla general. Los factores que pueden cambiar los requerimientos de electrodos de tierra año a año son los siguientes:

1. Una industria o planta eléctrica puede expandirse en tamaño. También, las industrias nuevas son construídas cada vez más grandes. Estos cambios crean diferentes necesidades de sistemas de puesta a tierra; por lo tanto, lo que en un tiempo pudo ser apropiado, después de un tiempo puede convertirse en obsoleto.
2. A medida que se instalan más tuberías no metálicas ba

jo tierra, las conexiones a tierra de baja resistencia se hacen menos efectivas.

3. En muchos lugares, el nivel del agua disminuye gradualmente y un sistema de electrodos de tierra que fuera - efectivo puede terminar en tierra seca de alta resistencia.

Estos factores enfatizan la importancia de un programa periódico de pruebas de resistencia de tierra y no solamente probar al inicio de la instalación.

#### 2.4.4. Factores que influyen los requerimientos para un buen sistema de tierra

En una planta industrial que requiere un sistema de puesta a tierra, uno o más de los siguientes factores deben ser considerados:

1. Limitar los valores voltajes a tierra de todo el sistema eléctrico. El uso de un apropiado sistema de tierra puede hacerlo manteniendo algún punto del circuito al terminal de tierra. Esto trae las siguientes ventajas:

- a) Limita el voltaje al cual el aislamiento a tierra -

es sometido, con lo cual se fija mejor el nivel de aislamiento.

b) Limita el voltaje a tierra o a carcaza a valores seguros para el personal.

c) Provee un sistema relativamente estable con un mínimo de sobrevoltajes transientes.

d) Permite que cualquier falla a tierra del sistema sea rápidamente aislado.

2. Puesta a tierra de cerramientos metálicos y estructuras que son parte de sistemas eléctricos y que pueden ser tocados por personal. También está incluido equipo eléctrico portátil. Debe considerarse que una pequeña corriente eléctrica de 0,1 amperios por segundo puede ser fatal y una cantidad más pequeña puede causar la pérdida del control muscular. Estas pequeñas corrientes pueden circular por el cuerpo con voltajes tan pequeños como 100 voltios si la piel está húmeda.

3. Protección contra electricidad estática por fricción, objetos movibles que pueden ser inherentemente aisladores, tales como papel, textiles, correas de transmi



sión, etc., pueden desarrollarse altas cargas a menos que estén apropiadamente puestas a tierra.

4. Protección contra cargas atmosféricas directas. Las estructuras tales como mástiles, tanques de agua, torres de transmisión eléctricas, edificios, etc. Pueden requerir varillas apararrayos conectadas al sistema de puesta a tierra.
5. Protección contra sobrevoltajes inducidos. Este es un factor importante si circuitos de distribución aérea y de comunicaciones están involucrados. En este caso puede ser necesario colocar apartarrayos en puntos estratégicos de una planta.
6. Proveer de un buen sistema de puesta a tierra para procesos de control eléctrico y circuitos de comunicaciones. Con el incremento del uso en la industria de instrumentos de control, computadoras y equipos de comunicaciones, deben ser consideradas las conexiones a tierra de baja resistencia. Ver gráfico 2.32.

#### 2.4.5. Naturaleza de un electrodo de tierra

La resistencia a la corriente a través de un electrodo de -

tierra tiene realmente tres componentes. Ver figura 2.33.

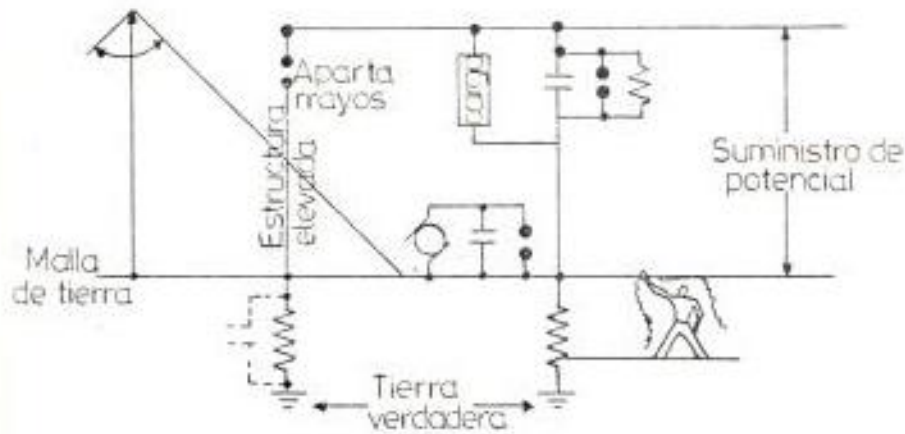
1. La resistencia del electrodo mismo y las conexiones a él.
2. La resistencia de contacto entre el electrodo y el suelo adyacente a él.
3. La resistencia de la tierra circundante.

Resistencia del electrodo: Varillas, tuberías, masas de metal, estructuras, etc., son usadas comúnmente para conexiones de tierra. Generalmente todos estos tienen suficiente tamaño o área de sección de tal manera que su resistencia es una parte despreciable de la resistencia total.

Resistencia de Contacto electrodo-tierra: Esta es mucho menor de lo que se puede pensar. Si el electrodo está libre de pintura o grasa, y la tierra es compactada firmemente, la resistencia de contacto es despreciable. La herrumbre en un electrodo de hierro tiene un aspecto muy pequeño si el terreno en que se encuentra es húmedo.

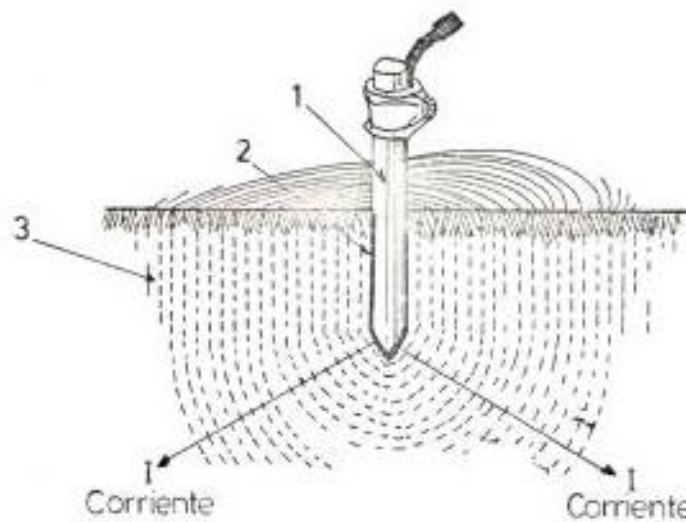
Resistencia de la tierra: Un electrodo introducido en la tierra, la cual tenga resistividad uniforme, irradiará -

Zona de protección  
de descargas atmosféricas



### CONDICIONES TÍPICAS EN UNA PLANTA CON SISTEMA DE TIERRA

Fig. Nº 2.32



### COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE TIERRA EN UN ELECTRODO DE TIERRA

Fig. Nº 2.33

corriente en todas las direcciones.

Supongamos que el electrodo está rodeado por conchas de tierra, de todas de igual grosor. La concha de tierra más cercana al electrodo tiene el área de superficie más pequeña y ofrece la mayor resistencia. La siguiente concha de tierra es algo más grande en área y ofrece menor resistencia y así en adelante. Finalmente, se llegará a una distancia del electrodo donde la adición de una concha de tierra más no aumentará significativamente la resistencia de la tierra que rodea el electrodo.

Generalmente, la resistencia de la tierra que rodea al electrodo será la mayor de las tres componentes que hacen la resistencia de una puesta a tierra. La resistencia de tierra depende del material del suelo, de la mezcla que contiene y de la temperatura.

#### 2.4.6. Principios de la prueba de resistencia de tierra

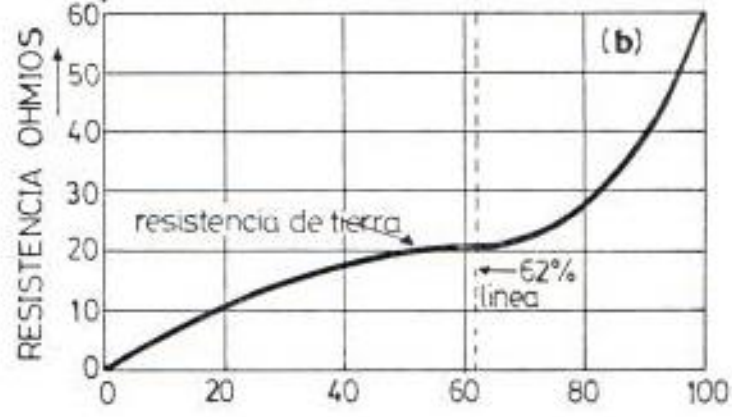
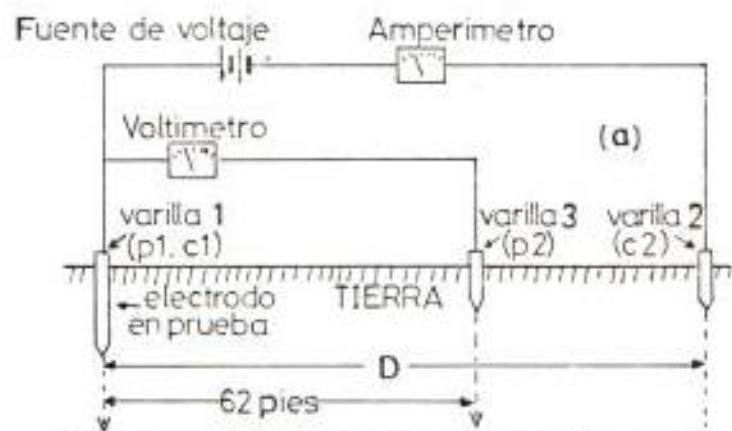
La resistencia de tierra de cualquier sistema de electrodos teóricamente puede ser calculada por las fórmulas basadas en la fórmula general de la resistencia:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde  $\rho$  es la resistividad de la tierra en ohmios - centímetros,  $L$  es la longitud de la trayectoria conductora, y  $A$  es el área de la malla. Varias fórmulas complejas han sido desarrolladas para calcular la resistencia de tierra para cualquier distancia desde varios sistemas de puesta a tierra. Todas estas fórmulas pueden ser simplificadas, basándose en la asunción de que la resistividad de la tierra es uniforme a través de todo el volumen de tierra en consideración.

Para comprender el principio de la prueba de malla de tierra se debe considerar el esquema de la figura 2.34, teniendo en cuenta la observación previa con referencia a las conchas de tierra (Fig. 2.33) de que con el incremento de la distancia desde un electrodo, las conchas de tierra son de mayor área de superficie y por lo tanto de menor resistencia.

Asumiendo que se tienen tres varillas clavadas en la tierra separadas ciertas distancias y un voltaje aplicado - (Ver figura 2.34.a). La corriente entre las varillas 1 y 2 es medida por un amperímetro; la diferencia de potencial (voltaje) entre las varillas 1 y 3 es medida por un voltímetro.



PRINCIPIO DE UNA PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA

Fig: N° 2.34

Si la varilla 3 es situada en varios puntos entre las varillas 1 y 2, preferentemente en línea recta, se puede obtener una serie de lecturas de voltaje por la ley de Ohm ( $R = E/I$ ) se puede determinar la resistencia de tierra en cualquier punto medido. Por ejemplo, si el voltaje medido  $E$  entre las varillas 1 y 3 es 30 voltios y la corriente  $I$  medida es 2 amperios, la resistencia de tierra  $R$ , en el punto sería 15 ohmios.

La serie de valores de resistencia pueden ser graficados - contra distancia para obtener una curva (Fig. 2.34.b) se nota que al mover la varilla 3 alejándose de la varilla 1, el valor de la resistencia aumenta. Pero la cantidad de incremento disminuye hasta que se llega a un punto donde la razón de incremento es tan pequeña que puede considerarse constante. Las conchas de tierra entre las dos varillas (1 y 3) tienen una superficie tan grande que aumentan muy poco al total de la resistencia. Más allá de este punto, al aproximarse la varilla 3 a las conchas de tierra de la varilla 2, la resistencia aumenta gradualmente cerca de la varilla 2, el valor aumenta bruscamente.

Asumimos que la varilla 1 es el electrodo de tierra bajo prueba, llamando a la varilla 2 referencia de corriente -  $C_2$  y a la varilla 3, referencia de potencial  $P_2$ . La correc

ta resistencia es generalmente obtenida si  $P_2$  (varilla 3) es ubicada a una distancia desde el centro del electrodo de tierra (varilla 1) alrededor de 62 % de la distancia entre el electrodo de tierra y  $C_2$  (varilla 2).

Esta regla trabaja bien para electrodos simples, tales como una varilla clavada; también trabaja bien para un grupo pequeño de varillas.

Es necesario conocer el verdadero centro eléctrico de un sistema de electrodos con bastante exactitud. También, la exactitud de las lecturas es mejor si la resistividad de la tierra entre los tres electrodos es razonablemente constante. Finalmente,  $C_2$  podría estar demasiado lejos del sistema de electrodo de tierra tal que la distancia del 62 % esté fuera de la "esfera de influencia" del electrodo de tierra.

#### 2.4.7. Métodos Básicos de prueba de resistencia de tierra

El instrumento MEGGER para prueba de resistencia de tierra incluye: (1) Una fuente de voltaje, (2) Un ohmetro para medir la resistencia directamente, y (3) Interruptores para cambiar el rango de resistencia del instrumento. Los cuatro terminales ( $P_1$ ,  $C_1$ ,  $P_2$ ,  $C_2$ ) se conectan por medio



de cables a la tierra y a los electrodos de referencia. Un generador a manivela provee la corriente requerida; la resistencia en ohmios se lee directamente en la escala.

Hay dos métodos de pruebas básicas:

1. Método directo o prueba de dos terminales.
2. Método de la caída de potencial o prueba de tres terminales.

#### 2.4.7.1. Método Directo:

Conectar los terminales  $P_1$  y  $C_1$  al electrodo de tierra bajo prueba; conectar los terminales  $P_2$  y  $C_2$  a un sistema de tuberías de agua totalmente metálicas (Fig. 2.35). Si el sistema de agua es extenso (cubriendo un área grande), esta resistencia sería sólo una fracción de un ohmio.

El método directo es el camino más simple para hacer una prueba de resistencia de tierra. Con este método, la resistencia de dos electrodos en serie es medida, siendo estos la varilla clavada y el sistema de agua. Pero hay tres importantes

limitaciones:

1. El sistema de tuberías de agua debe ser suficientemente grande para tener una resistencia despreciable.
2. El sistema de tuberías de agua debe ser totalmente metálico, sin ningún acoplamiento aislador.
3. El electrodo de tierra debe estar bastante lejos del sistema de agua para estar fuera de su esfera de influencia.

Para obtener una medición con una exactitud dentro de  $\pm 10\%$ , la distancia desde el electrodo de tierra al sistema de tuberías de agua debe ser de alrededor de 10 veces el radio del electrodo o malla.

En algunos casos, el electrodo de tierra puede estar tan cerca del sistema de agua que no es posible separar los dos por la distancia requerida para la medición por el método de las dos terminales. Bajo estas circunstancias, si las condi

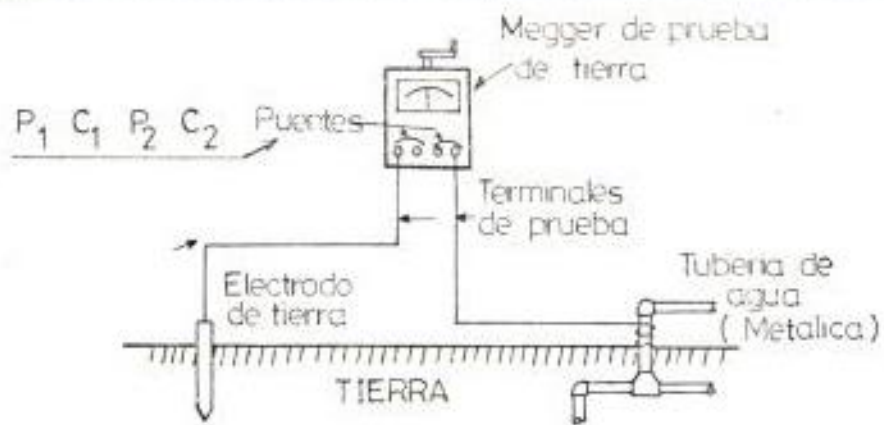
ciones 1 y 2 anteriores se dan, es posible conectar al sistema de agua y obtener un apropiado electrodo de tierra. Como una precaución contra posibles cambios futuros en el sistema de tuberías de agua, se debería instalar también un electrodo de tierra.

#### 2.4.7.2. Método de la Caída de Potencial:

Este método de tres terminales es el descrito previamente con referencia a la figura N° 2.34. Los terminales  $P_1$  y  $C_1$  en el instrumento son puenteados y conectados al electrodo de tierra bajo prueba.

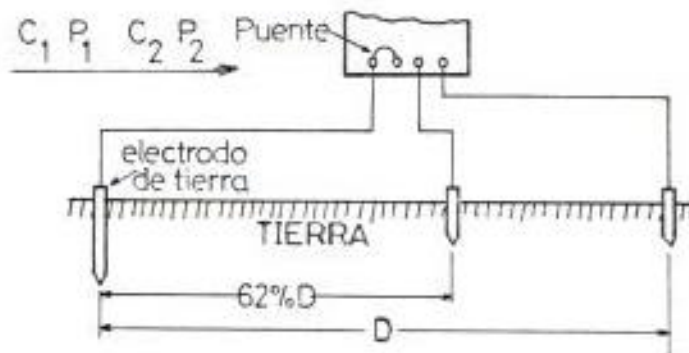
La varilla de referencia  $C_2$  debería ser clavada tan lejos del electrodo de tierra como sea práctico; esta distancia puede ser limitada por la longitud del cable disponible, o por la Geografía de los alrededores (Fig. 2.36).

La varilla  $P_2$  (referencia de Potencial) es clavada en un número de puntos localizados aproximadamente en línea recta entre el electrodo de tierra y  $C_2$ . Las lecturas de resistencia son anotadas para cada punto y se grafica una curva de resis-



PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA POR EL METODO DIRECTO O DE DOS TERMINALES

Fig: No. 2.35



PRUEBA DE RESISTENCIA DE TIERRA POR EL METODO DE TRES TERMINALES

Fig: No. 2.36

tencia Vs. Distancia.

La resistencia de tierra correcta se lee de la curva para una distancia de alrededor de 62 % del total de la distancia entre el electrodo de tierra y  $C_2$ . En otras palabras, si la distancia total es  $D$ , el 62 % de la distancia es  $0,62 D$ .

#### 2.4.8. Efecto de las diferentes ubicaciones de la referencia de prueba

Podría pensarse que si la correcta ubicación de  $P_2$  es 62% de la distancia entre el electrodo de tierra y  $C_2$ , no es necesario realizar las pruebas en otras ubicaciones de  $P_2$ .

MINIMA DISTANCIA PARA  $C_2$ : Consideremos la figura 2.37, la cual muestra las conchas de tierra alrededor del electrodo de tierra y de la referencia  $C_2$ .

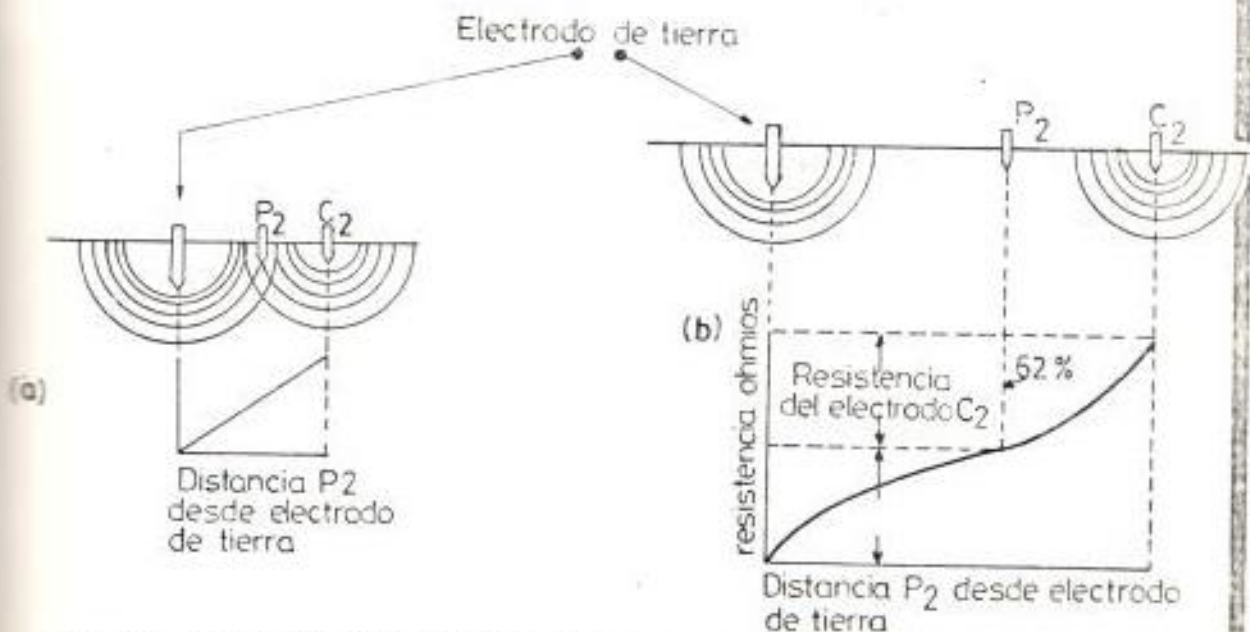
En la figura 2.37.a,  $C_2$  está tan cerca al electrodo de tierra que las conchas de tierra se sobreponen seriamente. Por esta razón no se obtiene la nivelación de la resistencia medida al mover  $P_2$  alejándose del electrodo de tierra; las conchas de  $C_2$  se suman a las conchas del electrodo de tierra, de tal manera que la resistencia se mantiene incremen

tándose.

En la figura 2.37.b,  $C_2$  es ubicado bastante lejano. Luego la resistencia medida se nivela lo suficiente y en la distancia de 62 % esta es bastante aproximada al valor real de la resistencia de tierra. La razón para tener  $C_2$  bastante alejado es estar seguro de que el valor de 62 % está en línea con otros valores de la curva. El valor sólo sería equivocado (asumiendo que no hay errores de medición) si las condiciones del suelo en el punto de 62 % varían con respecto a las condiciones de los otros puntos, causando cambios en la resistividad de la tierra. Es necesario obtener algún grado de aplanamiento o nivelación de la curva para hacer que la variación se note fácilmente.

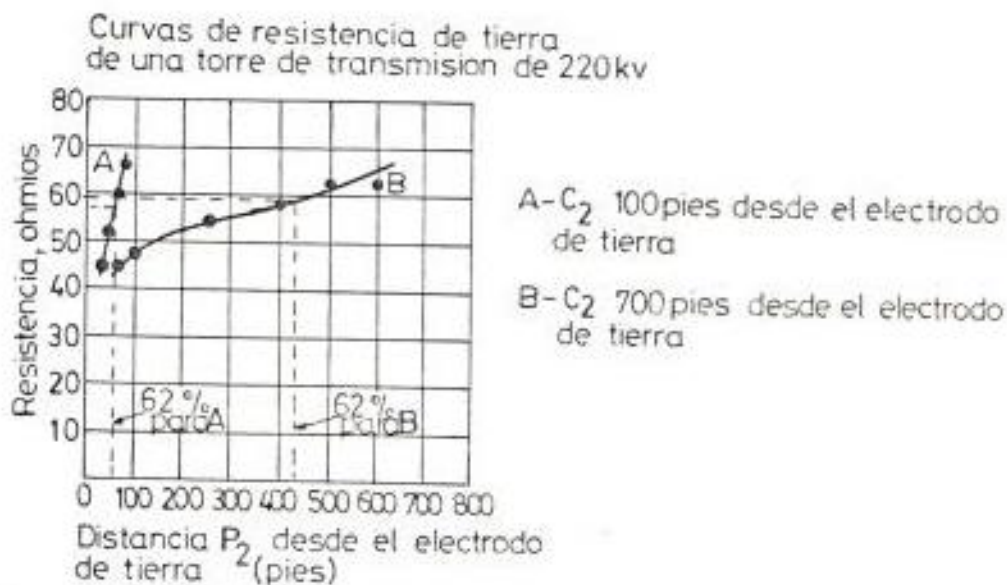
Como un ejemplo práctico de este efecto, se tiene el caso ilustrado en la figura 2.38. Esta figura muestra las curvas de resistencia de tierra para dos ubicaciones de  $C_2$ .

La curva A fue obtenida cuando  $C_2$  estaba a 100 pies del electrodo de tierra; la curva B, cuando  $C_2$  estaba a 700 pies de distancia. La curva A muestra que  $C_2$  estuvo demasiado cerca del electrodo de tierra; la curva B muestra la tendencia deseada hacia la nivelación de la resistencia medida. La distancia de 62 % da valores de resistencia cer



EFFECTO DE LA LOCALIZACION DE  $C_2$  EN LA CURVA DE LA RESISTENCIA DE TIERRA

Fig. No 2.37



EJEMPLO DE COMO LA LOCALIZACION DE  $C_2$  AFECTA A LA CURVA DE LA RESISTENCIA DE TIERRA

Fig. No 2.38

canos en ambos casos, puesto que la resistividad de la tierra es bastante uniforme.

#### 2.4.9. Método de la Caída de Potencial simplificado

Es posible simplificar el método de la caída de potencial comenzando con  $P_2$ , no en el 62 % de la distancia sino en la mitad entre el electrodo de tierra y  $C_2$ . Después de medir la resistencia para este punto, se realizan dos o tres pruebas a cada lado apartadas una distancia de alrededor de 10 pies cada una. Si la resistencia del punto medio concuerda con las otras lecturas dentro de la precisión requerida, el valor medio es usado como resistencia de tierra.

Si las lecturas no están dentro de la precisión requerida, la sonda  $C_2$  tiene que ser ubicada más distante y repetir la prueba. Este método puede dar precisión aceptada.

#### 2.4.10. Reglas para separar $P_2$ y $C_2$

Con una pequeña malla de uno o dos electrodos de tierra,  $C_2$  puede generalmente ser ubicada alrededor de 100 a 125 pies desde el electrodo bajo prueba;  $P_2$  correspondientemente puede ser ubicado a una distancia de alrededor de 62



a 78 pies. Si el electrodo de tierra es grande consistiendo, por ejemplo, de varias varillas o planchas en paralelo, la distancia para  $C_2$  debe ser aumentada a posiblemente 200 pies y para  $P_2$  a 125 pies. Serán necesarias mayores distancias para sistemas de electrodos complejos que consistan de un gran número de varillas, planchas u otras estructuras metálicas conectadas todas entre ellas.

La tabla VI es una guía útil como referencia para la ubicación de la sonda. La "Dimensión Máxima" se calcula tomando la distancia diagonal a través del área del sistema de electrodos.

#### 2.4.11. Métodos para mejorar la resistencia de tierra

Cuando se encuentra que la resistencia de tierra no es lo suficientemente baja, hay varias acciones que pueden mejorarla:

1. Alargar el electrodo de tierra en la tierra.
2. Usar varillas múltiples.
3. Tratar el suelo.

TABLA N° VI

GUIA PARA LA LOCALIZACION APROXIMADA DE LOS ELECTRODOS DE PRUEBAS

DIMENSION MAXIMA, PIES. (*)	DISTANCIA A P <sub>2</sub> PIES.	DISTANCIA A C <sub>2</sub> PIES.
2	40	70
4	60	100
6	80	125
8	90	140
10	100	160
12	105	170
14	120	190
16	125	200
18	130	210
20	140	220
40	200	320
60	240	390
80	280	450
100	310	500
120	340	550
140	365	590
160	400	640
180	420	680
200	440	710

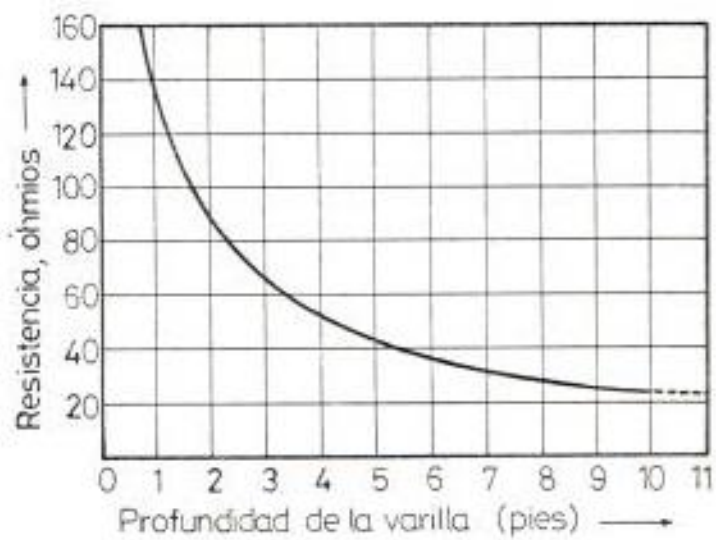
\*Por ejemplo: La diagonal a través del área de la malla de tierra.

#### 2.4.11.1. Efecto del tamaño de la varilla:

Al clavar una varilla de mayor longitud, más profundamente en la tierra, su resistencia en la tierra decrece. En general, doblando la longitud de la varilla la resistencia se reduce alrededor de un 40 %; la curva de la figura 2.39, muestra este efecto. En el gráfico se nota que una varilla clavada dos pies en la tierra tiene una resistencia de 88 Ohmios, la misma varilla clavada cuatro pies tiene una resistencia de alrededor de 50 Ohmios. Usando la regla del 40 % tenemos una reducción de:

$$88 \times 0,4 = 35 \text{ Ohmios}$$

El incremento del diámetro del electrodo reduce la resistencia muy poco. Para la misma profundidad, doblando el diámetro de la varilla la resistencia se reduce solamente un promedio de - 10 %. Por esta razón, se considera el incremento del diámetro de la varilla si se tiene que clavar esta en un terreno duro.



LA RESISTENCIA DE TIERRA DECRECE CON LA PROFUNDIDAD DEL ELECTRODO DE TIERRA

Fig: N° 2.39

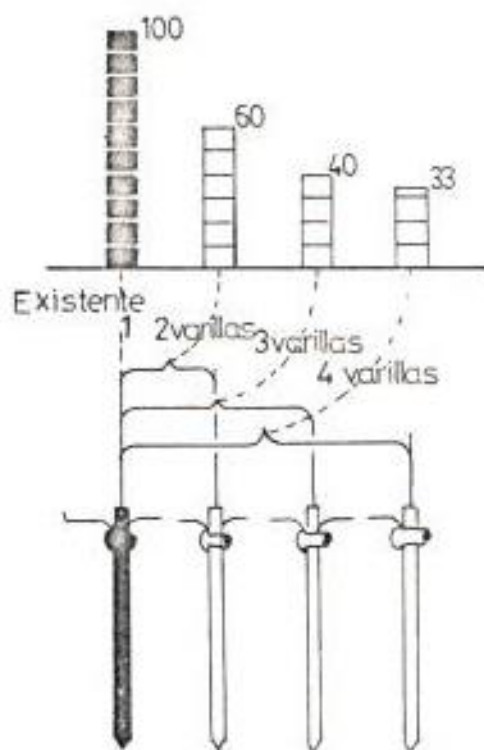
#### 2.4.11.2. Uso de varillas múltiples:

Dos varillas bien espaciadas clavadas en la tierra presentan trayectorias paralelas. Estas son en efecto dos resistencias en paralelo. La regla de dos resistencias en paralelo no se aplica exactamente; esto es, la resistencia paralela no es la mitad de la resistencia de una varilla individual (asumiendo que ellas son del mismo tamaño y están clavadas a la misma profundidad). Realmente, la reducción para dos varillas de igual resistencia es de alrededor de 60 %. Si se usan tres varillas la reducción es de 40 %, y si son cuatro, de 33 %. Ver figura 2.40.

Cuando se usan múltiples varillas, ellas deben estar separadas una distancia mayor que la longitud de la profundidad a la que están clavadas.

#### 2.4.11.3. Tratamiento del suelo:

El tratamiento químico del suelo es un buen método para mejorar la resistencia del electrodo de tierra, cuando no es posible clavar mas pro



RESULTADOS PROMEDIO OBTENIDOS DE MALLAS DE TIERRA DE VARILLAS MÚLTIPLES

Fig. No 2.40

fundamente las varillas a causa de rocas. Por ejemplo, es necesario considerar el posible efecto de corrosión en el electrodo al elegir el mejor tratamiento químico en cada situación. El sulfato de magnesio, sulfato de cobre y la sal de roca son materiales apropiados no corrosivos. El sulfato de magnesio es el menos corrosivo, pero la sal de roca es el más barato y hace el trabajo si es aplicada en un foso excavado alrededor del electrodo.

El tratamiento químico no es una solución permanente para mejorar la resistencia del electrodo de tierra. Los químicos son lavados gradualmente por las lluvias y por el drenaje natural a través del suelo, dependiendo de la cantidad de lluvias y de la porosidad del suelo. Los períodos que deben hacerse los reemplazos varían; y pueden ser varios años antes de que se requiera otro tratamiento.

El tratamiento químico también tiene la ventaja de reducir las variaciones en resistencia por las estaciones que resultan de los periódicos humedecimientos y secados del suelo. Sin embar

go este método se debe considerar cuando la profundidad o los electrodos múltiples no son prácticos. Ver figura 2.41.

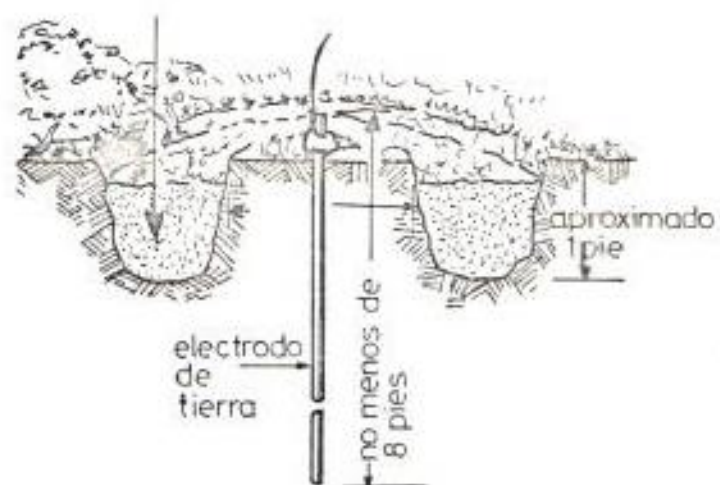
#### 2.4.12. Medición de un sistema de electrodo de tierra cubriendo una gran área.

Las dificultades de medir la resistencia de un sistema de puesta a tierra grande involucra el uso de cables muy largos para conectar las sondas de potencial y de corriente. Para evitar esto se ha desarrollado un método alternativo con el cual no son necesarios cables largos. El principio básico es obtener curvas de resistencia de tierra por varias posiciones del electrodo de corriente, y asumir un número de sucesivas posiciones para el centro eléctrico del sistema, para producir la intersección de las curvas lo cual dará la resistencia de tierra y la posición del centro eléctrico.

Las mayores dificultades se encuentran cuando se desea medir la resistencia de un sistema de electrodos de tierra, el cual consiste de un número de varillas, planchas, cables, etc., todos conectados en paralelo y distribuidos en un área grande. El método usual de medi



Material de tratamiento de suelo  
ubicado en una zanja circular y  
cubierto con tierra



METODO DEL TRATAMIENTO DE SUELO

Fig. Nº 2.41

ción que trabaja bien, tiene una desventaja: es generalmente necesario ubicar la sonda o electrodo de corriente a una considerable distancia del sistema de puesta a tierra. En algunos casos esta distancia puede ser tan grande como 1.000 metros y esto no siempre es conveniente ni posible.

Un método el cual no requiere longitudes de cables tan grandes sería el siguiente: (ver figura 2.42).

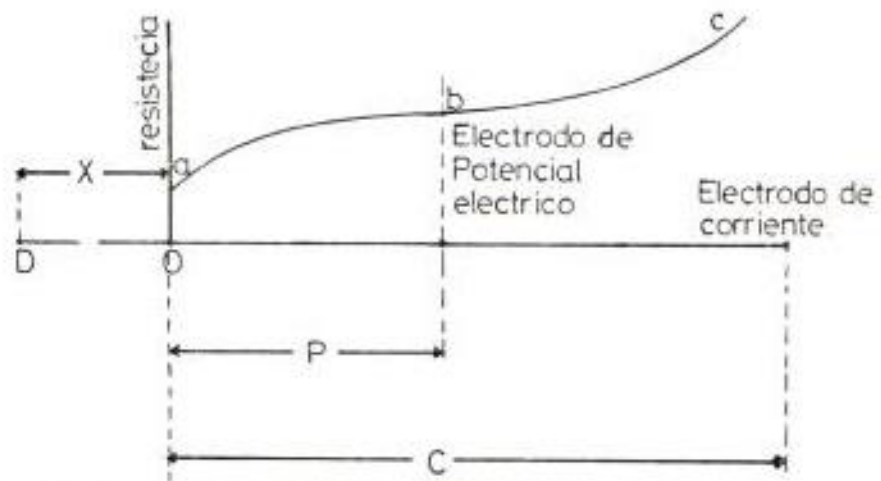
Suponiendo que todas las mediciones son realizadas desde un punto arbitrario  $O$ , la distancia  $C$  a la sonda de corriente y la distancia variable  $P$  a la sonda de potencial son medidas desde este punto. Luego puede obtenerse una curva tal como ABC, dada por la resistencia medida contra el valor de  $P$ . Suponiendo que el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra está en  $D$ , a una distancia  $X$  desde  $O$ , la verdadera distancia desde el centro eléctrico hasta la sonda de corriente es  $C + X$ , y la verdadera resistencia se obtiene cuando la sonda de potencial está a una distancia  $0,618 (C + X)$ , desde  $D$ . Esto significa que el valor de  $P$ , medido desde  $O$  es  $0,618 (C + X) - X$ .

Si  $X$  da para varios valores, los correspondientes va

lores de  $\frac{P}{X}$  pueden ser calculados y la resistencia leída de la curva. Estas resistencias pueden ser graficadas contra los valores de  $\frac{X}{C}$  en otra curva. Cuando este proceso es repetido para diferentes valores de  $\frac{C}{D}$ , y otra curva de resistencia contra  $\frac{X}{C}$  es obtenida, las dos curvas se cruzarán en el valor de la resistencia requerida. Este proceso puede ser repetido para un tercer valor de  $\frac{C}{D}$  como comprobación; estas curvas son llamadas curvas de comprobación. Es necesario aclarar que  $D$ ,  $0$  y  $C$  están en la misma línea recta.

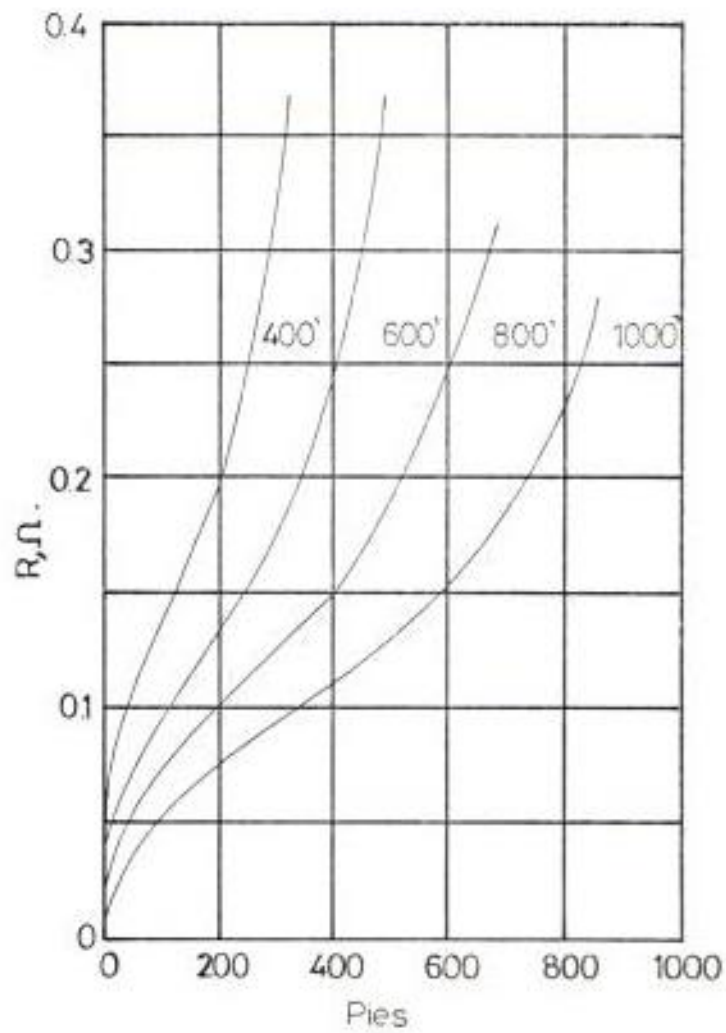
PRUEBA DE UNA SUBESTACION GRANDE: Se puede tener como ejemplo la prueba de una subestación de aproximadamente 300 pies x 250 pies y con un sistema de puesta a tierra que consiste en un gran número de varillas unidas todas por cables de cobre. La línea de prueba se la toma de la parte externa de la malla de tierra, aproximadamente en la mitad de uno de los lados y el electrodo de corriente se ubica a distancias de 400, 600, 800 y 1.000 pies del punto de referencia. Las curvas resultantes de la resistencia de tierra están dadas en la figura N<sup>o</sup> 2.43. Es razonable esperar que este valor es correcto dentro de un pequeño porcentaje de error.

La figura 2.44, muestra la intersección de las curvas



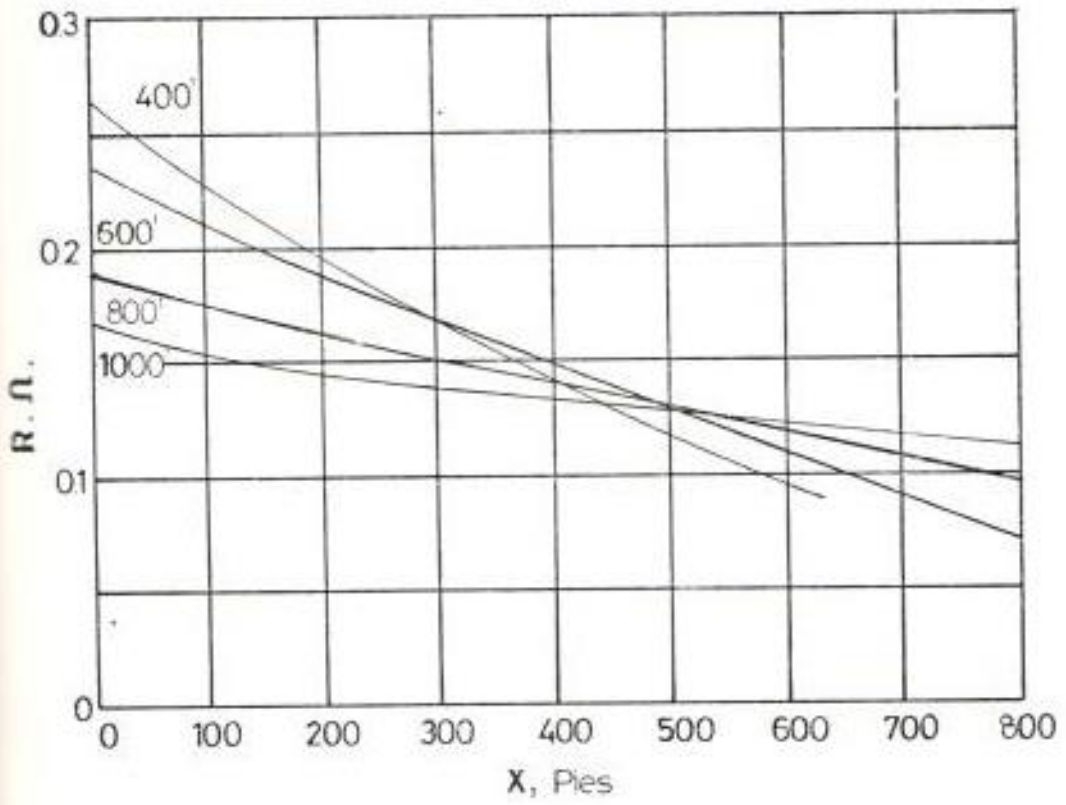
CURVA DE RESISTENCIA DE TIERRA APLICABLE A SISTEMAS DE GRAN AREA

Fig. No. 2.42



CURVAS DE RESISTENCIA PARA UNA SUBESTACION

Fig. Nº 2.43



INTERSECCION DE CURVAS PARA LA Fig N° 2.43

Fig: N° 2.44

para la figura 2.43. El centro del triángulo formado da una resistencia de tierra de 0,146 .

Existen ciertos límites para la distancia al electrodo de corriente. Si el sistema de tierra es en forma cuadrada, la distancia mínima al electrodo de tierra no debe ser menor que el lado del cuadrado. Por otro lado la distancia máxima no debe ser demasiado grande puesto que, si es así, la curva resultante sería muy plana y la intersección sería bastante indefinida. Para un sistema de tierra cuadrangular, la distancia máxima no deberá exceder a dos veces el lado del cuadrado.

Para sistemas de puesta a tierra que tengan diferentes formas geométricas, es necesario elegir los apropiados valores mínimos y máximos para la distancia al electrodo de corriente.

## 2.5. PRUEBA DE ALTA TENSION (RIGIDEZ DIELECTRICA)

### 2.5.1. Generalidades

La rigidez dieléctrica es el gradiente de potencial al cual ocurre una falla eléctrica y rotura de aisla-

miento. Para obtener la verdadera rigidez dieléctrica se debe considerar el máximo gradiente real, o la pieza y los electrodos de prueba deben ser diseñados para obtener un gradiente uniforme.

El valor obtenido para la rigidez dieléctrica en pruebas prácticas, usualmente dependería del grosor del material y del método y condiciones de prueba.

El único medio positivo para determinar el voltaje que un aislamiento puede soportar es aplicando un alto potencial hasta que ocurra la falla. Sin embargo, esta prueba es de naturaleza destructiva y por consiguiente no es recomendable hacerla a pleno voltaje de prueba al equipo en servicio.

Las pruebas de alto potencial de corriente alterna (C. A.) aplicado para determinar el estado del aislamiento son hechas en las fábricas al equipo nuevo, en el campo al equipo instalado y al reembobinado.

Estas pruebas se dividen en: (a) "Pruebas de fábrica" o se hacen al equipo nuevo o al montado totalmente en el campo; (b) "Pruebas de campo", se hacen al equipo nuevo después de instalarlo y que ha pasado la prueba de fá



brica y (c) "Pruebas periódicas o de rutina", se hacen al equipo en servicio.

La prueba de alto potencial (alto voltaje) es el único medio para obtener una positiva demostración de que la aislación de un aparato eléctrico tiene suficiente - fortaleza para resistir bien los sobrevoltajes producidos por maniobras o descargas eléctricas y continuar - proporcionando servicio útil. Sin embargo, esta prueba debería ser aplicada solamente si el equipo tiene una resistencia de aislamiento medida, a 40°C, igual a un - mínimo de 1 megaohm por cada 1.000 voltios de régimen - de placa, más 1 megaohm; esta medición debe ser realizada con un megger de 500 voltios o más de capacidad. Deben realizarse mediciones de resistencia de aislamiento antes y después de la prueba de alta tensión para detectar posibles variaciones. Esta no es una prueba de - rotura, la cual es destructiva en naturaleza y diseñada para determinar el voltaje al cual la rotura o falla - ocurriría.

La mayor área de aplicación para la prueba de Alto Voltaje es en revisión de equipos que han sido puestos fuerra de servicio para evaluación y reparación y en prueba de aceptación de equipo nuevo. Esta prueba no debe ser

efectuado en equipo vital que puede, si es dañado, interrumpir la operación de una planta.

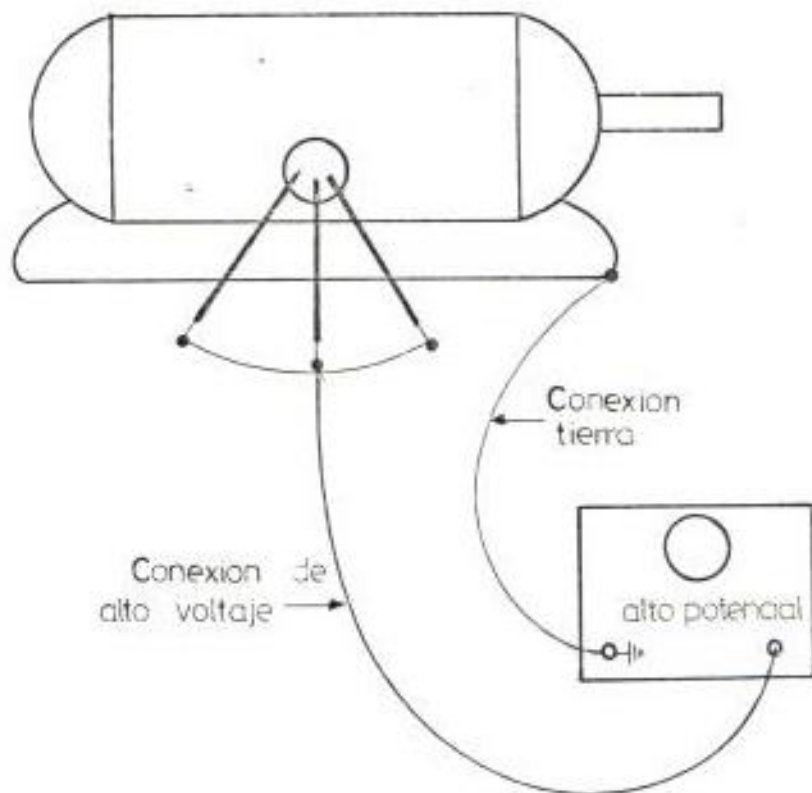
A menos que el fabricante tenga otras especificaciones, los voltajes máximos permitidos para una prueba de alta tensión no destructiva son los siguientes:  $1.5 \times (\text{voltaje de régimen de línea a línea})$ , para una prueba de voltaje alterno;  $1.7 \times 1.5 \times (\text{voltaje de régimen de línea a línea})$ , para una prueba de voltaje directo.

Cuando se hacen las conexiones para una prueba de alta tensión, todos los cables o partes vivas del aparato - deben ser conectadas al terminal de tierra. Esto se muestra en la figura 2.45.

Para un motor trifásico, 200 HP, 2.300 voltios, 60 Hz, que va a ser sometido a la prueba de alta tensión, los máximos voltajes permitidos son:

$1.5 \times 2.300 = 3.450$  voltios - Para prueba de corriente alterna.

$1.7 \times 1.5 \times 2.300 = 5.850$  voltios - Para prueba de corriente directa.



CONEXION DE PRUEBA PARA ALTO POTENCIAL

Fig. N° 2.45

Las pruebas de rutina de sobrevoltaje no deben hacerse frecuentemente, debido a que someten al aislamiento a sobretensiones que en muchos casos pueden dar lugar al deterioro de los aislamientos.

#### 2.5.2. Prueba de Alta Tensión C.A.

La prueba de Alta Tensión es generalmente usada para evaluar si un aislamiento debe entrar en servicio o no. Cuando se realiza esta prueba, el voltaje debería elevarse rápidamente al máximo voltaje permitido y debe sostenerse por un minuto. Si la falla o rotura no ocurre, el aislamiento puede ser considerado como seguro para continuar en servicio. Si existe una falla, esta es indicada por un rápido crecimiento de la corriente, por el disparo del relé de sobrecorriente, por chispas o arcos, o, en algunos equipos de pruebas, por una luz indicadora. Después de un período de un minuto, el voltaje debe ser reducido gradualmente y el equipo de prueba desenergizado. Esta reducción gradual del voltaje de prueba previene de un posible daño de la fuente de voltaje.

Aunque una prueba de Alta Tensión C.A. da información de si debe o no ponerse en servicio el equipo, esta no

indica la calidad relativa del aislamiento.

### 2.5.3. Prueba de Alta Tensión C.C.

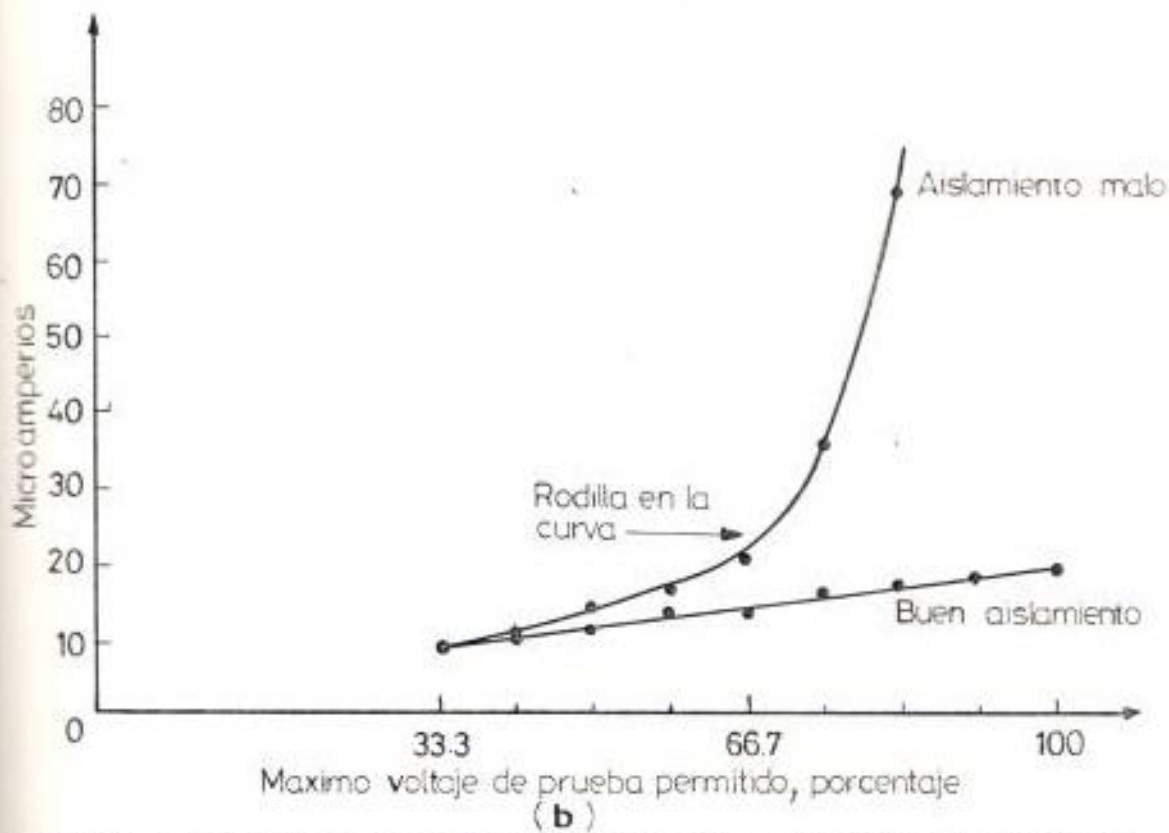
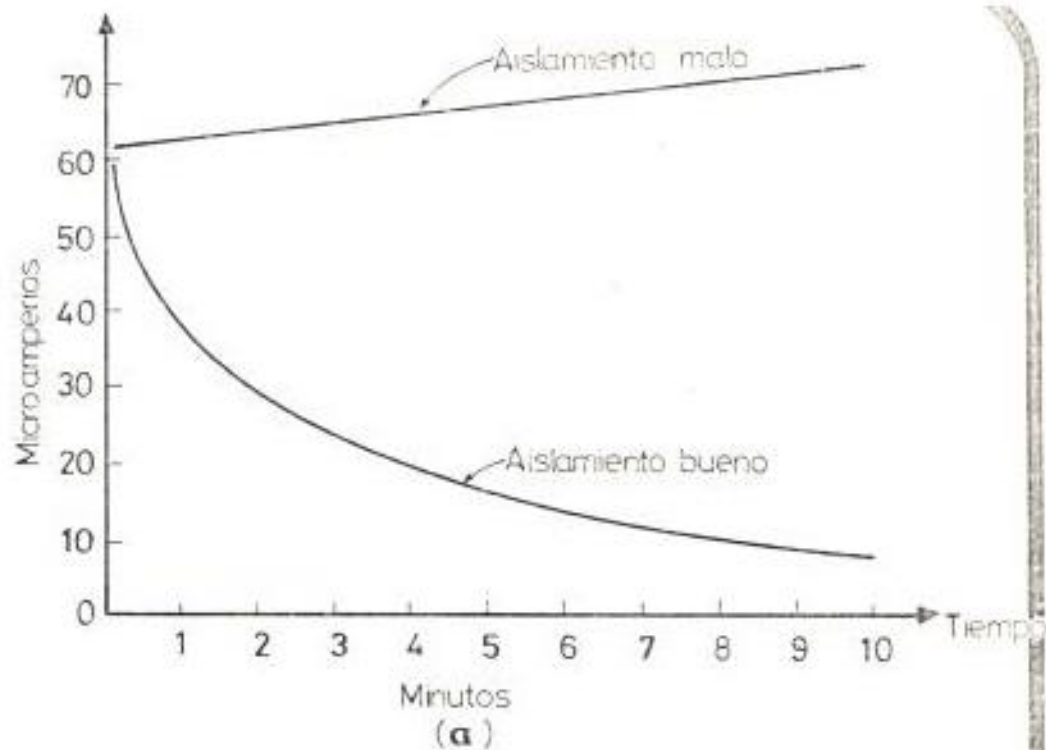
La prueba de Alta Tensión C.C. proporciona una considerable cantidad de datos útiles para la evaluación de la condición del aislamiento eléctrico. Para realizar esta prueba se recomienda aplicar un paso inicial de voltaje de aproximadamente una tercera parte del voltaje de prueba permitido y mantenerlo constante por diez minutos. Durante esta parte de la prueba la corriente debe ser graficada contra el tiempo al final de cada intervalo de tiempo de 1 segundo. La figura 2.46.a ilustra curvas corriente-tiempo representativas para los diez minutos de prueba a voltaje constante. Un buen aislamiento muestra un decrecimiento estable de la corriente de fuga con respecto al tiempo; un mal aislamiento, por otro lado, muestra una elevación en vez de un decrecimiento de la corriente de fuga. Cualquier elevación en corriente de fuga durante esta prueba es una señal para parar la prueba. El índice de polarización puede ser calculado de estos datos de prueba dividiendo la corriente de fuga después de un minuto por la obtenida después de 10 minutos.

$$I.P. = \frac{I_{\text{fuga}}(1)}{I_{\text{fuga}}(10)}$$

### I.P.: Índice de Polarización

Después de la prueba de diez minutos, el voltaje C.C. debe ser incrementado en 8 o 10 pasos uniformes, cada uno de un minuto de duración, desde el 30 % del valor hasta el máximo voltaje C.C. de prueba permitido. Cada paso de corriente y voltaje medidos durante esta parte de la prueba debe ser graficado inmediatamente después del final de cada intervalo particular de un minuto, aunque la corriente puede aún estar cambiando. La prueba debería ser suspendida a la primera indicación de una curvatura hacia arriba o rodilla en la curva. Si la curva trazada es una línea recta, se puede suponer que la rodilla aparecerá a un valor de voltaje superior al máximo de prueba. Se considera que la calidad del aislamiento es proporcional al voltaje al cual aparece la rodilla, si ésta aparece a un valor inferior al máximo voltaje de cresta de C.A. de operación del devanado, el aislamiento está en peligro de falla; si la corriente de fuga aumenta al grado de que su curva se vuelve casi vertical, el aislamiento está a punto de fallar y por consiguiente la prueba debe ser suspendida.

Una rodilla en la curva indica la necesidad de limpie-



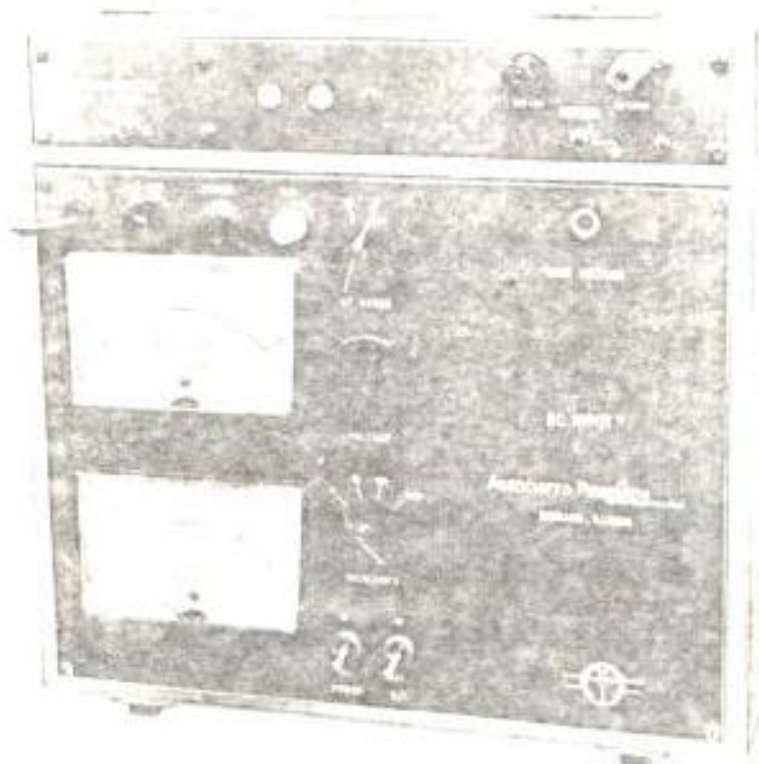
CURVAS DE PRUEBA DE ALTA TENSION C.C. a) CARACTERISTICAS CORRIENTE-TIEMPO b) CARACTERISTICAS CORRIENTE-VOLTAJE

za y secado, y si la prueba no es suspendida, la corriente de fuga puede incrementar a un valor que puede dañar el aislamiento. La figura 2.46.b, muestra las curvas de corriente - voltaje representativas de la prueba de pasos de voltaje. Una línea recta indica un buen aislamiento, mientras que una rodilla indica la necesidad de reacondicionamiento. En la figura 2.47 se muestra un equipo portátil de prueba de alta tensión C.C.

Como una medida de seguridad, cuando se use la prueba de pasos de voltaje, el relé de sobrecorriente de fuga debe ser ajustado a un valor inicial de aproximadamente cuatro veces la corriente de fuga estable obtenida cuando se aplica el 30 % del voltaje de prueba máximo permitido. Como los incrementos del voltaje de prueba causan que la corriente de fuga se aproxime al valor de disparo del relé de sobrecorriente, el valor de disparo debe ser gradualmente aumentado. Es importante que el relé no sea ajustado demasiado alto, o una falla repentina podría causar arco y daño extenso al aislamiento. En cualquier caso, la prueba debería ser suspendida cuando se observe un incremento súbito de corriente de fuga.

#### 2.5.4. Precauciones





EQUIPO DE PRUEBA DE ALTA TENSION C.C.

FIG. N° 2.47

La prueba de alto voltaje, sea esta C.A. o C.C. representa un peligro potencial para la vida y se deben seguir todas las medidas recomendadas por el fabricante o por el coordinador de pruebas. Los voltajes usados y las corrientes resultantes (aunque son sólo miliamperios) son letales. Deben usarse guantes de caucho aislante cuando se realice la prueba y los cables del aparato deben ser descargados a tierra por quince minutos o más a través de una resistencia de varios miles de ohmios con el objeto de disminuir la intensidad de la descarga, después de completada la prueba.

A tensiones de pruebas altas, por ejemplo 75.000 voltios, un apreciable voltaje remanente puede aparecer cuando el cable de tierra es removido, aunque el devanado o parte viva haya estado conectado a tierra por más de 30 minutos; este voltaje es causado por el desprendimiento de energía de las moléculas que regresan lentamente a su posición de equilibrio.

El devanado debe ser puesto a tierra durante una hora antes de la prueba para descargar la corriente capacitiva absorbida; las fases deben separarse y probarse individualmente.

Antes de entrar en servicio el equipo probado, debe -

ser puesto a tierra solidamente para eliminar totalmente la carga, de otra manera esta carga sumada al voltaje de cresta de C.A., puede producir la ruptura. También la aplicación de una carga de C.C., de polaridad opuesta, la puede producir.

#### 2.5.5. Interpretación de Resultados

Los datos que deben registrarse son los siguientes:

1. Tiempo
2. KV. de Prueba
3. Microamperios de Prueba
4. Megaohmios
5. Temperatura del devanado
6. Humedad
7. Datos del equipo probado y del equipo de prueba

Se considera que la prueba de alta tensión de C.C., es una buena indicación de la calidad del aislamiento durante el período de prueba. En la prueba, la estimación de la tensión de perforación del devanado debe ser efectuada. Generalmente es de más interés estimar los años de servicio que le quedan al devanado; esta estimación se hace comparando las pruebas hechas a un

aislamiento durante un período de tiempo. Cuando se nota que la calidad de un aislamiento ha bajado, esta puede ser recuperada limpiando y barnizando los devanados; si no se logra mejorar la calidad se debe probablemente al deterioro dentro de las ranuras, el cual puede ser considerado como permanente, siendo necesario entonces el reemplazamiento de una o más bobinas.

A veces el rebarnizado de los cabezales produce una caída en la resistencia de aislamiento al hacer la prueba a voltajes bajos e intermedios (esto puede ocurrir cuando un devanado se ha secado mucho), pero si al ser elevada la tensión, la resistencia aumenta, esto es considerado como un indicio de la buena calidad del aislamiento.

La prueba de alta tensión de C.C., indica únicamente la calidad eléctrica del aislamiento. Sin embargo - la calidad mecánica es igualmente importante y por consiguiente es necesaria la inspección del devanado.

No obstante que la prueba de C.C., da una predicción del voltaje de C.C., de perforación, la resistencia - del devanado al voltaje de C.A., es un factor determinante. El voltaje de C.C., de ruptura puede variar -

de 1,41 veces el valor del voltaje eficaz de C.A. de ruptura en un devanado con grietas a 2,5 veces en un aislamiento de mica en buen estado. Consecuentemente cualquier devanado que indica debilidad en la prueba de C.C., no debe ser probado con alta tensión de C. A.

La influencia de la temperatura sobre la corriente de fuga del devanado bajo prueba de ALTA TENSION de C.C., es similar a la influencia de la temperatura sobre las lecturas dadas por un MEGGER. Sin embargo, el factor más significativo, la posición de la rodilla o curvatura, no es apreciablemente afectado por la temperatura.

La experiencia indica que las pruebas a temperaturas bajas son más sensibles a la debilidad del devanado, por consiguiente hay menos peligro de ruptura durante las pruebas a temperatura ambiente, que a elevadas temperaturas.

Se ha encontrado también que una ligera humedad en los devanados mejora la sensibilidad de la prueba. Esto se cree que se debe a que un devanado debilitado o con áreas porosas, absorbe más rápidamente la humedad que un buen aislamiento intacto.

Esta prueba tiene algunas ventajas y desventajas que anotamos a continuación:

#### 2.5.6. Ventajas

1. Se requiere poca potencia para operar el probador.
2. El probador es bastante portátil (menos que un MEGGER pero mucho más que un probador de Alta Tensión de C.A.)
3. Aparentemente el potencial de C.C., no causa deterioro el aislamiento aún en el caso de ocurrir la ruptura, por lo tanto esta prueba es considerada practicamente no destructiva.
4. La pequeña corriente de fuga no es encubierta por la corriente capacitiva como en la prueba con C.A. Por lo tanto da una medida de la calidad del aislamiento.
5. En caso de ocurrir la ruptura, el daño es mucho menor, puesto que la capacidad del probador es pequeña.

6. Las características del aislamiento a través del - rango del voltaje de operación normal, parece que ofrecen más información sobre el aislamiento que cualquier otro método.

#### 2.5.7. Limitaciones

1. Los esfuerzos de potencial en algunos casos no son representativos de lo que ocurre en el servicio - normal, tal es el caso de los cabezales de los ge - neradores; sin embargo, esto no ha interferido en la determinación del deterioro, tanto de los cabe - zales como de las porciones de los devanados aloja - dos en las ranuras.
2. Toma más tiempo hacer la prueba con C.C., que con C.A.
3. Hay que tener cuidado para distinguir el cambio de la corriente de fuga, del cambio de la corriente - de absorción.

## 2.6. PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION DE TRANSFORMADORES DE PO - TENCIA

### 2.6.1. Generalidades

Esta prueba consiste en medir la relación de transformación entre los diferentes devanados de los transformadores de potencia para comprobar los valores indicados en la placa y calcular si las relaciones están dentro del 1 % de variación permitido.

Si el transformador tiene "TAPS", la relación debe ser determinada para todos los "TAPS" tanto como para el devanado completo.

La prueba de relación debe ser hecha al voltaje de régimen o menor y a la frecuencia de régimen o mayor.

Los transformadores que tienen capacidades de 500 WATTS o menos y que tienen una corriente de excitación de más de 10 % deben ser probados solo a voltaje y frecuencia nominal.

En el caso de transformadores trifásicos, cuando cada fase es independiente y accesible, preferentemente debe usarse voltaje monofásico; aunque cuando sea conveniente se puede usar voltaje trifásico.

Si los devanados de alto voltaje están conectados en estrella y el punto neutro es inaccesible, se aplica-



rá voltaje trifásico y se seguirá el procedimiento -  
de igual manera al descrito para transformadores mo-  
nofásicos.

## 2.6.2. Métodos de Prueba

Existen varios métodos de prueba entre los cuales po-  
demos enumerar:

### 2.6.2.1. Métodos de los Voltímetros:

Con este método deben usarse dos voltímetros  
(con transformador de potencial si es necesa  
rio), uno para leer el voltaje del devanado  
de alta tensión, el otro para el devanado de  
baja tensión. Los dos voltajes deben ser -  
leídos simultáneamente.

Deben tomarse dos grupos de lecturas con dos  
instrumentos intercambiados y calcular el -  
promedio de los dos grupos de lecturas para  
compensar los errores por instrumentos.

La relación del transformador de potencial -  
debe ser tal que produzca las mismas lecturas  
en los dos voltímetros; de otra manera la -

compensación por errores de instrumentos no sería satisfactoria, y sería necesario aplicar correcciones apropiadas para las lecturas de los voltímetros.

La prueba debe realizarse con no menos de cuatro voltajes diferentes en pasos de aproximadamente 10 % y el promedio de las relaciones resultantes se tomará como el valor verdadero. Todos estos valores deberán comprobarse que estén dentro del 1 % de variación, de otra manera las pruebas deberán repetirse con otros voltímetros.

Cuando sea necesario probar varios transformadores de igual razón de transformación, puede reducirse el trabajo aplicando la prueba descrita solamente a una unidad y luego comparando las otras unidades con esta como una referencia, de acuerdo con el método de comparación.

EQUIPO DE PRUEBA.- Los equipos necesarios son los siguientes:

1. Voltímetro A.C., 1 % de precisión o menos

escala de 0-150 V.

2. Transformador de potencial, precisión para medición, 480 V, relación 4:1.
3. Fuente de 480 V C.A.

PROCEDIMIENTO PARA TRANSFORMADORES MONOFASICOS.- El procedimiento para este caso es el siguiente:

1. Fijar el cambiador de TAP baja carga (si tiene) en neutro.
2. Conectar el transformador de potencial al "Bushing" primario.
3. Fijar el cambiador de TAP sin carga en la posición límite.
4. Aplicar 480 V C.A. al "Bushing" primario y medir el voltaje en el secundario del transformador de potencial.
5. Usando el mismo voltímetro u otro similar

medir el voltaje a través del "Bushing" secundario.

6. La relación medida será:

4 x lecturas en el transformador de potencia  
lectura en el "Bushing" secundario cial.

Estos datos deben ser registrados en la hoja de datos. Diferencias de relación de más de 1 % de la relación de placa deben reportarse al coordinador de pruebas.

7. Cambiar el cambiador de "TAP" sin carga a las siguientes posiciones y repetir los pasos 5 y 6, obteniendo relaciones para todas los "TAPS", las cuales deben registrarse en la hoja de pruebas.

Para transformadores equipados con cambiadores de "TAPS" bajo carga proceder como sigue:

8. Cambiar los "TAPS" electricamente para probar la operación del cambiador de "TAPS" y medir la relación en todas las posiciones

Registrar los datos en la hoja de pruebas.

9. Operar el mecanismo manualmente a los límites superior e inferior para probar la operación manual.

PROCEDIMIENTO PARA TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS:  
Basicamente la prueba de relación en un transformador trifásico es la misma que la desarrollada para transformadores monofásicos. Cuando es posible separar las conexiones de las fases, es mejor hacerlo y probarlas separadamente con la correspondiente fase de baja tensión.

En transformadores trifásicos  $\Delta$ - $Y$ , debe tenerse el cuidado de obtener correspondiente fase de baja tensión. El diagrama normalmente es como se muestra en la figura 2.48., pero debe consultarse con la placa.

Existen otros métodos de prueba, los cuales se nombrarán en este trabajo solo a modo de referencia. Estos métodos son:

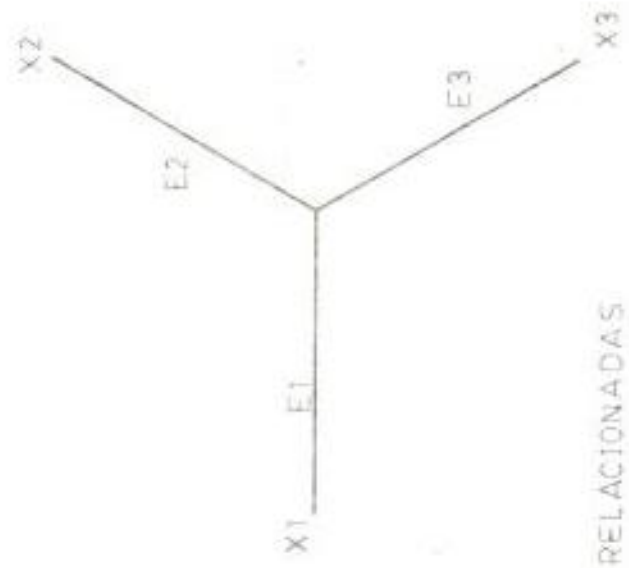
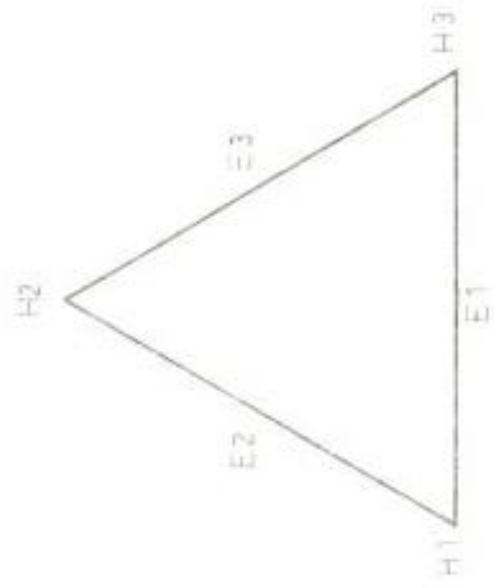


DIAGRAMA TRIFASICO Δ-Y - FASES RELACIONADAS

FIG. N° 2.4B

Diagrama de fases relacionadas Δ-Y

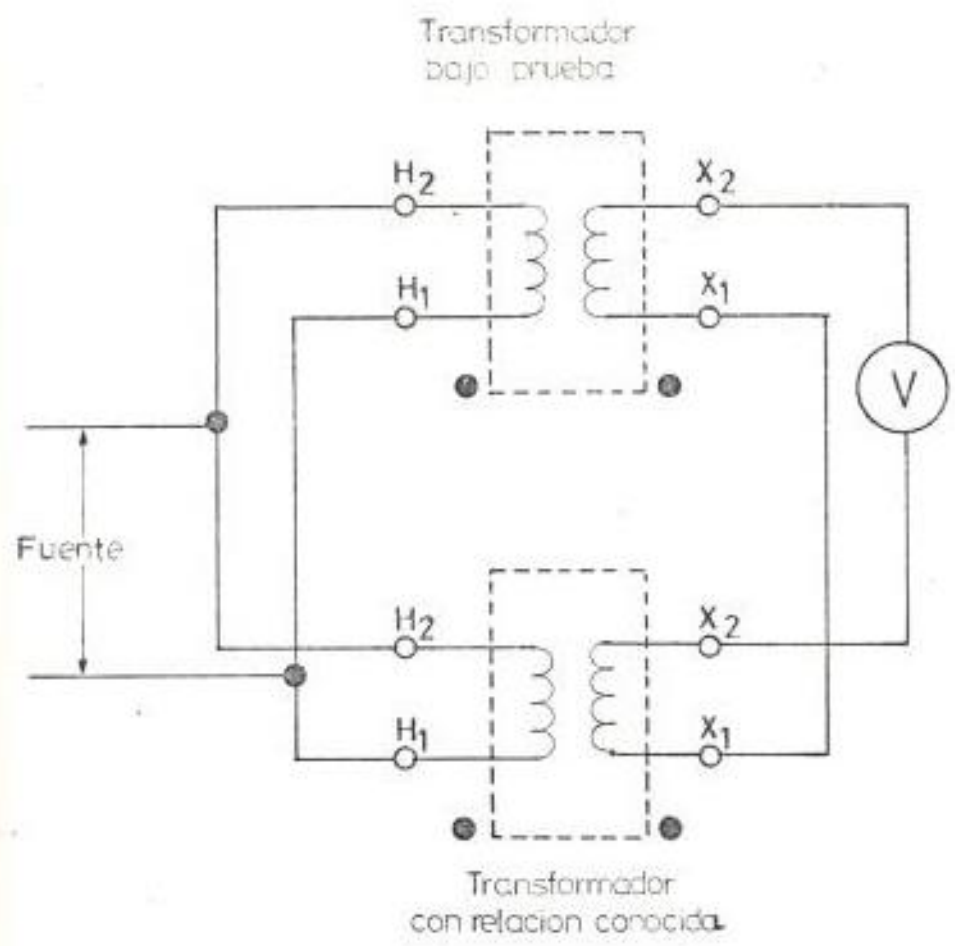
#### 2.6.2.2. Método de Comparación

Es un método apropiado para medir la relación de un transformador por comparación con un transformador de relación conocida.

El transformador que va a ser probado es exitado en paralelo con un transformador de la misma relación nominal, y los dos secundarios conectados en paralelo pero con un voltímetro o detector en la conexión entre dos terminales de similar polaridad (ver figura 2.49). El voltímetro o detector indica la diferencia de voltaje.

Como un método alternativo, el transformador a ser probado es exitado en paralelo con un transformador de relación conocida, y dos voltímetros son conectados para medir los dos voltajes secundarios (ver figura 2.50).

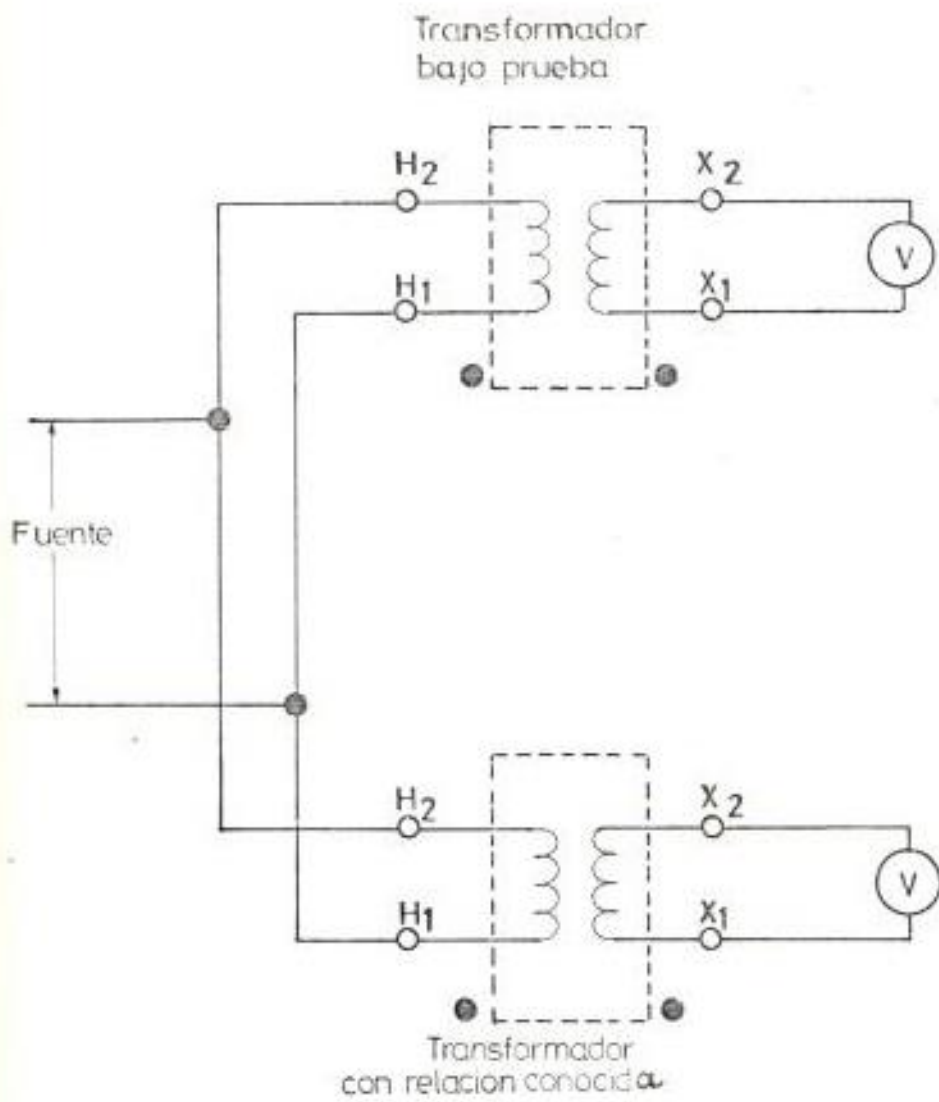
Los voltímetros deben ser intercambiados y la prueba repetida. El promedio de los resultados da el voltaje correcto. (Ver gráfi-cos 2.49 y 2.50).



ARREGLO PARA LEER LA DIFERENCIA  
ENTRE LOS DOS VOLTAJES SECUNDARIOS

Fig N° 2.49





ARREGLO DE VOLTÍMETROS PARA LEER  
LOS DOS VOLTAJES SECUNDARIOS

#### 2.6.2.3. Método Resistencia - Potenciómetro:

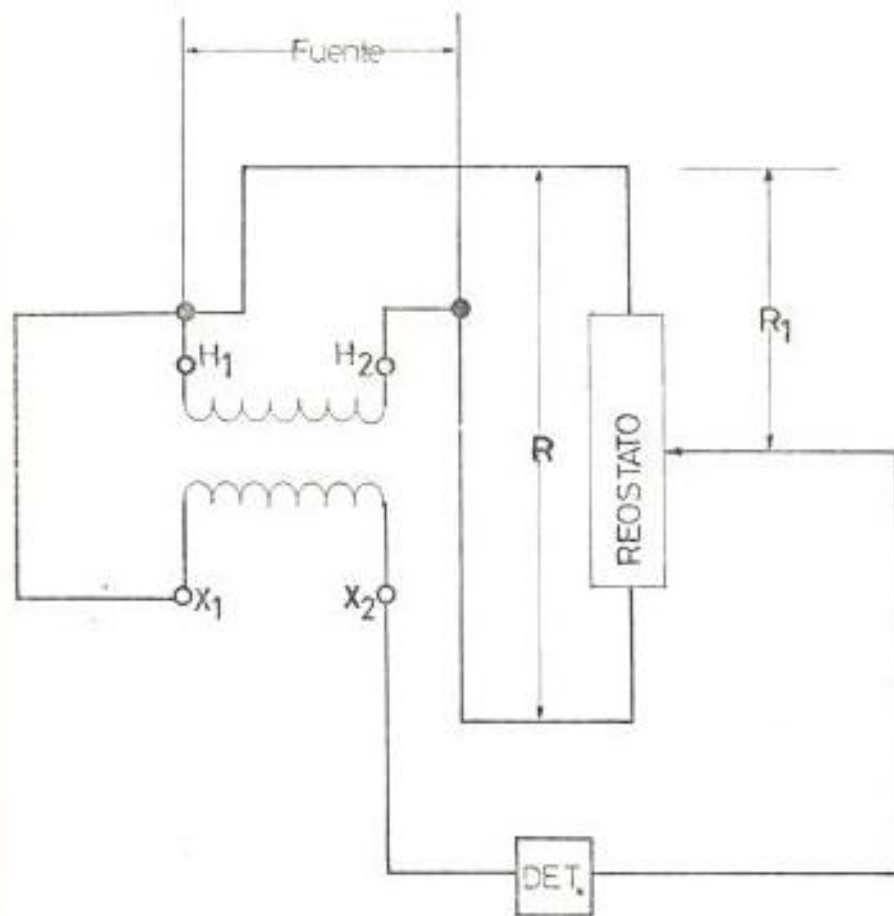
Una Resistencia-Potenciómetro teniendo un apropiado rango, preferentemente graduada - en términos de la porción derivada al total debe ser usada para determinar la relación de transformación, usando el arreglo de la figura 2.51.

El contacto deslizante es movido a lo largo del potenciómetro hasta que el detector da cero. Luego la relación de la resistencia del potenciómetro  $R/R_1$  es igual a la relación del transformador.

#### 2.6.2.4. Método con equipo T.T.R.:

El equipo de prueba T.T.R. (Transformer Turn ratio) está diseñado para hacer mediciones - de relación de transformación en autotransformadores y reguladores de voltaje, transformadores de potencia y distribución en la gran mayoría de tipos, tamaños y voltajes.

El T.T.R. no es aplicable en la medición de



PRUEBA DE RELACION DE TRANSFORMACION  
 CON POTENCIOMETRO RESISTENCIA CUANDO  
 EL BALANCE ES MOSTRADO POR EL DETEC-  
 TOR DET. LA RELACION ES  $R/R_1$

relación de transformación mayores de 130, como en el caso de transformadores de potencial, de corriente y algunos transformadores de distribución.

El T.T.R., es un instrumento práctico y preciso para analizar las condiciones de transformadores en los siguientes casos:

- Medición de relación de transformación de equipos nuevos, reparados o reembobinados.
- Identificación y verificación de terminales derivaciones (TAPS) y sus conexiones internas.
- Determinación y Comprobación de Polaridad y continuidad.
- Pruebas de rutina y detección de fallas incipientes.

También es un valioso auxiliar en los siguientes casos:

- Determinación de las condiciones reales -

del transformador después de la operación de protecciones primarias tales como: Diferencial, buchholz, fusibles de potencia, etc.

- Identificación de espiras en cortocircuito.
- En la investigación de problemas con corrientes circulantes y distribución de carga en transformadores en paralelo.
- Determinación de cantidad de espiras en bobinas de transformadores.

PRINCIPIO DE OPERACION.- El T.T.R. opera bajo el conocido principio de que cuando dos transformadores que nominalmente tienen la misma relación, se conectan en paralelo, con la más pequeña diferencia en la relación de alguno de ellos, se produce una corriente circulante entre ambos relativamente grande.

CONSTRUCCION.- El equipo T.T.R. está formado basicamente por un transformador de referencia con relación ajustable de 0 hasta 130, una

fuelle de exitación de corriente alterna, un galvanómetro detector de cero corriente y un juego de terminales de prueba, todo esto con tenido en una misma caja metálica o de fibra con un peso aproximado de 14 Kg.

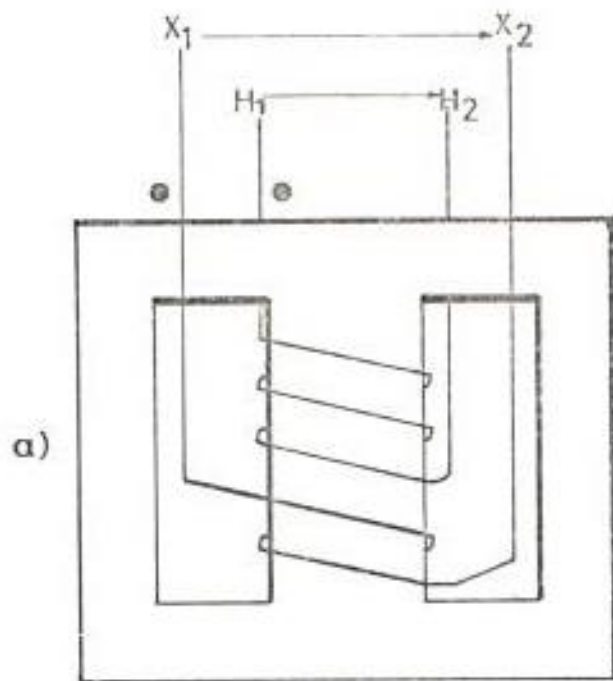
## 2.7. PRUEBA DE POLARIDAD DE TRANSFORMADORES DE PODER, DE POTENCIAL Y DE CORRIENTE.

### 2.7.1. Generalidades

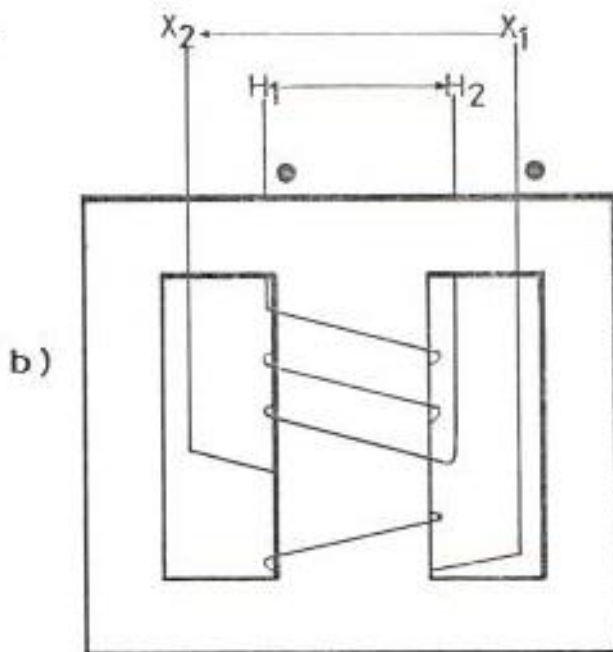
Estas pruebas son de gran importancia a causa de las co nexiones en paralelo y otro tipo de arreglos que se rea lizan con dos o más transformadores.

La polaridad de un transformador es un indicación de la dirección del flujo de corriente a través de los terminales de Alta Tensión con respecto al flujo de corriente a través de los terminales de Baja Tensión en cualquier instante dado del ciclo alterno.

En las figuras 2.52.a y 2.52.b, se muestran devanados arreglados para polaridad substractiva y polaridad adi tiva.



Polaridad substractiva



Polaridad aritiva

ARREGLO DE DEVANADOS PARA POLARIDAD  
SUBSTRACTIVA Y ADITIVA

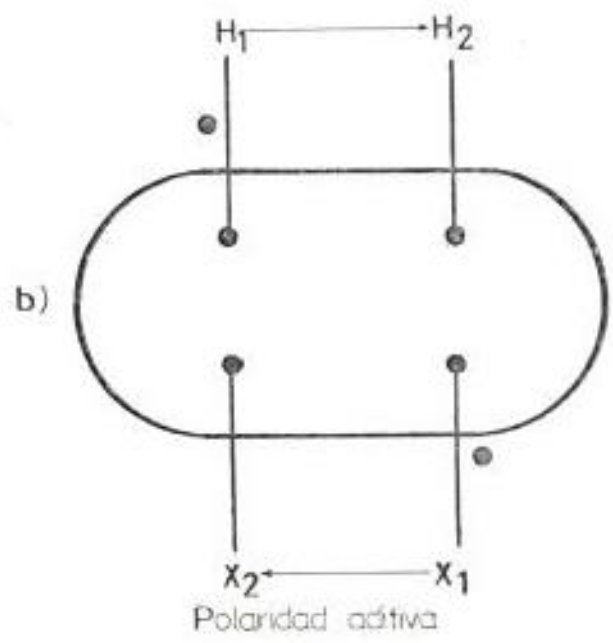
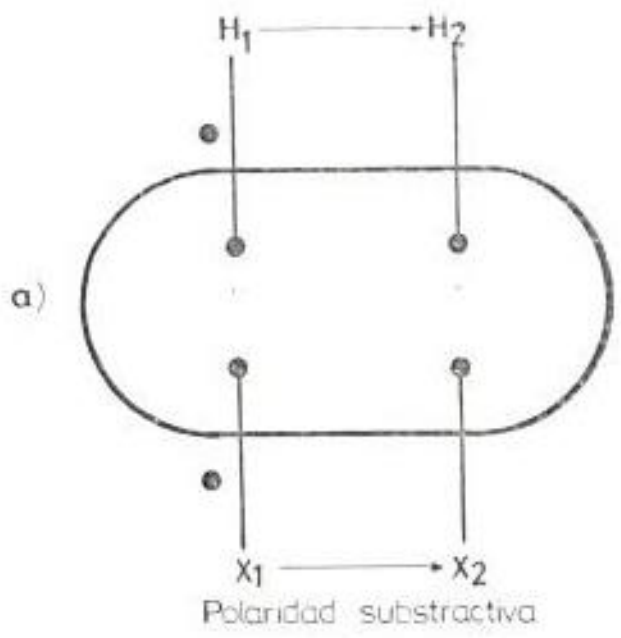
En las figuras 2.53.a y 2.53.b, se muestran terminales arreglados para polaridad substractiva y polaridad aditiva.

Transformadores con devanados arreglados para polaridad aditiva pueden tener los terminales arreglados para polaridad substractiva, por haber sido sacados sus terminales de manera impropia o equivocada.

Como una norma industrial, el terminal de alta tensión  $H_1$  es ubicado hacia la derecha del grupo de terminales de Alta Tensión, viendo desde el lado de alta tensión del equipo, y los otros terminales "H" son ubicados en orden numérico de derecha a izquierda. El terminal "Ho" de transformadores trifásicos, si está presente, es localizado a la derecha del terminal  $H_1$ , viendo desde el lado de más alta tensión del equipo.

Para transformadores monofásicos, el terminal  $X_1$  de baja tensión está a la derecha, viendo del lado de bajo voltaje del transformador, para polaridad aditiva ( $H_1$  es localizada diagonalmente con respecto a  $X_1$ ); y, el terminal  $X_1$  de bajo voltaje está a la izquierda para polaridad substractiva ( $H_1$  y  $X_1$  son adyacentes).





ARREGLO DE TERMINALES PARA POLARIDAD SUBSTRACTIVA Y ADITIVA

Fig: N° 2.53

Para transformadores trifásicos, el terminal  $X_1$  está localizado a la izquierda del grupo "X" visto desde el lado del devanado "X" del equipo. Los terminales  $X_2$  y  $X_3$  están localizados en orden numérico leyendo de izquierda a derecha cuando se ve desde el lado del devanado "X" del equipo. El terminal  $X_0$ , si esta presente, está localizado a la izquierda del terminal  $X_1$ , viendo desde el lado del devanado "X".

Por norma industrial, todo transformador de distribución monofásico de 200 KVA o menor, teniendo voltajes de 8660 voltios o menos (voltaje de devanado) tiene polaridad aditiva. Todos los demás transformadores monofásicos tienen polaridad substractiva.

### 2.7.2. Procedimientos

Los tres métodos más comunmente usados para probar la polaridad y comprobar las marcas de los terminales de transformadores monofásicos son los siguientes:

1. Comparación con un transformador de referencia con relación conocida.
2. Oposición inductiva con corriente directa.

### 3. Prueba con voltaje alterno.

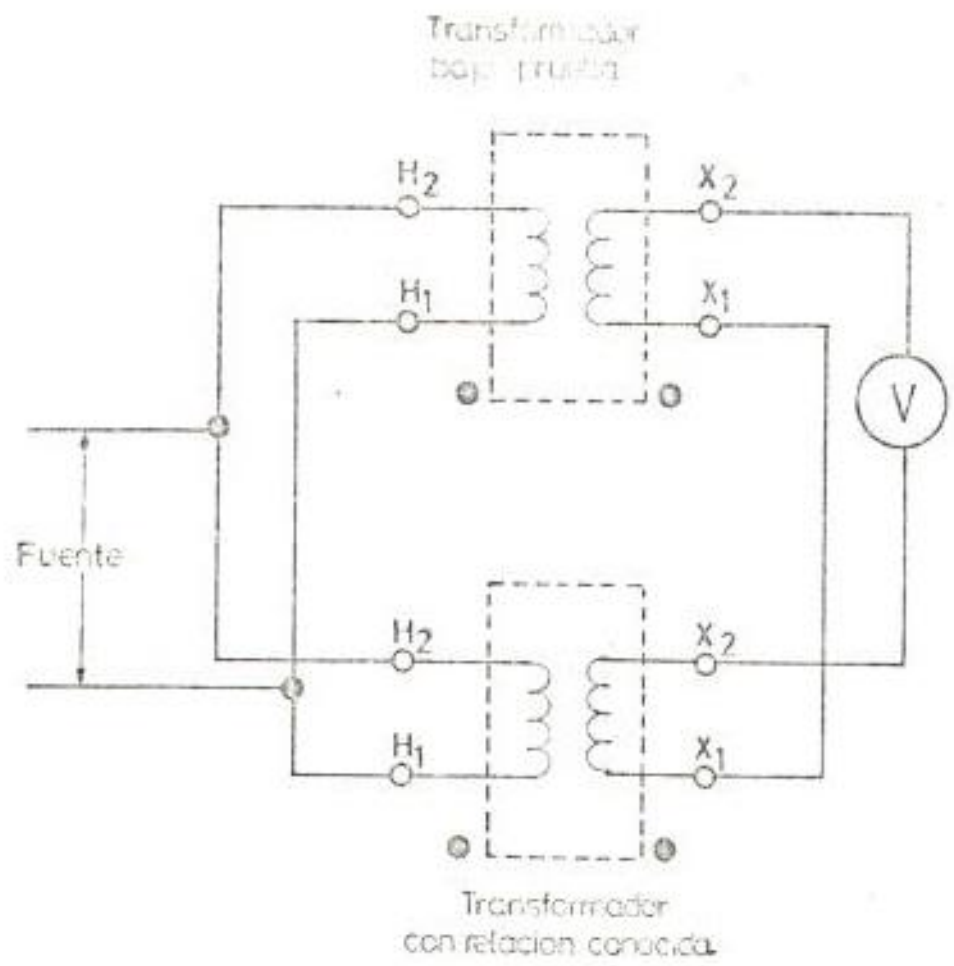
#### 2.7.2.1. Polaridad por el Método de Comparación:

Cuando se dispone de un transformador de polaridad conocida y de la misma relación que la unidad bajo prueba, la polaridad puede ser comprobada en forma similar al método de comparación de la prueba de relación de transformación. (Ver figura 2.54).

Se conectan en paralelo los devanados de Alto Voltaje de ambos transformadores, conectando juntos los terminales marcados similarmente.

Se conectan juntos también los terminales de - bajo voltaje  $X_1$  ubicados a la izquierda (viendo del lado de bajo voltaje), manteniendo libres los terminales  $X_2$  del lado derecho.

Con estas conexiones, aplicar un voltaje de - reducido valor al devanado de alto voltaje y medir el voltaje entre los dos terminales libres.



ARREGLO PARA LEER LA DIFERENCIA ENTRE LOS DOS VOLTAJES SECUNDARIOS

Fig No 2.54

Un cero o una lectura despreciable del voltímetro indicará que las polaridades relativas de ambos transformadores son idénticas.

Un método alternativo para probar la polaridad es sustituir un fusible de bajo valor o lámparas apropiadas por el voltímetro. Este procedimiento es recomendado como una medida de precaución en el primer método antes de conectar el voltímetro.

#### 2.7.2.2. Polaridad por oposición inductiva de Corriente Directa:

La polaridad de los transformadores se puede probar por este método usando una batería seca de 1.5 a 6 voltios, un voltímetro C.C., o un microamperímetro. Es necesario realizar las conexiones que se muestran en la figura 2.55.

Se conecta la batería con el interruptor al devanado de alta tensión, lo cual produce una pequeña deflexión en el instrumento. Luego se abre el interruptor rompiendo la excita-

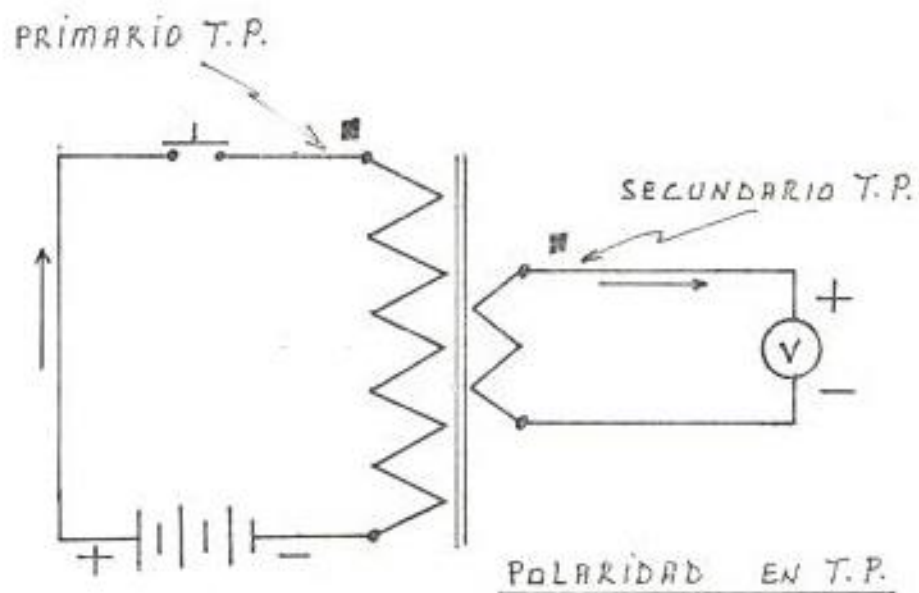
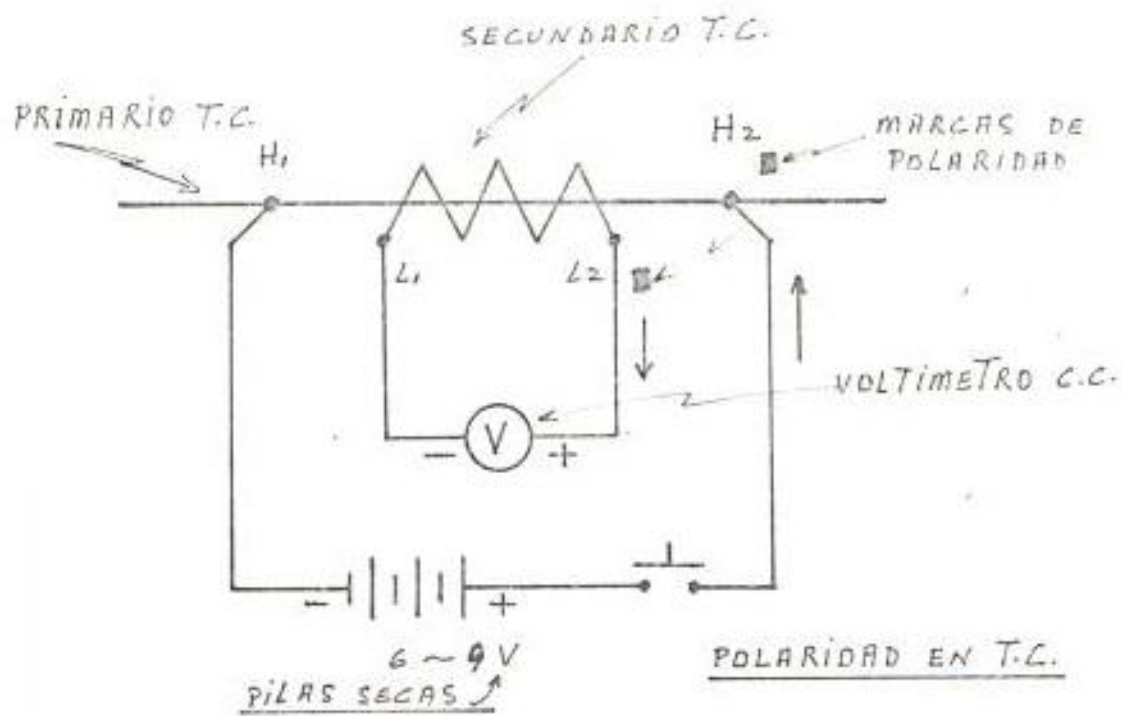


FIG. N° 2.55

ción de corriente continua e induciendo un voltaje en el devanado de baja tensión (oposición inductiva), lo cual causará una deflexión en el voltímetro o microamperímetro.

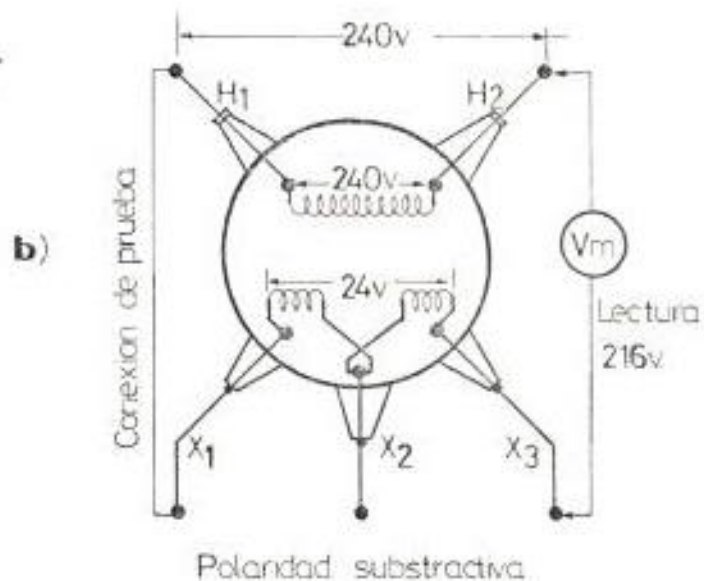
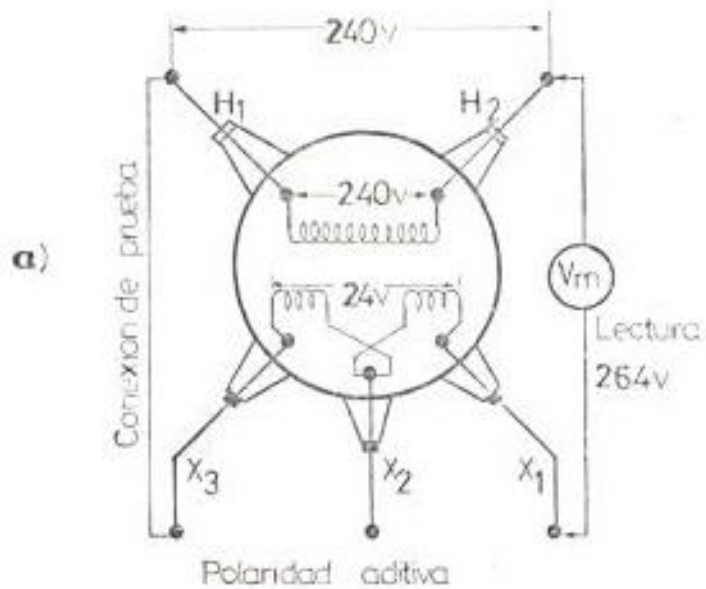
Deben tenerse en cuenta las direcciones de las corrientes en los devanados según sean las polaridades aditiva o substractiva, para conectar de tal manera que deflecte positivo con la polaridad correcta.

Este método es más comunmente usado para probar la polaridad de transformadores de potencial y de corriente, para los cuales se desarrolla de forma similar.

Generalmente los transformadores de potencial tienen polaridad substractiva.

#### 2.7.2.3. Polaridad por la prueba de voltaje alterno:

Para realizar esta prueba se conectan juntos los terminales de Alta y Baja Tensión adyacentes del lado izquierdo, mirando del lado de baja tensión del transformador(Ver figuras -



ARREGLO PARA PRUEBA DE POLARIDAD  
CON TENSION ALTERNA



2.56.a y 2.56.b.

Se aplica cualquier valor conveniente de voltaje alterno al devanado de alta tensión completo y se toman lecturas del voltaje aplicado y del voltaje entre los terminales de Alta y Baja tensión adyacentes del lado derecho.

Si la última lectura es mayor que la del valor aplicado por la fuente, la polaridad es aditiva.

Si la última lectura es menor que la del voltaje aplicado (indicando la diferencia aproximada en voltaje entre los devanados de alta y baja tensión), la polaridad es substractiva.

Este método es practicamente limitado a transformadores en los cuales la relación de transformación es 30 a 1 o menor, puesto que de otra manera la diferencia entre los dos devanados no sería muy marcada.

## 2.8. PRUEBA DE SATURACION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

### 2.8.1. Generalidades

Esta prueba consiste en graficar la curva de saturación de los transformadores de corriente para comprobar si cumple con lo especificado por el fabricante. La curva de saturación es útil para conocer los límites en los cuales la respuesta de los T.C., es lineal, y tiene especial importancia para los T.C. que forman parte de la protección diferencial de generadores y transformadores de poder, puesto que si las curvas de saturación son diferentes podrían existir diferencias de corrientes que harían actuar a los relés diferenciales.

Esta prueba considera al T.C., como un reactor. Como cualquier reactor, la corriente a través de la bobina es proporcional al voltaje aplicado hasta que el voltaje es elevado al punto donde el núcleo de hierro se satura y más allá de este punto la corriente se incrementa rápidamente con pequeños incrementos en el voltaje.

Todos los T.C. deben ser probados a la saturación y ligeramente más allá si la capacidad del equipo de prueba lo permite.

### 2.8.2. Equipo

El equipo necesario para realizar la prueba es el siguiente:

1. Un autotransformador de voltaje variable (variac), monofásico, voltaje primario 120/240, voltaje secundario 0 - 280. (Superior eléctrico Type 236).
  2. Un transformador, 1 KVA, 240/480 - 120/240 voltios. (General Electric Co., Model 9T51 Y 10).
  3. Un voltímetro C.A., Precisión 0,5 %, Rango 3 - 15 - 75 - 150 - 300 - 750 voltios (westinghouse model PA 151, Style 2918712A24).
- Es preferible un voltímetro digital de precisión para realizar lecturas fácilmente (Simpson 370).
4. Un amperímetro C.A., 0,5 % de precisión, rango 0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 2 - 5 amperios (western electromechanical Co., Model 585).
  5. Un juego de cables de prueba.

6. Una regleta para conexiones.

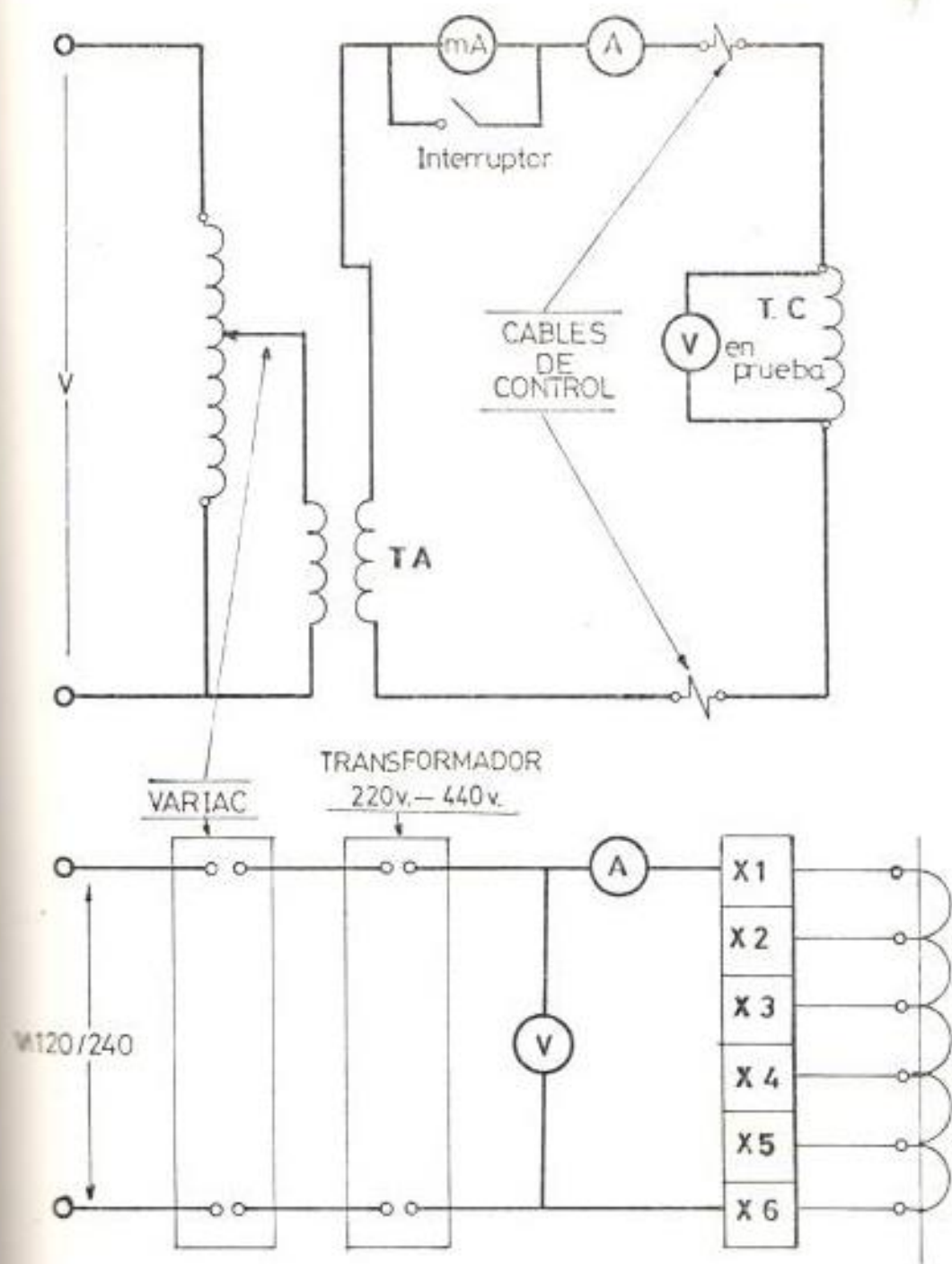
### 2.8.3. Procedimiento

- a. Aunque para probar el T.C. debe realizarse la prueba en el bloque de terminales más cercano al mismo es preferible conectar los cables de prueba al secundario del T.C. en el bloque de terminales del panel donde están ubicados los instrumentos de medición y de protecciones; de esta manera se consideran las pérdidas producidas en los cables, especialmente en los T.C. de la protección diferencial en los cuales las distancias al instrumento pueden ser muy diferentes.

Todos los cables de la regleta de prueba a los instrumentos deben ser desconectados para prevenir los altos voltajes de prueba que pueden causar daño al personal o a los equipos.

En T.C. Multitaps deben mantenerse abiertos los terminales de los TAPS que no están bajo prueba.

- b. Realizar las conexiones que se muestran en la figura 2.57.



ESQUEMA DE CONEXIONES PARA LA DETERMINACION DE LAS CURVAS DE SATURACION DE LOS T. C.

- c. Aplicar los incrementos de voltaje en pequeños pasos, especialmente en la parte de la curva en la que comienza a saturarse el T.C.

Debe medirse en cada paso el voltaje y la corriente de excitación.

Durante la prueba, si es necesario cambiar el rango de cualquiera de los instrumentos, la alimentación no debería ser removida subitamente para hacer esto. El voltaje debería ser reducido gradualmente a cero por un período de varios segundos; luego cambiar la escala del instrumento y lentamente llevar el voltaje de regreso al nivel previo, y continuar con la prueba. Una falla al hacer el cambio podría dejar algún magnetismo residual en el núcleo del T.C. y afectaría los resultados obtenidos en la prueba. Los amperímetros digitales son preferibles en esta prueba para tomar lecturas exactas sin necesidad de hacer cambio de escalas.

Es aconsejable, al mismo tiempo que se anotan los resultados en la hoja de pruebas, graficar los valores de corriente Vs. voltaje en un papel Log - Log.

d. Si el T.C. se ha saturado al alcanzar el máximo voltaje de prueba, deben reconectarse los terminales de prueba de los TAPS del T.C. que den la mitad de la relación de transformación anterior. Repetir la prueba con el mismo procedimiento anterior hasta que se alcance la saturación. Debe tenerse en cuenta de que al realizar la prueba en TAPS diferentes del devanado completo, el secundario del T.C., actúa como un autotransformador, y voltajes mayores que el aplicado aparecerán a través del devanado secundario completo del T.C. durante la prueba.

e. Luego de que el mayor voltaje de prueba ha sido alcanzado en cualquier T.C., el voltaje debe ser reducido gradualmente a cero durante un período de varios segundos para prevenir que quede magnetismo residual en el núcleo del T.C. El magnetismo residual puede causar un comportamiento - pobre del T.C., incluyendo saturación a valores bajos de corriente durante fallas.

f. Graficar los resultados en un papel Log - Log, al mismo tiempo que se realiza la prueba. El gráfico debería ser una línea recta mientras el

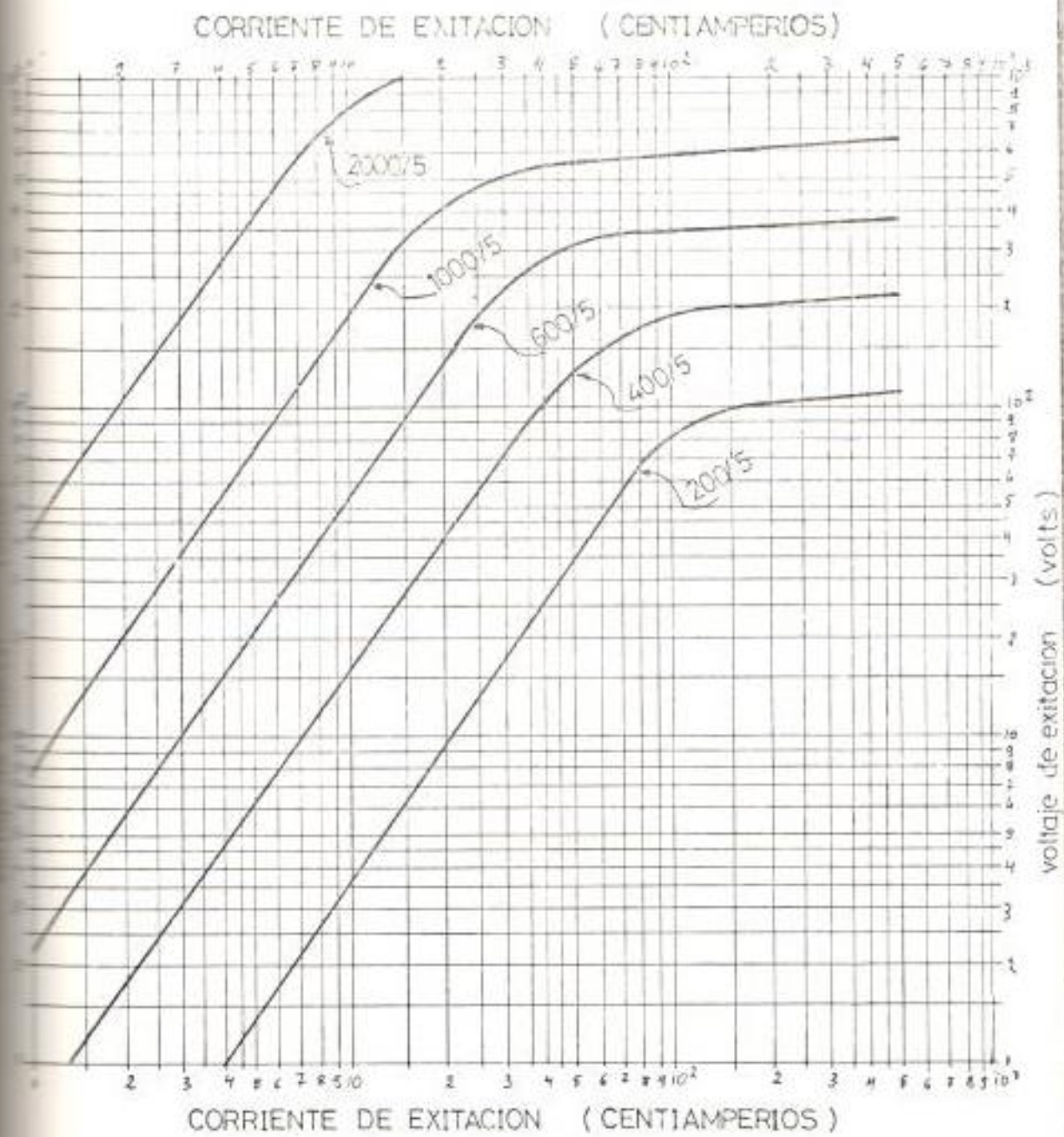
T.C., no se sature. La rodilla de la curva de saturación es el área de mayor interés, por lo que deben graficarse más puntos tomando lecturas en pasos más cercanos.

- g. Comparar los resultados con las curvas de las pruebas de fábrica. En la figura 2.58, se muestra un grupo típico de curvas de saturación.
- h. Si un T.C., se satura a un voltaje menor que el normal significa que está defectuoso. Elevar el voltaje para llevar al T.C., más allá de la curva de la saturación y luego reducir gradualmente el voltaje a cero para remover cualquier magnetismo residual el cual podría estar presente. Probar el T.C., otra vez, si la prueba aún resulta mala, éste debería ser reemplazado.

#### 2.8.4. Evaluación y Recomendaciones

Bajo la rodilla de la curva de saturación, un T.C. en condición satisfactoria tendría una corriente de excitación no mayor que 1,5 veces el valor mostrado por la curva publicada por el fabricante, a cualquier voltaje dado. Arriba de la rodilla de





CURVAS DE SATURACION TIPICAS DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE MULTIRANGO -PRECISION ASA-10L 800

la curva, el voltaje no debería ser menor que 0,95 veces el valor de la curva a cualquier corriente.

La primera condición asegura que la corriente de exitación aparente no es excesiva; la segunda condición asegura que el T.C., no satura (o se produce rotura de aislamiento) a un voltaje demasiado bajo.

Si la corriente en el T.C., es mayor que la corriente normal de exitación a un voltaje dado, buscar - trayectorias conductoras extrañas alrededor del núcleo del T.C. El problema puede ser causado por conexiones a tierra en ambos lados del primario del T.C., permitiendo la circulación de corriente en el primario. También es posible que T.C., montados en "Bushings" estén instalados impropiamente, permitiendo a la corriente circular a través de una trayectoria metálica alrededor del núcleo del T.C.

Debe tenerse presente que cuando se usa un T.C., en cualquiera de sus TAPS, los terminales de los demás TAPS, deben mantenerse abiertos y no cortocircuitados ya que los terminales de un T.C. deben cortocircuitarse para prevenir altos voltajes secundarios, solamente cuando este no se usa.

Cuando la prueba esté terminada, asegurarse de reconectar todos los terminales desconectados. Para prevenir errores al reconectar es aconsejable numerar y codificar previamente los cables y sus respectivos terminales.

## 2.9. PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTO DE SECCIONADORES Y DISYUNTORES.

### 2.9.1. Generalidades

Esta prueba consiste en medir la resistencia de contacto que se presenta en las uniones de los cables de poder a los terminales de los seccionadores y disyuntores, y en los contactos mismos de estos equipos.

Esta medición es importante puesto que con ella se detecta conexiones flojas, suciedad o mal acoplamiento de los contactos, lo cual produce una alta resistencia al paso de la corriente y por lo tanto calentamiento y pérdidas.

Es aconsejable realizar esta prueba en seccionadores y disyuntores para comprobar si cumplen con los va

lores de resistencia de contacto especificados por el fabricante para los contactos móviles. Además, durante la operación del equipo, el arco producido - en el cierre y apertura daña la superficie de contacto lo cual aumenta la resistencia.

Los valores permitidos de resistencia de contacto son alrededor de 200 microohmios. Estos valores deben - comprobarse en forma rutinaria después de la puesta en servicio de los equipos, para comprobar conexiones flojas o sucias y contactos dañados por el arco eléctrico.

#### 2.9.2. Equipo

El equipo apropiado para realizar esta prueba, debe tener capacidad para medir microohmios y ser de mucha precisión. En este caso se puede usar el DLRO - Digital Low Resistance Ohmmeter (James G. Riddle Co.), en el cual su mínimo rango es de 0.000 - 1.999 mΩ.

Este equipo es alimentado por baterías secas de niquel - cadmio recargables o directamente con corriente alterna por medio de un rectificador.

Los cables y terminales de prueba son de baja resistencia de un valor de 0.02 cada uno, aunque terminales de otra resistencia no afectan a la precisión del instrumento pero causarán que la corriente de prueba sea diferente. Las lecturas son independientes de las variaciones de la corriente de prueba causada por cambios en el voltaje de la batería, o por diferentes resistencias de los terminales de prueba.

### 2.9.3. Procedimiento

El procedimiento para realizar estas pruebas es muy sencillo, pero debe tenerse en cuenta la precaución de no conectar el instrumento a circuitos energizados.

La escala del instrumento se fija en el rango más cercano a la medida que se espera, y los terminales de prueba se aplican a uno y otro lado de los contactos o uniones a los cuales se desea medir la resistencia de contacto.

Es aconsejable intercambiar los terminales de prueba para tomar mediciones con ambas polaridades del voltaje aplicado y de esta manera tener un promedio. El

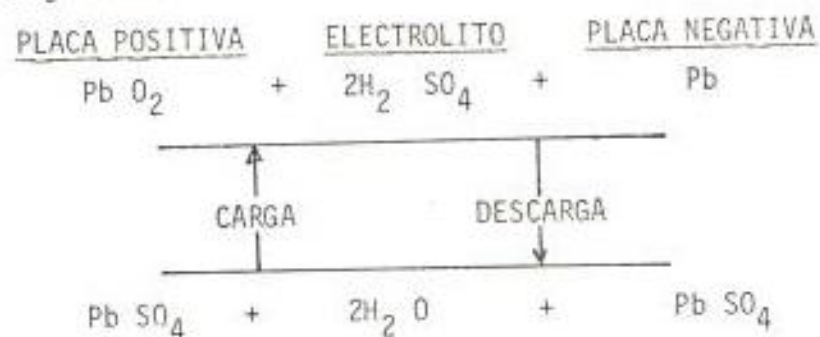
instrumento antes mencionado tiene un interruptor que cambia la polaridad sin necesidad de mover los terminales de prueba.

Si las lecturas salen elevadas, se debe proceder a limpiar las superficies de contacto, apretar conexiones y operar los contactos móviles varias veces; luego repetir las mediciones para comprobar si los valores bajan.

## 2.10. PRUEBA DE BATERIAS TIPO PLOMO - ACIDO

### 2.10.1. Generalidades

Un acumulador eléctrico es un dispositivo capaz de transformar energía química en energía eléctrica y viceversa, en reacciones casi completamente reversibles. El principal proceso químico reversible es el siguiente:



La tensión de un elemento plomo - ácido completamente cargado es de 2.04 a 2.12 Voltios, de acuerdo a las características del fabricante y a la densidad del electrolito.

La capacidad nominal se indica en amperios - hora y es la cantidad de electricidad, corregida a la temperatura de referencia (25°C), suministrada por el acumulador en determinado régimen de descarga, hasta alcanzar la tensión final de descarga.

El rendimiento es la relación entre el número de amperios - hora retirados en la descarga y el número de amperios - hora necesarios para una descarga completa, su valor medio en baterías de buena calidad es de 85 %.

El electrolito es una solución acuosa de ácido sulfúrico con densidad de 1.210 a 1.215 para los elementos cargados.

El ácido sulfúrico debe tener el siguiente grado de calidad como mínimo:

DENSIDAD:	66 Be/1,835
ACIDO SULFURICO:	99,19 %
HIERRO:	90 mg/lit.
COLORO:	20 mg/lit.
NITRATOS, NITRITOS,	
AMONIO:	90 mg/lit.
MANGANESO:	Exento

El agua debe ser destilada o desmineralizada con una resistencia eléctrica mayor a 10 ohmios x centímetros.

#### 2.10.2. Llenado de la Bateria

Generalmente las baterías para bancos de gran capacidad llegan en estado seco - cargado, por lo que el proceso de llenado se ejecuta en obra.

Antes de autorizar cualquier actividad, la persona responsable deberá comprobar que se han cumplido todas y cada una de las normas de seguridad, y que se encuentran disponibles y cercanos los elementos de protección, control y medida que sean necesarios, como:

- Guantes de caucho para el personal.



- Mandil de caucho con pechera.
- Gafas protectoras de salpicaduras.
- Agua de lavado.
- Bicarbonato de Sodio.
- Extracción de aire adecuado.
- Termómetro de alcohol con escala de 0° a 50°.
- Pipeta.
- Densímetro con escala 1.030 a 1.230 g/cm<sup>3</sup>.

Antes de llenar la batería debe comprobarse que el electrolito esté a una temperatura comprendida entre 10° y 30°C, y que su densidad sea la recomendada por el fabricante, corregida a la temperatura de referencia (generalmente es de 1.210 g/cm<sup>3</sup> a 25°C).

El electrolito se coloca dentro de las baterías lentamente hasta la línea de nivel máximo.

Cuando las baterías han estado almacenadas secas durante mucho tiempo, durante el proceso de llenado - puede haber un aumento de la temperatura del electrolito debido a la reacción entre el óxido de plomo, proveniente de la oxidación parcial de la placa negativa y el ácido sulfúrico. En este caso el electrolito deberá colocarse a la temperatura más baja posi

ble dentro de los límites de 10° y 30°C indicados, y las celdas deben ser enfriadas colocando cubos de hielo alrededor del vaso, por medio de agua corriente, ventiladores, o cualquier otro proceso, de manera de evitar que la temperatura exceda los 45°C.

Después de que los elementos estén llenos, la batería debe quedar en reposo durante 6 a 10 horas, para permitir el desprendimiento de burbújas, y que las placas, absorban el electrolito. Pasado este tiempo deben revisarse los niveles y rellenar con electrolito, si fuera necesario.

### 2.10.3. Carga Inicial, Ciclos y Pruebas

Después de colocado el electrolito, la batería alcanza aproximadamente el 80 % de su carga nominal, y en caso de ser necesario se podría poner en servicio inmediatamente después de normalizada la temperatura.

Para alcanzar el 100 % de la capacidad y para los efectos de las pruebas, es necesario someter las baterías a un ciclo de procesos de descarga - carga.

#### 2.10.3.1. Descarga Inicial:

La primera descarga se debe iniciar a lo me-  
nos 12 horas después de terminar el llenado,  
comprobando en todo caso que el aumento de  
temperatura de los elementos es menor de 10°  
C, respecto a la temperatura ambiente. La  
intensidad de corriente de esta descarga de-  
be ser la mitad del valor recomendado por  
el fabricante como "corriente de 10 horas".  
Debe controlarse cuidadosamente el voltaje  
de cada una de las celdas y el proceso ter-  
mina cuando se llegue a 1,75 voltios. Si  
por cualquier razón en una celda se llega  
a 1,70 voltios, el proceso se debe suspen-  
der de inmediato. Controlar y anotar el -  
tiempo necesario para llegar a la tensión  
de descarga de 1,75 voltios.

#### 2.10.3.2. Carga Inicial:

El proceso de carga puede hacerse por cual-  
quiera de los dos métodos:

a) Corriente Constante - Tensión creciente.

b) Tensión Constante - Corriente decreciente.

El método a usarse depende de las características del equipo de carga disponible.

a) Método de Carga con corriente constante.-

La corriente de carga debe ser la indicada por el fabricante como "corriente de 10 horas" (0.1 de la capacidad nominal). Si el cargador disponible no permite llegar a este valor, se debe ocupar el mayor valor posible, el que en ningún caso debe ser inferior a la mitad de la "corriente de 10 horas".

Durante la carga se forman gases explosivos, por lo que se debe contar con buena extracción, y evitar la posibilidad de llamas, objetos incandescentes o chispas en las proximidades del banco de baterías.

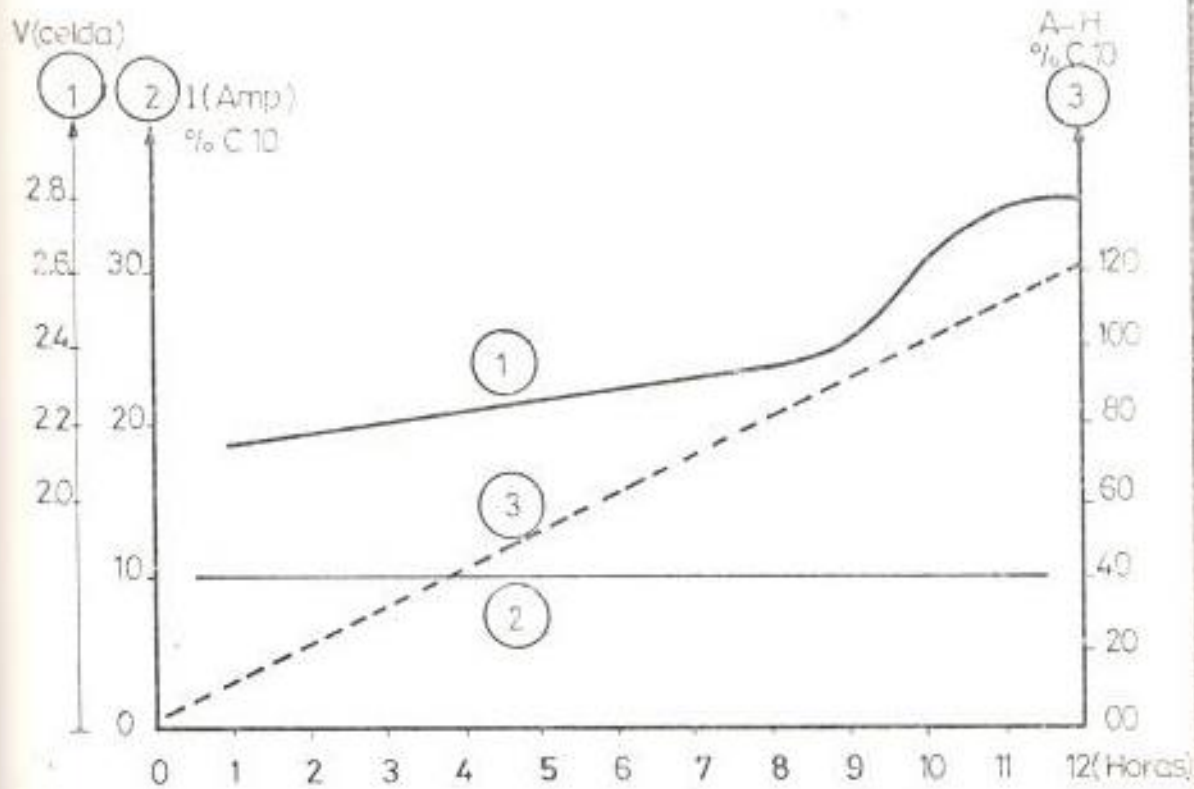
Durante la carga debe controlarse la temperatura de los elementos, la que en

ningún caso debe ser mayor de 45°C. Si aumentáse a más de ese valor, se debe disminuir la corriente o interrumpir el proceso de carga hasta que la temperatura baje, nuevamente.

En la carga inicial es necesario reponer aproximadamente 150 a 200 % de la capacidad nominal en amperios - hora, por lo que con un régimen de carga de "corriente de 10 horas" significa un tiempo eficaz de carga de 15 a 20 horas.

Si la corriente de carga fuera menor que la "corriente de 10 horas" porque el cargador no tiene la capacidad suficiente, o porque la corriente fue reducida por causa de la elevación de temperatura en los elementos, el tiempo de carga debe aumentarse proporcionalmente.

La curva típica de carga con el método de corriente constante es la que se indica en la figura 2.59.



METODO DE CARGAR CON CORRIENTE CONSTANTE

b) Método de carga con tensión constante.-

Los cargadores para este tipo de carga generalmente tienen limitación de corriente, por lo que la corriente inicial debe limitarse a:  $I = (0,1 \text{ a } 0,2) \times C_{10} \text{ A}$ , en que  $C_{10}$  es la capacidad de la batería para 10 horas de descarga.

Pasado este período inicial se ajusta la tensión del cargador al valor máximo permitido, generalmente 2,35 a 2,40 voltios por celda, cargándose la batería por un período aproximado al que se indica en la tabla siguiente:

<u>TENSION DE CARGA</u> V/ ELEMENTO	<u>TIEMPO DE CARGA (HORAS)</u>	
	$I=0,1 \times C_{10}$	$I=0,2 \times C_{10}$
2.30	60 - 80	25 - 35
2.35	45 - 60	20 - 30
2.40	25 - 30	17 - 20
2.50	15 - 18	10 - 12

Para la primera carga se recomienda duplicar los tiempos normales de carga indicados en la tabla.

Como en el caso del método de carga con -

corriente constante, en este método debe - también cuidarse de que la temperatura de los elementos no sea mayor de 45°C, y en el caso de que fuera necesario disminuir la co rriente de carga o interrumpir el proceso - para reducir la temperatura, el tiempo debe rá prolongarse proporcionalmente.

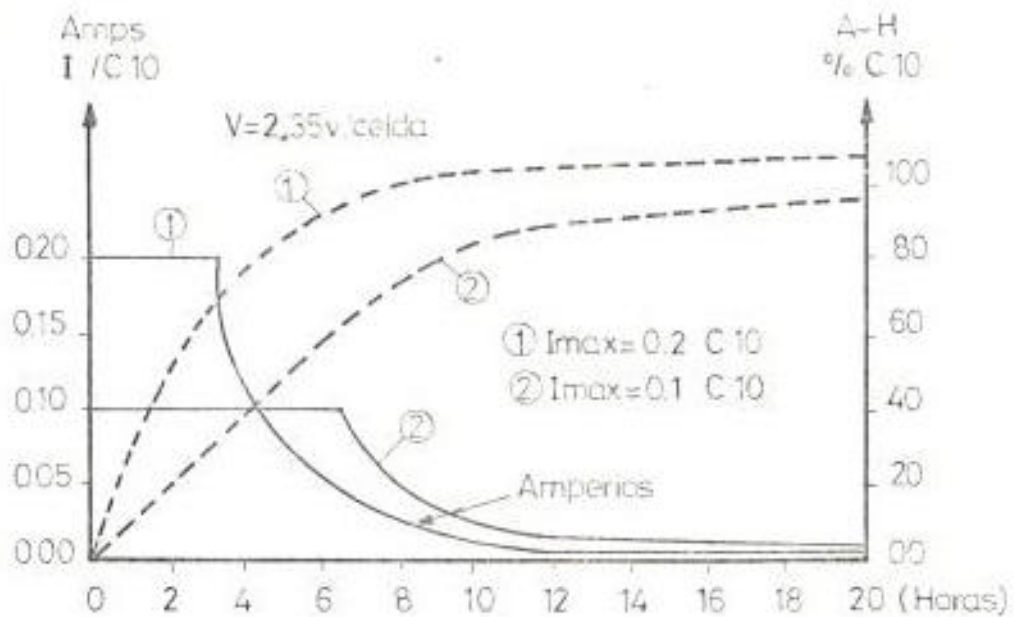
Las curvas típicas para carga con tensión - constante a 2,35 voltios y 2,40 voltios por elemento se muestran en las figuras 2.60 y 2.61.

#### 2.10.3.3. Ciclos de Descarga:

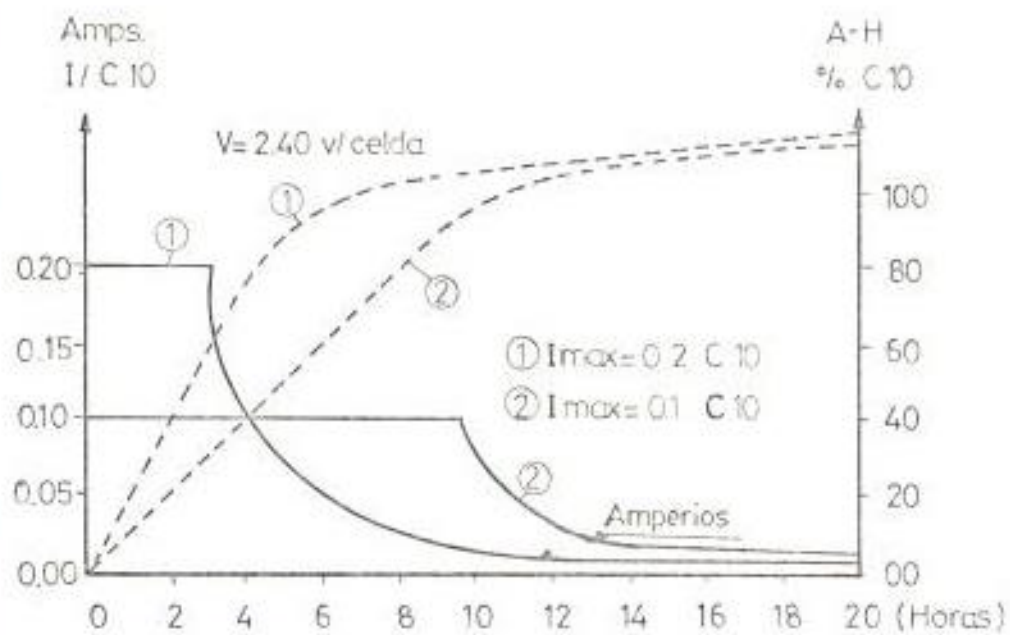
Para obtener el 100% de la capacidad de car ga de la batería antes de su puesta en ser vicio definitiva es necesario someterla a ciclos de carga y descarga. Generalmente la capacidad nominal se obtiene después de 3 a 5 ciclos.

Las descargas deben hacerse con "corriente - de 10 horas" o con la mitad de ese valor, y debe prolongarse hasta que la tensión final sea 1,75 voltios por elemento. Debe medirse la corriente y el voltaje cada una hora. El





CURVAS TÍPICAS PARA CARGA CON TENSION  
CONSTANTE A 2.35 V/celda



**CURVAS TIPICAS PARA CARGA CON TENSION  
CONSTANTE A 2.40 V/celda**

proceso debe suspenderse si cualquiera de los elementos llega a 1,70 voltios.

Los procesos de carga deben ejecutarse por cualquiera de los métodos indicados anteriormente.

#### 2.10.4. Pruebas de Capacidad de las Baterías

##### 2.10.4.1. Antecedentes:

Antes de realizar las pruebas se deben tener en cuenta y registrar los siguientes puntos:

##### a) Características del Banco:

- Capacidad en amperios - hora
- Densidad nominal del electrolito
- Número de Celdas
- Volumen de electrolito por celda
- Tensión nominal del Banco
- Curvas de descarga voltaje-tiempo- co  
rriente.

##### b) Características del Cargador:

- Tipo estático o rotatorio
- Regulación sin carga y a plena carga
- Capacidad
- Ajuste de tensión de flotación e igualación
- Ajuste del limitador de corriente.

c) Características de Operación:

- Lecturas de densidades y voltajes por celda en la puesta en servicio.
- Lecturas de densidades y voltajes por celda en los últimos 6 meses (Bancos en operación).
- Lectura de temperatura de las celdas.
- Cantidad de agua agregada por celda en los últimos 6 meses (Bancos en operación).
- Tiempo de operación.
- Tensión de flotación en terminales del banco.
- Corriente normal de salida del cargador.

d) Estado Físico del Banco:

- Limpieza de estante, jarras y tapas.
- Sedimentación en las celdas.
- Coloración de las placas.
- Estado de las placas de las celdas.
- Niveles del electrolito.
- Apriete de conexiones.
- Gasificación de las celdas.

e) Carga conectada a la barra en amperios, disponible para efectuar las pruebas:

- Carga de los motores de corriente directa.
- Carga de convertidores o inversores C. C. a C.A.
- Carga normal de señalización y control.

f) Celdas y bancos de reserva:

- Número de celdas de repuesto disponibles en bodega y su estado.
- Número de bancos iguales en la estación (subestación o control).
- Existencia de medios para enlazar los bancos de baterías de igual voltaje.

g) Equipo necesario para realizar las pruebas:

- Voltímetro de precisión de C.C. con escalas de 3,15,30,150 y 300 voltios, con error de 1 % a plena escala.
- Hidrómetro fijo en celda piloto con escala de 1.170 a 1.230 puntos de densidad (gravedad específica). Se recomienda con divisiones de 2.5 puntos.
- Cuatro hidrómetros portátiles con escala de 1.100 a 1.300 puntos de densidad.
- Cuatro termómetros para montaje fijo - con escala de 0°C a 50°C, de preferen-  
cia con escala de corrección de densi-  
dad.
- Juego de llaves para terminales recu-  
biertas con resina epóxica (para evi  
tar cortos en su manejo).
- Juego de cuatro cables flexibles con  
terminales de "caiman", para cortocir  
cuitar o eliminar una celda, calibre -  
Nº 2 AWG mínimo.
- Un amperímetro de gancho para C.C. con  
escalas de 0 - 10, 0 - 100, 0 - 200,

0 - 500 amperios aproximadamente o milivoltímetro, dependiendo de la corriente de descarga, de 3 % de error.

h) Equipo de Seguridad:

- Cuatro delantales de hule negro antiácido para laboratorio, para uso de los operadores.
- Cuatro pares de guantes de hule antiácido, lentes y botas.
- Tres kilogramos de bicarbonato de sodio para neutralizar el ácido (en solución de 1/2 kilogramo en 4 litros de agua).
- Regadera próxima al banco o en su defecto llave de agua corriente.

2.10.4.2. Procedimientos:

Lo más difícil que se presenta para efectuar las pruebas de capacidad, es conseguir las resistencias adecuadas para descargar al régimen de corriente y voltaje del banco. En bancos de grandes regímenes de corriente se utilizan resistencias hidráulicas. Para -

efectuar las pruebas en la propia sub-estación es necesario contar con grandes resistencias variables para mantener una descarga de corriente constante y con sistemas de ventilación para evitar el calentamiento.

Las pruebas de capacidad de un banco de baterías consisten en descargar las celdas para verificar realmente su capacidad en amperios - horas.

Se proponen tres tipos de pruebas:

1. PRUEBA DE CAPACIDAD TOTAL: Esta prueba se realiza a bancos nuevos que entran en servicio, para fines de aceptación o a bancos de baterías de varios años en servicio los cuales al efectuarles las pruebas de "capacidad estimada" o "de capacidad actual", se encuentran resultados dudosos. Consiste en darle al banco de baterías, una carga de igualación, tomar mediciones (servirán de referencia para futuras comparaciones) y, aplicarle una descarga a régimen de tres horas hasta -



su mínima tensión permitida de 1,75 voltios por celda. Calcular su capacidad y llevar al banco a sus condiciones iniciales aplicándose una carga de igualación a 2,33 voltios por celda (V.P.C.) y dejarlo en flotación en servicio.

PROCEDIMIENTO: Al banco de baterías debe dársele una carga de igualación completa de tres días a una semana antes de efectuar la prueba de capacidad total.

Registrar densidades, temperaturas y voltajes de cada celda y el voltaje en terminales del banco.

Verificar que todas las conexiones interceldas y terminales estén limpias, firmes y libres de corrosión.

La duración de la prueba dependerá del tiempo en que se alcance el valor de voltaje mínimo o sea para bancos de baterías plomo - ácido 1,75 por el número de celdas. La corriente de descarga se fijará

el valor de la gráfica del fabricantes a un régimen de tres horas.

Instalar un dispositivo de resistencias variable con un voltímetro y un amperímetro en previsión de que la carga deberá ser variada para mantener una corriente constante igual a la de régimen de descarga seleccionado. En caso de que la corriente no pueda ser ajustada a un valor constante, registrar los valores de corriente cada 10 minutos y graficar para sacar el valor medio de corriente; si este valor es diferente al seleccionado, deberá considerarse para corregir la capacidad calculada. Conviene que la desviación no sea más de 10 %.

Desconectar el cargador de baterías. Conectar la carga al banco de baterías y empezar a contar el tiempo, manteniendo la corriente al valor correcto.

Mantener la descarga del banco de baterías hasta obtener un valor de voltaje -

en terminales de 1,75 por el número de celdas. Anotar el tiempo transcurrido ( $T_a$ )

Registrar los voltajes individuales de cada celda en sus postes y el voltaje total en terminales del banco. Estas lecturas se tomarán al principio de la prueba, en tres intervalos durante la prueba y al final de la misma.

Si una celda en particular llegara a invertir su polaridad, pero el voltaje en terminales no llegará a alcanzar todavía el límite de voltaje inferior del banco para suspender la prueba, se continuará ésta poniendo en cortocircuito la celda invertida. Normalmente una celda con  $\pm 1,0$  voltios está a punto de invertir su polaridad. El nuevo voltaje mínimo en terminales se determinará por el número de celdas que quedan trabajando multiplicado por 1,75.

Utilizar la siguiente ecuación para determinar la capacidad del banco de baterías

rias:

$$\frac{T_a}{T_s \times K} \times 100 = \% \text{ de capacidad a } 25^{\circ}\text{C}$$

Ta: tiempo real de duración de la prueba

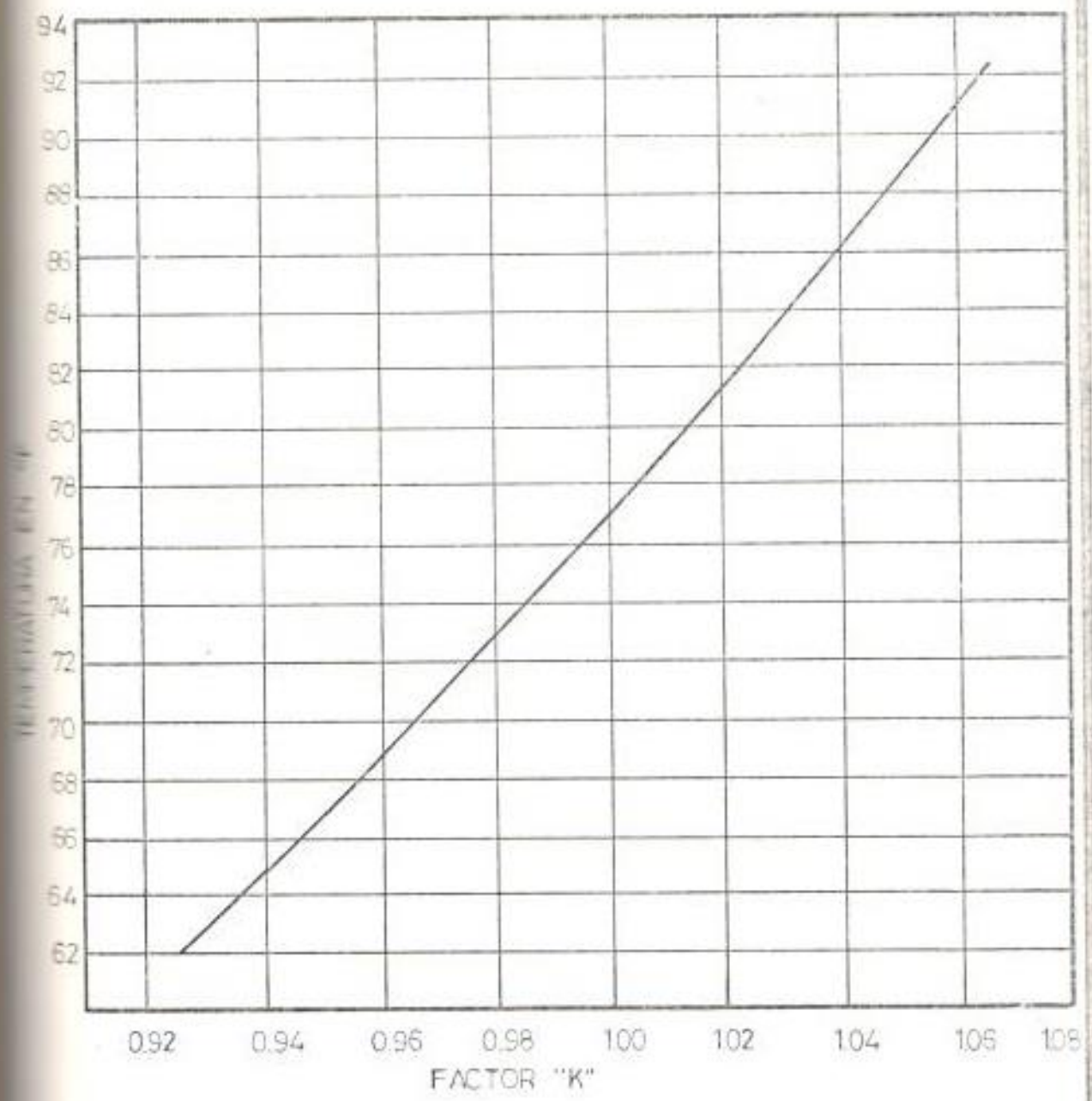
Ts: tiempo del régimen de descarga.

K: factor de corrección de capacidad -  
por temperatura (figura 2.62).

Si la capacidad del banco es más del 80% puede considerarse confiable, si su capacidad es menor debe sustituirse.

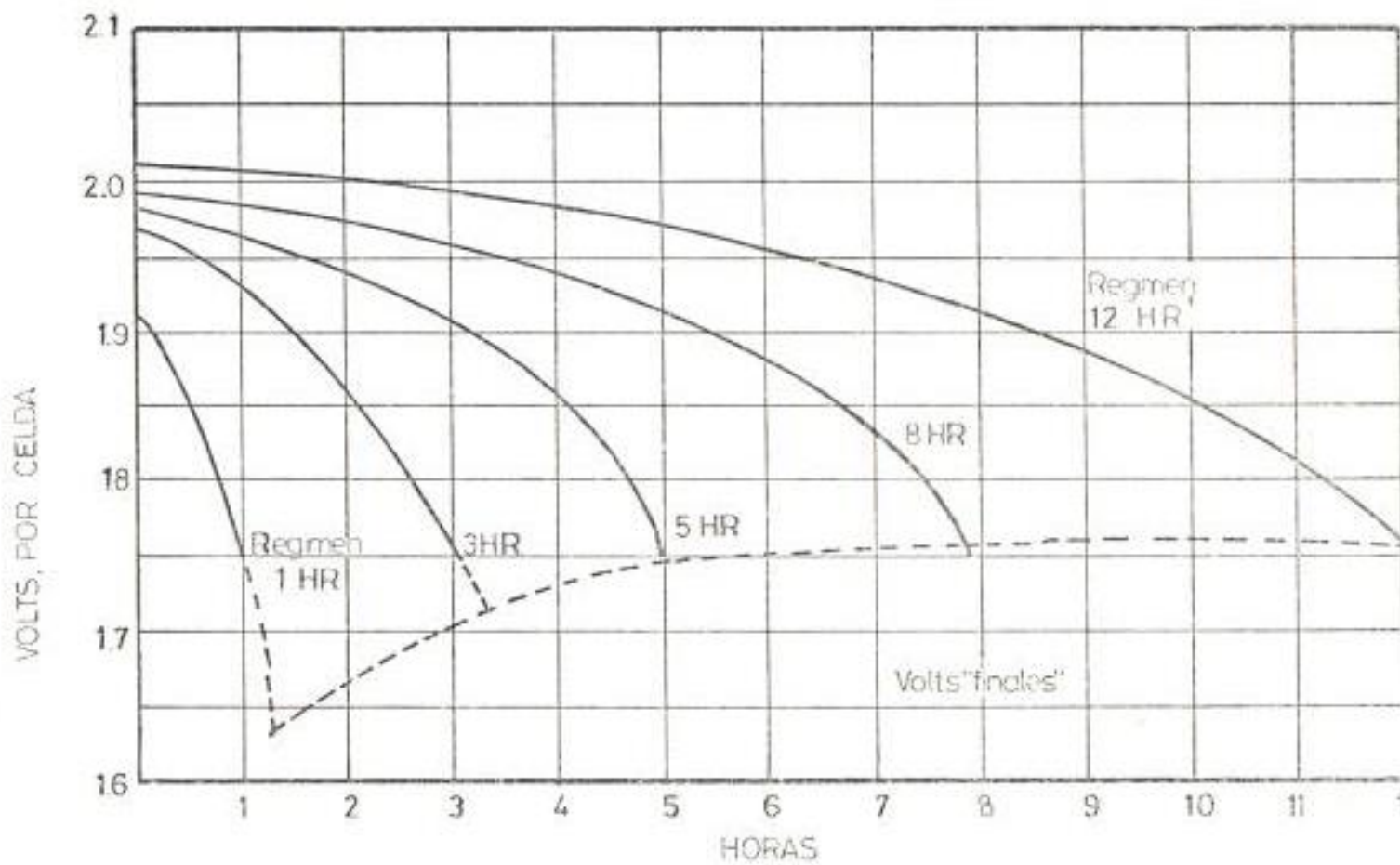
2. PRUEBA DE CAPACIDAD ESTIMADA: Esta se aplicará a bancos con dos a siete años de servicio. Esta prueba consiste en descargar la mitad de la capacidad del banco y comparar los valores obtenidos con los de las curvas del tiempo volta je sometido. (figura 2.63).

Si se encuentra una desviación en los va lores, la situación del banco quedará du



FACTOR DE CORRECCION DE CAPACIDAD POR TEMPERATURA  
PARA CELDA PLOMO-ACIDO DENSIDAD 1210 Y REGIMEN DE  
DESCARGA DE 1 A 8 HORAS

Fig No 262.



CURVAS DE TIEMPO-VOLTAJE A 1.75VOLTIOS EN VOLTAJE FINAL

Fig. No 2.63

dosa y se requerirá darle mantenimiento y hacerle una "prueba de capacidad total". Si no hay desviación se considerará el banco en buen estado.

PROCEDIMIENTO: Tomando el banco en las condiciones que se encuentre, registrar densidades y voltajes de cada celda y voltaje en terminales del banco. Observar los niveles de electrolito sin agregar agua.

Registrar la temperatura de cada 6 celdas y sacar promedio.

Calcular la corriente de régimen de descarga según gráfica del fabricante, correspondiente a 4 horas.

Por ejemplo: Banco de Baterías de 400 amperios - hora a régimen de 8 horas, del gráfico de curva de capacidad (Figura 2.64), la capacidad a 4 horas es igual a  $400 \times 0,84 = 336 \text{ A} - \text{H}$ .

$$\begin{aligned} \text{Corriente de prueba} &= \frac{\text{capacidad a 4 horas}}{4} \\ &= \frac{336}{4} = 84 \text{ A.} \end{aligned}$$

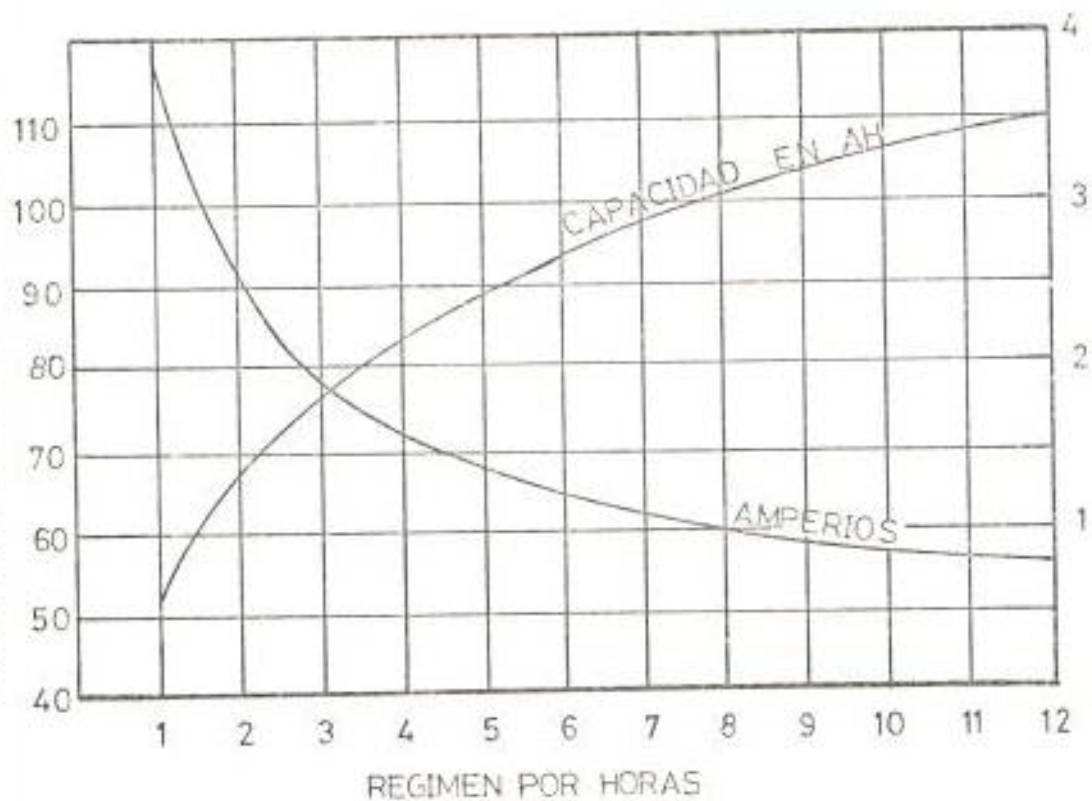
Esta prueba "capacidad estimada" durará únicamente dos horas, es decir que se trata de descargar solamente el 50 % del banco, a un régimen de descarga rápido.

Por medio de resistencias variables se ajustará la corriente al valor determinado (en el ejemplo 84 amperios). Primero - desconectar el cargador de baterías. Conectar la carga al banco de baterías y empezar a contar el tiempo. Registrar los voltajes de cada celda y en terminales del banco cada 20 minutos, con un voltímetro de precisión.

Observar si hay calentamiento en bornes o conexiones de las celdas y terminales. Se deberá medir el incremento de temperatura cada 6 celdas y observar que la gasificación sea pareja.



PORCENTAJE DE CAPACIDAD EN AH 8 HORAS=100



AMPERIOS-REGIMEN DE 8 HORAS = 1

CURVA DE CAPACIDAD DE REGIMEN BASADA EN EL REGIMEN DE 8 HORAS

La prueba se suspenderá al término del tiempo especificado, o si los voltajes alcanzan el valor mínimo especificado de 1,75 voltios por celda.

El banco de baterías se considerará confiable y con adecuada capacidad si su curva tiempo-voltaje (Figura 2.63) sigue la trayectoria teórica al régimen seleccionado de corriente. Si hay diferencia entre la curva teórica y la real, nos indicará la pérdida de la capacidad del banco.

La capacidad estimada se calcula como sigue:

$$\frac{T_p}{T_t \times K} \times 100 = \% \text{ de capacidad estimada}$$

$T_p$  = tiempo de prueba

$T_t$  = tiempo teórico que se requiere para alcanzar el voltaje final de la prueba siguiendo la curva teórica.

K = factor de corrección de capacidad por temperatura.

Si los valores promedio de voltaje obtenidos en el ejemplo del banco de 400 A - H, que se tiene a prueba con régimen de 4 - horas y corriente de 84 amperios al finalizar la prueba diera una tensión de 1,9 voltios (ver figura 2.63).

$$\text{Capacidad estimada \%} = \frac{2.0}{2.25} \times 100 = 72 \%$$

Si el voltaje final hubiera sido de 1.92 voltios con la descarga a dos horas, en ese segundo caso indicaría que el banco tendría su capacidad al 100 %.

$$\text{C.e. \%} = \frac{2.25}{2.25} \times 100 = 100 \%$$

Si la capacidad estimada es mayor del 90 % se considera confiable al banco de baterías.

Si la capacidad estimada es menor del 90 % el resultado se considerará dudoso y

el banco de baterías deberá ser sometido a la prueba de "capacidad total".

3. PRUEBA DE CAPACIDAD ACTUAL "AS FOUND": Esta prueba consiste en descargar un banco de baterías hasta su voltaje mínimo permitido, partiendo de la situación en que se encuentre el banco un día cualquiera, sin haberse dado carga de igualación reciente, ni haberle dado mantenimiento. Esta prueba sirve para medir la capacidad real de un banco así como la calidad del mantenimiento a que está sujeto.

Se efectuará a los bancos de baterías de los nueve años en adelante, cada tres años, o sea a los nueve, a los doce, a los quince, etc., hasta el término de su vida útil.

PROCEDIMIENTO: Las condiciones iniciales de la prueba serán las que tenga el banco "como se encuentre" o sea que no se hará ningún preparativo especial.

Se tomarán las lecturas de densidad y voltaje de cada celda antes de la prueba, así como el voltaje en terminales.

La duración de la prueba será hasta que se alcance el voltaje mínimo permitido o sea el producto del número de celdas - por 1,75 voltios, para baterías tipo - plomo - ácido. Este tiempo debe ser me dido con precisión.

El régimen de descarga será de tres horas y la corriente aplicada al banco será la apropiada para este régimen.

La corriente del banco se podrá controlar con resistencias variables y no debe rá tener variaciones mayores de un 3 %.

Desconectar el cargador de baterías. Co nectar la carga al banco e iniciar la me didición del tiempo, manteniendo la descar ga hasta obtener el voltaje mínimo permi tido y al alcanzarlo anotar el tiempo - transcurrido.

Registrar los voltajes individuales de cada celda en sus postes y el voltaje total en los terminales del banco; estas lecturas se tomarán al inicio de la prueba, en dos o tres intervalos durante la prueba y al final de la prueba.

Si una celda llegara a invertir su polaridad antes que el voltaje en terminales llegará a su mínimo permitido, la prueba se continuará poniendo en cortocircuito, la celda invertida. El voltaje mínimo se determinará con el número de celdas que quedan trabajando.

La capacidad real se calcula como sigue:

$$\frac{T_a}{T_s \times K} \times 100 = \% \text{ de capacidad ( a } 25^{\circ}\text{C)}$$

$T_a$  = tiempo real de duración de la prueba

$T_s$  = tiempo de régimen de descarga

$K$  = factor de corrección por temperatura.

Si la capacidad del banco es superior a 80 % se puede considerar que es un banco

confiable y que tiene un buen mantenimiento, en caso de que la capacidad obtenida sea menor que 80 % se considerará dudoso y debe efectuarse una prueba de "capacidad total" para que en ésta se determine si el banco realmente ya no tiene la capacidad adecuada y debe ser sustituido, o que la prueba anterior falló porque se encontraba descargado el banco debido a un mal entendimiento.

#### 2.10.5. Recomendaciones

A continuación se dan algunas recomendaciones para el control y mantenimiento de un banco de baterías.

- a. En la práctica es necesario contar con todos los datos exactos de condiciones de plena carga de cada una de las celdas, a fin de que sirvan de referencia para futuras comparaciones durante la inspección del banco. Estos datos son:
  - Densidad de cada una de las celdas referidas a 25 °C y nivel de electrolito en su marca superior.

- Voltaje de cada una de las celdas cuando se aplica en terminales del banco un voltaje de flotación de 2.15 voltios por celda.
  
  - Voltaje de cada una de las celdas, cuando se aplica en terminales del banco un voltaje de igualación de 2.33 por celda.
- b. Tomar en cuenta la pérdida de densidad después de la adición de agua.

Cuando se agrega agua destilada a las celdas, ésta no se mezcla inmediatamente con el electrolito, por lo cual si se toma una lectura en ese momento, ésta será falsa. Por esta razón se tiene que dar una carga de igualación y después tomar densidades corrigiéndolas a 25 ° C (nunca se debe agregar ácido o electrolito a una celda con nivel bajo a menos que se haya derramado). La medición del agua agregada se facilita si se hace cada tres meses antes de la carga de igualación; sin embargo en ciertas instalaciones de zonas cálidas o bajo condiciones de trabajo severas, el consumo de agua por evaporación puede ser elevado y requerirá que se reponga mensualmente, quedando esta decisión a criterio -



del responsable de la instalación. Se recomienda que las fechas de agregado de agua y carga de igualación coinciden.

- c. Voltaje de igualación: Este voltaje de igualación podrá estar en el rango de 2.26 a 2.36 voltios por celda dependiendo del tiempo en que se quiera hacer la igualación. El voltaje máximo permisible queda limitado por el voltaje máximo del equipo alimentado por el banco.

La carga de igualación se podrá dar de acuerdo a los siguientes voltios por celda y tiempos para celdas plomo - ácido.

2.26V.P.C.	6 días
2.28 V.P.C.	16 a 48 horas
2.30 V.P.C.	12 a 36 horas
2.33 V.P.C.	8 a 24 horas

- d. Corrección de densidad por temperatura: La densidad del electrolito varía en proporción inversa a la temperatura. Con un aumento de temperatura el electrolito se expande y se vuelve menos denso, lo cual produce una lectura más baja de densidad; caso con

trario, cuando la temperatura baja, aumenta la densidad. Las lecturas de densidad deben referirse siempre a 25°C. La corrección será agregar un punto de densidad por cada 1,6°C de temperatura del electrolito arriba de 25 °C, o restar un punto por cada 1,6°C abajo de 25°C.

Es preferible usar un termómetro que traiga una columna con los valores de corrección.

- e. Medición de densidad: Para tomar las lecturas de densidad, mantener el hidrómetro vertical asegurándose de que el flotador se mueva libremente sin hacer presión sobre la perilla de hule. La densidad se lee en la escala del flotador al nivel en que flota en el electrolito.
  
- f. Lecturas diarias: Es conveniente que en instalaciones con personal permanente o con guardias, se revisen los niveles de todas las celdas del banco de baterías y se tome lectura de densidad y temperatura de la celda piloto todos los días. Se selecciona como celda piloto la de menor densidad de los valores de referencia.

Para tomar la densidad de la celda piloto se recomienda el hidrómetro fijo, lo cual evita derramar electrolito y que en esta celda en particular baje la densidad más que en el resto del banco.

g. Medición de Voltaje: La medición del voltaje se recomienda efectuarla al inicio de la carga de - igualación cuando la corriente es máxima. Las pun-  
tas del voltímetro deben colocarse sobre los termi-  
nales de las dos celdas adyacentes a la que se quie-  
re medir, con el fin de incluir la caída de poten-  
cial en los contactos de los terminales incluyendo  
la resistencia de los puentes y la resistencia in-  
terna de las celdas una diferencia mayor de un 20%  
en los voltajes medidos nos puede indicar una re-  
sistencia elevada debida a conexiones flojas o sul-  
fatadas.

h. Si en las pruebas o durante los primeros siete -  
años de servicio se dañaran de una a cinco celdas  
de un banco de 60 celdas, estas se pueden reponer  
por nuevas. Si a un banco de baterías de 60 cel-  
das se le dañara de una a tres celdas después de  
siete años de funcionamiento, se eliminarán bajan-  
do el voltaje de flotación a su nuevo valor.

- i. Se recomienda tener buena ventilación en la Sala de baterías y quitar los tapones de las celdas al efectuar pruebas de descarga.
- j. Evitar exponer el banco a una sobrecarga prolongada especialmente después de las cargas de igualación.

#### 2.10.6. Carga de Igualación

La carga de igualación es una carga correctiva que se efectúa con una tensión de 2,26 a 2,40 voltios por celda, y con una limitación de corriente de:

$$I = (0,1 \text{ a } 0,2) \times C_{10} \text{ amperios.}$$

La carga de igualación debe darse en los siguientes casos:

- a) Inmediatamente después de una descarga de emergencia.
- b) Cuando la densidad del electrolito de un elemento cualquiera caiga a menos de 0,010 de la media de densidades del total de elementos.

c. Cuando la tensión de un elemento cualquiera se desvie en más de 0,04 voltios de la media de las tensiones.

d. Por lo menos una vez al año.

#### 2.10.6.1. Procedimiento para dar carga de igualación:

Los pasos a seguir para dar carga de igualación son los siguientes:

- a. Antes de iniciar la carga igualadora se deberá asegurar que todas las celdas mantienen su nivel del electrolito en su marca superior, en caso contrario agregar agua destilada y registrar la cantidad de agua para cada una de las celdas.
- b. Iniciar la carga igualadora con un voltaje de 2,33 VP.C. (voltios por celda); si la corriente suministrada por el cargador es mayor de su capacidad o mayor a la de régimen de carga a 10 horas, bajar el voltaje de igualación para controlar la corriente aumentando el voltaje de acuerdo a como disminuya la corriente.

- c. A intervalos de una hora tomar y registrar las densidades de las celdas corregidas a  $25^{\circ}\text{C}$  y los voltajes de las celdas.
- d. Asegurarse de que las celdas gasifican libremente y en igual proporción, ya que una celda que no gasifica durante una carga de igualación significa que puede tener un cortocircuito interno.
- e. Cuando dos lecturas sucesivas de densidad y voltaje no cambian, continuar la carga de igualación por una hora más y regresar a la carga de flotación (a excepción de bancos nuevos donde se continuará por ocho horas más, para considerar aplicada la carga de refresco.
- f. Poco antes de terminar la carga de igualación, registrar los voltajes de cada una de las celdas del banco, así como el voltaje en terminales; la suma de los voltajes por celda no debe ser diferente del voltaje en terminales por más de 0,05 voltios en bancos de 60 celdas. Si así, to-

mar las lecturas por celda otra vez.

Veinte minutos después de regresar a carga de flotación, cuando la gasificación fuerte ha parado, registrar las lecturas de densidad corregidas por temperatura en cada una de las celdas.

g. Una carga de igualación, debido al gran número de mediciones y a los esfuerzos - que provoca sobre el banco de baterías, puede ser considerada en su misma una prueba que verifica lo siguiente:

- Que no existen celdas en cortocircuito.
- Que no tienen conexiones interiores débiles.
- Que las celdas resisten al aumento de temperatura provocado por la corriente de carga (que será el mismo aumento de temperatura en la descarga a ese valor de corriente).
- Que las celdas pueden cargarse de nuevo a su estado original (valores de referencia).

En caso de que una celda no fuese capaz de cumplir lo anterior, fallará durante la prueba y deberá reemplazarse.

#### 2.10.6.2. Precauciones durante la carga igualadora:

Durante la carga igualadora deberán tomarse las siguientes precauciones:

- a. Debido a la liberación de hidrógeno, no deben permitirse en el cuarto de baterías llamas abiertas de cualquier clase; además se deberán tomar las precauciones de tener la ventilación adecuada para impedir la acumulación de hidrógeno.
- b. La temperatura del electrolito no deberá ser mayor de  $43^{\circ}\text{C}$  ( $110^{\circ}\text{F}$ ) durante la carga. Si este caso se presenta, se debe bajar el voltaje de igualación. Es conveniente que durante la carga, se compare la temperatura de cada celda con los demás mediante el tacto en uno de sus costados.



- c. Registrar todos los datos necesarios - ya que la comparación de estos a través del tiempo, indicarán las condiciones - de trabajo del banco.
  
- d. Asegurar de que los agujeros de ventilación para el escape de gases de los tapones de las celdas no estén obstruidos.
  
- e. Los registros de lecturas de densidad deben siempre corregirse a  $25^{\circ}\text{C}$ . Restar un punto de densidad por cada  $1,60^{\circ}\text{C}$ , abajo de  $25^{\circ}\text{C}$ , sumar en caso contrario.

Por lo general los termómetros para medir la temperatura del electrolito traen adjunto una escala con la corrección.

- f. La lectura de los voltajes por celda - al final de la carga de igualación deben hacerse con un voltímetro de precisión y registrar hasta centésimas de voltios.

### 2.10.7. Carga de Flotación

La carga de flotación tiene por objeto compensar la corriente de autodescarga, y la tensión del rectificador (cargador) debe ajustarse para que absorba esa corriente.

Se recomienda como voltaje de flotación de 2,15 voltios por celda, y densidad por celda de 1.200 a 1.220 puntos.

La temperatura de las celdas debe estar entre 15°C y 26°C, y no tener una diferencia mayor de 2°C entre celdas.

La temperatura máxima para operar el banco de baterías será de 43°C (110°F). La corriente de carga para el banco en flotación es entre 50 y 100 miliamperios por cada 100 amperios - hora de capacidad del banco.

EQUIPO ELECTRICO Y SISTEMAS

3.1. GENERALIDADES

En este capítulo se estudian las pruebas que deben realizarse a cada equipo y sistema en particular, y los procedimientos y orden que deben seguirse para realizar estas pruebas en forma eficiente y segura.

Los equipos y sistemas deben ser totalmente inspeccionados y probados de acuerdo con los requerimientos de las normas internacionales y propias, y de acuerdo con las especificaciones e instrucciones del fabricante, antes de que ellos sean operados o conectados permanentemente a otro equipo o sistema.

Como medida de seguridad, el área donde se va a realizar una prueba debe ser limpiada totalmente antes de que la prueba comience. Material de embalaje, de construcción y material inflamable debe ser removido del área. Es importante que los detalles de acabado y la pintura estén totalmente terminados y secos antes de comenzar las pruebas.

Después de que las pruebas se han completado, los equipos e instalaciones deben retornarse a su condición de operación. El cableado temporal, conexiones y otros accesorios deben ser removidos del sitio de pruebas, y las conexiones propias que fueron sacadas o removidas deben ser reajustadas y comprobadas. Las pruebas no deben ser consideradas completas hasta que el equipo esté en su condición de operación y el área se encuentre completamente limpia y despejada.

Es importante en la realización de pruebas, tener listos con anticipación los formatos de pruebas u hojas de datos en los cuales conste en un orden adecuado la lista de todas las pruebas a realizarse en un equipo dado, con espacios para las respectivas formas de aprobación y para anotar los resultados. Es aconsejable, consultando previamente las normas y las especificaciones, fijar en las hojas de datos los valores límites que deben cumplir cada una de las pruebas.

### 3.2. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

#### 3.2.1. Generalidades

Es importante prevenir que se puede presentar un potencial peligroso entre la tierra de la subestación y una tierra

lejana, si ocurre una falla que involucre a la tierra de la subestación mientras se están realizando las pruebas.

Por esta razón es importante realizar una inspección, para asegurarse de que todos los sistemas conectados a la malla de tierra están desenergizados antes de comenzar las pruebas.

### 3.2.2. Prueba Preliminar

El primer paso en la prueba del sistema de tierra es la inspección visual de la malla de tierra y los conductores asociados, para asegurar que el sistema ha sido instalado de acuerdo con los diseños y especificaciones, y que las conexiones están bien hechas.

Después de rellenadas y compactadas las zanjas abiertas para instalar la malla de tierra, pero antes de conectar los terminales de tierra a cualquier equipo, debe realizarse una prueba de continuidad entre los terminales de tierra y la malla general. Para esta prueba debe usarse un "ducter" (medidor de bajas resistencias) y las lecturas deberán ser menos que 0,1 ohmios. La prueba debe realizarse entre cada terminal y un punto de referencia de la malla, o entre cada terminal de tierra y el anteriormente

probado.

Luego de terminada la prueba, deberán conectarse a sus respectivos equipos los terminales encontrados satisfactorios.

### 3.2.3. Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra

Esta prueba se puede realizar con el método de la "caída de potencial". Si es posible, la prueba deberá realizarse durante la estación seca.

#### EQUIPO NECESARIO:

- 1 Megger earth tester, J.G. Biddle Co. Cat. 63220
- Terminales de prueba:
  - 1 - 2/c # 12 AWG.CU, aislado 600 V, 10 mts. long.
  - 1 - 1/C # 12 AWG.CU, aislado 600 V, 300 mts. long.
  - 1 - 1/C # 12 AWG.CU, aislado 600 V, 150 mts. long.
- 2 Varillas de cobre 3/4" x 1 mt. Long.

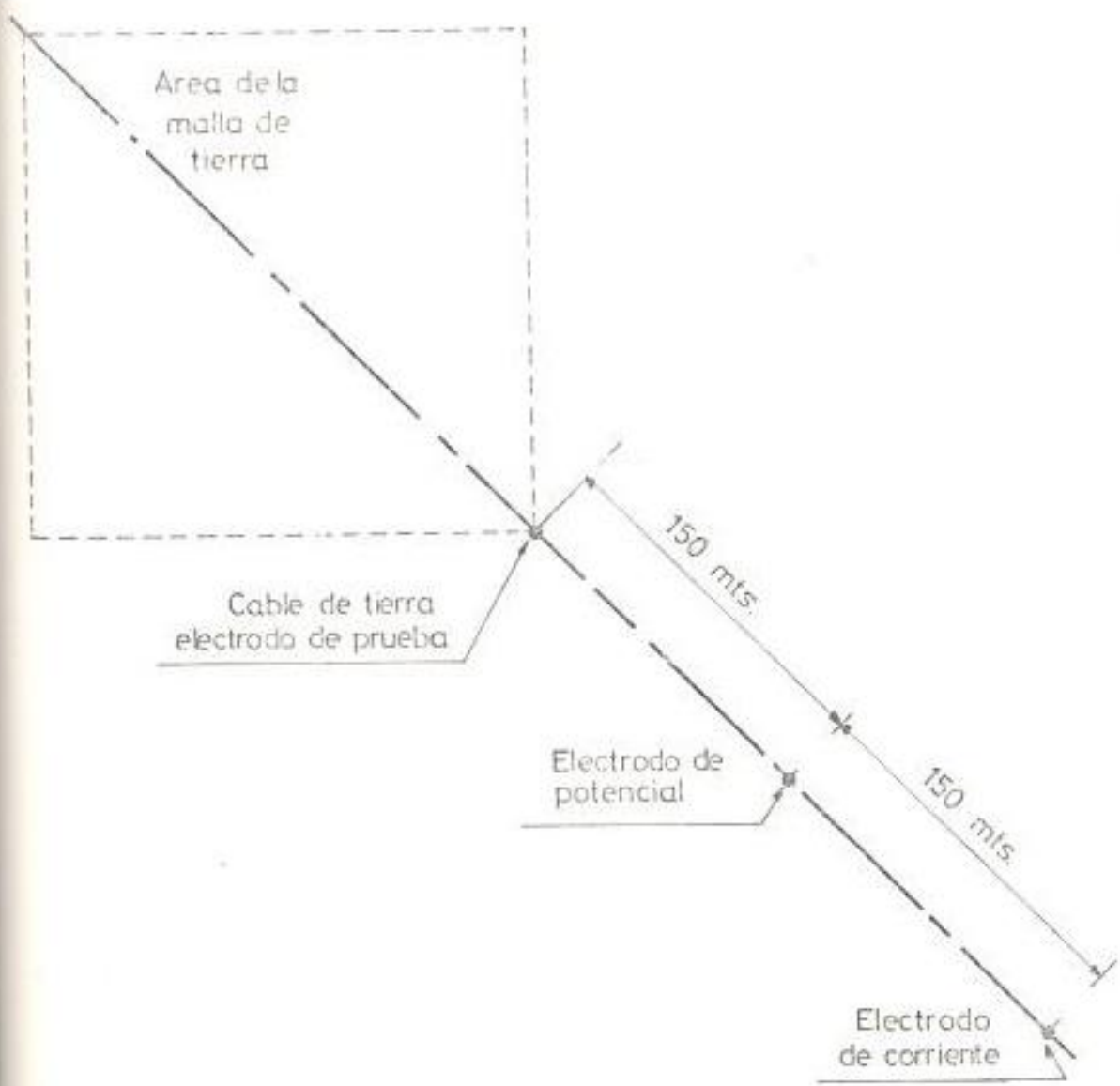
Los terminales de prueba deben tener en uno de los extremos mordazas aisladas para conectarlos a los electrodos de prueba.

## PROCEDIMIENTO:

Para esta prueba deben seguirse los principios y procedimientos expuestos en el Capítulo 2, sección 4, ajustándolos para cada caso particular.

A continuación se muestra, a modo de referencia, el procedimiento de prueba de una subestación.

- a. Encontrar un terminal apropiado de la malla de tierra, el cual está cercano a una esquina y conectarlo al terminal  $C_1$  del megger. Hacer un puente entre los terminales  $C_1$  y  $P_1$ . Enterrar el electrodo de corriente a 300 metros de distancia de la malla que se está probando y conectarlo al terminal  $C_2$ . Ubicar el electrodo de potencial a la mitad de la distancia entre el electrodo de corriente y el electrodo de prueba y conectarlo al terminal  $P_2$  (ver figuras 2.35, 2.36 y 2.65).
  
- b. Realizar las mediciones variando las distancias de los electrodos y tomando tres lecturas en cada punto. Es conveniente, para promediar los valores, realizar las pruebas por lo menos en dos esquinas opuestas y en la mitad de uno de los lados.



DISPOSICION DE LOS ELECTRODOS PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE MALLA DE TIERRA

Fig. No 2.65



Es importante tomar nota de la humedad del terreno tanto en el interior como en el exterior de la malla de tierra, y la composición del terreno.

### 3.3. SERVICIOS AUXILIARES

#### 3.3.1. Generalidades

Los servicios auxiliares cuya prueba es el tema de esta sección, están comprendidos por todos aquellos componentes y subsistemas los cuales no conducen la potencia principal transportada de la subestación, pero los cuales sirven a los equipos y sistemas que manejan la potencia principal. Incluidos en estos sistemas auxiliares están las partes eléctricas de los equipos de calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire, tratamiento de agua, cargadores de baterías, iluminación y tomacorrientes, y sus circuitos asociados y equipos.

#### 3.3.2. Transformadores de servicio

Antes de ser energizados, los transformadores deben ser examinados para asegurar que las conexiones primarias y secundarias han sido hechas de acuerdo con los planos y

especificaciones, que los "taps" en los transformadores están conectados correctamente y que las conexiones a tierra están hechas apropiadamente.

Deberán realizarse pruebas de relación de transformación - para cada uno de los "taps", pruebas de resistencia de aislamiento y pruebas del aceite en el caso de transformadores llenos de aceite. Estas pruebas han sido descritas en el Capítulo II, secciones 1, 2 y 7.

### 3.3.3. Paneles de Distribución C.A. y C.C.

Cada cubiculo o panel debe ser inspeccionado para asegurar que está instalado de acuerdo con los planos e instrucciones del fabricante, que el panel esté nivelado y que el aterrizamiento y las conexiones de cables estén en su lugar. Deberá revisarse el apriete de los pernos, de los empalmes de barras y de las conexiones de los circuitos de alimentación a las barras.

Deberá realizarse la prueba de aislamiento (Capítulo II, - sección 1), entre las barras principales y tierra, y entre las barras principales y tierra, y entre los terminales de carga y tierra. Para paneles a 600 voltios, ajustar el megger a 1.000 voltios. Para paneles a 250 voltios o me

nos ajustar el megger a 500 voltios. Durante la prueba,deberán abrirse los interruptores y desconectarse los secundarios de los instrumentos.

Las siguientes pruebas operacionales deben realizarse, de acuerdo con las instrucciones del fabricante:

1. Revisar el cierre y apertura de todos los interruptores.
2. Revisar la operación de los interbloques eléctricos y mecánicos para asegurarse que operan.
3. Revisar la operación de interruptores auxiliares, relés, contactores y temporizadores, para asegurar que su operación cumple con los diagramas esquemáticos.
4. Revisar la polaridad de las conexiones de los instrumentos.

#### 3.3.4. Cables de Control, Bajo Voltaje y Media Tensión

##### 3.3.4.1. Generalidades:

Los cables de poder y control deben ser sometidos a tres tipos de pruebas:

1. Inspección para verificar que el cable es del tipo y sección señalado en la lista de cables y en los planos, y que la identificación del cable y de cada conductor individual es correcta.

2. Resistencia de aislamiento.

3. Continuidad.

Para las pruebas de resistencia y continuidad, los cables de poder deben conectarse a sus respectivos interruptores (circuit breaker) o cuchillas portafusibles (disconnect switch), pero deben desconectarse de los motores y otras cargas. Los interruptores o portafusibles deben estar en posición - abierta y los terminales abiertos de los cables - deben marcarse con etiquetas de peligro. Para las pruebas de resistencia y continuidad de los cables de control, estos deberán desconectarse en ambos extremos.

#### 3.3.4.2. Cables de poder de Bajo Voltaje:

Los cables de poder de bajo voltaje (600 voltios

o menos) deben ser probados para resistencia de aislamiento. Los cables con aislamiento de 600 voltios deben ser probados con un megger de prueba de aislamiento, Biddle Cat. N° 638 o semejante. En cables con pantalla ésta deberá conectarse a tierra durante la prueba de aislamiento. Deberá probarse el aislamiento de cada conductor o cable multiconductor que forme un circuito. Los conductores libres de reserva también deberán probarse tal como los conductores en uso. El conductor bajo prueba deberá aislarse y, en cables multiconductores, todos los demás conectados juntos y aterrizados. La prueba deberá hacerse con el megger ajustado a 500 voltios y las lecturas no deberán ser menores de 3.0 megohmios. En el caso de resultar valores menores, se probará a 1.000 voltios.

#### 3.3.4.3. Cables de Media Tensión (15 y 25 Kv):

Todos los cables de poder de media tensión deben probarse para resistencia de aislamiento. La prueba deberá realizarse por el método "Hi - Pot", usando un aparato de alta tensión C.C., Hipotronics o similar, conectado como recomienda el fabricante del equipo. Deberá aplicarse un voltaje equivalen

te a 300 voltios, por cada mil de la capacidad de aislamiento. La duración de la prueba de "Hi-Pot" será de quince minutos. Después de completada la prueba, el cable deberá descargarse a través de una resistencia o por el aparato "Hi-Pot". Luego de cinco minutos de descarga, deberá comprobarse si existe voltaje de carga, y descargar otra vez si es necesario hasta que no exista voltaje estático en el cable.

La prueba deberá realizarse según lo expuesto en el Capítulo II, sección 6.

#### 3.3.4.4. Cables de Control:

Los cables de control se pueden probar por muestreo, tomando por lo menos un treinta por ciento de los cables. La prueba de resistencia de aislamiento debe hacerse con un megger de prueba de aislamiento, BIDDLE CAT. N<sup>o</sup> 638 o similar. La pantalla de los cables deberá conectarse a tierra durante la prueba de aislamiento. Deberán probarse todos los conductores en los cables, incluyendo los conductores libres de reserva. Los cables bajo prueba deberán desconectarse de los componentes o equipos a los

cuales sirven para no someter estos componentes a la tensión del Megger. El conductor bajo prueba - deberá aislarse y todos los demás conductores conectados juntos y aterrizados. Las pruebas deberán realizarse con el Megger ajustado a 500 voltios y las lecturas deberán ser no menores de 3.0 megaohmios.

La continuidad deberá probarse en todos los cables de control, para lo cual se desconectará uno a uno y se probará por medio de un zumbador o luz indicadora. Inmediatamente después de la prueba, cada - cable deberá reconectarse y revisarse con el plano respectivo en el cual se señalará que la prueba ha sido hecha.

#### 3.3.5. Sistemas Auxiliares de Control

Esta sección concierne a las pruebas de la operación de circuitos y sistemas de control los cuales forman parte de los servicios auxiliares. Los componentes de los tableros de distribución y los cables deben probarse previamente según se explicó anteriormente.

Aparatos de control instalados remotamente, tales como inte

ruptores de presión, botones de mando, paneles de control, etc., deberán inspeccionarse individualmente para verificar su operación correcta antes de que las pruebas generales comiencen. Los controles, relés, instrumentos de medición y todo el cableado auxiliar deberá comprobarse de que cumplan con los diagramas. Los cortocircuitos y puentes deberán re moverse para dejar todos los circuitos en su configuración final, excepto los que se requieran para seguridad o propósitos de prueba. Luego de que todos los componentes indi duales han sido probados, deberá probarse la operación de cada circuito de control completo o sistema, para asegurarse de la correcta operación del equipo primario del sistema. Cada circuito deberá operar a través de sus secuencias completas de arranque, parada y control por lo menos cinco ve ces para asegurarse que el sistema funciona correctamente. Los sistemas de alarmas, disparos y paradas (por alta tempe ratura, bajo nivel, etc.) también deberán probarse por lo menos cinco veces, operando manualmente el aparato de con trol.

#### 3.3.6. Motores y Componentes Eléctricos

Los datos de placa de cada motor y componente eléctrico tal como válvulas solenoides, calentadores, etc., deberán revi sarse para asegurar que los datos mostrados en la placa co



rresponden a la potencia, voltaje, fase y frecuencia especi-  
ficada en los planos para cada caso particular.

Cada motor y cada componente eléctrico instalado con equipo  
mecánico deberá inspeccionarse para asegurar que está insta-  
lado de acuerdo con los planos correspondientes y con las  
instrucciones del fabricante. La dirección de rotación de  
todos los motores y la tensión de las bandas o el alineamien-  
to de los acoples directos, deberá revisarse antes de poner  
el motor en servicio. La dirección de rotación deberá com-  
probarse con la carga desconectada del motor. La operación  
de las válvulas solenoides y otros accesorios del equipo me-  
cánico deberán comprobarse en su correcto funcionamiento.  
Las partes móviles y los ensamblajes serán comprobadas en  
su libertad de acción. Para asegurar una operación óptima,  
los interbloques eléctricos y mecánicos deberán comprobar-  
se visualmente y en funcionamiento.

La prueba de resistencia de aislamiento se realizará en ca-  
da motor y elemento resistivo, entre fase y tierra, por me-  
dio de un megger de prueba de aislamiento Biddle Cat. N° 638  
o similar, ajustando en 1.000 voltios para motores de 480 V.  
y en 500 voltios para motores de menor voltaje, antes de  
que el motor o aparato sea conectado. Se requiere un valor  
mínimo de resistencia de 5 megohmios.

Los motores y equipo eléctrico no deberán ser puestos en servicio hasta que su sistema de control y protecciones haya sido revisado y aprobado.

#### 3.3.7. Iluminación C.A. y Emergencia CC.

El sistema completo de iluminación tanto interior como exterior deberá revisarse para asegurar que sus componentes están instalados de acuerdo con los planos y especificaciones.

Deberá revisarse cada lámpara, aparato de control y fotos células, y también deberá realizarse una inspección nocturna para comprobar que existe una adecuada distribución de luz.

El sistema de transferencia automática para la luz de emergencia C.C. se comprobará repetidas veces para asegurar su correcta operación.

#### 3.3.8. Alarmas de Servicios Auxiliares

Cada punto de alarma en los paneles de servicios auxiliares deberá probarse para asegurar que opera apropiadamente. Cada aparato de alarma deberá revisarse que esté instalado de acuerdo a las instrucciones del fabricante, y que su punto de ajuste esté en la condición de alarma especificada.

Las alarmas deberán revisarse, siempre que sea posible, - aplicando de la condición de alarma (bajo voltaje, baja presión, etc.), y por simulación donde la aplicación de la condición primaria no sea posible. El cableado entre la alarma y el anunciador deberá revisarse con mucho cuidado. Las inscripciones en las ventanas de las alarmas también deberán comprobarse de que estén de acuerdo con la alarma respectiva.

### 3.3.9. Baterías y Cargadores

#### 3.3.9.1. Precauciones Preliminares:

Antes de proceder a las pruebas de las baterías deberán tomarse las siguientes precauciones especiales:

1. Proveer un tanque abierto lleno de agua y localizado cerca de las baterías que están siendo llenadas o probadas. Proveer unos 20 galones de solución al 3 % de ácido bórico para neutralizar el electrolito.
2. Asegurar que la persona que maneje el electrolito esté protegido con gafas, guantes de hule, delantal de hule y zapatos apropiados.

3. Limpiar completamente el área de baterías y revisar y limpiar los respiraderos de las celdas antes de comenzar las pruebas.
4. Limitar el número de personas a dos. Siempre que sea posible.
5. Usar solamente herramientas con mangos aislados, y no portar anillos, relojes y ropa con piezas de metal cuando se trabaje en baterías.
6. Asegurar que el sistema de ventilación del cuarto de baterías esté en operación mientras trabajen las baterías.

#### 3.3.9.2. Pruebas de Baterías:

Para las pruebas de las baterías deberán seguirse los principios expuestos en el Capítulo II, sección 10. Sin embargo vale la pena recordar lo siguiente:

Durante el llenado de las baterías, la gravedad específica de la solución electrolítica, deberá ser

revisada después de cada adición de electrolito o agua.

Después de que las baterías han sido llenadas y cargadas, el cargador debe ser ajustado en flotación y el voltaje de cada celda debe ser medido y registrado. Los voltajes de celda deben ser medidos con un multímetro Simpson, modelo 270 o similar, ajustado en la escala de 2.5 voltios. Cualquier celda que muestre un voltaje diferente del promedio por más de un 5 % deberá revisarse y reemplazarse, si es necesario.

Después de que las baterías han estado en flotación por lo menos dos semanas, la siguiente prueba puede realizarse como una práctica alternativa a la prueba de descarga:

1. Cambiar el cargador de baterías de la posición de flotación a la posición de igualación (carga) y registrar la corriente y voltaje de carga que indican los instrumentos del cargador.
2. Registrar el tiempo tomado por el voltaje para alcanzar un nivel constante y por la corriente

para disminuir hasta un valor ligeramente mayor a la corriente de flotación.

3. Si el voltaje incrementa rápidamente y alcanza la estabilidad en pocos minutos, es indicación de que las baterías están completamente cargadas. Si el voltaje incrementa lentamente y continúa incrementando luego de 30 minutos de igualación (carga), es indicación de que las baterías no estén completamente cargadas; deberá continuarse la carga hasta que el voltaje permanezca constante.

#### 3.3.9.3. Pruebas de Cargadores:

Para las pruebas de los cargadores es necesario seguir las instrucciones del fabricante, revisando entre otros puntos, el "Tap" del transformador, los voltajes de entrada y salida, la exactitud de los instrumentos de medición, el correcto funcionamiento de los ajustes de voltajes de flotación e igualación, etc.

#### 3.3.10. Regulador de Voltaje

Para las pruebas del regulador de voltaje, usado para la

iluminación y ciertas tomas de energía de equipo delicado, deberán seguirse las instrucciones del fabricante, teniendo como puntos principales de prueba los controles, manual y automático, de variación de voltaje, el ajuste de la tensión de salida deseada, y el ajuste del ancho de banda de la tensión de salida.

### 3.4. EQUIPOS DE ALTA TENSION

#### 3.4.1. Generalidades

Los equipos de alta tensión cuya prueba e inspección es el tema de esta sección, comprenden las barras de 138 KV, 69 KV y 13,8 KV y los equipos y conexiones que conducen la potencia principal transportada por la subestación.

La prueba e inspección de los equipos de alta tensión incluye los pasos necesarios para asegurar que toda la instalación está de acuerdo con los planos de diseño y las especificaciones, y que funcionará de una manera segura y eficiente.

#### 3.4.2. Transformadores de Poder

La instalación de los transformadores y los ensamblajes mon-

tados separadamente tales como boquillas, radiadores, ventiladores de enfriamiento, bombas de aceite y gabinetes de control deben inspeccionarse para asegurarse que se cumplen las instrucciones del fabricante. Antes de comenzar las pruebas, el transformador debe inspeccionarse completamente revisando el apriete de todas las conexiones, la instalación y localización apropiada de todas las partes y accesorios, la integridad de boquillas y aisladores y la impermeabilidad de los gabinetes de control y cajas de conexiones.

Las pruebas de transformadores de poder deben realizarse bajo la supervisión del supervisor de montaje representante de la fábrica y de acuerdo con el manual de instrucciones del fabricante. Los pasos en el procedimiento de pruebas expuestas a continuación deben seguirse en el orden dado tanto como sea posible.

1. Al recibir el transformador, debe inspeccionarse que esté en buenas condiciones, que el tanque no esté averiado, que las bridas no presenten filtraciones, que todos los accesorios estén en buenas condiciones y almacenados en lugares cubiertos y secos.

En el caso que el transformador fuese enviado lleno de gas (nitrógeno seco), equipado con bombona de gas con so



bre presión automática, tiene que controlarse que la misma esté funcionando y que el gas esté a una presión positiva de  $0,2 \text{ Kg/cm}^2$ .

2. Inmediatamente antes del montaje, cada boquilla (bushing) debe someterse a la prueba de factor de potencia por el método del "especimen aislado de tierra (UST)", de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Los valores de las pérdidas dieléctricas C.A., capacitancia y factor de potencia deben registrarse y compararse con los resultados de pruebas obtenidos en la fábrica. Las boquillas - aisladoras no deben instalarse si el valor de la capacitancia no es aceptable. Las boquillas de repuesto y no montadas también deben someterse a la prueba de factor de potencia (UST) y los resultados registrados, identificándolos por el número de serie de la boquilla. Para la prueba usar un equipo "Doble Engineering Company Tipo - MEU".
3. Revisar las tierras, intencionales o accidentales, en el tanque del transformador, núcleo y devanados.
4. Después de que el transformador ha sido ensamblado completamente y está listo para ser llenado con aceite, revisar el estado de limpieza y el contenido de humedad del

interior del transformador y secar el núcleo y devanados si es necesario.

5. Después de terminar el filtrado y llenado de aceite, el transformador debe permanecer en reposo sin ser energizado y sin circular el aceite por varios días para permitir que el aceite se estabilice. Obtener una muestra de aceite y realizar las pruebas respectivas (Capítulo II, sección 2), en especial la prueba de rigidez dieléctrica. Si resulta un voltaje de ruptura promedio menor que 30 KV - deberá considerarse el refiltrado del aceite y secado del núcleo y devanados si es necesario.
6. Realizar las pruebas de operación del relé Buchholz, según el instructivo del relé.
7. Probar la operación y calibración de los indicadores de temperatura tanto de devanado como del aceite.
8. Realizar las pruebas de resistencia de aislamiento (Megger) y curva de saturación de los transformadores de corriente de las boquillas (Capítulo II, Secciones 1 y 9).
9. Probar la operación del detector de gases, según el instructivo del equipo.

10. Probar la operación del sistema auxiliar de enfriamiento FA y FOA.
11. Revisar la impermeabilidad de los gabinetes de control.
12. Verificar las conexiones del transformador y de sus apartarrayos a la malla de tierra.
13. Realizar la prueba de relación de transformación en todas las posiciones de TAPS (Capítulo II, sección 7).
14. Realizar las pruebas de resistencia de aislamiento al - transformador (Capítulo II, sección 1).
15. Realizar las pruebas de polaridad de los devanados del transformador de poder y de los transformadores de corriente (Capítulo II, sección 8).
16. Realizar las pruebas de operación del cambiador de "TAPS" bajo carga.
17. Después de que se han completado todas las operaciones - de prueba, deben limpiarse todas las superficies de porcelana con trapos libres de hilachas, remover todos los desechos del área del transformador, limpiar los gabine

tes están cerradas con seguridades.

#### 3.4.2.1. Puesta en tensión:

Para poner en tensión el transformador, luego de completadas las pruebas, se recomienda proceder de la siguiente manera:

1. Revisar que el nivel de aceite del conservador tenga su nivel correcto.
2. Revisar que las válvulas entre el conservador y la cuba estén abiertas.
3. Revisar que todas las válvulas de la instalación de enfriamiento estén abiertas.
4. Revisar que las vainas donde están sumergidos - los bulbos del termómetro a cuadrante, las imágenes térmicas y termostatos, estén llenas de aceite.
5. Revisar que los aisladores estén debidamente llenos de aceite.

6. Ajustar los relés de sobrecorriente al valor mínimo permitido, teniendo en cuenta la corriente de excitación del transformador.
  
7. Si es posible, poner en tensión el transformador aplicando gradualmente valores crecientes de la tensión misma. Las modalidades aconsejadas son las siguientes:
  - Aplicar repentinamente el 50 % de la tensión nominal y detenerse algunos minutos sobre dicho valor.
  
  - Subir lentamente hasta el 75 % de la tensión nominal y detenerse algunos minutos.
  
  - Subir lentamente hasta 100 % de la tensión nominal.
  
  - Si no se han presentado problemas, desenergizar el transformador y aplicarle repentinamente el 100 % de la tensión nominal.

### 3.4.3. Interrupedores de Poder en Gas SF6

Después de la instalación del interruptor SF6 y después de que las conexiones mecánicas y el cableado de control está terminado, deben realizarse las siguientes pruebas e inspecciones:

1. Verificar el correcto ensamblaje de la estructura y que no existan daños en el equipo o en los aisladores.
2. Verificar que las conexiones de los cables de poder y control están de acuerdo con los planes de diseño y con las especificaciones.
3. Revisar las conexiones a tierra.
4. Revisar que los pernos en el cuerpo del tanque estén correctamente apretados (con el torcómetro).
5. Revisar que no haya ningún ruido anormal.
6. Revisar el estado de limpieza del equipo.
7. Probar que no hayan fugas de gas, con agua jabonosa.

8. Revisar la presión de gas y la temperatura.
9. Verificar las alarmas y bloqueos por falla de la presión de gas.
10. Realizar la prueba de resistencia de aislamiento con megger ajustado a 2.500 voltios (Capítulo II, sección 1).
  - a. Prueba con contactos cerrados.- Cerrar el interruptor y tomar mediciones de boquilla # 1 a tierra, boquilla # 3 a tierra y boquilla # 5 a tierra.
  - b. Prueba con contactos abiertos.- Abrir el interruptor y tomar medición entre boquillas # 1 y # 2, entre boquillas # 3 y #4, y entre boquillas # 5 y #6.
  - c. Prueba individual de boquillas.- Abrir el interruptor y tomar mediciones entre cada boquilla y tierra.
11. Realizar la prueba de resistencia de aislamiento y curva de saturación de los transformadores de corriente de las boquillas (Capítulo II, secciones 1 y 9).
12. Realizar la prueba de polaridad de los transformadores de corriente (Capítulo II, sección 8).

13. Probar la operación del sistema neumático. Comenzando con presión normal y compresor desconectado, registrar la presión inicial, operar el interruptor abriendo y cerrando y registrando la presión de aire del tanque hasta que la operación del mecanismo es bloqueada. Registrar en cual operación operan los interruptores de alarma y bloqueo por baja presión de aire. Revisar el tiempo de operación del compresor desde la presión de bloqueo hasta la presión normal de parada del mismo. Revisar la presión normal de arranque del compresor y el tiempo de operación desde este arranque hasta su parada.
  
14. Comprobar que el interruptor se abre automáticamente cuando la presión de aire baja de un valor previamente determinado, menor del cual el mecanismo neumático no es capaz de operar el interruptor.
  
15. Comprobar la operación del interruptor con controles manuales y eléctricos.
  
16. Comprobar el sincronismo en la operación de los contactos y medir los tiempos de operación al cierre y apertura desde la señal de control. Medir también los tiempos de operación de los contactos auxiliares.



Registrar los tiempos de disparo y recierre. Usar pa  
ra la prueba un oscilógrafo Toshiba Visigraph - JL ó  
similar (referencia Capítulo II, sección 3).

17. Medir la resistencia de contacto en cada fase (Capí-  
tulo II, sección 5) usando un medidor de bajas resis-  
tencias "James Biddle Co". Una diferencia significa-  
tiva entre las tres mediciones indica algunos proble-  
mas tales como suciedad en los contactos, lo que pue-  
de corregirse operando varias veces el interruptor.
  
18. Después de completar todas las pruebas, limpiar los  
aisladores y el resto del equipo con trapos secos li-  
bres de hilacha y revisar que las conexiones y el -  
equipo en general queden en orden.

#### 3.4.4. Seccionadores y Cuchillas de Puesta a Tierra

Antes de las operaciones de prueba de los seccionadores  
y cuchillas de puesta a tierra, debe revisarse la nivela-  
ción y alineamiento dentro de las tolerancias permitidas,  
de cada polo y cada grupo; también debe revisarse la mo-  
vilidad y libertad de movimiento de todas las partes.

Debe revisarse que los aisladores no presenten defectos

y que las conexiones estén apretadas adecuadamente según las tablas de torque. Debe verificarse que las partes móviles estén lubricadas tal como recomienda el fabricante. El mecanismo de operación de cada seccionador y cuchilla de tierra debe probarse con el motor energizado con el voltaje de régimen y con la operación manual. Antes de energizar el sistema de control y la alimentación del motor, revisar que todos los fusibles estén instalados y de acuerdo con sus capacidades especificadas.

Debe revisarse el cierre completo de los contactos principales con su máxima superficie de contacto y presión - en la posición cerrada y además el ángulo correcto en la posición abierta. Los ajustes correctos para apertura y cierre deben comprobarse accionando eléctricamente los seccionadores.

Comprobar la correcta operación de los seccionadores en forma manual y por control eléctrico local y remoto. También comprobar el correcto funcionamiento de los interbloques eléctricos y mecánicos.

Las operaciones de los interruptores auxiliares en seccionadores y cuchillas de puesta a tierra deben comprobarse para asegurar que los contactos auxiliares abiertos y ce

rrados cumplen con lo indicado en los planos de desarrollo de contactos, durante el accionamiento de los contactos principales.

Realizar pruebas de resistencia de aislamiento (Capítulo II, sección 2) y pruebas de resistencia de contacto (Capítulo II, sección 5).

#### 3.4.5. Transformadores de Potencial y Divisores Capacitivos de Potencial

Cada transformador de potencial y divisor capacitivo - debe inspeccionarse visual y mecánicamente para asegurar que está instalado de acuerdo con los planos y especificaciones y que las conexiones están realizadas - correctamente y apretadas.

Deben inspeccionarse las partes de porcelana y comprobar que no presenten roturas ni defectos. También se debe revisarse la limpieza de la porcelana.

En transformadores de potencial y divisores capacitivos llenos de aceite, debe revisarse el nivel de aceite y tomar una muestra del mismo para realizar las pruebas -

respectivas (Capítulo II, sección 2) comprobando que cumpla con las especificaciones del fabricante.

Debe realizarse la prueba de polaridad (Capítulo II, sección 8), y comprobarse que las conexiones secundarias de medición y protección estén de acuerdo con los planos.

Debe medirse la resistencia de aislamiento entre los devanados secundarios y tierra, usando un probador megger "biddle Cat. 638" o similar, ajustado a 500 voltios.

Revisar que los fusibles de los circuitos secundarios están en su lugar en las cajas de conexiones y que sus capacidades están de acuerdo a lo especificado.

Es importante realizar mediciones de las resistencias de los devanados secundarios utilizando un medidor de bajas resistencias, por ejemplo un puente de Wheatstone, para comprobar que no existen diferencias apreciables entre los diferentes transformadores de potencial o que no hay espiras rotas.

#### 3.4.6. Apartarrayos

Los apartarrayos deben revisarse completamente para ase-

gurar que estén instalados de acuerdo a los planos y especificaciones, y que todas las conexiones están hechas apropiadamente y apretadas. Debe inspeccionarse la porcelana y revisar que no existan roturas ni defectos.

Una vez que se está seguro de la correcta instalación del apartarrayos y sus conexiones, debe limpiarse y secarse la porcelana con trapos libres de pelusas.

#### 3.4.7. Trampa de Ondas

La instalación de la trampa de ondas debe comprobarse que esté de acuerdo con los diseños y especificaciones.

Las conexiones deben revisarse y comprobarse que no ocasionen esfuerzos en los terminales.

Las mediciones de impedancia y los ajustes necesarios deben realizarlos representantes de los fabricantes.

#### 3.4.8. Barras y Conexiones de Poder

Las barras de la subestación, las interconexiones de los equipos y las líneas de salida deben inspeccionarse completamente para asegurar que cumplen con los requisitos

de diseño. Debe comprobarse que los conectores y demás herrajes sean los especificados, que el número de aisladores y su tipo esté de acuerdo a las tablas de montaje, etc.

Revisar las distancias fase a fase y fase a tierra, para cada nivel de tensión.

Medir las flechas de las barras con teodolito, es aceptable una desviación de 3 % del valor de flecha dado en las tablas de tendido.

Medir la deflexión de las barras tubulares. La deflexión debe ser menor que el  $1/150$  de la distancia entre soportes.

Los conductores deben revisarse para comprobar que no presenten hilos salidos o sueltos, rasguños o protuberancias. Las conexiones empernadas deben revisarse que estén apretadas apropiadamente y de acuerdo al torque correspondiente a cada perno. Debe comprobarse la aplicación de un compuesto inhibidor de oxidación en las conexiones aluminio - aluminio y cobre - aluminio. Los aisladores deben revisarse que no presenten roturas ni defectos.

Después de terminadas las revisiones deben limpiarse totalmente los aisladores con trapos secos y libres de hilachas. Realizar la prueba de aislamiento a tierra de las barras, con un megger ajustado a 2.500 voltios<sub>c.c.</sub>

### 3.5. SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCION

#### 3.5.1. Generalidades

Las revisiones y operaciones de prueba del control y protección de los diferentes circuitos de alta tensión deben realizarse para verificar que funcionarán de acuerdo a lo diseñado.

Previo a la realización de las pruebas, es conveniente estudiar completamente todos los diagramas esquemáticos de los sistemas de potencia, protección, control y medición relacionados con los circuitos de alta tensión que se probarán. También debe probarse previamente los suministros de bajo voltaje C.A. y de potencia C.C.

Antes de comenzar cualquier prueba que requiera energización de un circuito de Alta Tensión, deben verificarse todos los equipos y cables de poder que serán energizados - incluyendo todos a aquellos que podrían energizarse accidentalmente; además, deben tenerse en cuenta todas las me

didias de seguridad.

Cuando en la operación de pruebas está especificado la apertura y cierre de los interruptores, deben registrarse las lecturas de los contadores de operaciones antes de la primera operación y después de la última. Durante las comprobaciones de disparo por relés de protección, es conveniente disparar realmente el interruptor. Sin embargo, se aconseja un máximo de cinco disparos reales del interruptor. Para las demás comprobaciones de disparo por relés de protección, el interruptor puede mantenerse en la posición abierta y puede usarse un voltímetro para detectar la señal de disparo en el circuito de control del interruptor.

Los circuitos alterados para propósitos de pruebas, ya sea por separación de conexiones o por aplicación de puentes, deben restaurarse a su configuración original inmediatamente después de terminada la prueba. Cuando en la operación de prueba se especifique o se requiera cerrar manualmente un contacto que resulte inaccesible, se puede aplicar un puente a través de los terminales externos del contacto reemplazando el cierre manual.

Ocasionalmente, uno o varios de los contactos del relé debe aislarse durante la prueba. En los aparatos que poseen



interruptores de pruebas, esto puede hacerse abriendo el correspondiente interruptor. Un método alternativo es insertar un pedazo de papel aislante entre los contactos, lo cual es apropiado en los casos donde otros contactos del mismo aparato deben funcionar durante la prueba. Debe evitarse en lo posible separar y aislar cables.

Los transformadores de instrumentos y los cables de circuitos de medición y de instrumentos indicadores deben probarse de la misma manera que la especificada para el sistema de protección.

#### 3.5.2. Panel de Control

El panel de control debe inspeccionarse para asegurar que su instalación está de acuerdo con los planos respectivos y con las instrucciones del fabricante, que su estructura está vertical y a nivel, y que todos los terminales de tierra y las conexiones de cables están en su lugar.

Debe revisarse que estén correctamente apretados y de acuerdo a los planos todos los terminales, tornillos y pernos del cableado eléctrico. Los cortocircuitos y puentes provisionales deben removerse para dejar todos los circuitos en su configuración final, excepto los que se

requieran por seguridad o para propósitos de pruebas. Todos los bloqueos de los instrumentos, medidores y relés deben removerse siguiendo el manual de instrucciones de cada aparato.

Cada interruptor de control, botonera, interruptor, selector, interruptor de transferencia de protección, interruptor de pruebas, etc., debe comprobarse y ajustarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Debe probarse la operación de los anunciadores para verificar que cumplen con lo especificado en la secuencia de operación. Es importante comprobar que lo indicado en cada ventana de los anunciadores cumpla con la alarma y esté en su correcto lugar.

Después de que todos los aparatos en el panel de control hayan sido completamente inspeccionados, revisados y probados, puede comenzar la operación de prueba de los circuitos de control y protección.

### 3.5.3. Calibración y Ajuste de Relés

Para las pruebas y ajuste de relés deben seguirse las instrucciones de los manuales respectivos de cada relé. Sin embargo, a continuación se dan algunas reglas gene

rales que deben observarse cuando se prueban relés:

1. Antes de comenzar la prueba de cualquier relé, debe estudiarse completamente el correspondiente manual o libro de instrucciones para familiarizarse con los principios de construcción y operación del relé. También deben estudiarse los circuitos externos del relé.
2. Antes de abrir la cubierta de un relé deben revisarse visualmente. Si existe suciedad, polvo o partículas metálicas, debe realizarse una limpieza.
3. Los relés de protección deben ajustarse de acuerdo con los ajustes dados en los cálculos respectivos, para luego probarlos y determinar si las características de operación cumplen con los ajustes realizados.
4. Cuando se inserten o se remuevan puntas de pruebas de relés, es necesario asegurarse que el circuito secundario de los transformadores de corriente no quede abierto lo que produciría un voltaje peligroso para el personal o el equipo. Donde sea necesario, los circuitos de T.C. pueden ser cortocircuitados temporalmente con puentes cuyos terminales de conexión sean seguros de no desprenderse.

5. El movimiento de las partes móviles del relé debe observarse que no tenga obstrucción o excesiva fricción, aplicando al relé el valor mínimo de corriente y/o voltaje de arranque.
  
6. Deben hacerse algunas operaciones manuales iniciales - de los contactos del relé para asegurar que los aparatos que operan relacionados a éste, lo hacen adecuadadamente, incluyendo los contactos auxiliares.
  
7. Los ajustes de fábrica de los relés no deben cambiarse a menos que la inspección o las pruebas muestren que ellos deben ser cambiados, en cuyo caso deben seguirse las instrucciones del manual respectivo.
  
8. La calibración de la mayoría de los relés es afectada por la temperatura y el sobrecalentamiento producirá por lo tanto un error de calibración. Cuando se realizan una serie de pruebas con altos valores de corrientes o voltaje, es importante que las pruebas se hagan rápidamente para no sobrecalentar las bobinas. Usualmente son suficientes dos minutos entre tales pruebas como tiempo de enfriamiento.
  
9. Revisar que la rotación de fases de corriente y voltaje

taje están como es requerida por los relés cuya -  
operación apropiada depende de las relaciones de vol  
taje y corriente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo del presente trabajo, se han enunciado las bases teóricas, los procedimientos y métodos de las pruebas a las que es aconsejable someter el equipo eléctrico, tanto para su recepción, como rutinariamente para controlar los daños o el deterioro paulatino que puede sufrir el equipo a lo largo de su tiempo de uso.

Las pruebas iniciales de comportamiento que se realizan tanto en la fábrica como para la recepción en el sitio de instalación, son de gran importancia para conocer si los equipos cumplen con todos los requisitos y para dar inicio al historial respectivo.

Es por esta razón que el personal que realice las pruebas, debe estar capacitado con anticipación y conocer los datos técnicos de diseño y de construcción, los requerimientos y normas nacionales e internacionales, las condiciones ambientales y de trabajo a las que van a estar sometidas las instalaciones, y finalmente los equipos y facilidades con que contará para la realización de las pruebas.

También debe señalarse la importancia de elaborar un proceso y un orden adecuado para la realización de las pruebas, que aseguren eficacia

y economía, aprovechando de la mejor manera los instrumentos, materiales y personal con que se cuenta. Otro factor que debe tomarse en cuenta son las condiciones de seguridad que deben observarse, puesto que la integridad física de los participantes es de gran importancia, ya que es un bien irremplazable.

## BIBLIOGRAFIA

1. INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL EQUIPO MEGGER.
2. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD DE MEXICO (C F E).
3. MANUAL DE PRUEBAS DE OPERACION DE INTERRUPTORES (C F E).
4. INSTRUCTIVO DEL EQUIPO DE PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA (MITSUBISHI).
5. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DE ACEITES AISLANTES (C F E).
6. NORMAS TECNICAS DE LA SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS ELECTRICOS Y GAS (CHILE).
7. ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA MONTAJE DE EQUIPOS (ENDESA-CHILE).
8. INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL EQUIPO DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE MALLA DE TIERRA (JAMES G. BIDDLE Co.).
9. INSTRUCTIVO DEL EQUIPO DE PRUEBA DE ALTA TENSION (HIPOTRONICS MODEL N° CF 30/15 - 4 C).
10. INSTRUCTIVO DE OPERACION Y PRUEBAS DE BATERIAS ( C F E).
11. NORMAS A S T M.
12. NORMAS A N S I.
13. TECHNICAL STANDAR FOR ELECTRICAL FACILITIES OF JAPAN.
14. PREVENTIVE MAINTENANCE OF ELECTRICAL EQUIPMENT. CHARLES I. HUBERT.